Monitorización ultrasónica de la desmineralización de la dentina

Rodríguez Sendra J. [1], Carrión A.[1], Jiménez N.[1], Faus J. [2], Camarena F.[1]

[1] Instituto de Instrumentación para Imagen Molecular (I3M), Universitat Politècnica de València (UPV-CSIC), España, jorodsen@upv.es
[2] Instituto Valenciano de Investigaciones Odontológicas (IVIO), España

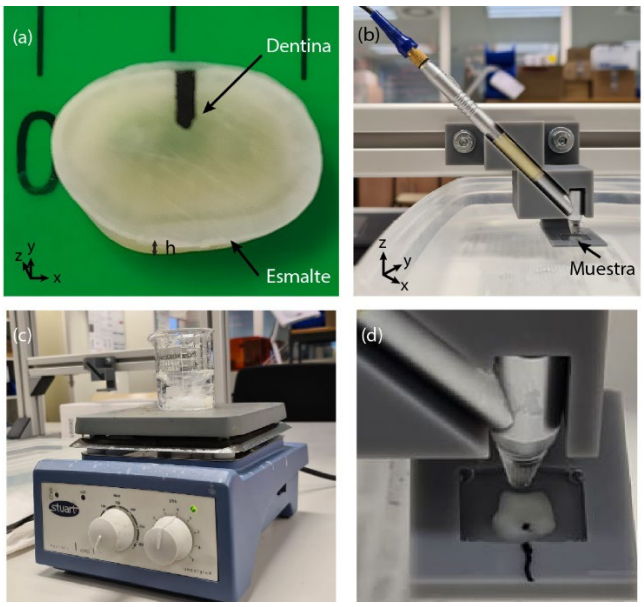
Introducción

La caries dental es una de las enfermedades más prevalentes en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud, entre el 60% y el 90% de los niños en edad escolar y casi el 100% de los adultos tienen o han tenido lesiones de caries[1]. La caries dental es una enfermedad multifactorial. La dentina pierde sus minerales debido a los ácidos producidos por el metabolismo bacteriano al descomponer azúcares o restos de alimentos[2,3]. La dentina está formada por un 70% de material inorgánico (hidroxiapatita), un 20% de base orgánica (fibras de colágeno de tipo I altamente mineralizadas) y un 10% de agua[4]. Su proceso de desmineralización implica al menos dos etapas: la disolución de los biominerales por los ácidos orgánicos y la posterior degradación de la matriz dentinaria por las proteasas[5]. Los procesos de desmineralización de la dentina natural son geométricamente complejos, con variaciones de anchura, profundidad, gravedad y color, lo que dificulta encontrar muchas lesiones similares para los estudios in vitro[5]. Por este motivo, se han propuesto protocolos artificiales estandarizados con ácidos para reproducir lesiones reales y se requieren investigaciones más meticulosas con la combinación de nuevas tecnologías[5].
Las lesiones artificiales de desmineralización estandarizadas ofrecen muchas ventajas en comparación con el uso de lesiones naturales para la investigación, ya que los protocolos de desmineralización pueden ser reproducibles y se pueden hacer fácilmente lesiones de diferente tamaño basadas en la cinética de desmineralización de un ácido determinado[6]. Algunos estudios han demostrado que estos ácidos, principalmente el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) o el ácido fosfórico (PA), pueden desmineralizar selectivamente los minerales extrafibrilares y mantener los minerales intrafibrilares al menos parcialmente, si no completamente intactos, ambos desmineralizando con una mínima degradación del colágeno[7]. Los agentes ácidos eliminan la capa de barrillo y abren los túbulos de la dentina, desmineralizan la superficie de la dentina y aumentan la porosidad de la dentina intertubular. La concentración de los túbulos dentinarios y su diámetro son mayores a medida que se acercan a la raíz del diente[8].

En el presente trabajo estudiamos el proceso de desmineralización de la dentina humana en condiciones controladas de laboratorio utilizando una técnica ultrasónica no destructiva de pulso-eco[9].

Material y métodos

En este trabajo se han desmineralizado 15 muestras de dentina humana utilizando ácido fosfórico al 10%. Durante el proceso de desmineralización, se realizó un seguimiento ultrasónico cada 10 minutos utilizando un sistema de pulso-eco y una sonda de 15 MHz (Sonopen V260, Olympus). Se midió el tiempo de vuelo (TOF) para para seguir el procedimiento de desmineralización, obteniendo la velocidad del sonido tanto en la dentina desmineralizada como en la dentina sana. Se ha propuesto un modelo para estudiar la difusión del ácido en el tejido de la dentina propuesto. En la Fig. 1 podemos observar un ejemplo de las muestras de dentina (a), el transductor utilizado (b) , el agitador magnético utilizado para la desmineralización con ácido fosfórico (c) y una imagen del proceso de medida (d).



Resultados

En la Fig. 2(a), podemos observar la hipótesis planteada de la dinámica del proceso de desmineralización de la dentina. En la Fig. 2(b), se observa una representación en cascada de las señales de ultrasonidos obtenidas a lo largo del experimento y, por último, se ha realizado un ajuste para poder describir la penetración del ácido en la dentina siguiendo la ecuación:

