

Rugosidad superficial del agregado de trióxido mineral y el cemento pórtland expuestos a irrigantes endodóncicos

Surface roughness of the mineral trioxide aggregate and portland cement exposed to endodontic irrigants

M.L. Ballester-Palacios¹, M Pons-Prat², I Bolívar-Ribas³, E Berástegui-Jimeno⁴

¹Profesora asociada de Endodoncia de la Universidad de Barcelona. Profesora del Máster de Endodoncia Clínica Avanzada y Experimental de la Universidad de Barcelona. Colaboradora del equipo científico del Instituto de Investigación Biomédica de Bellvitge.

²Profesora asociada de Endodoncia de la Universidad de Barcelona. Profesora del Máster de Endodoncia Clínica Avanzada y Experimental de la Universidad de Barcelona. ³Profesor asociado de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Universidad Autónoma de Barcelona. Médico Adjunto del Servicio de Epidemiología Clínica y Salud Pública del Hospital de Sant Pau de Barcelona. Miembro del Centro Cochrane Español. ⁴Profesora Titular de Endodoncia del Departamento de Odontoestomatología de la Universidad de Barcelona. Directora del Máster de Endodoncia Clínica Avanzada y Experimental de la Universidad de Barcelona. Investigadora del Instituto de Investigación Biomédica de Bellvitge.

Ballester-Palacios ML, Pons-Prat M, Bolívar-Ribas I, Berástegui-Jimeno E. Surface roughness of the mineral trioxide aggregate and portland cement exposed to endodontic irrigants. Endodoncia 2018; 36:22-35

RESUMEN

Objetivo. El propósito de este estudio fue determinar la rugosidad superficial, al someter al agregado de trióxido mineral (MTA) y al cemento Pórtland (CP) a diferentes irrigantes utilizados en endodoncia.

Material y Métodos: Se estudiaron un total de 210 muestras, 105 de cemento ProRoot MTA® blanco y 105 de CP blanco. Se seleccionaron los siguientes irrigantes: hipoclorito sódico al 2,5% y al 5%, ácido cítrico al 10% y al 20%, clorhexidina al 2%, EDTA al 17%, y suero fisiológico como control. Se expusieron 15 muestras de cada cemento por cada tipo de irrigante durante 15 minutos. El estudio de la rugosidad superficial se hizo con el microscopio Leica DCM 3D que permite una perfilometría con tecnología dual confocal e interferométrica. Se evaluó la rugosidad media (Ra), el valor cuadrático medio (RMS) y la profundidad de rugosidad máxima (PV) al inicio y a los 15 minutos de la inmersión de las muestras.

Resultados. El CP aumentó significativamente la rugosidad en los parámetros Ra y RMS tras la irrigación con hipoclorito al 2,5%, ácido cítrico al 10% y al 20%, y suero fisiológico. En términos de PV el CP solo aumentó la rugosidad tras la irrigación con ácido cítrico al 20% y suero fisiológico. El MTA no mostró cambios significativos respecto a la rugosidad Ra, RMS y PV con ninguno de los irrigantes.

Conclusiones. La rugosidad superficial del CP puede modificarse por la exposición a alguno de los irrigantes utilizados en endodoncia, mientras que la rugosidad del MTA no se modifica significativamente.

Palabras clave: Agregado de trióxido mineral; cemento Pórtland; irrigantes endodóncicos; rugosidad superficial.

ABSTRACT

Objectives. This study set out to determine changes to surface roughness when mineral trioxide aggregate (MTA) and Portland cement (PC) are exposed to the different irrigants used in endodontics.

Material and Methods. The study included a total of 210 samples, 105 white ProRoot MTA® cement and 105 white PC cement. The following irrigants were tested: 2.5% and 5% sodium hypochlorite, 10% and 20% citric acid, 2% chlorhexidine, 17% ethylenediamine tetra-acetic acid (EDTA), and physiological serum as a control. Fifteen samples of each material were exposed to each irrigant for 15 minutes. Surface roughness evaluation was performed using a Leica DCM 3D microscope for dual system (confocal and interferometric) profilometry. Mean roughness (Ra), root mean square (RMS) and maximum roughness depth (PV) were evaluated before and after 15 minutes sample immersion in each irrigant.

Results. PC significantly increased roughness for Ra and RMS parameters after irrigation with 2.5% sodium hypochlorite, 10% and 20% citric acid, and physiological serum. PC underwent an increase in the PV parameter after immersion in 20% citric acid and physiological serum. MTA did not show significant changes in Ra, RMS or PV with any of the irrigants.

Significance. The surface roughness of PC may be modified by exposure to some of the irrigants used in endodontics, while the roughness of MTA is not modified significantly.

Key words: Endodontic irrigants; Portland cement; surface roughness; 3D surface topography; white mineral trioxide aggregate.

Correspondencia: M.L. Ballester-Palacios, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Departamento de Odontoestomatología, Feixa Llarga s/n, 08907 Hospitalet de Llobregat, Barcelona (Spain). E-mail: mballesterp@ub.edu

INTRODUCCIÓN

El agregado de trióxido mineral (MTA) es un material bioactivo que se empezó a estudiar en 1990. En 1993 Lee cols.⁽¹⁾ lo describieron por primera vez en la literatura odontológica. Fue patentado en 1995⁽²⁾ y aprobado para el uso endodóncico por la US. Food and Drug en 1998⁽³⁾.

Las versiones comerciales del MTA mostraron que tiene una composición similar al cemento Pórtland (CP) excepto en el óxido de bismuto. Éste proporciona la radiopacidad presente en el MTA, de forma que no son materiales idénticos⁽⁴⁾.

El MTA se utiliza como material de obturación apical o como reparador de perforaciones. El cemento se coloca generalmente en un medio ácido, originado por la presencia de inflamación perirradicular. Ésta tiende a convertir el pH normal de 7,4 a un pH ácido. Un pH ácido puede inhibir el establecimiento de reacciones, afectar a la adhesión y aumentar la solubilidad de los materiales. También puede causar la corrosión ácida en la que el hidróxido de calcio, el silicato cálcico hidratado (CSH), y el sulfoaluminato de calcio se descomponen para producir porosidades⁽⁵⁾. Si la infección o inflamación persisten, la erosión de los materiales de relleno puede producirse en el medio ácido generado por las bacterias o la inflamación. En consecuencia, estos cambios físicos en los materiales pueden afectar directa o indirectamente a su capacidad de sellado⁽⁶⁾.

Se han de reparar inmediatamente las perforaciones de furca y las reabsorciones radiculares con el fin de minimizar la contaminación bacteriana⁽⁷⁾ y la irritación de los tejidos periodontales a causa del uso de irrigantes de endodoncia⁽⁸⁾.

Después de la reparación, en el tratamiento endodóncico pueden utilizarse diversos irrigantes, para desinfectar el sistema de conductos radiculares, y quelante, para eliminar el barrillo dentinario. Sin embargo, este procedimiento causa el contacto inevitable de los irrigantes con los materiales de reparación. En este contacto puede alterar la superficie de los materiales de reparación^(9,10).

El objetivo del presente estudio es conocer el comportamiento del cemento Pórtland y del MTA tras la exposición a los irrigantes utilizados habitualmente en endodoncia. En concreto se estudia si pueden alterar

INTRODUCTION

Research into the bioactive material mineral trioxide aggregate (MTA) began in 1990. Its use in dentistry was first described by Lee et al.⁽¹⁾ in 1993, and it was patented in 1995⁽²⁾; endodontic use of MTA was approved by the US Food and Drug Administration in 1998⁽³⁾.

Commercial versions of MTA have a similar composition to Portland cement (PC) with the addition of bismuth oxide, which provides MTA's radiopacity⁽⁴⁾.

MTA is used as a root filling material or for repairing perforations. The cement is usually placed in an acid medium, caused by the presence of periapical inflammation, which tends to alter normal pH to an acidic pH. The acidity can inhibit reactions, affect adhesion, and increase the solubility of materials. It can also cause acid erosion in which the calcium silicate hydrate (CSH) and calcium sulfoaluminate in cement decompose, producing porosities⁽⁵⁾. If infection or inflammation persists, so will the acidic medium, and so further erosion of the filling materials will take place. As a consequence, the physical changes to the materials can have direct or indirect effects on their sealing capacity⁽⁶⁾.

Furcal perforations and root resorption must be repaired immediately to minimize contamination by bacteria⁽⁷⁾, and irritation of periodontal tissues caused by the use of endodontic irrigants⁽⁸⁾.

After repair, diverse irrigants and chelating agents can be used to disinfect the root canal system, and to eliminate the smear layer. But this procedure will inevitably expose the repair materials to the irrigants, which may alter the materials' surface characteristics^(9,10).

This study aimed to determine the behavior of PC and MTA when exposed to the irrigants commonly used in endodontics, and to evaluate the effects of irrigants on the materials' surface roughness.

