

Descripción Metalográfica de implantes de Titanio calcinados y su aplicación como descriptor forense

Metallographic description of calcined titanium implants and its application as a forensic descriptor

Recibido: 25-09-2017 Aceptado: 23-11-2017

Carlos H. Valencia Ll.^{1*}
Patricia Rodríguez S²
Herney Garzón R³
María Alejandra Barragán⁴
Irvin J. Castro N.⁵

¹ Colombiano. PhD. Universidad del Valle, Escuela de Odontología, Cali, Colombia. *Autor de correspondencia. e-mail carlos.humberto.valencia@correounivalle.edu.co.

² Colombiana. Esp. Universidad del Valle, Escuela de Odontología, Cali, Colombia. e-mail prodriguezsanchez@hotmail.com.

³ Colombiano. Esp. Universidad del Valle, Escuela de Odontología. Cali, Colombia. e-mail herneygarzon@hotmail.com.

⁴ Colombiana. Odontóloga. Universidad del Valle, Escuela de Odontología. Cali, Colombia. e-mail mabpr@hotmail.com.

⁵ Colombiano. Msc. Universidad del Valle, Escuela de Odontología, Cali, Colombia. e-mail irvin.castro@correounivalle.edu.co.

Resumen

Introducción: La ciencia forense desarrolla diversas tecnologías para la identificación de cadáveres, pero en algunas ocasiones estos procedimientos pueden ser muy costosos y poco fiables en el caso de cuerpos incinerados. Esta investigación tuvo como objetivos la descripción de los cambios microestructurales presentes en un implante de titanio sometido a diferentes temperaturas, y la evaluación de su utilización potencial como descriptor forense. **Materiales y método:** Se elaboraron 15 minimplantes de titanio, con un código de identificación, se insertaron en mandíbulas de cerdo y se sometieron a temperaturas de 200°C, 800°C y 1000°C, se recuperaron las muestras y se realizaron análisis metalográficos mediante microscopía óptica y electrónica de barrido. **Resultados:** Se logró caracterizar la microestructura para cada temperatura, se observó un incremento en la capa de óxido con el aumento de la temperatura. **Conclusión:** Es posible utilizar implantes dentales como identificador forense.

Palabras clave: Odontología forense; implantes dentales; metalografía; capa de óxido.

Abstract

Introduction: Forensic science develops diverse technologies for the identification of corpses, but in some cases these procedures can be very expensive and unreliable in the case of cremated bodies. This research aimed to describe the metallographic changes in a titanium implant subjected to different temperatures and the evaluation of its potential use as a forensic descriptor. **Materials**

and methods: Fifteen titanium mini implants with an identification code were made, inserted into pork jaws and subjected to temperatures of 200 °C, 800 °C and 1000 °C, samples were recovered and analyzed were performed by optical microscopy and electron scanning microscopy. **Results:** It was possible to characterize the microstructure for each temperature, an increase in the oxide layer was observed with the increase of each temperature. **Conclusion:** It is possible to use dental implants as a forensic identifier.

Keywords: Forensic dentistry; dental implants; metallography; Oxide Layer.

Introducción

En Colombia el recrudecimiento de la violencia en las dos últimas décadas, la degradación del conflicto armado y la aparición de las bandas criminales del narcotráfico (BACRIM), han llevado a fenómenos como el desplazamiento forzado, la proliferación de fosas comunes y el descuartizamiento e incineración de cadáveres como método para dificultar la identificación de las víctimas, lo que hace que los métodos normales de identificación forense sean prácticamente inútiles.

Rivas (2000), a partir de las estadísticas oficiales planteaba “la violencia” como el principal problema de salud pública en Colombia y para el año 2008 las muertes violentas llegan a ser la segunda causa de muerte.

La identificación positiva de una persona requiere la coincidencia fehaciente de las características físicas del fallecido con los registros de esas mismas características antes de la muerte. En caso de cadáveres incinerados, la odontología forense ha sido de gran ayuda en la identificación de las víctimas, ya que a menudo permanece material genético en los dientes.

