

DESCRIPCIÓN RADIOGRÁFICA DE POSTES DE TITANIO Y DE FIBRA DE VIDRIO, CEMENTADOS EN PREMOLARES HUMANOS SOMETIDOS IN VITRO A ALTAS TEMPERATURAS CON FINES FORENSES

RADIOGRAPHIC DESCRIPTION OF TITANIUM AND FIBERGLASS POSTS CEMENTED IN HUMAN PREMOLARS SUBJECTED TO HIGH TEMPERATURES IN VITRO FOR FORENSIC PURPOSES

JOHANA ARAMBURU,¹ HERNEY GARZÓN,² JUAN CAMILO RIVERA,³ FREDDY MORENO⁴

RESUMEN. Introducción: durante el proceso de identificación forense de cadáveres y restos humanos quemados, carbonizados o incinerados, el análisis de los materiales empleados en los diferentes tratamientos odontológicos se constituye en un marcador fehaciente para lograr una identificación positiva. El objetivo de este trabajo fue describir los cambios radiográficos de postes de titanio y de fibra de vidrio cementados, en premolares humanos sometidos a altas temperaturas con fines forenses. **Métodos:** estudio pseudo-experimental in vitro que observó los cambios radiográficos de los tejidos dentales (esmalte, dentina y cemento), de los materiales de uso endodóncico gutapercha (Wave One® de Dentsply Maillefer®), material de obturación (Top Seal® de Dentsply Maillefer®), material de cementación de los postes (Relyx TM ARC de 3M ESPE®) y de los postes de titanio (Tenax® Endodontic Post System de Coltene®) y fibra de vidrio (Tenax® Fiber Trans de Coltene®) en 30 dientes humanos, sometidos a cinco rangos de temperatura 200, 400, 600, 800 y 1000°C. **Resultados:** los tejidos y los materiales dentales estudiados presentan gran resistencia a las altas temperaturas, sin variar considerablemente su macro-estructura (fisuras, grietas, fracturas y fragmentación), de tal manera que los cambios físicos pueden identificarse a través de radiografía convencional, y asociarse a cada rango de temperatura específico. **Conclusiones:** los postes cementados en premolares humanos presentan gran resistencia a la acción de altas temperaturas, razón por la cual pueden ser visualizados a través de radiografía convencional, contribuyendo con el proceso de identificación y documentación de la necropsia médico-legal de un cadáver o restos humanos que hayan resultado quemados, incinerados o carbonizados.

Palabras clave: odontología forense, identificación de víctimas, tejidos dentales, materiales de endodoncia, postes de titanio, postes de fibra de vidrio, altas temperaturas, radiografía convencional.

Aramburo J, Garzón H, Rivera JC, Moreno F. Descripción radiográfica de postes de titanio y de fibra de vidrio, cementados en premolares humanos sometidos in vitro a altas temperaturas con fines forenses. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2015; 26(2): 314-335.

ABSTRACT. Introduction: during the process of forensic identification of corpses and burnt, carbonized, or incinerated human remains, the analysis of materials used in dental treatments is a reliable marker for accurate identification. The objective of this study was to describe the radiographic changes of titanium and fiberglass posts cemented in human premolars subjected to high temperatures for forensic purposes. **Methods:** this was a pseudo-experimental in vitro study to observe the radiographic changes of dental tissues (enamel, dentin, and cement) and the following endodontic materials: gutta-percha (Wave One® by Dentsply Maillefer®), obturation material (Top Seal® by Dentsply Maillefer®), post cementation material (Relyx TM ARC by 3M ESPE®), titanium posts (Tenax® Endodontic Post System by Coltene®), and fiberglass posts (Tenax® Fiber Trans by Coltene®) in 30 human teeth subject to five temperature ranges: 200, 400, 600, 800, and 1000° C. **Results:** the studied dental tissues and materials are highly resistant to high temperatures without significantly changing their macrostructure (fissures, cracks, fractures, and fragmentation), in such a way that the physical changes can be identified through conventional radiography and associated with each specific temperature range. **Conclusions:** posts cemented in human premolars have great resistance to the action of high temperatures, so they can be observed through conventional radiography thus contributing to the process of identification and documentation of the medico-legal autopsy of a corpse or human remains that have been burned, incinerated, or carbonized.

Key words: forensic dentistry, identification of victims, dental tissues, endodontic materials, titanium posts, fiberglass posts, high temperatures, conventional radiography.

Aramburo J, Garzón H, Rivera JC, Moreno F. Radiographic description of titanium and fiberglass posts cemented in human premolars subjected to high temperatures in vitro for forensic purposes. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2015; 26(2): 314-335.

- 1 Odontóloga, Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores Colciencias, Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).
- 2 Odontólogo, especialista en Rehabilitación Oral, profesor Escuela de Odontología Universidad del Valle (Cali, Colombia), Grupo de Investigación Biomateriales Dentales, Universidad del Valle (Cali, Colombia).
- 3 Odontólogo, especialista en endodoncia, profesor Escuela de Odontología Universidad del Valle (Cali, Colombia), Grupo de Investigación Biomateriales Dentales de la Universidad del Valle (Cali, Colombia).
- 4 Odontólogo, magister en ciencias biomédicas, profesor Escuela de Odontología Universidad del Valle (Cali, Colombia), profesor Facultad de Ciencias de la Salud Pontificia Universidad Javeriana (Cali, Colombia).

- 1 DMD, Colciencias Program of Young Researchers and Innovators, Universidad del Valle Office of the Vice President for Research (Cali, Colombia).
- 2 DMD, Oral Rehabilitation Specialist, Professor at the Universidad del Valle School of Dentistry (Cali, Colombia), Dental Biomaterials Research Group, Universidad del Valle (Cali, Colombia).
- 3 DMD, Endodontics Specialist, Professor at the Universidad del Valle School of Dentistry (Cali, Colombia), Dental Biomaterials Research Group, Universidad del Valle (Cali, Colombia).
- 4 DMD, MSc in Biomedical Sciences, Professor at the Universidad del Valle School of Dentistry (Cali, Colombia), Professor at the Pontificia Universidad Javeriana School of Health Sciences (Cali, Colombia).

RECIBIDO: OCTUBRE 8/2013-ACEPTADO: SEPTIEMBRE 30/2014

SUBMITTED: APRIL 14/2013-APPROVED: MARCH 4/2014

INTRODUCCIÓN

Los dientes son los órganos más resistentes del cuerpo humano, debido a la alta resistencia ante la exposición a los ácidos y a las altas temperaturas, además de la alta resistencia tafonómica,^{1, 2} lo que les permite constituirse en un medio eficiente para identificar a un individuo o sus restos humanos, a partir, no solo de las características morfológicas (macro y microanatomía de los tejidos dentales y periodontales), sino también de los tratamientos odontológicos y los materiales con que fueron realizados. Por lo tanto, si existen registros odontológicos de un individuo desconocido y este falleciera en condiciones extremas, la información que se obtenga de sus restos podrá ser cotejada para iniciar el proceso de identificación odontológica.³⁻⁵ Este proceso comparativo de la información obtenida del cadáver con los registros dentales en vida, es lo que se conoce como el cotejo antemortem/postmortem, y permite determinar si el cuerpo o los restos humanos corresponden al individuo que se busca.^{6, 7}

Inicialmente, en este proceso se emplea evidencia circunstancial recogida en el sitio en donde se encuentra el cadáver o los restos humanos, dado que los métodos de identificación visual, por parte de familiares, ocasionan falsos positivos producto del impacto emocional cuando se enfrentan a un cuerpo afectado por las causas de muerte (restos humanos mutilados, en descomposición, quemados, carbonizados o incinerados).^{4, 5}

De esta forma, una vez clasificada la primera información indiciaria, se procede a obtener información fehaciente a partir de diferentes elementos, incluida la observación y el análisis de los dientes, proceso que ha resultado ser uno de los de mayor eficacia entre los otros métodos médico-legales, siendo reconocido en Colombia a través de la Ley 38 de enero de 1993, la cual unifica el sistema de dactiloscopia y adopta la Carta Dental para fines de identificación.⁸

Para el caso de cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados o incinerados, el proceso de identificación se dificulta dependiendo de las condiciones postmortem,

INTRODUCTION

Teeth are the hardest organs of the human body due to their high resistance to exposure to acids and high temperatures, as well as their high taphonomic resistance.^{1, 2} This makes them an efficient means to identify individuals or human remains based not only on their morphological characteristics (macro and microanatomy of dental and periodontal tissues), but also on dental treatments and the materials with which they were performed. Therefore, if there are dental records of an unknown individual who has died in extreme conditions, information obtained from his/her remains can be collated to initiate the process of dental identification.³⁻⁵ The process of comparing information obtained from the body against dental life records is known as antemortem/postmortem comparison and it allows determining whether the body or human remains belong to the missing individual.^{6, 7}

Initially, this process uses circumstantial evidence collected at the site where the corpse or human remains are located, since the methods of visual identification by relatives may produce false positives because of the emotional impact of seeing a body affected by causes of death (mutilated, decaying, burned, charred, or incinerated human remains).^{4, 5}

Therefore, once the initial information is classified, further reliable information is obtained through different methods, including the observation and analysis of teeth—a process that has proven to be one of the most effective among other medico-legal methods and has been recognized in Colombia through Act 38 of January, 1993, which unifies the dactiloscopia system and adopts dental charts for identification purposes—.⁸

In the case of corpses or burned, charred, or incinerated human remains, the identification process becomes difficult depending on the postmortem conditions,

asociadas a la destrucción total de la epidermis y áreas de necrosis en tejidos subyacentes, lo cual imposibilita la identificación por los métodos convencionales de reconocimiento visual o huellas dactilares.³ Es por ello que las comparaciones o cotejos más frecuentes se hacen a partir de los dientes y de tratamientos odontológicos como restauraciones protésicas y obturaciones, debido a que los materiales de uso odontológico tienen alta resistencia a la acción de las altas temperaturas, lo cual puede ser evidenciado en las descripciones sobre el comportamiento de la amalgama dental, de las resinas compuestas y de diferentes aleaciones, llevadas a cabo por el Departamento de Odontostomatología de la Universidad de Pavia (Italia),⁹⁻¹¹ las clasificaciones de las resinas compuestas sometidas a altas temperaturas llevadas a cabo en el Departamento de Odontología Restauradora de la Universidad de Búfalo (E.E.U.U.)^{12, 13} y los experimentos en amalgama dental, en resina compuesta, en ionómero de vidrio, en cemento de óxido de zinc, en cemento endodóncico y en gutapercha realizados en la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle.¹⁴⁻¹⁷