MATERIALS AND METHODS

This *in vitro* experimental study used a total of 210 samples of two different endodontic repair materials: 105 samples of white ProRoot MTA® (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland) and 105 white Portland cement (PC) (Cemex España BL II/B-LL 42, 5R UNE 80305, Madrid, Spain). The samples were immersed in six irrigants:

las características de la rugosidad de superficie de los mismos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental *in vitro* con un total de 210 muestras de dos tipos de material de reparación: 105 de ProRoot MTA® blanco (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suiza) y 105 de Cemento Pórtland blanco (CP) (Cemex España BL II/B-LL 42, 5R UNE 80305, Madrid, España). Las muestras se expusieron a seis tipos de irrigación: hipoclorito sódico al 2,5% y al 5%, ácido cítrico al 10% y al 20%, clorhexidina al 2%, ácido etilendiamino-tetraacético (EDTA) al 17% y un grupo control expuesto a suero fisiológico.

Elaboración de las muestras

El procedimiento de elaboración de las muestras fue el mismo para los dos tipos de cemento. Las muestras se realizaron usando como molde un tubo de silicona de 0,5 cm de altura por 2 mm de diámetro interno. Se mezcló el polvo de ProRoot MTA® y del CP con agua destilada con proporción 1:3 tal y como indica el fabricante. Se introdujo el cemento en el tubo con atacadores de amalgama. Las muestras se dejaron fraguar 48 horas a temperatura ambiente. Posteriormente se procedió al pulido de las superficies con disco diamantado (Diamond Scheibe nº 355, Edenta, Au, Suiza) montado en pieza de mano. Posteriormente se expusieron 15 muestras de cada cemento a cada tipo de irrigante. Las muestras se sometieron a las sustancias irrigantes por inmersión en un recipiente durante 15 minutos. Seguidamente fueron lavadas con agua destilada durante cinco minutos agitándolas suavemente para eliminar los restos de irrigantes. Se dejaron secar durante 48 horas a temperatura ambiente.

Estudio de la rugosidad superficial

Se procedió al estudio de la rugosidad superficial en una de las caras de las muestras, marcando una zona concreta en el plástico exterior de la muestra para analizar la misma zona antes y después del tratamiento.

Se evaluaron distintos parámetros de rugosidad superficial: la rugosidad media (Ra), el valor cuadrático

2.5% and 5% sodium hypochlorite and 10% and 20% citric acid, 2% chlorhexidine, 17% ethylenediamine tetra-acetic acid (EDTA), and physiological serum as a control.

Sample preparation

Sample fabrication was carried out following the same procedure for both types of cement. The samples were cast using a silicon tube as a mold (0.5 cm in height, with an internal diameter of 2 mm). The ProRoot MTA® and CP powders were mixed with distilled water in a proportion of 1:3 as indicated by the manufacturers. The cements were placed in the tube using amalgam pluggers. The samples were left to set for 48 hours at room temperature. Then, their surfaces were polished with a diamond disc (Diamond Scheibe nº 355, Edenta, Au, Switzerland) mounted in a hand-piece. Fifteen samples of each material were exposed to each of the six irrigants by immersing them in a container filled with the irrigant for 15 minutes. Afterwards, the samples were washed by agitating them gently in distilled water to remove any remaining irrigant. The samples were left to dry for 48 hours at room temperature.

Surface roughness study

Surface roughness was studied taking one face of each sample, marking a specific area for analysis before and after immersion in irrigant.

Surface roughness was evaluated in terms of three parameters: mean roughness (Ra), root mean square (RMS), and maximum roughness depth (PV or "Peak to valley"), before immersion in the irrigant and after 15 minutes immersion.

Surface roughness analysis was performed using dual system (confocal and interferometric) optical profilometry with a Leica DCM 3D microscope (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany), which allows contactless analysis of the samples' surface topography. Each sample was analyzed twice to compare Ra, RMS and PV before and after exposure to the irrigant. All analysis used a 10x lens, with a field of 1.2 mm x 900 µm, obtaining digital images of 768 x 576 pixels.

A 2x zoom was used to measure roughness, capturing images of 600 µm x 450 µm (384 x 288 pixels) of the lower left corner of the predetermined study area. No filters were applied. Data were registered in microns.

medio (RMS) y la profundidad de rugosidad máxima (PV), al inicio y a los 15 minutos de la inmersión de las muestras.

El estudio de la rugosidad superficial se realizó con el microscopio Leica DCM 3D (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemania) que permite una perfilometría óptica de tecnología dual (confocal e interferométrica) para obtener un análisis sin contacto, superficial y topográfico de las muestras. Se volvió a analizar la superficie con el microscopio Leica DCM 3D en la misma zona que habíamos estudiado anteriormente para así poder comparar los parámetros de Ra, Rms y PV antes y después de la irrigación. En todas se utilizó el objetivo confocal de 10x, el cual tiene un campo de 1,2mm x 900 μm , es decir, se obtuvieron imágenes de 768 pixeles x 576 pixeles.

Para medir la rugosidad se hizo un zoom de 2x, es decir, imágenes de 600 μm x 450 μm (384 x 288 pixeles) en la esquina izquierda inferior. No se aplicó ningún filtro. Los datos se registraron en micras. Se utilizó el software LeicaScan y LeicaMap (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemania) para tratamiento del archivo y el análisis de las imágenes.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de los cambios en los parámetros de rugosidad antes y después de la irrigación. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilks y Kolmogorov-Smirnov para comprobar que las variables seguían una distribución no normal.

Para el análisis estadístico de los cambios temporales de los parámetros de rugosidad se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon para datos apareados. Para determinar si había diferencias significativas entre los 14 tipos de muestras se realizó la prueba de Kruskal-Wallis. Cuando la prueba genérica de Kruskal-Wallis era significativa ($p < 0,05$), se realizó el test post hoc de Tukey para determinar en qué muestras había diferencias.

Para determinar si habían diferencias entre las muestras de MTA y CP en cada tiempo del estudio se utilizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. En todos los análisis se ha establecido el nivel de significación estadística en el 5% ($p < 0,05$). Se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 22.0.

LeicaScan and LeicaMap software (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany) were used to archive and process images for analysis.

Statistical analysis

Descriptive analysis of the changes to roughness parameters was made comparing roughness before and after exposure to irrigants. Shapiro-Wilks and Kolmogorov-Smirnov tests were applied to check that the data followed normal distribution.

The Wilcoxon non-parametric test was applied to pair-wise data marking changes over time. The Kruskal-Wallis test was used to identify significant differences between the 14 sample groups. When the Kruskal-Wallis test identified a significant result, Tukey's post hoc test was applied to identify which samples showed differences.

To identify differences between MTA and PC samples over time, the non-parametric Mann-Whitney test was applied. Significance was established as 5% ($p < 0.05$). All analyses were performed using the statistical software package IBM SPSS version 22.0.

RESULTS

Changes to roughness parameters

PC surface roughness parameters Ra and RMS increased significantly after immersion in 2.5% hypochlorite, 10% and 20% citric acid, and even physiological serum (Tables 1, 2, 3); the PV parameter only increased after immersion in 20% citric acid and physiological serum. In contrast, MTA did not show any statistically significant changes in Ra, RMS or PV after immersion in any of the irrigants. Notably, MTA surface roughness parameters presented slight decreases after exposure to chlorhexidine, sodium hypochlorite,

Figures 1 and 2 show confocal and interferometric images of MTA and PC samples before and after exposure to irrigants. The increase in surface roughness in PC samples can be observed, especially after immersion in citric acid.

Tukey analysis of Ra and RMS confirmed that the significant increase in surface roughness was obtained after PC was exposed to 10% or 20% citric acid. For the RD parameter, only PC exposure to 20% citric acid produced a significant increase.

Tabla 1 Descripción de las variables de rugosidad superficial y de los cambios antes y después de poner las muestras en contacto con los irrigantes. Rugosidad media (Ra) (Media, desviación estándar, mediana y percentiles 25 y 75 de la variable Ra)