Von Wurmb-Schwark, Simeoni, Ringleb y Oehmichen (2004) lograron aislar ADN pero no tuvieron éxito en conseguir una identificación positiva; en un estudio totalmente *in vitro* con dientes aislados, Adserias, Ubelaker, y Zapico (2016) reportaron dificultad en procesos de amplificación y en la obtención de perfiles de ADN a partir de 300 °C.

La cavidad oral ofrece cierta protección a las estructuras dentales, sin embargo a 500 °C los componentes inorgánicos comienzan a deteriorarse y entre los 660 °C y los 825 °C se presenta deshidratación y pérdida de

la materia orgánica, lo que lleva a fisuras, fracturas y desprendimiento de tejido (Sandholzer, 2014).

En un incendio el pico de temperatura puede alcanzar niveles por encima de 1200 °C y permanecer entre 600°C y 800 °C por varias horas (Taylor, Wilson y Lyons, 2002), según Holk (1996) (citado por Taylor *et al*; 2002), entre los 800 y 1000 °C la dentina y el esmalte pierden estructura y entre 1100 °C y 1200 °C hay completa descomposición de estos tejidos.

La buena conservación de las piezas dentales después de la exposición de un cuerpo al fuego ha sido explicada porque al calentarse el cadáver, los gases procedentes del intestino y el estómago producen protrusión de lengua lo que, sumado a la presencia de otros músculos, protege a los dientes de la exposición directa a la temperatura (Rubio, Sioli, Suárez, Gaitán y Martin-de-las-Heras, 2015).

Aunque a temperaturas superiores a los 1000 °C los dientes todavía son macroscópicamente identificables, en situaciones donde la temperatura es mayor la simple manipulación puede llevar a su fragmentación, lo que obliga a disponer protocolos muy cuidadosos para su manejo (6- 7) y estabilización física temprana (Reesu, Augustine y Urs, 2015).

Merlati, Savio, Danesino, Fassina, y Menghini (2004) encontraron que los daños en la estructura dental pueden aparecer más temprano si los dientes presentan restauraciones.

Diferentes autores como Moreno, León, Marín y Moreno (2008); Marin y Moreno (2004) y Vázquez, Rodríguez y Moreno (2012), reportan cambios específicos en las estructuras dentales, de acuerdo con el rango de temperatura: fisuras longitudinales en el esmalte y cemento a 400 °C, grietas en dentina y esmalte a 800 °C y exposición de cámara pulpar a 1000 °C; de igual forma los materiales dentales como las resinas entre los 500 °C y 700 °C.

Debido al gran número de implantes intraóseos que se colocan, se ha propuesto la necesidad de caracterizarlos y evaluar la posibilidad de usarlos como un identificador.

Autores como Sahiwal, Woody, Benson y Guillen (2002) identifican parámetros “morfológicos” de implantes por medio de rayos X y Nuzzolese, Lusito, Solarino y Vella (2008) ante el auge de los implantes dentales llamaron la atención de disponer de bibliotecas que recojan la información de las casas comerciales acerca de diseños macroscópicos de estos dispositivos.

Los implantes dentales al ser elaborados en aleación de titanio tienen un punto de fusión superior a 1650 °C lo que aumenta las posibilidades de soportar las altas temperaturas que se generan en un evento que involucre fuego como una cremación (950 - 1000 °C), incendio de vehículo (1000 °C), incendio y explosión (1093 °C) como el evento del World Trade Center (Berketa, James y Marino, 2011a) y aun un experimento en túnel de fuego (1365 °C) (Berketa, James, y Marino, 2011b).

Un ejemplo de aplicación de la odontología forense se tuvo en los incendios forestales del 2009 en Victoria, Australia, donde fue necesaria la combinación de numerosas técnicas dentales forenses para lograr identificar los restos calcinados (Cordner, Woodford, y Bassed, 2011).

En un intento por estudiar el potencial de los implantes como identificador forense después de una incineración, Berketa, James y Marino (2010) describieron la persistencia de un código genérico de identificación en un tipo comercial de implantes a una temperatura de 1125 °C, lo que se explica porque la temperatura de fusión del titanio es superior a los 1650 °C (Berketa *et al.*, 2011a).