Es por ello que el objetivo de este estudio es realizar una descripción radiográfica del comportamiento a altas temperaturas (200°C, 400°C, 600°C, 800°C y 1000°C), de dos tipos de postes prefabricados cementados en premolares humanos, con el fin de determinar parámetros repetitivos de los cambios radiográficos de los tejidos dentales y los materiales de uso odontológicos empleados, de tal manera que se puedan identificar y obtener marcadores radiográficos útiles, que contribuyan con los procesos forenses de identificación odontológica y del procedimiento de documentación de la necropsia médico-legal. Esto finalmente podrá brindar notable información durante el registro dental postmortem (tiempo de exposición a las altas temperaturas, máxima temperatura alcanzada, relación entre los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico) para ser cotejada con los registros dentales antemortem, y, de esta forma, lograr suficientes características que permitan identificar positivamente a un individuo quemado, carbonizado o incinerado, además de respaldar con evidencia científica el uso de la radiografía convencional en estos casos.

associated with the total destruction of the epidermis and areas of necrosis in underlying tissues, which impedes identification by the conventional methods of visual recognition or fingerprint.³ This is why comparisons are most frequently done using teeth and dental treatments such as prosthetic restorations and obturations, since dental materials are highly resistant to the action of high temperatures. This can be verified in the descriptions of the behavior of dental amalgams, composite resins, and different alloys by the University of Pavia Department of Odontostomatology,⁹⁻¹¹ the classifications of composite resins subjected to high temperatures, carried out in the University of Buffalo Department of Restorative Dentistry (USA),^{12, 13} and the experiments on dental amalgam, composite resin, glass ionomer, zinc oxide cement, endodontic cement, and gutta-percha, conducted in Universidad del Valle School of Dentistry.¹⁴⁻¹⁷

The objective of this study was to perform a radiographic description of the behavior of two types of prefabricated posts cemented in human premolars subjected to high temperatures (200°C, 400°C, 600°C, 800°C, and 1000°C) to determine repetitive parameters of radiographic changes in dental tissues and materials, in order to identify and obtain useful radiographic markers that can help in forensic dental identification processes and in the documentation of medico-legal autopsy. Eventually, this will provide valuable information during postmortem dental registration (time of exposure to high temperatures, maximum reached temperature, relationship between dental tissues and dental materials) that can be collated with antemortem dental records, thus providing sufficient data leading to accurately identify a burned, charred or incinerated individual, besides supporting the use of conventional radiography with scientific evidence in these cases.

MÉTODOS

Este es un estudio pseudo-experimental in vitro sobre el comportamiento de la acción de altas temperaturas en los tejidos dentales (esmalte, dentina y cemento), de los materiales de uso endodóncico (Gutapercha Wave One® de Dentsply Maillefer® y material de obturación Top Seal® de Dentsply Maillefer®, material de cementación de los postes Relyx TM ARC de 3M ESPE®), de los postes de titanio (Tenax® Endodontic Post System de Coltene®) y fibra de vidrio (Tenax® Fiber Trans de Coltene®). Para ello se recolectó una muestra por conveniencia de 30 premolares superiores e inferiores, derechos e izquierdos, de individuos entre los 14 y los 26 años de ambos sexos, extraídos por motivos ortodónticos y periodontales, que no presentaran caries, restauraciones, tratamientos de endodoncia, patología pulpar y malformaciones congénitas.

Las variables tenidas en cuenta en este estudio obedecen a los cambios radiográficos de los tejidos dentales, de los materiales usados en el tratamiento endodóncico, de los materiales empleados para cementar los postes y de los postes prefabricados de titanio y fibra de vidrio. Dichos cambios serán agrupados para facilitar la discusión, de acuerdo a los tejidos y los materiales dentales respecto al rango de temperatura, teniendo en cuenta:

1. La desadaptación de los materiales de obturación;
2. Las fisuras, grietas, el aspecto cuarteado y fracturas;
- y 3. Los cambios de densidad.

Recolección de la muestra

Una vez avalada la investigación por el Comité de Ética en Seres humanos de la Universidad del Valle, de acuerdo con el Artículo 11 de la Resolución N° 008430 del Ministerio de Protección Social,¹⁸ y a los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos, indicados por la Asociación Médica Mundial en la Declaración de Helsinki,¹⁹ previa autorización de las directivas de la Escuela de Odontología y firma del consentimiento informado por los pacientes, se procedió a obtener la muestra a partir de los dientes extraídos que cumplieran

METHODS

This is a pseudo-experimental in vitro study on the behavior of the action of high temperatures on dental tissues (enamel, dentin, and cement), endodontic materials (Wave One® gutta-percha by Dentsply Maillefer®, Top Seal® obturation material by Dentsply Maillefer®, and Relyx TM ARC posts cementing material by 3M ESPE®), titanium posts (Tenax® Endodontic Post System by Coltene®) and fiberglass posts (Tenax® Fiber Trans by Coltene®). To this end, a convenience sample of 30 upper and lower premolars, both right and left, was collected from individuals of both sexes aged 14 to 26 years, and extracted for orthodontic and periodontal reasons, presenting no tooth decay, restorations, endodontic treatments, pulp pathology, or congenital malformations.

The variables included in this study are connected to the radiographic changes of dental tissues, materials used in endodontic treatment, materials used for cementing posts, and prefabricated titanium and fiberglass posts. These changes will be grouped to facilitate the discussion, according to the tissues and dental materials with respect to temperature range, taking into account:

1. Maladaptation of obturation materials;
2. Fissures, cracks, cracked appearance, and fractures, and
3. Changes in density.

Sample collection

This study was first approved by the Universidad del Valle Ethics Committee in Humans, in accordance with Article 11 of Resolution No. 008430 of the Ministry of Social Protection,¹⁸ and the ethical principles for medical research on humans, as indicated by the World Medical Association in the Declaration of Helsinki.¹⁹ Prior authorization of the School of Dentistry Board of Directors and after patients signed an informed consent, the sample was obtained from extracted teeth meeting the

con los criterios de inclusión, en la clínica de cirugía oral de la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle.

Manejo y conservación de la muestra

Inmediatamente después de ser extraídos los dientes, se procedió a lavarlos con agua no estéril para eliminar residuos de sangre, y se introdujeron en un recipiente oscuro con solución fijadora cloramina T al 5% (100 g tosilcloramida sódica diluida en 2 litros de agua destilada), durante una semana. Después se colocaron en solución salina, a una temperatura de 37°C, con una humedad relativa de 100%, y se cambió la solución salina cada dos semanas, según las normas ICONTEC 4882\2000²⁰ e ISO/TS 11405/2003,²¹ hasta iniciar los procedimientos en las muestras en un período no mayor a dos semanas. En este momento, a cada diente se le tomó una radiografía convencional DENTUS E Speed® (AGFA®), en un equipo de radiología Gendex® 770® a 0.8 impulsos. Se tuvieron en cuenta el posicionamiento vertical de la película radiográfica respecto al eje longitudinal de los dientes, la orientación espacial de la superficie vestibular de los dientes hacia el cono del equipo, la colocación de los dientes sobre el lado blanco de la película radiográfica con el punto de identificación orientado hacia oclusal, y la ubicación estándar del cono del equipo a 10 cm. De igual forma, las radiografías fueron reveladas en el procesador automático de radiografías Gendex® GXP®.

Preparación de las cavidades

Un solo operador puso en una base de cera cada uno de los 30 dientes, y procedió a realizar la apertura cameral (no se retiró la corona clínica de los dientes), a través de una cavidad oclusal Tipo I con fresas redondas de diamante número 1 y 2 (Diatech®) y fresa Endo Z (Dentsply Maillefer®). Una vez hecha la cavidad, a cada diente se le efectuó una profilaxis con bicarbonato de sodio para desinfectar la cavidad y disminuir la tensión superficial de la dentina, a fin de optimizar las propiedades adhesivas de los materiales empleados para cementar los postes prefabricados.

inclusion criteria, at the Clinic of Oral Surgery of Universidad del Valle School of Dentistry.

Management and storage of samples

Immediately after the teeth had been extracted, they were washed with non-sterile water to eliminate blood residues and were put for one week in a dark container with 5% chloramine T fixative solution (100 g sodium tosylchloramide diluted in 2 liters of distilled water). Then they were placed in saline solution at a temperature of 37°C with a relative humidity of 100%; the saline solution was changed every two weeks, according to ICONTEC 4882\2000 standards²⁰ and ISO/TS 11405/2003 standards,²¹ until the procedures on the samples were started not later than two weeks afterwards. At this time, each tooth was taken a conventional DENTUS E Speed® (AGFA®) radiograph, in a Radiology Gendex® 770® equipment of 0.8 impulses. The following items were taken into account: the vertical position of the radiographic film to the longitudinal axis of teeth, the spatial orientation of the vestibular surface of teeth towards the cone of the equipment, the placement of teeth on the white side of the x-ray film with the identification point towards occlusal, and the standard location of the equipment cone at 10 cm. Similarly, the radiographs were revealed in a Gendex® GXP® automatic x-ray processor.

Preparation of cavities

One operator put each of the 30 teeth in a wax base and performed the opening of chambers (the teeth's clinical crown was not removed) through a type I occlusal cavity using # 1 and 2 round diamond burs (Diatech®) and Endo Z burs (Dentsply Maillefer®). Once the cavity was prepared, each tooth went through prophylaxis with baking soda to disinfect the cavity and decrease the dentin's surface tension, in order to optimize the adhesive properties of the materials used for cementing prefabricated posts.