	RA						
	Pre		Post		Diferencia		p-valor
	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	
MTA + suero	9,1 (3,1)	10,1 (6,6 – 10,)	7,6 (2,2)	6,3 (5,8 – 9,6)	-1,5 (4,7)	-2,3 (-5,2;3,4)	0,281
MTA + clorhexidina	11,2 (7,4)	6,8 (5,5 – 19,1)	9,6 (6,4)	7,6 (5,1 – 10,2)	-1,6 (10,6)	-0,7 (-9,5; 3,3)	0,650
MTA + hipoclorito NA 2,5%	16,1 (12,1)	8,0 (6,0 – 22,6)	12,1 (8,3)	7,5 (6,1 – 22,1)	-4,0 (14,3)	-3,5 (-14,2; 3,0)	0,334
MTA + hipoclorito NA 5%	7,8 (8,0)	5,6 (4,8 – 7,3)	10,3 (9,4)	6,0 (4,6 – 17,7)	2,4 (13,4)	-0,2 (-3,7; 13,4)	0,650
MTA + ácido cítrico 10%	9,7 (3,5)	9,3 (7,6 – 11,3)	10,0 (4,0)	9,3 (6,6 – 13,1)	0,4 (3,7)	1,8 (-3,0; 3,0)	0,570
MTA + ácido cítrico 20%	9,3 (4,8)	8,0 (6,1 – 12,6)	9,9 (4,0)	9,2 (7,6 – 10,8)	0,7 (7,0)	1,6 (-4,8; 4,3)	0,532
MTA + EDTA	11,4 (5,5)	9,9 (6,6 – 14,5)	9,7 (5,1)	8,5 (6,3 – 10,4)	-1,6 (7,2)	-2,6 (-6,0; 2,4)	0,156
Total MTA	10,6 (7,2)	8,0 (6,2 – 12,0)	9,9 (6,1)	7,8 (6,1 – 10,7)	-0,8 (9,4)	-0,2 (-4,8; 3,0)	0,329
CP + suero	11,3 (4,1)	11,2 (6,5– 12,0)	21,6 (18,5)	14,7 (10,0 – 22,7)	10,3 (18,0)	3,5 (-0,2; 16,2)	0,023
CP + clorhexidina	10,8 (7,2)	10,0 (6,7 – 12,5)	11,5 (8,0)	9,2 (6,4 – 14,6)	1,0 (10,9)	0,6 (-3,3; 3,3)	0,975
CP + hipoclorito NA 2,5%	11,0 (4,5)	10,4 (6,4 – 14,3)	20,1 (17,2)	15,1 (10,1 – 24,2)	9,1 (16,6)	7,7 (-4,2; 12,4)	0,031
CP + hipoclorito NA 5%	10,6 (5,6)	10,2 (7,9 – 12,4)	19,1 (19,3)	13,6 (11,4 – 21,2)	8,5 (20,3)	3,6 (-1,7; 10,3)	0,088
CP + ácido cítrico 10%	9,7 (4,3)	8,1 (6,4 – 13,7)	27,8 (18,1)	26,2 (11,6 – 36,8)	18,1 (20,0)	18,2 (-2,0; 30,6)	0,009
CP + ácido cítrico 20%	10,1 (4,0)	8,8 (8,1 – 12,6)	32,2 (20,9)	26,4 (16,2 – 36,9)	22,1 (20,7)	17,6 (7,0; 34,0)	0,001
CP + EDTA	16,2 (6,9)	15,9 (9,1 – 23,5)	27,6 (22,8)	24,4 (14,5 – 36,3)	11,4 (24,8)	7,6 (-4,8; 20,7)	0,112
Total CP	11,4 (5,6)	10,3 (7,5 – 14,3)	22,9 (18,9)	16,2 (10,1 – 27,2)	11,6 (19,7)	6,5 (-1,5; 18,2)	< 0,001

Table 1 Shows surface roughness variables before and after sample exposure to the six irrigants. Mean roughness (Ra). Mean, standard deviation, median and 25th and 75th percentile of Ra variable

	RA						
	Before		After		Diference		p-value
	Mean (SD)	Median (P25-P75)	Mean (SD)	Median (P25-P75)	Mean (SD)	Median (P25-P75)	
MTA + serum	9,1 (3,1)	10,1 (6,6 – 10,)	7,6 (2,2)	6,3 (5,8 – 9,6)	-1,5 (4,7)	-2,3 (-5,2;3,4)	0,281
MTA + chlorhexidina	11,2 (7,4)	6,8 (5,5 – 19,1)	9,6 (6,4)	7,6 (5,1 – 10,2)	-1,6 (10,6)	-0,7 (-9,5; 3,3)	0,650
MTA + 2,5% hypochlorite	16,1 (12,1)	8,0 (6,0 – 22,6)	12,1 (8,3)	7,5 (6,1 – 22,1)	-4,0 (14,3)	-3,5 (-14,2; 3,0)	0,334
MTA + 5% hypochlorite	7,8 (8,0)	5,6 (4,8 – 7,3)	10,3 (9,4)	6,0 (4,6 – 17,7)	2,4 (13,4)	-0,2 (-3,7; 13,4)	0,650
MTA + 10% citric acid	9,7 (3,5)	9,3 (7,6 – 11,3)	10,0 (4,0)	9,3 (6,6 – 13,1)	0,4 (3,7)	1,8 (-3,0; 3,0)	0,570
MTA + 20% citric acid	9,3 (4,8)	8,0 (6,1 – 12,6)	9,9 (4,0)	9,2 (7,6 – 10,8)	0,7 (7,0)	1,6 (-4,8; 4,3)	0,532
MTA + EDTA	11,4 (5,5)	9,9 (6,6 – 14,5)	9,7 (5,1)	8,5 (6,3 – 10,4)	-1,6 (7,2)	-2,6 (-6,0; 2,4)	0,156
Total MTA	10,6 (7,2)	8,0 (6,2 – 12,0)	9,9 (6,1)	7,8 (6,1 – 10,7)	-0,8 (9,4)	-0,2 (-4,8; 3,0)	0,329
PC + serum	11,3 (4,1)	11,2 (6,5– 12,0)	21,6 (18,5)	14,7 (10,0 – 22,7)	10,3 (18,0)	3,5 (-0,2; 16,2)	0,023
PC + chlorhexidina	10,8 (7,2)	10,0 (6,7 – 12,5)	11,5 (8,0)	9,2 (6,4 – 14,6)	1,0 (10,9)	0,6 (-3,3; 3,3)	0,975
PC + 2,5% hypochlorite	11,0 (4,5)	10,4 (6,4 – 14,3)	20,1 (17,2)	15,1 (10,1 – 24,2)	9,1 (16,6)	7,7 (-4,2; 12,4)	0,031
PC + 5% hypochlorite	10,6 (5,6)	10,2 (7,9 – 12,4)	19,1 (19,3)	13,6 (11,4 – 21,2)	8,5 (20,3)	3,6 (-1,7; 10,3)	0,088
PC + 10% citric acid	9,7 (4,3)	8,1 (6,4 – 13,7)	27,8 (18,1)	26,2 (11,6 – 36,8)	18,1 (20,0)	18,2 (-2,0; 30,6)	0,009
PC + 20% citric acid	10,1 (4,0)	8,8 (8,1 – 12,6)	32,2 (20,9)	26,4 (16,2 – 36,9)	22,1 (20,7)	17,6 (7,0; 34,0)	0,001
PC + EDTA	16,2 (6,9)	15,9 (9,1 – 23,5)	27,6 (22,8)	24,4 (14,5 – 36,3)	11,4 (24,8)	7,6 (-4,8; 20,7)	0,112
Total PC	11,4 (5,6)	10,3 (7,5 – 14,3)	22,9 (18,9)	16,2 (10,1 – 27,2)	11,6 (19,7)	6,5 (-1,5; 18,2)	< 0,001

Tabla 2 Descripción de las variables de rugosidad superficial y de los cambios antes y después de poner las muestras en contacto con los irrigantes. Valor cuadrático medio de la rugosidad (RMS) (Media, desviación estándar, mediana y percentiles 25 y 75 de la variable RMS)

	RMS						p-valor
	Pre		Post		Diferencia		
	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	
MTA + suero	11,4 (3,9)	12,2 (8,2 – 13,5)	9,6 (2,5)	8,4 (7,6 – 11,2)	-1,8 (5,6)	-2,8 (-6,6; 4,1)	0,256
MTA + clorhexidina	13,9 (9,0)	8,6 (6,9 – 23,7)	12,0 (8,0)	10,2 (6,6 – 13,8)	-1,9 (12,9)	-0,6 (-11,7; 4,4)	0,650
MTA + hipoclorito NA 2,5%	20,5 (15,1)	9,9 (7,5 – 33,0)	14,7 (10,0)	9,1 (7,4 – 25,7)	-5,8 (17,4)	-4,2 (-17,8; 3,8)	0,233
MTA + hipoclorito NA 5%	10,0 (9,9)	7,4 (6,1 – 8,9)	12,8 (10,9)	7,6 (5,7 – 21,1)	2,9 (15,1)	-0,4 (-4,3; 15,1)	0,733
MTA + ác cítrico 10%	11,7 (4,0)	11,4 (9,6 – 13,6)	11,9 (4,0)	11,2 (8,7 – 15,5)	0,3 (4,1)	1,3 (-3,1; 2,9)	0,532
MTA + ác cítrico 20%	11,5 (6,1)	10,2 (7,5 – 15,0)	12,4 (5,0)	11,6 (9,4 – 13,3)	0,9 (9,0)	1,9 (-4,5; 5,2)	0,636
MTA + EDTA	15,0 (7,1)	13,3 (8,8 – 18,8)	12,8 (6,7)	12,0 (7,8 – 14,8)	-2,2 (10,0)	-2,6 (-7,7; 1,1)	0,156
Total MTA	113,4 (9,0)	10,2 (7,6 – 15,0)	112,3 (7,2)	10,3 (7,7 – 14,0)	-1,1 (11,6)	-0,56 (-5,5; 3,9)	0,263
CP + suero	14,2 (5,1)	13,5 (8,3 – 17,3)	25,8 (20,9)	17,3 (12,6 – 30,9)	11,6 (20,1)	3,8 (-0,2; 17,4)	0,023
CP + clorhexidina	13,3 (8,7)	12,0 (8,8 – 15,3)	14,0 (9,1)	11,5 (8,0 – 17,6)	1,1 (12,6)	0,7 (-3,6; 3,7)	0,925
CP + hipoclorito NA 2,5%	13,3 (5,2)	13,5 (9,1 – 17,3)	22,6 (16,7)	18,4 (11,6 – 25,3)	9,0 (16,1)	4,6 (-4,6; 16,47)	0,047
CP + hipoclorito NA 5%	13,1 (6,3)	12,0 (9,8 – 16,1)	21,5 (19,4)	15,8 (13,3 – 23,1)	8,4 (21,0)	4,5 (-1,7; 13,5)	0,100
CP + ác cítrico 10%	12,3 (5,1)	10,1 (9,3 – 16,5)	33,2 (20,1)	29,4 (14,1 – 54,2)	20,8 (22,8)	23,6 (-3,5; 44,2)	0,011
CP + ác cítrico 20%	12,5 (4,9)	11,1 (10,4 – 15,3)	38,2 (23,9)	32,3 (20,4 – 55,6)	25,7 (23,8)	21,3 (8,1; 41,2)	0,001
CP + EDTA	19,6 (7,6)	20,3 (11,2 – 28,2)	31,1 (23,2)	28,9 (17,8 – 37,3)	11,5 (25,7)	6,2 (-5,7; 22,8)	0,088
Total CP	14,1 (6,6)	12,7 (9,8 – 17,3)	26,6 (20,6)	19,6 (12,6 – 32,9)	12,7 (21,6)	6,1 (-1,6; 21,8)	< 0,001