Al ser los implantes dentales producidos en masa, no incluyen un mecanismo que facilite su identificación individual, sin embargo para un odontólogo o un perito la combinación de marcas y geometrías (longitudes, diámetros, pasos de rosca, entre otros) lo convierten en un dispositivo único y fiable para identificar a un paciente si se tienen los registros dentales previos (Berketa *et al.*, 2011b), lo que se podría combinar también con un software de identificación radiológica (Depalakshmi y Prabhakar, 2014), (De Marco, 2013).

El incremento en el número de implantes colocados aumenta la posibilidad de encontrar implantes dentales en víctimas de desastres o crímenes (Reesu *et al.*, 2015) Un ejemplo de utilización de un implante dental como identificador forense ocurrió en el año 2004, con una víctima de un tsunami, al comparar radiografías de la historia clínica con radiografías post mortem, la comparación de la imagen radiográfica de la zona del implante permitió la identificación certera (Dostalova, Eliasova, Seydlova, Broucek, y Vavrickova, 2012).

En esta investigación se diseñó un implante dental marcado con un código de identificación individual, que fue implantado en mandíbulas de cerdo *post mortem* buscando tener una mejor aproximación a las condiciones que se esperarían en un cadáver incinerado; como objetivo general se propuso describir los cambios macroscópicos

y microestructurales que sufre un implante dental que ha sido colocado en mandíbulas de cerdo y sometido a altas temperaturas y su uso potencial como descriptor forense.

Materiales y metodos

Se fabricaron 15 microimplantes cónicos, auto roscantes, en titanio tipo IV, de 5 mm de largo, 1,8 mm de diámetro en el ápice y una plataforma de 5 mm de diámetro, con un código de identificación grabado a 0,7 mm de profundidad (Figura 1).



Figura 1. Microimplante con número de identificación en plataforma
Fuente: Los autores

Los implantes fueron insertados *post mortem* en mandíbulas de cerdo de tres meses de edad sobre la zona retromolar del hueso mandibular derecho, a nivel crestal del reborde. (Figura 2).



Figura 2. Mandíbula de cerdo con implante insertado
Fuente: Los autores

Las mandíbulas con los implantes incluidos fueron incineradas en un horno eléctrico a diferentes temperaturas (200 °C, 800 °C, y 1000 °C) por un tiempo de sostenimiento de una hora y posteriormente se permitió su enfriamiento dentro del horno.

Los implantes fueron recuperados y preparados para análisis metalográfico en microscopio electrónico de barrido, para lo cual se encapsularon en lucita (polimetacrilato de metilo), a una temperatura de curado de 140 °C por un tiempo de 15 minutos y una presión de 92 MP.

A continuación, se realizaron cortes longitudinales que dividieron el implante en dos partes iguales, utilizando un disco diamantado de 0,38 mm, a 2300 rpm y con una velocidad de avance de 1,2 mm/minuto, con flujo de agua constante.

La superficie para estudiar fue preparada a través de un lijado metódico, por medio de lijas de grano grueso y grano fino (lijas No. 240, 320, 400, 600, 800, 1000 y 1200).

Luego del pulido grueso se realizó el pulido fino, por medio de una pulidora de paños, teniendo como agente abrasivo alúmina de 1 y 0,3 micras, para las etapas inicial y final, respectivamente. La eficiencia de este proceso se verificó mediante un microscopio óptico.

Finalmente, la muestra se trató con el reactivo de kroll para revelar su microestructura y permitir la observación ante los microscopios ópticos y de barrido electrónico.

Resultados

Al examen macroscópico, todos los implantes calcinados conservaron la misma apariencia, la única diferencia entre grupos se halló en la conservación del código de marcaje (Figura 1) el cual se conservó visible a simple, en los grupos de 200°C y 800 °C pero desapareció en el de 1000 °C.

A nivel microscópico, las diferentes muestras conservaron iguales características microestructurales dentro de cada grupo (es decir, a una temperatura específica), pero exhiben cambios significativos con el aumento de temperatura (200 °C, 800 °C y 1000 °C).