Tratamiento de endodoncia

Una vez localizado el conducto, se determinó la longitud de trabajo con limas K15 (Dentsply Maillefer®), realizando control visual de la aparición de la lima por el foramen apical y se disminuyó 1 mm a esta longitud. Se selló la cavidad coronal con mota de algodón y Coltosol® (Dentsply Maillefer®) y el foramen apical con metacrilato. A los ocho días, se retiró la obturación temporal y se realizó la instrumentación con equipo de instrumentación rotatoria Wave One Endomotor® (Dentsply Maillefer®), mediante limas de instrumentación reciprocante Wave One Primary File 25® (Dentsply Maillefer®) de 25 mm o Wave One Large File 40® (Dentsply Maillefer®), de acuerdo al diámetro del conducto. Durante las tres fases de instrumentación con limas reciprocantes, se irrigó con 6 ml de hipoclorito de sodio al 5,25% (2 ml en la fase uno tercio cervical, 2 ml en la fase dos tercio medio y 2 ml en la fase tres tercio apical), a través de agujas de irrigación Monoject® (Kendal®) a 2 mm de la longitud de trabajo. Finalmente, se lavaron los conductos con agua destilada y se secaron con conos de papel Wave One (Dentsply Maillefer®). A los ocho días se realizó la obturación con cono único de gutapercha Primary File 25® (Dentsply Maillefer®) o Wave One Large File 40® (Dentsply Maillefer®), según el instrumento rotatorio utilizado inicialmente y con material de obturación Top Seal® de Dentsply Maillefer®, a la longitud estimada de los postes prefabricados, utilizando técnica de compactación vertical con calor con el Element Obturation Unit® (Sybron Endo®). No se obturó el tercio cervical para evitar contaminación de la dentina con el cemento sellador y se selló la cavidad coronal con mota de algodón y Coltosol®. Para todos los procedimientos se siguieron las indicaciones de los fabricantes, de acuerdo a los protocolos reportados en la literatura.^{22, 23}

Cementación de los postes prefabricados

La cementación se realizó con relación al grupo al que pertenecen los dientes, de acuerdo al material del poste cementado. De esta forma, los dientes fueron clasificados en dos grupos de 15 especímenes cada uno (tabla 1).

Endodontic treatment

Once the canal was located, the working length was determined with K15 files (Dentsply Maillefer®), visually monitoring the appearance of the file through the apical foramen and decreasing this length by 1 mm. The coronal cavity was sealed with a cotton pellet and Coltosol® (Dentsply Maillefer®) and the apical foramen with methacrylate. The temporary seal was removed eight days later, instrumenting with rotary Wave One Endomotor® instrumentation equipment (Dentsply Maillefer®) and Wave One Primary File 25® reciprocating instrumentation files (Dentsply Maillefer®) of 25 mm or Wave One Large File 40® (Dentsply Maillefer®), according to the canal's diameter. During the three phases of instrumentation with reciprocating files, the samples were irrigated with 6 ml of 5.25% sodium hypochlorite (2 ml in phase one cervical third, 2 ml in phase two mid-third and 2 ml in phase three apical third), through Monoject® (Kendal®) irrigation needles at 2 mm from the working length. Finally, the canals were washed with distilled water and dried with Wave One (Dentsply Maillefer®) paper cones. Obturation was performed eight days later with Primary File 25® single-cone guttapercha (Dentsply Maillefer®) or Wave One Large File 40® (Dentsply Maillefer®), according to the rotary instrument initially used and with Top Seal® obturation material by Dentsply Maillefer®, to the estimated length of the prefabricated posts, using the technique of vertical compaction with heat, using an Element Obturation Unit® (Sybron Endo®). The cervical third was not obturated to avoid contamination of dentin with the sealing cement, and the coronal cavity was sealed with a cotton pellet and Coltosol®. All the procedures were performed following the directions of manufacturers, according to the protocols reported in the literature.^{22, 23}

Cementation of prefabricated posts

Cementation was performed depending on the group to which each tooth belong and according to the material of the cemented post. Thus, teeth were sorted out in two groups of 15 samples each (table 1).

Tabla 1. Distribución de los dientes que constituyen la muestra por rangos de temperatura

Rangos de temperatura (°C)	Grupo 1 (n = 15)	Grupo 2 (n = 15)
	Dientes premolares a los que se les cementó un poste de titanio Tenax® Endodontic Post System (Coltene®)	Dientes premolares a los que se les cementó un poste de fibra de vidrio Tenax® Fiber Trans (Coltene®)
200	3	3
400	3	3
600	3	3
800	3	3
1.000	3	3

Grupo 1 (postes de titanio Tenax® Endodontic Post System Coltene®):

Se retiró el material de obturación temporal, se preparó y amplió el conducto radicular con fresas Peeso® (Stainless®) 1 y 2, y con fresas correspondientes al calibre del poste prefabricado. Inmediatamente se aplicó al conducto ácido ortofosfórico Scotchbond® al 37% (3M ESPE®) por 15 s, se lavó profusamente con agua por 10 s y se secó con puntas de papel (Dentsply Maillefer®). Posteriormente, se aplicaron dos capas consecutivas de adhesivo Adapter Single Bond 2® (3M ESPE®), secadas durante 5 s y fotocuradas por 10 s con una lámpara LED Elipar S10® (3M ESPE®). Finalmente, se dispensó cemento Relyx TM ARC® (3M ESPE®) sobre un bloque de mezcla y se mezcló, por 10 s, para ser aplicado dentro y alrededor del conducto radicular y en el poste prefabricado mediante una sonda periodontal. El poste se asentó en el conducto radicular y se fotocuró con una lámpara LED Elipar S10® (3M ESPE®), durante 40 s. Se emplearon postes calibre 1 (1,10 mm) y 2 (1,20 mm). Para todos los procedimientos se siguieron las indicaciones de los fabricantes.

Grupo 2 (postes de fibra de vidrio Tenax® Fiber Trans Coltene®)

Se retiró el material de obturación temporal, se preparó y amplió el conducto radicular con fresas Peeso®

Table 1. Distribution of the teeth from the sample by temperature ranges

Temperature ranges (°C)	Group 1 (n = 15)	Group 2 (n = 15)
	Premolar teeth that were cemented a titanium post Tenax® Endodontic Post System (Coltene®)	Premolar teeth that were cemented a fiberglass post Tenax® Fiber Trans (Coltene®)
200	3	3
400	3	3
600	3	3
800	3	3
1000	3	3

Group 1 (Coltene® Tenax® Endodontic Post System titanium posts):

The temporary obturation material was removed and the root canal was prepared and expanded with # 1 and 2 Peeso® burs (Stainless®), as well as with burs corresponding to the caliber of the prefabricated post. The canal was immediately applied Scotchbond® 37% orthophosphoric acid (3M ESPE®) for 15 s, thoroughly washed with water for 10 s, and dried with paper tips (Dentsply Maillefer®). Two consecutive layers of Adapter Single Bond 2® adhesive (3 M ESPE®) were later applied, drying for 5 s and light curing for 10 s with a LED Elipar S10® lamp (3 M ESPE®). Finally, Relyx TM ARC® cement (3M ESPE®) was placed on a mixing block and mixed for 10 s to be applied inside and around the root canal and the prefabricated post using a periodontal probe. The post was fixed on the root canal and photo cured with a LED Elipar S10® lamp (3M ESPE®) for 40 s. Posts with caliber 1 (1.10 mm) and 2 (1.20 mm) were used. All the procedures were performed following the indications of manufacturers.

Group 2 (Coltene® Tenax® Fiber Trans fiberglass posts)

The temporary obturation material was removed and the root canal was prepared and expanded with # 1

(Stainless®) 1 y 2, y con fresas correspondientes al calibre del poste prefabricado. Inmediatamente se aplicó al conducto ácido ortofosfórico Scotchbond® al 37% (3M ESPE®) por 15 s, se lavó profusamente con agua por 10 s y se secó con puntas de papel (Dentsply Maillefer®). Posteriormente se aplicaron dos capas consecutivas de adhesivo Adapter Single Bond 2® (3M ESPE®), secadas durante cinco segundos y fotocuradas, por 10 s, con una lámpara LED Elipar S10® (3M ESPE®). Finalmente, se dispensó cemento Relyx TM ARC® (3M ESPE®) sobre un bloque de mezcla y se mezcló por 10 s, para ser aplicado dentro y alrededor del conducto radicular y en el poste prefabricado, mediante una sonda periodontal. El poste se asentó en el conducto radicular y se fotocuró con una lámpara LED Elipar S10® (3M ESPE®) durante 40 s. Para todos los procedimientos se siguieron las indicaciones de los fabricantes.

Sellado coronal

Una vez cementados los postes, se procedió a sellar la cavidad coronal. Inicialmente se colocó ácido ortofosfórico Scotchbond® al 37% (3M ESPE®) por 30 s, se lavó profusamente con agua y se secó con puntas de papel (Dentsply Maillefer®). Posteriormente se aplicó adhesivo Adapter Single Bond 2® (3M ESPE®) y se fotocuró por 20 s con una lámpara LED Elipar S10® (3M ESPE®). Finalmente, se obturó la cavidad con resina compuesta TPH3® (Dentsply Maillefer®) mediante técnica por incrementos. Para todos los procedimientos se siguieron las indicaciones de los fabricantes. Finalizada la manipulación clínica a los dientes, se les tomó una radiografía convencional con el protocolo explicado previamente.

Aplicación de altas temperaturas

Este procedimiento se realizó con base al protocolo técnico y científico establecido en el Departamento de Odontostomatología de la Universidad de Pavia (Italia),¹⁰ y con base en los estudios realizados en la Escuela de Odontología de la Universidad del Valle (Colombia).²³

and 2 Peeso® (Stainless®) burs, as well as with burs corresponding to the caliber of the prefabricated post. The canal was immediately applied Scotchbond® 37% orthophosphoric acid (3M ESPE®) for 15 s, thoroughly washed with water for 10 s, and dried with paper tips (Dentsply Maillefer®). Two consecutive layers of Adapter Single Bond 2® adhesive (3 M ESPE®) were later applied, dried for 5 s and light cured for 10 s with a LED Elipar S10® lamp (3 M ESPE®). Finally, Relyx TM ARC® cement (3M ESPE®) was placed on a mixing block and mixed for 10 s to be applied inside and around the root canal and the prefabricated post using a periodontal probe. The post was fixed on the root canal and photo cured with a LED Elipar S10® lamp (3M ESPE®) for 40 s. All the procedures were performed following the manufacturers' instructions.