Table 2 Shows surface roughness variables before and after sample exposure to the six irrigants. Root mean square roughness (RMS). Mean, standard deviation, median and 25th and 75th percentile of RMS variable

	RMS						p-value
	Before		After		Diference		
	Mean (SD)	Median (P25-P75)	Mean (SD)	Median (P25-P75)	Mean (SD)	Median (P25-P75)	
MTA + serum	11,4 (3,9)	12,2 (8,2 – 13,5)	9,6 (2,5)	8,4 (7,6 – 11,2)	-1,8 (5,6)	-2,8 (-6,6; 4,1)	0,256
MTA + chlorhexidina	13,9 (9,0)	8,6 (6,9 – 23,7)	12,0 (8,0)	10,2 (6,6 – 13,8)	-1,9 (12,9)	-0,6 (-11,7; 4,4)	0,650
MTA + 2,5% hypochlorite	20,5 (15,1)	9,9 (7,5 – 33,0)	14,7 (10,0)	9,1 (7,4 – 25,7)	-5,8 (17,4)	-4,2 (-17,8; 3,8)	0,233
MTA + 5% hypochlorite	10,0 (9,9)	7,4 (6,1 – 8,9)	12,8 (10,9)	7,6 (5,7 – 21,1)	2,9 (15,1)	-0,4 (-4,3; 15,1)	0,733
MTA + 10% citric acid	11,7 (4,0)	11,4 (9,6 – 13,6)	11,9 (4,0)	11,2 (8,7 – 15,5)	0,3 (4,1)	1,3 (-3,1; 2,9)	0,532
MTA + 20% citric acid	11,5 (6,1)	10,2 (7,5 – 15,0)	12,4 (5,0)	11,6 (9,4 – 13,3)	0,9 (9,0)	1,9 (-4,5; 5,2)	0,636
MTA + EDTA	15,0 (7,1)	13,3 (8,8 – 18,8)	12,8 (6,7)	12,0 (7,8 – 14,8)	-2,2 (10,0)	-2,6 (-7,7; 1,1)	0,156
Total MTA	113,4 (9,0)	10,2 (7,6 – 15,0)	112,3 (7,2)	10,3 (7,7 – 14,0)	-1,1 (11,6)	-0,56 (-5,5; 3,9)	0,263
PC + serum	14,2 (5,1)	13,5 (8,3 – 17,3)	25,8 (20,9)	17,3 (12,6 – 30,9)	11,6 (20,1)	3,8 (-0,2; 17,4)	0,023
PC + chlorhexidina	13,3 (8,7)	12,0 (8,8 – 15,3)	14,0 (9,1)	11,5 (8,0 – 17,6)	1,1 (12,6)	0,7 (-3,6; 3,7)	0,925
PC + 2,5% hypochlorite	13,3 (5,2)	13,5 (9,1 – 17,3)	22,6 (16,7)	18,4 (11,6 – 25,3)	9,0 (16,1)	4,6 (-4,6; 16,47)	0,047
PC + 5% hypochlorite	13,1 (6,3)	12,0 (9,8 – 16,1)	21,5 (19,4)	15,8 (13,3 – 23,1)	8,4 (21,0)	4,5 (-1,7; 13,5)	0,100
PC + 10% citric acid	12,3 (5,1)	10,1 (9,3 – 16,5)	33,2 (20,1)	29,4 (14,1 – 54,2)	20,8 (22,8)	23,6 (-3,5; 44,2)	0,011
PC + 20% citric acid	12,5 (4,9)	11,1 (10,4 – 15,3)	38,2 (23,9)	32,3 (20,4 – 55,6)	25,7 (23,8)	21,3 (8,1; 41,2)	0,001
PC + EDTA	19,6 (7,6)	20,3 (11,2 – 28,2)	31,1 (23,2)	28,9 (17,8 – 37,3)	11,5 (25,7)	6,2 (-5,7; 22,8)	0,088
Total PC	14,1 (6,6)	12,7 (9,8 – 17,3)	26,6 (20,6)	19,6 (12,6 – 32,9)	12,7 (21,6)	6,1 (-1,6; 21,8)	< 0,001

Tabla 3 Descripción de las variables de rugosidad superficial y de los cambios antes y después de poner las muestras en contacto con los irrigantes. Profundidad de rugosidad máxima (PV) (Media, desviación estándar, mediana y percentiles 25 y 75 de la variable PV)

	PV						
	Pre		Post		Diferencia		p-valor
	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	Media (DE)	Mediana (P25-P75)	
MTA + suero	68,7 (23,3)	65,5 (49,7 – 83,7)	60,1 (15,7)	55,5 (48,0 – 72,6)	-8,6 (30,8)	-8,3 (-27,7; 22,2)	0,334
MTA + clorhexidina	77,0 (40,8)	65,8 (45,7 – 101,9)	73,2 (47,9)	54,4 (51,3 – 82,1)	-3,8 (59,2)	2,1 (-25,7; 7,1)	0,733
MTA + hipoclorito NA 2,5%	104,3 (61,6)	77,0 (46,6 – 153,4)	80,1 (45,6)	58,9 (47,8 – 120,2)	-24,2 (72,3)	-27,9 (-78,2; 17,7)	0,191
MTA + hipoclorito NA 5%	64,1 (47,0)	53,4 (41,6 – 64,2)	79,2 (55,4)	45,8 (39,4 – 123,1)	15,1 (67,0)	-7,3 (-23,1; 50,4)	0,865
MTA + ácido cítrico 10%	71,1 (18,6)	64,7 (59,2 – 80,0)	62,7 (15,3)	58,8 (51,9 – 75,5)	-8,4 (21,0)	-14,5 (-21,2; 7,2)	0,156
MTA + ácido cítrico 20%	68,8 (31,8)	64,9 (45,8 – 82,0)	65,1 (19,5)	66,7 (45,5 – 84,8)	-3,7 (41,0)	3,4 (-36,6; 23,6)	0,910
MTA + EDTA	89,0 (42,9)	711 (55,0 – 108,5)	74,9 (28,7)	73,7 (53,6 – 88,0)	-14,2 (55,8)	-13,7 (-45,2; 4,8)	0,281
Total MTA	77,6 (41,4)	64,7 (48,8 – 96,3)	70,8 (35,8)	58,9 (47,8 – 82,1)	-6,8 (52,3)	-8,3 (-27,7; 15,8)	0,043
CP + suero	88,5 (35,0)	82,4 (58,2 – 96,0)	130,1 (78,7)	118,5 (67,1 – 170,3)	41,6 (63,5)	40,3 (-7,6; 49,0)	0,017
CP + clorhexidina	83,5 (40,7)	80,9 (59,9 – 97,6)	88,0 (31,6)	92,5 (62,5 – 108,9)	7,2 (45,7)	7,2 (-22,3; 33,2)	0,638
CP + hipoclorito NA 2,5%	76,8 (23,9)	72,4 (64,6 – 89,4)	75,2 (34,6)	70,1 (50,1 – 85,0)	-1,6 (51,4)	-6,9 (-35,1; 9,2)	0,363
CP + hipoclorito NA 5%	71,4 (26,7)	68,3 (52,9 – 92,6)	70,8 (27,4)	69,4 (51,4 – 82,7)	-0,6 (47,1)	12,9 (-33,8; 21,4)	0,733
CP + ácido cítrico 10%	81,5 (30,5)	76,4 (69,6 – 84,3)	127,1 (74,0)	108,4 (70,1 – 171,5)	45,7 (91,8)	20,8 (-16,9; 108,1)	0,088
CP + ácido cítrico 20%	71,7(24,5)	67,0 (59,8 – 98,1)	159,1 (92,1)	155,9 (74,0 – 224,8)	84,4 (90,5)	77,9 (8,3; 170,9)	0,005
CP + EDTA	106,7 (31,5)	106,2 (80,4 – 138,6)	111,7 (73,1)	92,4 (66,7 – 127,1)	5,0 (79,8)	-11,1 (-49,5; 18,2)	0,609
Total CP	83,3 (31,8)	77,1 (62,1 – 96,8)	108,9 (68,9)	84,7 (64,4 – 135,9)	26,1 (74,2)	9,1 (-17,6; 63,3)	0,008