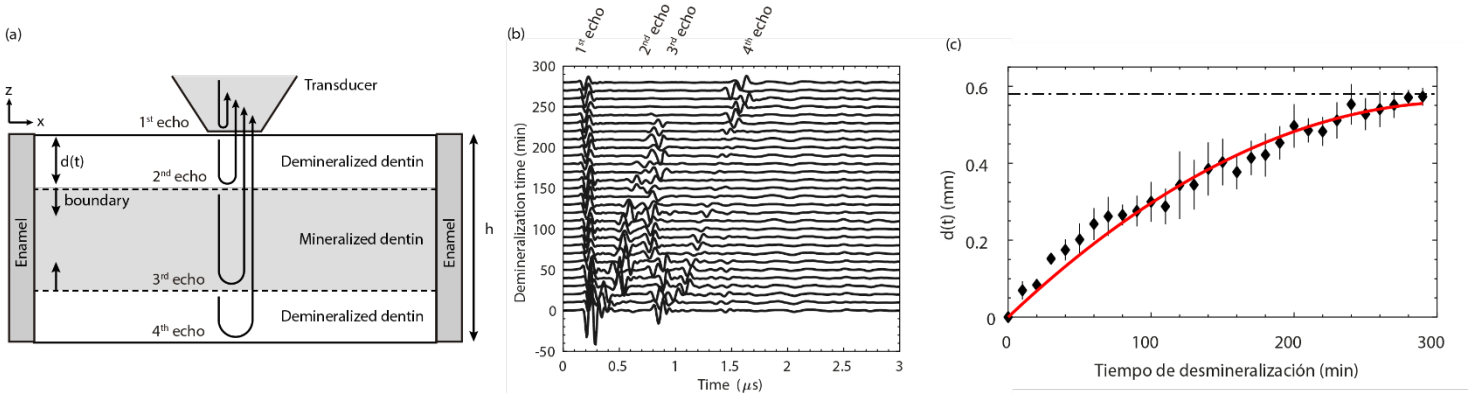


Figura 2. (a) Esquema de la dentina estratificada con diferentes rigideces y los ecos ultrasónicos esperados según la hipótesis de que el efecto ácido crea límites bien definidos. La profundidad de la capa desmineralizada-movida está marcada como d(t). (b) Señales de RF correspondientes a la monitorización ultrasónica de todo el proceso de desmineralización de la muestra 1. (c) Dentina desmineralizada vs tiempo de desmineralización junto al ajuste fenomenológico.

$$d(t) = v_0 t + \frac{1}{2} a_d t^2 \qquad (1)$$

dónde v_o es la velocidad de penetración del ácido y a_d es la aceleración de la penetración del ácido.

En la Figura 2, (c), se observa los resultados experimentales de propagación del ácido y el ajuste utilizando el modelo de la ecuación 1. Por último, se ha realizado una simulación en elementos finitos con Comsol para corroborar el modelo y la hipótesis planteados fig. 3. Donde simulamos tres capas homogéneas con un modelo de presión acústica transitoria en una dimensión, introduciendo las características de la dentina mineralizada y desmineralizada e introduciendo el modelo parabólico de penetración del ácido basado en la ecuación 1.

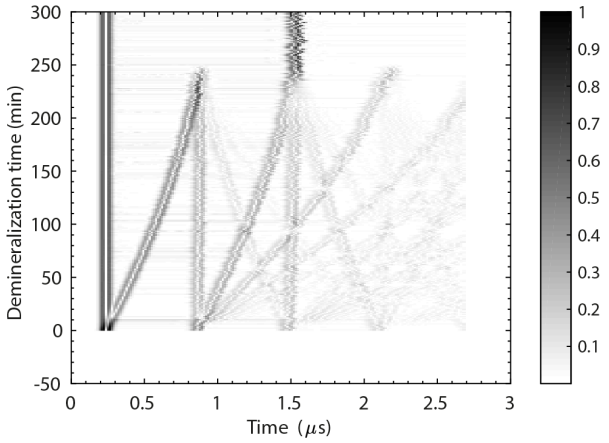


Figura 3. Simulación por elementos finitos del modelo planteado.

Conclusión

El seguimiento por ultrasonidos del procedimiento de desmineralización de la dentina artificial muestra que el ácido reduce la rigidez de la dentina y, en consecuencia, la velocidad de las ondas longitudinales sobre ella, formando una estructura en capas con límites bien definidos. La evolución temporal de estos límites concuerda con el modelo de difusión propuesto, mostrando que el proceso de desmineralización no es constante. Se estimó que la velocidad de penetración del ácido en la capa desmineralizada comienza a 3,5 μm/min, es decir, cuando el ácido ataca la superficie de la dentina, pero a medida que el ácido penetra esta velocidad se desacelera en -11 nm/min^2. La técnica propuesta puede utilizarse para monitorizar lesiones artificiales de desmineralización estandarizadas en condiciones de laboratorio, pero también, debido a la reducida dimensión de la sonda, podría utilizarse para evaluar la desmineralización producida por la caries natural in vivo.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido apoyada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICINN) a través de las ayudas PID2019-111436RBC22, "Juan de la Cierva - Formación" (FJC2019-040453-I) y "Juan de la Cierva - Incorporación" (IJC2018-037897-I), y por la Agencia Valenciana de la Innovación a través de la ayuda INNCON/2021/8. Acción también cofinanciada por la Unión Europea a través de los fondos FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020 (IDIFEDER/2018/022, IDIFEDER/2021/004). Los autores también agradecen el apoyo económico de la Catedra IVIO-UPV.

Referencias

[1] Le Galès-Camus C. *et al*., World Health Org. 2004
[2] Longbottom C. *et al*., Mon. in Oral Science. 209-216, 2009
[3] Selwitz, R. H. *et al*., The Lancet.369.51-59,2007
[4] Mjör I.A. *et al*., Oral Medicine, 33. 810–823,1972
[5] Chien Y. *et al*., Arch. of Oral Biology. 63. 93–105, 2016
[6] Saeki, K. *et al*. Arch. of Oral Biology, 82,194–202 2017
[7] Li, B. *et al*. Journal of Dentistry, 52. 55–62, 2016
[8] Lopes, M.*et al*. Brazilian dental journal, 20, 279–283, 2009.
[9] Rodríguez-Sendra J. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 68(3), 570-578. 2020