Crown sealing

Once posts had been cemented, the coronal cavity was sealed. Initially, Scotchbond® 37% orthophosphoric acid (3M ESPE®) was applied for 30s, thoroughly washing with water, and drying with paper tips (Dentsply Maillefer®). Adapter Single Bond 2® adhesive (3M ESPE®) was later applied and light cured for 20 s with a LED Elipar S10® lamp (3M ESPE®). Finally, the cavity was obturated with TPH3® composite resin (Dentsply Maillefer®) by the incremental technique. All the procedures were performed following the indications of manufacturers. After clinical manipulation of teeth, they were taken a conventional radiograph using the previously explained protocol.

Application of high temperature

This procedure was carried out following the technical and scientific protocol established in the Department of Odontostomatology of the University of Pavia (Italy),¹⁰ and the studies carried out in the School of Dentistry of Universidad del Valle (Colombia).²³

Una vez realizado el sellado coronal, los dientes se llevaron a bandejas individuales confeccionadas con material de revestimiento refractario (Cera-Fina® Whipmix®) para facilitar su manipulación, y se sometieron al calor directo dentro de un horno tipo mufla (Thermolyne®), previamente calibrado a cinco diferentes rangos de temperatura (200, 400, 600, 800, 1000°C), con una tasa de ascenso de 10°C por minuto, desde una temperatura inicial de 34°C (temperatura ambiente) hasta alcanzar cada uno de los rangos propuestos.

Por ejemplo, se introducen los tres dientes correspondientes al grupo de 200°C, cada uno en su respectiva bandeja, en un rango de temperatura de 34°C a 200°C, se deja enfriar el horno de nuevo a temperatura ambiente y se procede a sacar las bandejas con los dientes. Luego se introducen los tres dientes del grupo 400°C, cada uno en su respectiva bandeja, en un rango de temperatura de 34°C a 400°C, se deja enfriar el horno de nuevo a temperatura ambiente y se procede a sacar las bandejas con los dientes. Así sucesivamente para los grupos de dientes de 600°C, 800°C y 1000°C. El modelo in vitro planteado en este estudio se realiza en un horno y no en flama directa, teniendo en cuenta que en los diferentes reportes de la literatura la temperatura máxima alcanzada es de 1000°C, pico que se alcanza entre los 25 y 30 min, para luego mantenerse aproximadamente entre los 500°C hasta que se consume todo el oxígeno o todo el material orgánico es reducido a carbón (carbonización) o a compuestos de calcio, fosfatos, sílice u otros oligoelementos (incineración).²⁴ Además, este “efecto de mufla” in situ, es lo que comparativamente harían los tejidos periorales, la musculatura facial, el tejido óseo y los tejidos dentales y periodontales.²⁵

Un diente expuesto a altas temperaturas puede sufrir los siguientes cambios: quedar intacto, quemado (cambio de color y formación de fisuras y grietas), carbonizado (reducido a carbón por combustión incompleta), incinerado (reducido a cenizas) y estallado (estallido radicular y coronal). De esta manera, los dientes serán muy frágiles y susceptibles de sufrir alteraciones durante la manipulación de los mismos al momento de ser retirados de las bandejas de revestimiento.

Once crown sealing was completed, the teeth were taken to individual trays made of refractory lining material (Cera-Fina® Whipmix®) to facilitate handling, and were subjected to direct heat in a muffle type oven (Thermolyne®) previously calibrated to five different temperature ranges (200, 400, 600, 800, 1000°C), with an increase rate of 10° C per minute, from an initial temperature of 34° C (room temperature) until reaching each of the proposed ranges.

For example, the three teeth of the 200° C group were put in the oven, each on its respective tray, at a temperature range from 34° C to 200° C, allowing the oven to cool down back to room temperature and removing the trays with teeth. Then the three teeth of the 400° C group were put in the oven, each on its respective tray, at a temperature range from 34° C to 400° C, allowing the oven to cool down back to room temperature and removing the trays with teeth. The same procedure was conducted with teeth from the groups of 600° C, 800° C and 1000° C. The in vitro procedure proposed in this study is done in an oven and not in direct flame, bearing in mind that in different literature reports the maximum temperature reached is 1000° C, a peak that is reached in 25 to 30 min and later remains to approximately 500° C until all the oxygen is consumed or all the organic material is reduced to carbon (carbonization) or compounds of calcium, phosphate, silica, or other mineral nutrients (incineration).²⁴ In addition, this in situ “muffle effect” is what perioral tissues, facial musculature, bone tissue, and dental and periodontal tissues would comparatively do.²⁵

A tooth exposed to high temperatures may undergo the following changes: stay intact, or become burned (color change and formation of fissures and cracks), carbonized (reduced to carbon by incomplete combustion), incinerated (reduced to ashes) or burst (root and crown explosion). Therefore, the teeth will be very fragile and susceptible to alterations during handling at the time of removing them from the lining trays.

Por tal razón, cuando se encuentren a temperatura ambiente, los dientes serán rociados con laca para el cabello con el fin de fijarlos estructuralmente sin alterar o generar cambios en su microestructura.²⁵

Posteriormente, los dientes fueron embebidos en resina acrílica transparente (New Esthetic®) y se les tomó una radiografía convencional con el protocolo explicado previamente.

Observación

El análisis radiográfico se realizó comparando la radiografía inicial de los dientes, con la radiografía al finalizar las pruebas clínicas y con la radiografía posterior del sometimiento a altas temperaturas. Se colocaron las radiografías en un negatoscopio para ser observadas con ayuda de una lupa de abrazadera de diez aumentos. Se tuvo como referencia la temperatura a la que fue sometido cada espécimen, los cambios radiográficos compatibles con fisuras, grietas, fracturas y fragmentación, de acuerdo a los cambios en aspectos como la densidad (radio opacidad y radio lucidez), límites, tamaño y forma de las diferentes estructuras.

RESULTADOS

Tejidos dentales

En los especímenes sometidos a 200°C se observó la superficie del esmalte irregular con pequeñas líneas radio lúcidas compatibles con fisuras, que comprometen el esmalte y la dentina de forma independiente (figura 1). A 400°C se observó pérdida de la densidad del esmalte y un patrón irregular de fisuras en toda su superficie. La dentina presentó una red de líneas radio lúcidas compatibles con micro-fracturas, líneas longitudinales radio lúcidas compatibles con grietas que incluyen el esmalte y la dentina, y una banda radio lúcida discontinua entre estos dos tejidos, compatible con la separación del esmalte a nivel de la unión amelo-dentinaria. Si bien este cambio se observó en todos los especímenes de este grupo, la extensión varió en sentido coronal (figura 2).

For this reason, once they are at room temperature the teeth will be covered with hairspray in order to structurally fix them without altering or changing their microstructure.²⁵

The teeth were later embedded in transparent acrylic resin (New Esthetic®) and taken a conventional radiograph with the previously explained protocol.

Observation

The radiographic analysis was done by comparing the teeth's initial radiograph with the radiograph taken at the end of the clinical trials and the one taken after exposure to high temperatures. The radiographs were placed on a negatoscope to be observed with the help of a 10 x amplification magnifying glass. The following items were taken as reference: the temperature to which each sample was subjected, the radiographic changes compatible with fissures, cracks, fractures and fragmentation, according to changes in aspects such as density (radiopacity and radiolucency), limits, size and shape of the various structures.

RESULTS

Dental tissues

The samples subjected to 200 °C showed irregular enamel with small radiolucent lines compatible with fissures involving both enamel and dentin independently (figure 1). The samples subjected to 400 °C showed loss of enamel density and an irregular pattern of fissures in the entire surface. The dentin suffered a network of radiolucent lines compatible with micro-fractures, longitudinal radiolucent lines compatible with cracks affecting enamel and dentin, and a discontinuous radiolucent band between these two tissues, compatible with the separation of enamel at the amelodentinal junction. Although this change occurred in all the samples from this group, the extension varied in coronal direction (figure 2).

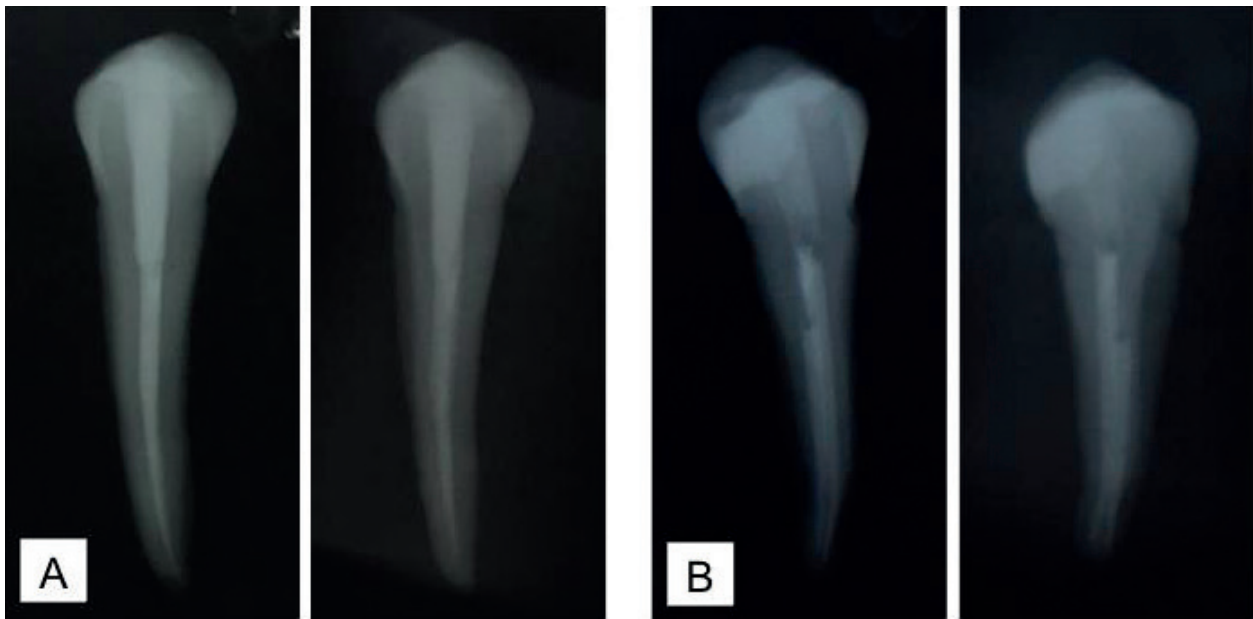


Figura 1. A. Diente con poste de titanio, antes y después de ser sometido a 200°C. B. Diente con poste de fibra de vidrio, antes y después de ser sometido a 200°C