Table 3 Shows surface roughness variables before and after sample exposure to the six irrigants. Maximum roughness depth (PV). Mean, standard deviation, median and 25th and 75th percentile of PV variable

	PV						
	Before		After		Diference		p-value
	Mean (SD)	Median (P25-P75)	Mean (SD)	Median (P25-P75)	Mean (SD)	Median (P25-P75)	
MTA + serum	68,7 (23,3)	65,5 (49,7 – 83,7)	60,1 (15,7)	55,5 (48,0 – 72,6)	-8,6 (30,8)	-8,3 (-27,7; 22,2)	0,334
MTA + chlorhexidina	77,0 (40,8)	65,8 (45,7 – 101,9)	73,2 (47,9)	54,4 (51,3 – 82,1)	-3,8 (59,2)	2,1 (-25,7; 7,1)	0,733
MTA + 2,5% hypochlorite	104,3 (61,6)	77,0 (46,6 – 153,4)	80,1 (45,6)	58,9 (47,8 – 120,2)	-24,2 (72,3)	-27,9 (-78,2; 17,7)	0,191
MTA + 5% hypochlorite	64,1 (47,0)	53,4 (41,6 – 64,2)	79,2 (55,4)	45,8 (39,4 – 123,1)	15,1 (67,0)	-7,3 (-23,1; 50,4)	0,865
MTA + 10% citric acid	71,1 (18,6)	64,7 (59,2 – 80,0)	62,7 (15,3)	58,8 (51,9 – 75,5)	-8,4 (21,0)	-14,5 (-21,2; 7,2)	0,156
MTA + 20% citric acid	68,8 (31,8)	64,9 (45,8 – 82,0)	65,1 (19,5)	66,7 (45,5 – 84,8)	-3,7 (41,0)	3,4 (-36,6; 23,6)	0,910
MTA + EDTA	89,0 (42,9)	711 (55,0 – 108,5)	74,9 (28,7)	73,7 (53,6 – 88,0)	-14,2 (55,8)	-13,7 (-45,2; 4,8)	0,281
Total MTA	77,6 (41,4)	64,7 (48,8 – 96,3)	70,8 (35,8)	58,9 (47,8 – 82,1)	-6,8 (52,3)	-8,3 (-27,7; 15,8)	0,043
PC + serum	88,5 (35,0)	82,4 (58,2 – 96,0)	130,1 (78,7)	118,5 (67,1 – 170,3)	41,6 (63,5)	40,3 (-7,6; 49,0)	0,017
PC + chlorhexidina	83,5 (40,7)	80,9 (59,9 – 97,6)	88,0 (31,6)	92,5 (62,5 – 108,9)	7,2 (45,7)	7,2 (-22,3; 33,2)	0,638
PC + 2,5% hypochlorite	76,8 (23,9)	72,4 (64,6 – 89,4)	75,2 (34,6)	70,1 (50,1 – 85,0)	-1,6 (51,4)	-6,9 (-35,1; 9,2)	0,363
PC + 5% hypochlorite	71,4 (26,7)	68,3 (52,9 – 92,6)	70,8 (27,4)	69,4 (51,4 – 82,7)	-0,6 (47,1)	12,9 (-33,8; 21,4)	0,733
PC + 10% citric acid	81,5 (30,5)	76,4 (69,6 – 84,3)	127,1 (74,0)	108,4 (70,1 – 171,5)	45,7 (91,8)	20,8 (-16,9; 108,1)	0,088
PC + 20% citric acid	71,7(24,5)	67,0 (59,8 – 98,1)	159,1 (92,1)	155,9 (74,0 – 224,8)	84,4 (90,5)	77,9 (8,3; 170,9)	0,005
PC + EDTA	106,7 (31,5)	106,2 (80,4 – 138,6)	111,7 (73,1)	92,4 (66,7 – 127,1)	5,0 (79,8)	-11,1 (-49,5; 18,2)	0,609
Total PC	83,3 (31,8)	77,1 (62,1 – 96,8)	108,9 (68,9)	84,7 (64,4 – 135,9)	26,1 (74,2)	9,1 (-17,6; 63,3)	0,008

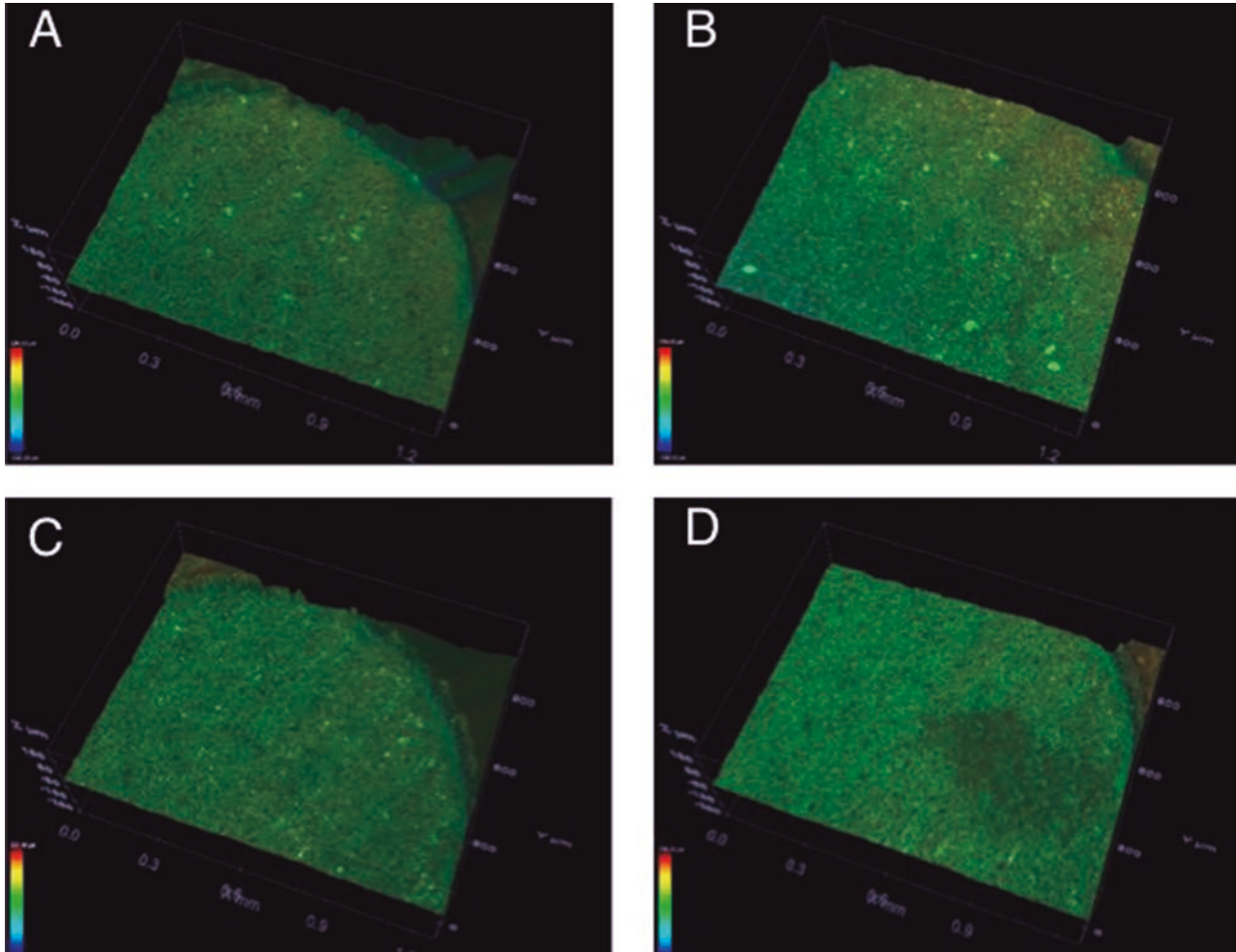


Figura 1. (A) Imagen de microscopía confocal e interferométrica de una muestra de MTA antes de la exposición a clorhexidina al 2%; (B) Imagen de microscopía confocal e interferométrica de la muestra de MTA después de la exposición a clorhexidina al 2%. (C) Imagen de microscopía confocal e interferométrica de la muestra de MTA antes de la exposición a hipoclorito de sodio al 5%; (D) Imagen del microscopía confocal e interferométrica de la muestra de MTA después de la exposición a hipoclorito de sodio al 5%.