Análisis metalográfico a 200 °C

El análisis metalográfico para estas muestras mostró que la microestructura estaba constituida por granos de fase α con pequeñas partículas de TiH (de color negro) y pequeñas secciones de fase β (de color negro), como se puede apreciar en las Figura 3 (A) y 3 (B), tomadas a 100 y 500 aumentos, respectivamente. Es de notar que los bordes de los implantes para esta temperatura se conservaron intactos y sin cambios.

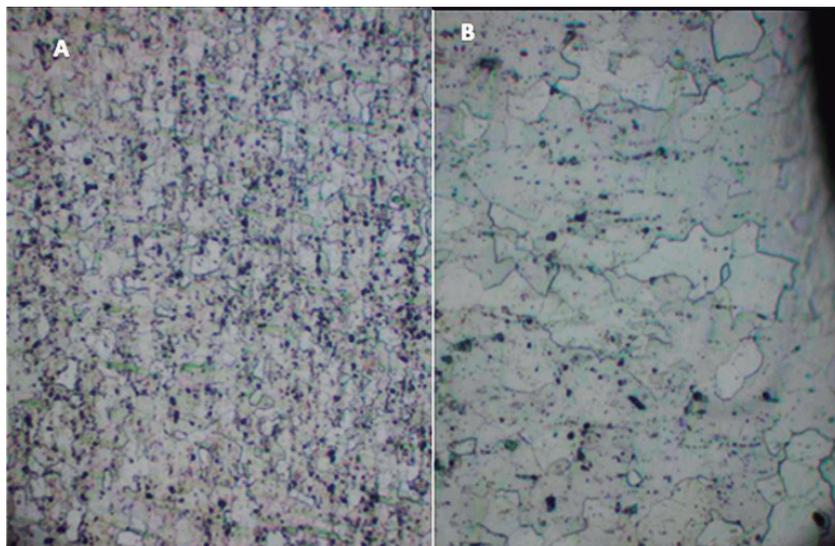


Figura 3. Implante calcinado a 200 °C. Sección longitudinal. A) A 100X (centro del implante). B) A 500 X (borde del implante).

Fuente: Los autores

Análisis metalográfico a 800 °C

La inspección metalográfica de estas muestras reveló que la microestructura está constituida de placas (zonas alargadas claras) de fase α con fase β ubicada en posiciones intermedias (fase oscura), ver Figura 4 (A). Adicionalmente, se evidenció cierto deterioro en los bordes de los implantes (irregularidades en su forma) y la presencia de una capa de óxido (de color gris) que los delimita, ver Figura 4 (B).

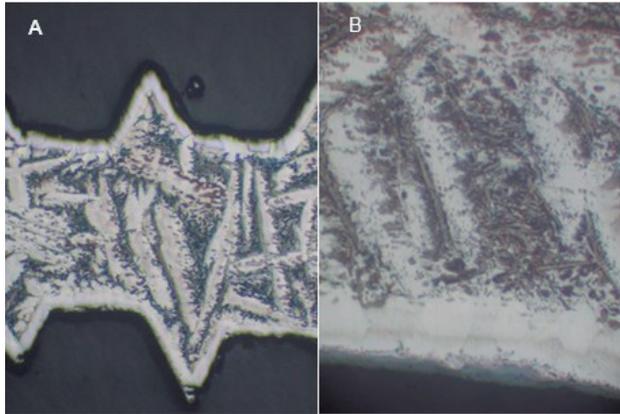


Figura 4. Implante calcinado a 800 °C. Sección longitudinal. A) A 50X (centro del implante, zona roscada). B) A 500 X (Borde del implante).

Fuente: Los autores

La inspección de las muestras a través del microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 6490LV) bajo el modo de electrones retro dispersados, puso en evidencia el crecimiento de una capa de óxido presente en las muestras

Análisis metalográfico a 1000 °C

Las microestructuras de las muestras sometidas a 1000°C mostraron un aumento de tamaño de grano, con respecto a las que se habían tratado a 200°C. Por otra parte, la matriz estaba constituida de granos de fase α (de color claro) con pequeñas cantidades de fase β (agujas de color negro) dispersas en el interior de los granos α , ver Figura 5.