Figure 1. A. Tooth with a titanium post before and after being subjected to 200 °C. B. Tooth with a fiberglass post before and after being subjected to 200 °C

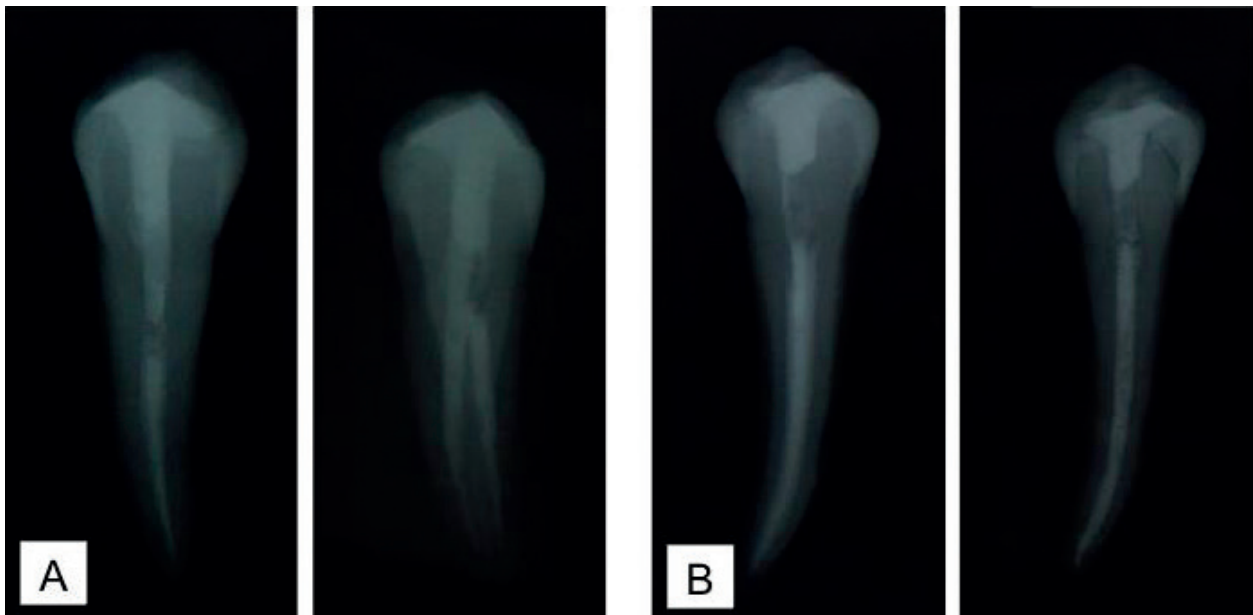


Figura 2. A. Diente con poste de titanio, antes y después de ser sometido a 400°C. B. Diente con poste de fibra de vidrio, antes y después de ser sometido a 400°C

Figure 2 A. Tooth with a titanium post before and after being subjected to 400 °C. B. Tooth with a fiberglass post before and after being subjected to 400 °C

A los 600°C el esmalte se apreció con mayor pérdida de densidad, lo cual le confiere un aspecto rugoso a la superficie, debido a una red de líneas radio lúcidas compatibles con micro-fracturas. De igual forma, en el esmalte se observaron líneas longitudinales radio lúcidas en toda su extensión, que se continuaron con la dentina y que lo fragmentaron en varios tramos. Asimismo, la dentina presentó innumerables líneas radio lúcidas compatibles con grietas que cursaron en diferentes direcciones. Entre el esmalte y la dentina se identificó una amplia banda radio lúcida continua, que corresponde con la separación del esmalte a nivel de la unión amelo-dentinaria, más evidente en los tercios cervicales coronales (figura 3).

At 600° C the enamel experienced greater density loss, which provides the surface with a rugged appearance due to a network of radiolucent lines compatible with micro-fractures. Similarly, the enamel showed longitudinal radiolucent lines in its entirety, which continued through the dentin and fragmented it in several sections. Likewise, the dentin showed countless radiolucent lines compatible with cracks in different directions. A broad continuous radiolucent band was observed between the enamel and the dentin, corresponding with the separation of the enamel at the amelodentinal junction, and which is more evident in the cervical coronal thirds (figure 3).

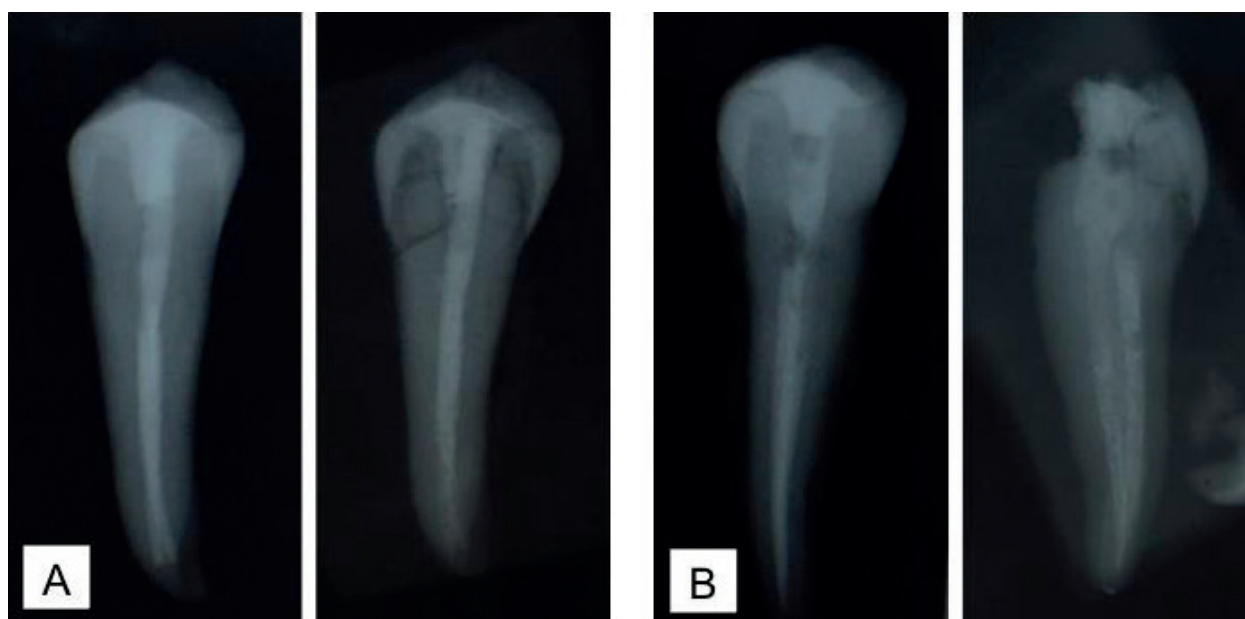


Figura 3. A. Diente con poste de titanio, antes y después de ser sometido a 600°C. B. Diente con poste de fibra de vidrio, antes y después de ser sometido a 600°C

Figure 3. A. Tooth with a titanium post before and after being subjected to 600 °C. B. Tooth with a fiberglass post before and after being subjected to 600 °C

A los 800°C el esmalte perdió continuidad por la presencia de innumerables fracturas que alteraron su integridad estructural, de tal forma que, en dos especímenes, no se observaron rastros del esmalte. La dentina coronal y radicular resultó invadida por líneas radio lúcidas

At 800 °C the enamel lost continuity due to the presence of countless fractures that altered its structural integrity, in such a way that in two samples there were no traces of enamel. The coronal and radicular dentin was invaded by radiolucent lines

compatibles con fracturas, que se dirigen en todos los sentidos. En los especímenes que retuvieron fragmentos de esmalte, se evidenció una amplia banda radio lúcida que separa ambos tejidos a nivel de la unión amelo-dentinaria (figura 4). Finalmente, a los 1000°C, los especímenes experimentaron estallido coronal debido a la fragmentación de la dentina. Sin embargo, algunos especímenes mantuvieron la integridad de la dentina coronal, pero perdieron totalmente el esmalte debido a su separación a nivel de unión amelo-dentinaria y posterior fragmentación. En la dentina coronal remanente se apreció un entramado de líneas radio lúcidas compatibles con micro-fracturas (figura 5, tabla 2).

compatible with fractures oriented in all directions. The samples that retained fragments of enamel showed a wide radiolucent band that separates both tissues at the amelodentinal junction (figure 4). Finally, at 1000° C the samples experienced coronal burst due to dentin fragmentation. However, some samples maintained the integrity of coronal dentin but completely lost the enamel due to their separation at the amelodentinal junction and subsequent fragmentation. The remnant coronal dentin showed a network of radiolucent lines compatible with micro-fractures (figure 5, table 2).

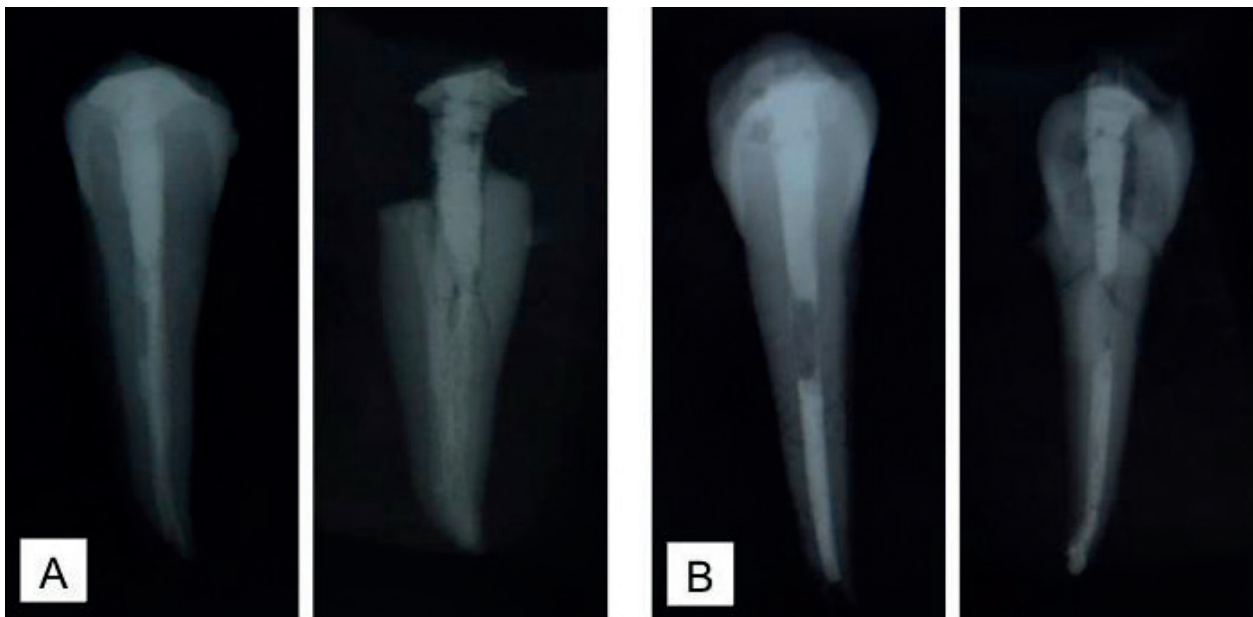


Figura 4. A. Diente con poste de titanio, antes y después de ser sometido a 800°C. B. Diente con poste de fibra de vidrio, antes y después de ser sometido a 800°C