Figure 1. (A) Confocal and interferometric microscope image of MTA sample before exposure to 2% chlorhexidine; (B) Confocal and interferometric microscope image of MTA sample after exposure to 2% chlorhexidine. (C) Confocal and interferometric microscope image of MTA sample before exposure to 5% sodium hypochlorite; (D) Confocal and interferometric microscope image of MTA sample after exposure to 5% sodium hypochlorite.

RESULTADOS

Cambios en los parámetros de rugosidad

El CP aumentó significativamente la rugosidad en los parámetros Ra y RMS con los siguientes irrigantes: hipoclorito al 2,5%, ácido cítrico al 10%, ácido cítrico al 10% y 20%, e incluso con suero fisiológico (Tablas 1, 2 y 3). En el parámetro PV solo aumentó significativamente con el ácido cítrico al 20% y el suero fisiológico. Contrariamente, el MTA no mostró cambios estadísticamente significativos respecto a la rugosidad Ra, RMS y PV con ninguno de los irrigantes. Destaca una

Differences between MTA and PC

In general, the increased roughness obtained with PC samples was significantly greater than MTA. Increases were observed for roughness parameters Ra and RMS after PC was exposed to 2.5% sodium hypochlorite and 10% and 20% citric acid, as well as physiological serum. For the other irrigants (5% sodium hypochlorite, 2% chlorhexidine, 17% EDTA), no significant differences in Ra or RMS were found between PC and MTA. For the PV parameter, the increase undergone by PC was significantly greater in comparison with MTA after exposure to 20% citric acid, as well as to physiological serum. For the re-

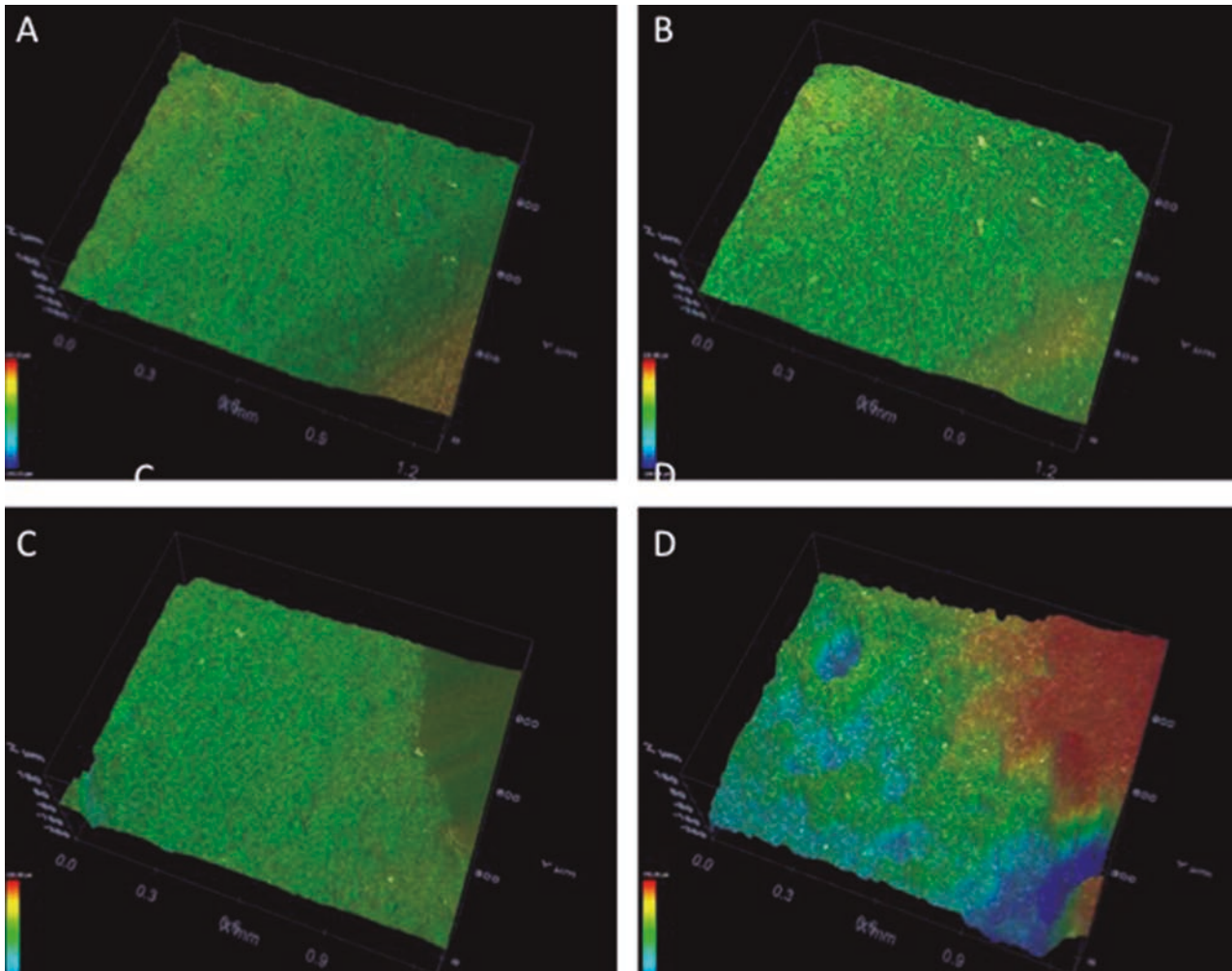


Figura 2. (A) Imagen de microscopía confocal e interferométrica de la muestra PC antes de la exposición a suero fisiológico; (B) Imagen de microscopía confocal e interferométrica de la muestra PC después de la exposición a suero fisiológico. (C) Imagen de microscopía confocal e interferométrica de la muestra PC antes de la exposición a ácido cítrico al 20 %; (D) Imagen de microscopía confocal e interferométrica de la muestra PC después de la exposición a ácido cítrico al 20%.

Figure 2. (A) Confocal and interferometric microscope image of PC sample before exposure to physiological serum; (B) Confocal and interferometric microscope image of PC sample after exposure to physiological serum. (C) Confocal and interferometric microscope image of PC sample before exposure to 20% citric acid; (D) Confocal and interferometric microscope image of PC sample after exposure to 20% citric acid.

disminución de los parámetros de rugosidad del MTA tras la exposición a clorhexidina, hipoclorito sódico, EDTA y suero, aunque esta disminución no alcanzó la significación estadística.

En las Figuras 1 y 2 se muestran las imágenes de microscopía confocal e interferométrica de las muestras de MTA y CP antes y después del tratamiento con distintos irrigantes. Se puede apreciar el aumento de la rugosidad superficial en las muestras de CP, especialmente cuando se sometieron a ácido cítrico.

En el análisis de Tukey respecto a Ra y RMS se confirmó que el aumento de la rugosidad estadísticamente

maining irrigants, no significant differences in PV were found between PC and MTA.

DISCUSSION

This study set out to investigate the effects of different irrigants on mineral trioxide aggregate (MTA) and Portland cement (PC). Among the various irrigants used in endodontics, the study tested sodium hypochlorite, as this is the most commonly used during endodontic treatment, applied at concentrations ranging from 0.5% to 6%⁽¹¹⁾. Chlorhexidine was also investigated as the most

significativo se obtenía cuando el ácido cítrico al 10% o al 20% actuó sobre el CP. Respecto a la rugosidad PV el aumento de la rugosidad fue estadísticamente significativo cuando el ácido cítrico al 20% actuó sobre el CP.

Diferencias entre las muestras de MTA y CP

En general, el aumento de la rugosidad obtenido en el CP fue significativamente mayor respecto al obtenido en el MTA. Este aumento se observó en los parámetros de rugosidad Ra y RMS tras la irrigación del CP con hipoclorito sódico 2,5% y ácido cítrico al 10% y 20%, así como con suero fisiológico. En el resto de muestras no hubo diferencias de Ra y RMS entre CP y MTA. Para el parámetro de rugosidad PV, el aumento obtenido en el CP fue significativamente mayor respecto el obtenido en el MTA tras la irrigación con ácido cítrico al 20% así como con suero fisiológico. En el resto de muestras no hubo diferencias de PV entre CP y MTA.

DISCUSIÓN

Se investigó sobre el efecto de distintos irrigantes sobre el MTA y el Cemento Pórtland blanco. De los irrigantes usados en endodoncia seleccionamos el hipoclorito sódico por ser el más habitual durante el tratamiento endodóncico. Se utiliza en concentraciones desde 0,5% a 6%⁽¹¹⁾. También seleccionamos el irrigante clorhexidina por ser la más potente de las biguanidas. Se utiliza en forma de digluconato de clorhexidina, con concentración del 2% por ser las que normalmente se utilizan en la irrigación del conducto radicular en la literatura endodóncica⁽¹²⁾. Finalmente se utilizaron como irrigantes quelantes el ácido cítrico al 10% y al 20%, y el EDTA al 17%^(13, 14). La eliminación más eficaz de la capa de barrillo dentinario podría estar relacionada con el uso de una irrigación final con solución de EDTA al 17%⁽¹⁵⁾. El suero fisiológico fue seleccionado como irrigante control, de igual manera que otros autores^(16, 17).