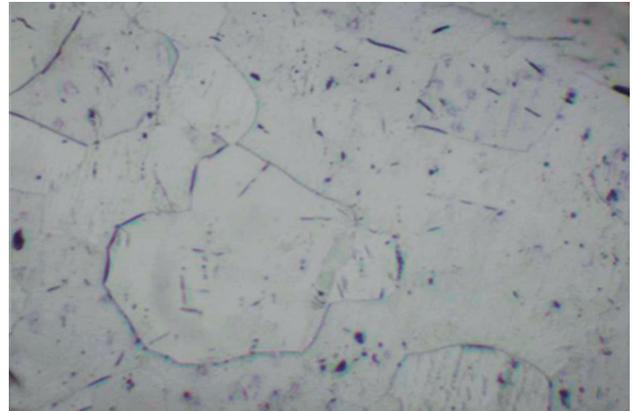


Figura 5. Implante calcinado a 1000 °C. Sección longitudinal (centro del implante). Imagen a 500X.

Fuente: Los autores

sometidas a 800 °C, (Figura 4), este fenómeno está ligado con la temperatura y el tiempo de exposición del implante en estas condiciones, ver (Figura 6).

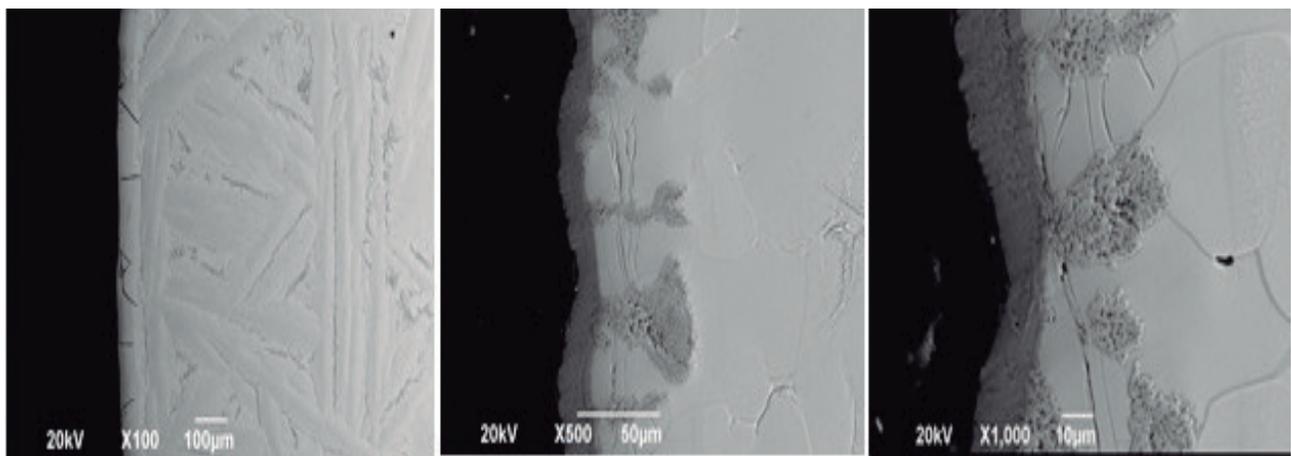


Figura 6. Estructura sometida a 1000 °C (capa de óxido)

Fuente: Los autores

Mediante análisis con espectroscopia por energía dispersiva (EDS) se encontró que la composición química

del implante no se alteró en el paso por las diferentes temperaturas, como se puede observar en las Figuras 7, 8 y 9.