Figure 4. A. Tooth with a titanium post before and after being subjected to 800 °C. B. tooth with a fiberglass post before and after being subjected to 800 °C



Figura 5. A. Diente con poste de titanio, antes y después de ser sometido a 1.000°C. B. Diente con poste de fibra de vidrio, antes y después de ser sometido a 1.000°C

Figure 5. A. Tooth with a titanium post before and after being subjected to 1000 °C. B. Tooth with a fiberglass post before and after being subjected to 1000 °C

Tabla 2. Cambios radiográficos asociados a los postes

Temperatura	Poste	Corona	Raíz
200°	Metálico	No se observan cambios significativos en la integridad de la corona y de la raíz. El poste metálico se observa radiopaco intacto	Cambio en la densidad radiográfica de la obturación endodóntica en tercio medio radicular (menos radiopaco)
200°	Fibra de vidrio	No se observan cambios significativos en la integridad de la corona y de la raíz	Cambio en la densidad radiográfica de la obturación endodóntica en tercio medio radicular
400°	Metálico	No se observan cambios significativos en la integridad de la corona y de la raíz. Se observa imagen radio lúcida, entre el esmalte y la dentina, concordante con la separación de ambos tejidos, debido a fracturas internas	Cambio en la densidad radiográfica de la obturación endodóntica en tercio medio radicular. Se observa integridad del perno y endodoncia. Imágenes radio lúcidas en el interior del conducto por pérdida del material de obturación endodóntica
400°	Fibra de vidrio	Se observa imagen radio lúcida entre el esmalte y la dentina, concordante con la separación de ambos tejidos, debido a fracturas internas. No se observan cambios significativos en la integridad de la corona y de la raíz	Cambio en la densidad radiográfica de la obturación endodóntica en tercio medio y apical radicular
600°	Metálico	Se observan fisuras a nivel coronal en dentina. Se observa imagen radio lúcida entre el esmalte y la dentina, concordante con la separación de ambos tejidos, debido a fracturas internas	Cambio en la densidad radiográfica de la obturación endodóntica en tercio medio y apical radicular
600°	Fibra de vidrio	Se observa fractura coronal y posible desalojo del poste	Imágenes radio lúcidas en el interior del conducto por pérdida del material de obturación endodóntica
800°	Metálico	Se observa fractura coronal con desalojo de la misma y desprendimiento del poste. Se observa imagen radio lúcida entre el esmalte y la dentina, concordante con la separación de ambos tejidos debido a fracturas internas	Imágenes radio lúcidas en el interior del conducto por pérdida del material de obturación endodóntica

Tabla 2. Continuación

Temperatura	Poste	Corona	Raíz
800°	Fibra de vidrio	Se observa fractura coronal con desalojo de la misma y desprendimiento del poste. Se observa imagen radio lúcida entre el esmalte y la dentina, concordante con la separación de ambos tejidos, debido a fracturas internas	Lumen de conducto radio lúcido, aparente pérdida de material de obturación endodóntica. Se observa desplazamiento de la gutapercha hacia apical, imágenes radio lúcidas en el interior del conducto por pérdida del material de obturación endodóntica
1000°	Metálico	Fractura coronal con desprendimiento de la misma y fractura radicular. Se observa integridad del poste metálico	Imágenes radio lúcidas en el interior del conducto por pérdida del material de obturación endodóntica
1000°	Fibra de vidrio	Se observa fractura coronal sin desalojo de la misma y fisuras en la raíz. Se observa imagen radio lúcida entre el esmalte y la dentina, concordante con la separación de ambos tejidos debido a fracturas internas	Imágenes radio lúcidas en el interior del conducto por pérdida del material de obturación endodóntica

Table 2. Radiographic changes associated with the posts

Temperature	Post	Crown	Root
200°	Metallic	No significant changes are observed in the integrity of both crown and root. The metal post appears radiopaque intact	There is a change in radiographic density of the endodontic obturation at the root third half (less radiopaque)
200°	Fiberglass	No significant changes are observed in the integrity of both crown and root	There is a change in radiographic density of the endodontic obturation at the root third half
400°	Metallic	No significant changes are observed in the integrity of both crown and root. The image is radiolucent between enamel and dentin, corresponding to the separation of both tissues due to internal fractures	There is a change in radiographic density of the endodontic obturation at the root third half. There is integrity of both pin and root canal treatment. Images are radiolucent inside the canal due to loss of endodontic obturation material
400°	Fiberglass	The image is radiolucent between enamel and dentin, corresponding to the separation of both tissues due to internal fractures. No significant changes are observed in the integrity of both crown and root	There is a change in radiographic density of the endodontic obturation at the root middle third and apical
600°	Metallic	There are fissures on crown dentin. The image is radiolucent between enamel and dentin, corresponding to the separation of both tissues due to internal fractures	There is a change in radiographic density of the endodontic obturation at the root middle and apical thirds
600°	Fiberglass	There is coronal fracture and possible dislocation of the post	Images are radiolucent inside the canal due to loss of endodontic obturation material
800°	Metallic	There is coronal fracture and dislocation plus post detachment. The image is radiolucent between enamel and dentin, corresponding to the separation of both tissues due to internal fractures	Images are radiolucent inside the canal due to loss of endodontic obturation material
800°	Fiberglass	There is coronal fracture and dislocation plus post detachment. Image is radiolucent between enamel and dentin, corresponding to the separation of both tissues due to internal fractures	There is radiolucent canal lumen and apparent loss of endodontic obturation material. There is displacement of the gutta-percha towards apical, and radiolucent images inside the canal due to loss of endodontic obturation material
1000°	Metallic	There is coronal fracture and detachment plus root fracture. There is integrity of the metal post	Images are radiolucent inside the canal due to loss of endodontic obturation material
1000°	Fiberglass	There is coronal fracture without dislocation of it and root cracks. The image is radiolucent between enamel and dentin, corresponding to the separation of both tissues due to internal fractures	Images are radiolucent inside the canal due to loss of endodontic obturation material

Postes prefabricados

En los especímenes sometidos a 200°C no se observaron cambios significativos y los postes (metálico y de fibra de vidrio) se apreciaron radiográficamente intactos (figura 1). A 400 °C aparecieron imágenes radiolúcidas entre la dentina y el poste, asociadas a pérdida del material

Prefabricated posts

No significant changes were observed in samples subjected to 200°C and their posts (both metallic and fiberglass) were radiographically intact (figure 1). At 400° C the images are radiolucent between dentin and post due to loss of the material

empleado en la cementación del núcleo. Del mismo modo, se observó cambio en la densidad radiográfica en los tercios medio y apical, asociados a pérdida del material de obturación endodóntica (figura 2). A los 600°C, se evidenciaron cambios en la densidad radiográfica de la obturación endodóntica en los tercios medio y apical, e imágenes radio lúcidas en el interior del conducto, por pérdida del material de obturación endodóntica (figura 3). Finalmente, a los 800 y 1000°C, las imágenes radio lúcidas fueron mucho más evidentes en el interior del conducto, asociadas a separación de los postes por pérdida de los materiales empleados para cementarlos, al igual que pérdida del material de obturación endodóntica. No se observaron cambios compatibles con la alteración estructural de los postes (figuras 4 y 5, tabla 2).

DISCUSIÓN

Diferentes autores han reportado la importancia de la radiografía intra y extra oral como métodos de identificación odontológica, a partir del análisis de diferentes estructuras radio lúcidas y radio opacas que constituyen los dientes,^{26, 27} además de los biomateriales dentales, específicamente los de uso en los tratamientos endodónticos, los cuales han sido empleados para guiar y documentar procesos de identificación odontológica forense, en el caso de cadáveres quemados, carbonizados e incinerados.²⁸

Esto fue demostrado por Savio y colaboradores,¹¹ quienes sometieron a altas temperaturas (200, 400, 600, 800, 1000 y 1100°C) dientes humanos para describir los cambios radiográficos. Los autores analizaron los tejidos dentales a partir de radiografías periapicales convencionales, considerando los criterios de forma, dimensiones y relaciones entre radiopacidad y radiolucidez. De esta forma, los tejidos dentales a 200°C no presentaron cambios radiográficos significativos, mientras que a 400°C se observaron una serie de líneas radiolúcidas en la dentina coronal compatibles con fisuras y fracturas.

A 600°C, en algunos especímenes, se observó la separación del esmalte fragmentado de la dentina (una amplia

used in cementation of the nucleus. Similarly, there was a change in the radiographic density of the middle and apical thirds, associated with loss of endodontic obturation material (figure 2). At 600° C there were changes in the radiographic density of the endodontic obturation at the mid and apical thirds, and radiolucent images inside the canal due to loss of endodontic obturation material (figure 3). Finally, at 800 and 1000° C, the radiolucent images were much more evident inside the canal, associated with separation of the posts due to loss of the materials used for cementation, as well as loss of endodontic obturation material. There were no changes consistent with the structural alteration of the posts (figures 4 and 5, table 2).