El uso de perfilometría 3D ha ganado popularidad en odontología para la evaluación de los procedimientos de restauración y para valorar la erosión de las superficies dentales. Este método proporciona imágenes de alta resolución y un análisis preciso de las superficies⁽¹⁸⁾. El microscopio óptico confocal e interferométrico es capaz de proporcionar perfiles de superficies en 3D de las mues-

powerful biguanide, testing chlorhexidine digluconate at a concentration of 2%, this being the normal form used for root canal irrigation⁽¹²⁾. The study also investigated 10% and 20% citric acid and EDTA, often used as chelating irrigants^(13, 14). In addition, final irrigation with EDTA at 17% has been associated with effective elimination of the smear layer⁽¹⁵⁾. Physiological serum was chosen as a control irrigant, as in other studies^(16, 17).

The use of 3D profilometry has come into increasing use in dentistry research for evaluating restoration procedures and the erosion of dental surfaces, providing high-resolution images and precise analysis of surfaces⁽¹⁸⁾. In the present study, profilometry used confocal and interferometric optical microscopy to provide surface profiles in three dimensions, allowing evaluation of the effects of irrigants on surfaces by evaluating surface roughness. The dual system offers the advantage that there is no need to make physical contact with the samples and no need to treat the surfaces with covering layers⁽¹⁹⁾.

Comparing the results with those obtained by Smith et al.⁽²⁰⁾, the present study obtained higher values, although the studies coincide in that both observed that BiopureMTAD®, which contains citric acid, increased surface roughness while EDTA decreased roughness. After irrigation with EDTA, slight surface dissolution had occurred with some areas leading to surface erosion. However, the earlier study⁽²⁰⁾ used a 5-minute immersion time and the samples had been irrigated previously with 1.3% sodium hypochlorite, so that the values obtained are not directly comparable to the present study.

A pilot study by Ballester et al.⁽²¹⁾ used grey PC (unlike the present study) with a 1-minute exposure time. It was shown that 5% sodium hypochlorite decreased surface roughness significantly, while citric acid increased it significantly. Citric acid at 10% also increased the surface roughness of PC slightly but without reaching statistical significance. EDTA at 17% did not produce any significant changes to the surface roughness of PC.

The roughness profiles correspond well with the scanning electron microscopy (SEM) images of the MTA surfaces⁽²⁰⁾. There are similarities between the characteristics observed under SEM and the confocal and interferometric microscope used in the present study. According to Guner et al.⁽²²⁾, SEM examination found that chlorhexidine altered the surface morphology of MTA observing signs of

tras sin contacto⁽¹⁹⁾. En el presente estudio se utilizó el método de microscopía de tecnología dual tridimensional para valorar el efecto de los irrigantes en la superficie sin tener que tratar previamente las muestras con recubrimiento, pudiendo así valorar los cambios acontecidos en la superficie intacta cuantitativamente mediante los valores de rugosidad.

Si comparamos los resultados con los obtenidos por Smith y cols.⁽²⁰⁾ observamos valores de Ra y PV más altos en general pero coincidimos en que el BiopureM-TAD, que contiene ácido cítrico, aumentó la rugosidad superficial y el EDTA disminuyó la rugosidad. Después de la irrigación con EDTA se produjo una mínima disolución de la superficie, relativamente suave con zonas que presentaban erosión superficial. Sin embargo en el estudio citado anteriormente⁽²⁰⁾ el tiempo de exposición al irrigante fue de cinco minutos y las muestras estuvieron irrigadas previamente con hipoclorito sódico al 1,3%, por lo que los valores no son comparables numéricamente. En un estudio piloto anterior de Ballester y cols.⁽²¹⁾ a diferencia del actual, se utilizó el CP gris y el tiempo de inmersión fue de un minuto. Se mostró que el hipoclorito sódico al 5% disminuía significativamente la rugosidad del CP y el ácido cítrico al 20% aumentaba significativamente la misma. El ácido cítrico al 10% también aumentaba ligeramente la rugosidad del cemento Portland, pero sin tener valores de significación estadística. El EDTA al 17% no variaba significativamente la rugosidad del CP.

Los perfiles de rugosidad se correspondían bien con las imágenes de microscopía electrónica de barrido (MEB) de las superficies de MTA⁽²⁰⁾. Existían semejanzas entre las características observadas en microscopía electrónica con las observadas con microscopía óptica confocal e interferométrica del presente estudio. Según Gunesser y cols.⁽²²⁾ los exámenes MEB mostraban que la clorhexidina alteraba la morfología de la superficie de MTA con signos de erosión. La cantidad y el tamaño de las estructuras globulares en la superficie de MTA disminuyeron después de 30 minutos de inmersión en clorhexidina. En nuestro estudio hallamos una pequeña disminución de la rugosidad para la clorhexidina al 2%, si bien no resultó estadísticamente significativa. En el estudio de Hong y cols.⁽²³⁾ el MTA expuesto a hipoclorito sódico al 3,5% produjo estructuras cristalinas redondas con superficies

erosión. The quantity and the size of the globular structures on the MTA surface decreased after 30 minutes immersion in chlorhexidine. The present study observed a small decrease in roughness with 2% chlorhexidine, although this did not reach statistical significance.

In a study by Hong et al.⁽²³⁾, MTA exposed to 3.5% sodium hypochlorite produced round crystalline structures with irregular surfaces, and the quantity of crystals was seen to be lower than in the control group. Sodium hypochlorite was also seen to have a detrimental effect on calcium hydroxide formation. The present study observed a certain parallel between these lower numbers of round irregular crystalline structures and the decrease in MTA surface roughness observed. It should be noted that in Hong et al.'s study the samples were still at the setting stage when observations were made.

Formosa et al.⁽²⁴⁾ evaluated the surface microstructure and characteristics of radiopaque tricalcium silicate cement and PC under different setting conditions: 100% humidity, submerged in water, or submerged in Hank's balanced salt solution (HBSS) at 37°C. A marked decrease in surface roughness (Ra) was observed for all types of cement when immersed in water. Comparing the values obtained for PC in HBSS with the effects of exposure to physiological serum in the present study, the two sets of results are similar.

Lee et al.⁽²⁵⁾ placed samples of hydrated MTA in distilled water, normal saline solution, pH 5 and pH 7, finding that the microstructure of hydrated MTA consisted of needle-shaped cubic crystals. Erosion of the cubic crystal surfaces was observed in samples exposed to pH5. In another study, Lee et al.⁽²⁶⁾ again observed loss of the crystalline structure when MTA was exposed to 17% EDTA. When MTA was hydrated with an acidic pH, it no longer formed the needle-shaped crystal structures as the surface areas covered with these crystals provided sites for reaction leading to rapid dissolution of the cement⁽²⁷⁾. Greater porosity was observed on the MTA surface exposed to low pH values^(28, 29). This dissolution of the cement and increase in porosity would explain the increase in roughness values observed in samples submerged in 10% and 20% citric acid.

Elnaghy et al.⁽³⁰⁾ studied the influence of acidic conditions on white MTA finding that the characteristic structures disappeared when the hardened cement was

irregulares, y la cantidad de cristales fue menor que la del grupo control. Además tuvo un efecto perjudicial sobre la formación de hidróxido de calcio. Observamos ciertos paralelismos entre estas estructuras redondas, irregulares y con menor número de cristales y la disminución de la rugosidad sobre MTA. Se ha de tener en cuenta que en el estudio de Hong y cols. las muestras estaban en periodo de fraguado. Formosa y cols.⁽²⁴⁾ evaluaron la microestructura y las características de superficie del cemento de silicato tricálcico radiopaco y CP expuestos a diferentes fraguados: en condiciones de 100% de humedad; sumergido en agua o en HBSS (Hank's Balanced Salt Solution) a 37°C. Una disminución marcada de la rugosidad (Ra) en la superficie fue observada en todos los tipos de cemento cuando se sumergió en agua. Cuando comparamos los valores de CP en HBSS con suero fisiológico los resultados citados son parecidos a los obtenidos en este estudio en situación inicial.

En el estudio de Lee y cols.⁽²⁵⁾ muestras de MTA hidratadas en agua destilada, solución salina normal, pH 5 y pH 7 mostraron que la microestructura del MTA hidratado consistía de cristales cúbicos y en forma de aguja. En las muestras de pH 5 se observó erosión de las superficies de los cristales cúbicos. En otra publicación Lee y cols.⁽²⁶⁾ también observaron la pérdida de estructura cristalina con EDTA al 17%. Cuando el MTA se hidrata a pH ácido, ya no se forman estructuras cristalinas en forma de aguja, porque las grandes áreas superficiales de tales cristales proporcionan un gran número de lugares de reacción para la disolución rápida del cemento⁽²⁷⁾. Más porosidad se observó en la superficie de MTA expuesto a valores bajos de pH en los grupos experimentales^(28, 29). Esta disolución del cemento y la creación de mayor porosidad explicarían el aumento de los valores de rugosidad observados en las muestras sumergidas en ácido cítrico al 10% y al 20%. Elnaghy y cols.⁽³⁰⁾ han estudiado la influencia de un ambiente ácido sobre el MTA blanco hallando que las estructuras características desaparecieron cuando el cemento endurecido se somete a un ambiente ácido con una pérdida selectiva de matriz.