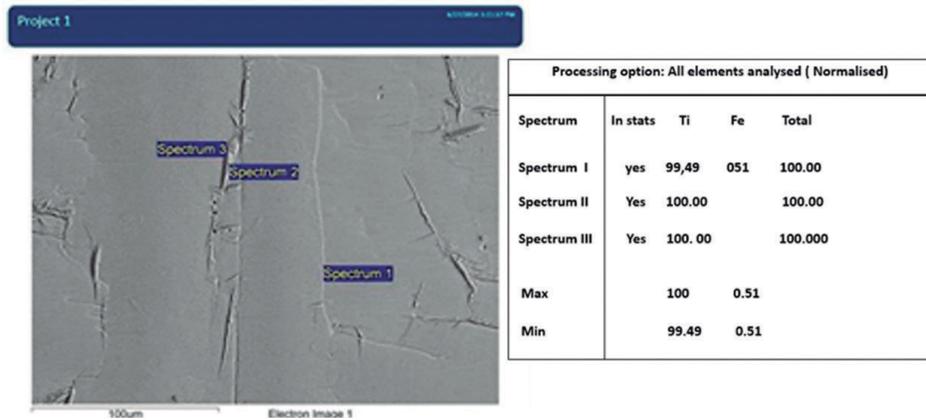


Figura 7. Análisis espectral de implante sometido a 200°C. Se observa presencia de Titanio y de Hierro, análisis por EDS.
Fuente: Los autores

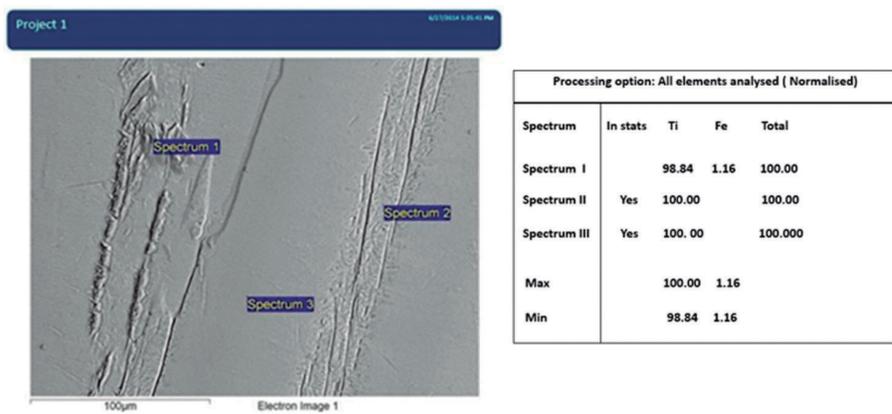


Figura 8. Análisis espectral de implante sometido a 800 °C. Se observa presencia de Titanio y de Hierro, análisis por EDS.
Fuente: Los autores

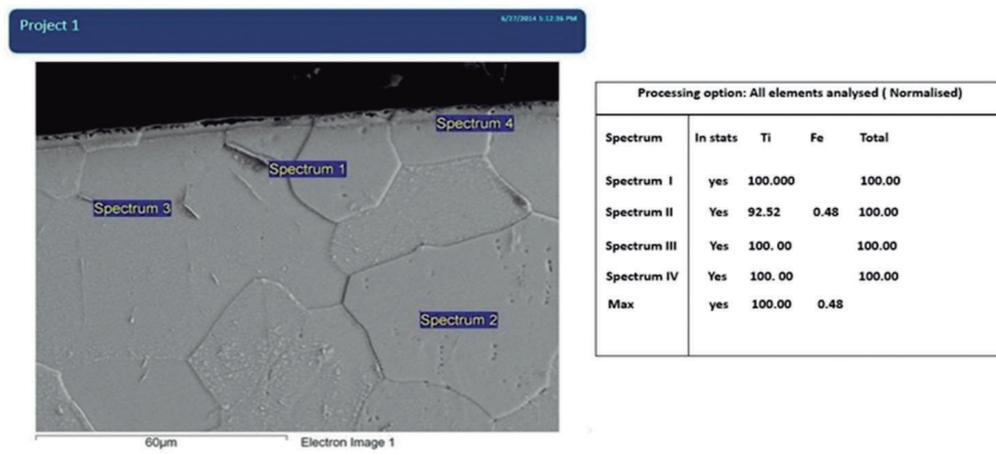


Figura 9. Análisis espectral de implante sometido a 1000 °C. Se observa presencia de Titanio y de Hierro, análisis por EDS.
Fuente: Los autores

Discusion

El gran número de implantes que se coloca actualmente en el mundo y la alta resistencia de los implantes a la temperatura los convierte en un candidato atractivo para ser considerado un identificador forense, especialmente cuando la temperatura de exposición es tan alta que los dientes se tornan muy frágiles, o cuando solo hay implantes como pilares de las prótesis (Byraki, Costea, Curca y Hostiuc, 2010).