DISCUSSION

Several authors have reported the importance of intra- and extra-oral radiography as identification methods in dentistry, based on the analysis of different radiolucent and radiopaque structures in teeth,^{26, 27} in addition to dental biomaterials, specifically those used in endodontic treatments, which have been used to guide and document processes of forensic dental identification in cases of burned, charred, or incinerated corpses.²⁸

This was demonstrated by Savio et al,¹¹ who subjected human teeth to high temperatures (200, 400, 600, 800, 1000 and 1100° C) to describe radiographic changes. The authors analyzed dental tissues using conventional periapical radiographs, including criteria such as shape, dimensions, and relationships between radiopacity and radiolucidity. This way, dental tissues had no radiographic changes at 200° C, while at 400° C there was a series of radiolucent lines compatible with fissures and fractures in coronal dentin.

At 600° C, some samples showed separation of the fragmented enamel from dentine (a wide

banda radiolúcida entre ambos tejidos, compatible con la unión amelo-dentinaria) y una red de líneas radiolúcidas compatibles con un patrón reticular de fisuras. A los 800°C, la corona de los dientes se observó fragmentada, y después de los 1000°C los dientes se observaron fragmentados y los tejidos dentales con fisuras y fracturas en todos los sentidos. Finalmente, los autores concluyeron que el patrón de fisuras y fracturas es progresivo conforme aumenta la temperatura, lo cual, en las temperaturas más altas, ocasiona la fragmentación de los tejidos dentales y la separación del esmalte de la dentina. Todos estos cambios en los tejidos dentales (esmalte y dentina) concuerdan con lo reportado en este estudio.

Si bien este tipo de estudios in vitro evidencia que los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico tienen gran resistencia a la acción de las altas temperaturas y presentan cambios específicos en cada rango de temperatura a los que fueron sometidos, se debe tener en cuenta que, in vivo, estos cambios pueden variar según factores extrínsecos como el tiempo de exposición al ataque térmico, naturaleza de la causa del fuego, participación de sustancias combustibles, curva de elevación de la temperatura y sustancias empleadas para extinguir el fuego. Y factores intrínsecos, como el coeficiente térmico de expansión de los tejidos y los materiales, además del punto de fusión de estos últimos.^{3, 4}

De igual forma, en este estudio se pudo observar y describir, a través de las radiografías, uno de los cambios más característicos de los tejidos dentales, como es el estallido del esmalte en la región cervical y el posterior desprendimiento de la corona del resto del diente, justo en la interfase de la unión amelo-dentinaria. Este fenómeno sucede porque la dentina, con un alto contenido orgánico y 12% de agua, se contrae por la deshidratación al ser sometido a altas temperaturas, lo que le confiere cierto grado de resistencia respecto al esmalte,²⁹ el cual tiene un alto contenido inorgánico (de 96% a 99%), representado en una estructura mineral conformada por gran cantidad de fosfato de calcio en forma de cristales de apatita,³⁰ lo que hace que este tejido, al ser sometido a altas temperaturas, pierda el poco contenido de agua y la matriz de colágeno, ocasionando una

radiolucent band between both tissues, compatible with the amelodentinal junction) as well as a network of radiolucent lines compatible with a reticulate pattern of fissures. At 800° C, teeth crowns were fragmented and after 1000° C the teeth were fragmented and the dental tissues had fissures and fractures in all directions. Finally, the authors concluded that the pattern of cracks and fractures is progressive as temperature increases, which means that higher temperatures result in fragmentation of dental tissues and separation of enamel from dentin. All of these changes in dental tissues (enamel and dentin) are consistent with those reported in the present study.

Although such in vitro studies prove that dental tissues and materials are highly resistant to the action of high temperatures and show specific changes in each temperature range to which they were subjected, it should be noted that these changes may vary in vivo due to extrinsic factors such as time of exposure to heat, nature of the cause of fire, participation of flammable substances, curve of temperature elevation, and substances used to extinguish the fire. Intrinsic factors should also be considered, such as the thermal expansion coefficient of tissues and materials, as well as their melting point.^{3, 4}

Similarly, by means of x-rays the present study allowed observing and describing one of the most characteristic changes of dental tissues: enamel burst in the cervical region followed by coronal detachment from the rest of the tooth, right at the interface of the amelodentinal junction. This phenomenon occurs because dentine, having a high organic content and 12% water, shrinks due to dehydration when subjected to high temperatures; it is then provided with some degree of resistance compared to the enamel,²⁹ which has a high inorganic content (from 96% to 99%), represented in a mineral structure formed by a large amount of calcium phosphate in the form of apatite crystals,³⁰ which means that, once subjected to high temperatures, this tissue loses its low content of water and collagen matrix, causing a

fuerte contracción y, en consecuencia, aparecen fisuras, grietas y fracturas, lo que le genera un aspecto cuarteado.

Es esta discrepancia en el comportamiento de los tejidos, respecto a su estabilidad dimensional, la que ocasiona que en el tercio cervical el esmalte se fracture a los 200°C, que se separe de la dentina a partir de los 400°C y que, finalmente, se desprenda la corona a manera de un casquete, una vez la dentina se carboniza y reduce considerablemente el volumen radicular desde los 800°C.^{14,31,32} Todos estos cambios fueron reportados en los estudios de Günther y Schmidt, citados por Röttscher y colaboradores,³³ Merlati y colaboradores¹⁰ y Moreno y colaboradores.¹⁴

En cuanto a las fisuras, grietas, aspecto cuarteado y fracturas de los tejidos dentales, a partir de los 400 °C surgen fisuras en el esmalte y en el cemento que, a los 600°C, conforman grietas que se profundizan hasta la dentina coronal y radicular respectivamente, lo cual se puede evidenciar en las imágenes radio lúcidas, y que, a partir de los 800°C, pueden generar fracturas radiculares en algunos dientes. Este patrón de fisuras y grietas, longitudinales y transversales que se observan en las radiografías, corresponde a los cambios en la superficie del esmalte y el cemento, los cuales adquieren un aspecto cuarteado o craquelado que desaparece con la fragmentación del esmalte y la incineración del cemento a los 1000°C, tal como lo describieron Merlati y colaboradores¹⁰ y Moreno y colaboradores.¹⁴

Cambios en los materiales dentales

En cuanto a la resina compuesta con la cual se hizo la obturación coronal, lo que más llama la atención es la desadaptación gradual asociada al aumento de la temperatura, lo cual se hace evidente por la aparición de imágenes radio lúcidas entre el material y la dentina. Cambios similares fueron reportados por Merlati y colaboradores¹⁰ y Moreno y colaboradores.¹⁴

Dentro de los materiales de obturación del tratamiento endodóntico, no se encontraron reportes en la literatura que discutan el comportamiento de los cementos

sharp contraction and therefore fissures, cracks, and fractures, resulting in a cracked appearance.

This discrepancy in the behavior of tissues with respect to their dimensional stability is what causes that in the cervical third, enamel cracks at 200° C, that it separates from the dentin starting at 400° C and that, finally, the crown detaches as a cap, once dentin carbonizes and considerably reduces root volume starting at 800° C.^{14, 31, 32} All these changes were reported in the studies by Günther and Schmidt, cited by Röttscher et al.,³³ Merlati et al.,¹⁰ and Moreno et al.¹⁴

As for fissures, cracks, cracked appearance, and fractures of the dental tissues, starting at 400° C there are fissures in enamel and cement that from 600° C produce cracks that deepen up to the coronal and radicular dentin respectively, as observed in the radiolucent images, and starting at 800°C can generate root fractures in some teeth. This pattern of longitudinal and transversal fissures and cracks shown in radiographs corresponds to changes in the surface of enamel and cement, which acquires a chopped or cracking appearance that disappears with the fragmentation of enamel and the incineration of cement at 1000° C, as described by Merlati et al.¹⁰ and Moreno et al.¹⁴

Changes in dental materials

In terms of the composite resin used for coronal seal, what is most striking is the gradual maladaptation associated to temperature increase, which becomes evident by the emergence of radiolucent images between material and dentin. Similar changes were reported by Merlati et al.¹⁰ and Moreno et al.¹⁴

In terms of endodontic obturation materials, we did not find literature reports discussing the behavior of the endodontic cements

endodónticos empleados en este estudio. Por lo tanto, la discusión se centra en la gutapercha. Este material termoplástico se caracteriza por tener una consistencia blanda entre los 25°C y 30°C, y fluida a partir de los 60°C, características que se pueden observar *in vitro*. Sin embargo, López y colaboradores²⁸ indicaron que, *in vivo*, la gutapercha es capaz de resistir temperaturas externas elevadas, lo cual concuerda con este estudio, en el cual la gutapercha, aún incinerada, puede diferenciarse de los tejidos dentales dentro del conducto radicular a los 800°C. Otro aspecto interesante de la gutapercha es que en el estudio de Moreno y colaboradores¹⁴ se reportaron un mayor número de fracturas y estallidos radiculares en dientes que no fueron tratados endodónticamente, situación que no sucedió en este estudio, por lo cual se puede inferir que la gutapercha, dentro del conducto, puede brindar solidez estructural a los tejidos dentales carbonizados e incinerados, situación que ocurrió de igual forma en el estudio de Savio y colaboradores.¹¹

Postes prefabricados

No se encontraron reportes en la literatura que describan el comportamiento de estos elementos cementados en dientes sometidos a altas temperaturas; sin embargo, se pudo determinar que los postes tienen gran resistencia, observando que los dientes a los que se les cementaron los postes de titanio sufrieron, en determinado momento, una mayor expansión térmica, lo cual explica la mayor cantidad de fisuras transversales y el estallido radicular de algunos especímenes, mientras que los postes de fibra de vidrio se incineraron, prácticamente, desde los 800°C, y no influyeron en el comportamiento de las raíces de los dientes.

Cemento para postes a base de resina

No resultó posible observar cambios en el material de obturación en todas las radiografías; sin embargo, desde los 600°C fue posible observar imágenes radio lúcidas entre los postes y la dentina radicular compatibles con pérdida estructural del cemento a base de resina, lo cual

used in our study. Therefore, the discussion focuses on gutta-percha. This thermoplastic material is characterized by a soft consistency between 25° C and 30° C, and a fluid consistency from 60° C and above—features that can be observed *in vitro*—. However, López et al²⁸ pointed out that, *in vivo*, gutta-percha is able to resist external heat, which agrees with this study, where gutta-percha can be differentiated from dental tissues inside the root canal even if it is incinerated at 800° C. Another interesting aspect of gutta-percha is that Moreno et al¹⁴ reported a greater number of fractures and root bursts on teeth that were not endodontically treated, a situation that did not happen in this study, so one can infer that gutta-percha, inside the canal, can provide structural strength to charred and incinerated dental tissues, as happened in the study by Savio et al.¹¹

Prefabricated posts

No reports were found in the literature describing the behavior of these cemented elements on teeth subjected to high temperatures; however, it was determined that the posts are highly resistant, noting that teeth that had titanium posts cemented suffered greater thermal expansion at some point, which explains the greater amount of transverse cracks and root burst in some samples, while fiberglass posts practically incinerated starting at 800° C, and did not influence the behavior of roots.