En este estudio se observó una tendencia a disminuir la rugosidad del MTA en suero fisiológico y a aumentar la rugosidad de CP. Quizás la elección del suero fisiológico como control debería considerarse en posteriores estudios.

exposed to an acidic environment, with a selective loss of the cement matrix.

The present study found that physiological serum had a tendency to reduce the surface roughness of MTA and increase the roughness of PC. Although physiological serum has been used as a control medium in previous similar studies, perhaps its choice as a control substance should be reconsidered in future research.

Clinically, MTA would appear to be a more stable repair material, as its surface roughness was not greatly altered when exposed to irrigant agents. The irrigant agents, especially hypochlorite, citric acid and physiological serum had greater effects on PC, a condition that should be considered in relation to the endodontic use of the material as a root or perforation filling material. However, there may be specific clinical indications for increasing surface roughness, for example, to achieve better adhesion, so in these situations it may be recommended to use acidic materials.

As new tricalcium silicate-based materials with alternative radiopacifiers appear on the market, and new applications of these materials develop⁽³¹⁾, further research will be required into the effects of irrigants on MTA-based cements.

CONCLUSIONS

The surface roughness of PC was modified by the irrigants tested showing statistically significant changes to roughness parameters, while the surface roughness of MTA was hardly altered, and no significant changes were registered. The irrigant that increased surface roughness values the most was citric acid at a concentration of 20%.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Dr. Jordi Diaz Marcos of the Scientific-Technical Service at the University of Barcelona Nanotechnology Department for his technical assistance.

REFERENCES

1. Lee S-J, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993;19:541-4.
2. Torabinejad M WD. No Title. US Patent Number 5,769,638, 1995, n.d.

Clínicamente el MTA parece ser un material de reparación estable a la acción de los irrigantes sobre la rugosidad de la superficie de modo que se afecta poco. Por el contrario, el CP parece que se afecta más, especialmente con el hipoclorito, el ácido cítrico y el suero fisiológico. Estas propiedades se deben tener en cuenta en el uso endodóncico, como material de obturación apical o reparador de perforaciones. Puede que haya determinadas indicaciones clínicas donde sea un objetivo aumentar la rugosidad, por ejemplo para conseguir una mayor adhesión. En estas situaciones sería más recomendable utilizar materiales ácidos.

Se están desarrollando⁽³¹⁾ nuevos materiales a base de silicato tricálcico con radiopacificadores alternativos y aplicaciones de los mismos. Serán necesarios más estudios al respecto para valorar la importancia de la acción de los irrigantes sobre los cementos a base de MTA.

CONCLUSIONES

La rugosidad superficial se observó modificada en CP por los irrigantes utilizados con valores estadísticamente significativos, mientras que en MTA la rugosidad se modificó escasamente y en este caso los resultados no fueron estadísticamente significativos. El irrigante que aumentó más los valores de rugosidad superficial en las muestras fue el ácido cítrico al 20%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Jordi Díaz Marcos de los Servicios Científico- Técnicos del Departamento de Nanotecnología de la Universidad de Barcelona por su asistencia técnica.

3. Schmitt D, Lee J, Bogen G. Multifaceted use of ProRoot MTA root canal repair material. *Pediatr Dent.* 23:326–30.
4. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. *Dent Mater.* 2008;24:149–64.
5. Saghiri M, Sheibani N, Asatourian A, Garcia-Godoy F, Gutmann J, Lotfi M, et al. The effect of pH on solubility of nano-modified endodontic cements. *J Conserv Dent.* 2014;17:13.
6. Roy CO, Jeansonne BG, Gerrets TF. Effect of an acid environment on leakage of root-end filling materials. *J Endod.* 2001;27:7–8.
7. Pace R, Giuliani V, Pagavino G. Mineral trioxide aggregate as repair material for furcal perforation: case series. *J Endod.* 2008;34:1130–3.
8. Uyanik MO, Nagas E, Sahin C, Dagli F, Cehreli ZC. Effects of different irrigation regimens on the sealing properties of repaired furcal perforations. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107:e91–5.
9. Nagas E, Cehreli ZC, Uyanik MO, Durmaz V, Vallittu PK, Lassila LVJ. Bond strength of mineral trioxide aggregate to root dentin after exposure to different irrigation solutions. *Dent Traumatol.* 2014;30:246–9.
10. Aggarwal V, Jain A, Kabi D. In vitro evaluation of effect of various endodontic solutions on selected physical properties of white mineral trioxide aggregate. *Aust Endod J.* 2011;37:61–4.
11. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014;216:299–303.
12. Zehnder M. Root Canal Irrigants. *J Endod.* 2006;32:389–98.
13. González-López S, Camejo-Aguilar D, Sanchez-Sanchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the Decalcifying Effect of 10% Citric Acid, 20% Citric Acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32:781–4.
14. Baca P, Mendoza-Llamas ML, Arias-Moliz MT, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Residual effectiveness of final irrigation regimens on *Enterococcus faecalis*-infected root canals. *J Endod.* 2011;37:1121–3.
15. Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J Endod.* 2010;36:308–11.
16. Nandini S, Natanasabapathy V, Shivanna S. Effect of various chemicals as solvents on the dissolution of set White Mineral Trioxide Aggregate: An in vitro study. *J Endod.* 2010;36:135–8.
17. Yan P, Peng B, Fan B, Fan M, Bian Z. The effects of sodium hypochlorite (5.25%), chlorhexidine (2%), and Glyde File Prep on the bond strength of MTA-dentin. *J Endod.* 2006;32:58–60.
18. Munhoz MF, Marchesan MA, Cardoso DRF, Silva SRC, Silva-Sousa YTC, Sousa-Neto MD. Quantitative 3D profilometry and SEM analysis of the adaptation of root-end filling materials placed under an optical microscope. *Int Endod J.* 2011;44:560–6.
19. Wang Y, Meletis EI, Huang H. Quantitative study of surface roughness evolution during low-cycle fatigue of 316L stainless steel using Scanning Whitelight Interferometric (SWLI) Microscopy. *Int J Fatigue.* 2013;48:280–8.
20. Smith JB, Loushine RJ, Weller RN, Rueggeberg FA, Whitford GM, Pashley DH, et al. Metrologic evaluation of the surface of white MTA after the use of two endodontic irrigants. *J Endod.* 2007;33:463–7.
21. Ballester-Palacios ML, Berástegui EM, Parellada-Esquius N, Canalda-Sahli C. Interferometric microscopy study of the surface roughness of Portland cement under the action of different irrigants. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2013;18:e817–21.
22. Gunesser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic

- irrigants on the push-out bond strength of Biodentine and conventional root perforation repair materials. *J Endod.* 2013;39:380–4.
23. Hong S-T, Bae K-S, Baek S-H, Kum K-Y, Shon W-J, Lee W. Effects of root canal irrigants on the push-out strength and hydration behavior of accelerated Mineral Trioxide Aggregate in its early setting phase. *J Endod.* 2010;36:1995–9.
 24. Formosa LM, Mallia B, Bull T, Camilleri J. The microstructure and surface morphology of radiopaque tricalcium silicate cement exposed to different curing conditions. *Dent Mater.* 2012;28:584–95.
 25. Lee Y. Effects of physiological environments on the hydration behavior of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials.* 2004;25:787–93.
 26. Lee Y-L, Lin F-H, Wang W-H, Ritchie HH, Lan W-H, Lin C-P. Effects of EDTA on the hydration mechanism of Mineral Trioxide Aggregate. *J Dent Res.* 2007;86:534–8.
 27. Shie M-Y, Huang T-H, Kao C-T, Huang C-H, Ding S-J. The effect of a physiologic solution pH on properties of white Mineral Trioxide Aggregate. *J Endod.* 2009;35:98–101.
 28. Saghiri MA, Lotfi M, Saghiri AM, Vosoughhosseini S, Fatemi A, Shieza-deh V, et al. Effect of pH on sealing ability of white mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 2008;34:1226–9.
 29. Kayahan MB, Nekoofar MH, KazandaF M, Canpolat C, Malkondu O, Kaptan F, et al. Effect of acid-etching procedure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2009;42.
 30. Elnaghy AM. Influence of acidic environment on properties of biodentine and white mineral trioxide aggregate: a comparative study. *J Endod.* 2014;40:953–7.
 31. Saoud TM, Martin G, Chen Y-HM, Chen K-L, Chen C-A, Songtrakul K, et al. Treatment of Mature Permanent Teeth with Necrotic Pulp and Apical Periodontitis Using Regenerative Endodontic Procedures: A Case Series. *J Endod.* 2016;42:5.