Los diferentes trabajos realizados por Berketa *et al.* (2010), (2011a), (2011b) y (Berketa, James, y Marino, 2011c) muestran que implantes sometidos directamente a temperaturas superiores a 1600 °C no solo conservaron la forma general sino incluso el número de identificación incluido en su conexión interna, en este trabajo a temperaturas de 1000 °C se observa que la macroestructura del implante (diseño de crestas y valles) y el paso de rosca se conservan, lo que permitiría su identificación mediante rayos X.

En cuanto al código de identificación grabado en la plataforma del implante, este se borró al ser sometido a 1000 °C, lo que se explica porque en el trabajo de Berketa *et al.* (2010), (2011a), (2011b) y (2011c) el código estaba en la cavidad interna del implante mientras que en el implante diseñado fue ubicado en la plataforma y quedó protegido solo por tejido blando.

La capa de óxido de titanio se forma de manera pasiva cuando el implante es expuesto a temperatura ambiente. Esta capa inicialmente es amorfa y delgada (5-10 nanómetros), pero se torna más gruesa y cambia su composición química al someter el implante a temperaturas más elevadas (Gemelli y Camargo, 2007).

Aunque los implantes conservaron sus características macroscópicas a 200 °C, 800 °C y 1000 °C, se pudieron evidenciar cambios microestructurales para cada implante (Figuras 3 a 5), lo que podría convertirse en un indicador de la temperatura a la que estuvo sometido.

En esta investigación también se observó un aumento en el espesor de la capa de óxido de titanio con el incremento de la temperatura. De acuerdo con Berketa *et al.* (2011a) y (2011c) la exposición de los implantes a la alta temperatura generó cambios de color atribuibles al aumento en la capa de óxido (aproximadamente 0,1 mm).

Los cambios en el tamaño de la capa de óxido también podrían convertirse en un indicio de la temperatura a la

que se incineró el cadáver, ya que esta capa es susceptible de ser medida y/o caracterizada por diferentes técnicas, tales como: microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia por energía dispersiva de rayos X (EDS o EDX), difracción de rayos X (DRX), entre otros (Gemelli y Camargo, 2007).

Conclusiones

Los ensayos realizados mostraron que los implantes elaborados en titanio tipo IV no presentaron cambios macroscópicos apreciables.

También se observó que a cada temperatura evaluada (200 °C, 800 °C y 1000 °C), existía una microestructura característica y una variación en el espesor de la capa de óxido de titanio (presente en el borde), lo que podría permitir identificar la temperatura a la que fue expuesto cada implante.

En relación con el código de identificación incorporado, se recomienda grabarlo a una profundidad superior a 1mm, debido a que el código utilizado en esta investigación desapareció al llegar a los 1000 °C.

De acuerdo con lo anterior, los implantes dentales de titanio pueden ser utilizados como elementos de identificación forense aun en caso de incineraciones.

Referencias

- Adserias, J., Ubelaker, D. H., y Zapico, S. C. (2016). Evaluation of macroscopic changes and the efficiency of DNA profiling from burnt teeth. *Science & Justice*, 56(6), 437–442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2016.06.006>
- Berketa, J., James, H., y Marino, V. (2010). Survival of batch numbers within dental implants following incineration as an aid to identification. *Journal of Forensic Odontostomatology*, 28(1), 1–4.
- Berketa, J., James, H., y Marino, V. (2011a). A pilot study in the recovery and recognition of non-osseointegrated dental implants following cremation. *Journal of Forensic Odontostomatology*, 29(2), 38–44.
- Berketa, J., James, H., y Marino, V. (2011b). Dental implant changes following incineration.