Cement for resin posts

It was not possible to observe obturation material changes in all the radiographs; however, it was possible to observe radiolucent images between posts and dentin roots, compatible with structural loss of resin cement, which was described by

fue descrito a través de estereomicroscopía por Aramburo y colaboradores,¹⁵ y de microscopía electrónica de barrido por Moreno y Mejía.¹⁷

CONCLUSIONES

Tanto los tejidos dentales (esmalte, dentina y cemento) como los postes prefabricados tenidos en cuenta en este estudio, evidenciaron una serie de cambios radiográficos específicos en cada rango de temperatura descritos, por lo cual su comportamiento, en términos de radio lucidez y radio opacidad, brinda información sobre el máximo grado de temperatura que se pudo alcanzar. Del mismo modo, los postes prefabricados de titanio y de fibra de vidrio tuvieron alta resistencia a las altas temperaturas, razón por la cual pueden ser empleados en procesos de identificación durante el cotejo ante-postmortem, con ayuda de radiografías para el caso de cadáveres o restos humanos quemados, carbonizados e incinerados. Por tanto, los resultados de este estudio evidenciaron que el conocimiento del comportamiento de los tejidos dentales y los materiales de uso odontológico a la acción de altas temperaturas, resulta de gran importancia para la odontología forense durante los procesos de identificación y documentación de necropsia médico-legal de un individuo, cuyo cadáver o restos hayan resultado quemados, carbonizados o incinerados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio Docente de Obtención y Análisis de Imágenes de la Universidad del Valle por la asesoría prestada durante el análisis de la muestra. Esta investigación fue desarrollada durante el Programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” Colciencias y la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle, 2012-2013.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

stereomicroscopy by Aramburo et al,¹⁵ and by scanning electron microscopy by Moreno and Mejía.¹⁷

CONCLUSIONS

Both dental tissues (enamel, dentin and cement) and the prefabricated posts evaluated in this study showed a series of specific radiographic changes in each described temperature range, so their behavior, in terms of radiopacity and radiolucency, provides information on the maximum degree of temperature that can be reached. Similarly, prefabricated titanium and fiberglass posts showed high resistance to high temperatures, and therefore they can be used in identification processes during ante-post mortem comparison, with the help of radiographs, in the case of corpses or burned, charred, or incinerated human remains. The results of the present study showed that being familiar with the behavior of dental tissues and materials to the action of high temperatures is of great importance to forensic dentistry during the processes of identification and documentation of medico-legal autopsy of an individual whose dead body or remains have been burned, charred or incinerated.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Universidad del Valle Laboratory of Image Collection and Analysis for the advice provided during the analysis of the sample. This research project was conducted as part of the Colciencias Program of Young Researchers and Innovators “Virginia Gutiérrez de Pineda” and the Universidad del Valle Vice Presidency for Research, 2012-2013.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare having no conflict of interest.

CORRESPONDENCIA

Herney Garzón
Escuela de Odontología
Facultad de Salud
Universidad del Valle
Cali, Colombia
Correo Electrónico: herneygarzon@hotmail.com

CORRESPONDING AUTHOR

Herney Garzón
School of Dentistry
School of Health
Universidad del Valle
Cali, Colombia
E-mail: herneygarzon@hotmail.com

REFERENCIAS/ REFERENCES

1. Andersen L, Juhl M, Solheim T, Borrmann H. Odontological identification of fire victims - potentialities and limitations. *Int J Legal Med* 1995; 107: 229-234.
2. Toribio L, Rivero M. Método para la estimación del número de enterramiento en un sitio funerario. *Rev Cub Estomatol* 1996; 33: 53-59.
3. Norrlander AL. Burned and incinerated remains. En: Bowers CM, Bell GL Editors. *Manual of forensic odontology*. 3.^a ed. Colorado Springs: American Society of Forensic Odontology; 1997.
4. Marín L, Moreno F. Odontología forense: identificación odontológica de individuos quemados, reporte de dos casos. *Rev Estomat* 2004; 12: 57-70.
5. Sweet D. Forensic dental identification. *Forensic Sci Int* 2010; 201: 3-4.
6. American Board of Forensic Odontology ABFO. Body identification guidelines. *J Am Dent Assoc* 1994; 125: 1244-1254.
7. Marín L, Moreno F. Odontología forense: identificación odontológica, reporte de casos. *Rev Estomatol* 2003; 11: 41-49.
8. Colombia. Congreso de la República. Ley 38 del 15 de Enero de 1993 por la cual se unifica el sistema de dactiloscopia y se adopta la Carta Dental para fines de identificación. *Diario Oficial de la República de Colombia*, N.º 40724.
9. Merlati G, Danesino P, Savio C, Fassina G, Osculati A, Menghini P. Observations of dental prostheses and restorations subjected to high temperatures: experimental studies to aid identification processes. *J Forensic Odontostomatol* 2002; 20: 17-24.
10. Merlati G, Savio C, Danesino P, Fassina G, Menghini P. Further study of restored and un-restored teeth subjected to high temperatures. *J Forensic Odontostomatol* 2004; 22: 34-39.
11. Savio C, Merlati G, Danesino P, Fassina G, Menghini P. Radiographic evaluation of teeth subjected to high temperatures: experimental study to aid identification processes. *Forensic Sci Int* 2006; 158: 108-116.
12. Bush MA, Bush PJ, Miller RG. Detection and classification of composite resins in incinerated teeth for forensic purposes. *J Forensic Sci* 2006; 51: 636-642.
13. Brandão RB, Martin CC, Catirise AB, de Castro E Silva M, Evison MP, Guimarães MA. Heat induced changes to dental resin composites: a reference in forensic investigations? *J Forensic Sci* 2007; 52: 913-919.
14. Moreno S, León M, Marín L, Moreno F. Comportamiento in vitro de los tejidos dentales y de algunos materiales de obturación dental sometidos a altas temperaturas con fines forenses. *Colomb Med* 2008; 39: 28-46.
15. Aramburo J, Zapata A, Zúñiga S, Moreno F. Análisis estereomicroscópico de materiales dentales de uso en endodoncia sometidos a altas temperaturas. *Rev Estomat* 2011; 19: 8-15.
16. Vázquez L, Rodríguez P, Moreno F. Análisis macroscópico in vitro de los tejidos dentales y de algunos materiales dentales de uso en endodoncia, sometidos a altas temperaturas con fines forenses. *Rev Odont Mex* 2012; 16: 171-181.
17. Moreno F, Mejía C. Análisis a través de microscopía electrónica de barrido de dos dientes con tratamiento endodóncico sometidos a altas temperaturas. Estudio piloto. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2011; 23: 22-36.

18. Colombia. Ministerio de la Protección Social. Resolución 008430 de 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Diario Oficial 46506 (Oct. 4 1993).
19. Asociación Médica Mundial. Declaración de Helsinki. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. [Internet]. [Consultado 2013 Jul 31]. Disponible en: <http://www.wma.net/es/30publications/10policies/b3/>
20. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Materiales odontológicos: ensayo de la adhesión a la estructura dental. Bogotá: ICONTEC 4882; 2000.
21. International Organization of Standardization. Dental materials: testing of adhesion to tooth structure. Ginebra: ISO/TS 11405; 2003.
22. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, Yancich PP, Parker MH. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *J Endod* 2005; 31: 37-39.
23. Berutti E, Chiandussi G, Paolino DS, Scotti N, Cantatore G, Castellucci A et al. Canal shaping with WaveOne Primary reciprocating files and ProTaper system: a comparative study. *J Endod* 2012; 38: 505-509.
24. Symes SA, Dirkmaat DC, Ousley S, Chapman E, Cabo L. Recovery and interpretation of burned human remains. US Department of Justice Office of Justice Programs United States of America. [Internet] Rockville; 2012 [Consultado 2014 Abr 29]. Disponible en: <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/237966.pdf>
25. Delattre VF. Burned beyond recognition: systematic approach to the dental identification of charred human remains. *J Forensic Sci* 2000; 45:589-596.
26. McKenna CJ. Radiography in forensic dental identification-a review. *J Forensic Odontostomatol* 1999; 17: 47-53.
27. Thimmarasa VB, Parvathi D, Jayadev S, Vishal M, Manas G. Role of dentomaxillofacial radiography in forensic odontology: a review. *Journal of Oral Sign* 2010; 2: 24-28.
28. López J, Arimany J, Prieto L, Fontaret J, Martínez M. Importancia de la endodoncia en la identificación de cadáveres carbonizados. A propósito de un caso. En: Departamento de Justicia de Cataluña, Eds. Tercera Jornada Catalana de Actualización en Medicina Forense: Barcelona: Departamento de Justicia de Cataluña; 1995. p. 215-224.
29. Torneck CD. El complejo pulpodentinario. En: Ten Cate AR, Editor. *Histología oral: desarrollo, estructura y función*. 2.^a ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1986. p. 190-235.
30. Eisenmann DR. Estructura del esmalte. En: Ten Cate AR, Editor. *Histología oral: desarrollo, estructura y función*. 2.^a ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1986. p. 252-273.
31. Espina A, Barrios F, Ortega A, Mavárez M, Espina O, Ferreira J. Cambios estructurales en los tejidos dentales duros por acción del fuego directo, según edad cronológica. *Cien Odontol* 2004; 1: 38-51.
32. Moreno S, Merlati G, Marín L, Savio C, Moreno F. Effects of high temperatures on different dental restorative systems: experimental study to aid identification processes. *J Forensic Dent Sci* 2009; 1: 17-23.
33. Röttscher K, Grundmann C, Benthaus S. The effects of high temperatures on human teeth and dentures. *Int Poster J Dent Oral Med* 2004; 6: Poster 213.