- Forensic Science International*, 207(1–3), 50–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.08.025>
- Berketa, J., James, H., y Marino, V. (2011c). Dental implant changes following incineration. *Forensic Science International*, 207(1–3), 50–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.08.025>
- Byraki, A., Costea, A. V., Curca, G. C., y Hostiuc, S. (2010). Morphological analysis of dental implants – forensic significance. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 18(3), 207–212. doi: <https://doi.org/10.4323/rjlm.2010.207>
- Cordner, S. M., Woodford, N., y Basset, R. (2011). Forensic aspects of the 2009 Victorian Bushfires Disaster. *Forensic Science International*, 205(1), 2–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.08.008>
- De Marco, F. (2013). A software for cataloging and identification of dental implants: a powerful tool for recognition and forensic identification purposes. *Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, 31(1), 62.
- Depalakshmi, T., y Prabhakar, M. (2014). Role of dental implants in forensic identification. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 6(2), 2014–2016. doi: <https://doi.org/10.4103/0975-1475.132546>
- Dostalova, T., Eliasova, H., Seydlova, M., Broucek, J., y Vavrickova, L. (2012). The application of CamScan 2 in forensic dentistry. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 19(7), 373–380. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2012.04.015>
- Gemelli, E., y Camargo, N. H. a. (2007). Oxidation kinetics of commercially pure titanium. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 12(3), 525–531. doi: <https://doi.org/10.1590/S1517-70762007000300014>
- Holk, P. (1996) *Cremated Bones*, Second Revised Edition, Oslo: Anatomical Institute, University of Oslo.
- Marin, L., y Moreno, F. (2004). Odontología forense : identificación odontológica de cadáveres quemados . Reporte de dos casos. *Revista Estomatología*, 12(2), 57–70.
- Merlati, G., Savio, C., Danesino, P., Fassina, G., y Menghini, P. (2004). Further study of restored and un-restored teeth subjected to high temperatures. *Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, 22(2), 34–39.
- Moreno, S., León, M., Marín, L., y Moreno, F. (2008). Comportamiento in vitro de los tejidos dentales y de algunos materiales de obturación dental sometidos a altas temperaturas con fines forenses. *Colombia Medica*, 39(1 SUPPL. 1), 28–46.
- Nuzzolese, E., Lusito, S., Solarino, B., y Vella, G. Di. (2008). Radiographic dental implants recognition for geographic evaluation in human identification. *Journal of Forensic Odonto*, 27(1), 8–11.
- Reesu, G. V., Augustine, J., y Urs, A. B. (2015). Forensic considerations when dealing with incinerated human dental remains. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 29, 13–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2014.10.006>
- Rivas M, F. (2000). la violencia como problema de salud pública en Colombia: otro campo para la bioética. *Acta Bioethica*, 6(2), 335–346. doi: <https://doi.org/10.4067/S1726-569X2000000200011>
- Rubio, L., Sioli, J. M., Suárez, J., Gaitan, M. J., y Martinde-las-Heras, S. (2015). Spectrophotometric analysis of color changes in teeth incinerated at increasing temperatures. *Forensic Science International*, 252, 193.e1-193.e6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.04.033>
- Sahiwal, I. G., Woody, R. D., Benson, B. W., y Guillen, G. E. (2002). Radiographic identification of nonthreaded endosseous dental implants. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 87(5). doi: <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.124431>
- Sandholzer, M. (2014). *Heat-induced alterations of dental tissues* (Tesis doctoral). University of Birmingham. Recuperado de <http://etheses.bham.ac.uk/5049/>

- Taylor, P. T. G., Wilson, M. E., y Lyons, T. J. (2002). Forensic odontology lessons: Multishooting incident at Port Arthur, Tasmania. *Forensic Science International*, 130(2–3), 174–182. doi: [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(02\)00372-9](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(02)00372-9)
- Vázquez, L., Rodríguez, P., y Moreno, F. (2012). Análisis macroscópico in vitro de los tejidos dentales y de algunos materiales dentales de uso en endodoncia, sometidos a altas temperaturas con fines forenses In vitro behavior of dental tissues and some dental materials of endodontics use. *Revista Odontológica Mexicana*, 16, 171–181.
- Von Wurmb-Schwark, N., Simeoni, E., Ringleb, A., & Oehmichen, M. (2004). Genetic investigation of modern burned corpses. *International Congress Series*, 1261, 50–52. doi: [https://doi.org/10.1016/S0531-5131\(03\)01830-2](https://doi.org/10.1016/S0531-5131(03)01830-2)