

Estudio de la capacidad de penetración
intratubular de cemento sellador mediante 7
técnicas de obturación endodóncica: estudio con
microscopio de láser confocal.

Doctorando: Alberto Casino Alegre

Dirección: Prof. Dr. Antonio Pallarés Sabater

Resumen

La citada tesis doctoral tiene como objetivo estudiar la penetración intratubular de diferentes cementos selladores (AH Plus (sellador de resina epoxi) y Total Fill BC Sealer HiFlow (sellador biocerámico)), diferentes tipos de gutapercha (convencional y biocerámica) con técnicas de obturación radicular de frío y de calor. La utilización de técnicas de obturación con calor con materiales biocerámicos es un tema discutido, ya que se ha visto que la presencia de altas temperaturas con estos materiales producen modificaciones físicas y químicas afectando su correcto funcionamiento.

Se seleccionaron 210 dientes unirradiculares humanos y se dividieron por tercios (coronal, medio y apical). Se cortaron los dientes para obtener unas rebanadas de diente de 1 mm de grosor y fueron visualizadas y analizadas con el microscopio. Este estudio utilizó el microscopio de láser confocal para evaluar la presencia intratubular de cemento sellador junto con un colorante fluorescente llamado rodamina B que fue añadido previamente a la obturación de radicular de las muestras.

Se analizaron los resultados mediante el programa informático AutoCad y dichos resultados se anotaron en una hoja de Excel para posteriormente cuando estaba completa hacer el análisis estadístico mediante el programa informático SPSS 23 utilizando un nivel de confianza del 95%. Se usaron diferentes test estadísticos para analizar todos los datos, se consideraron estadísticamente significativos aquellos resultados en los cuales el p-valor obtenido fue $<0,05$.

Como conclusiones se observó que el uso de calor con el cemento sellador biocerámico mejoraba la penetración intratubular frente a las técnicas en frío y también cuando se usó el cemento sellador AH Plus.

Palabras clave: capacidad de penetración tubular, cementos biocerámicos, microscopio de laser confocal, gutapercha biocerámica.

Índice

1. Preámbulo.....	p. 13
2. Introducción.....	p. 15-18
2.1. Bacterias.....	p. 18-19
2.2. Irrigación.....	p. 20-22
2.3. Activación irrigación final.....	p. 22-24
2.4. Barrillo dentinario.....	p. 24-27
2.5. Obturación radicular.....	p. 27-31
2.5.1. Gutapercha.....	p. 32
2.5.1.1. Gutapercha convencional.....	p. 32-33
2.5.1.2. Gutapercha biocerámica.....	p. 33-34
2.5.2. Cementos selladores.....	p. 34-36
2.5.2.1. Cementos biocerámicos.....	p. 36-38
2.5.2.1.1. Tiempo de fraguado y solubilidad.....	p. 39
2.5.2.1.2. Filtración/sellado.....	p. 39-40
2.5.2.1.3. Capacidad antibacteriana.....	p. 40-41
2.5.2.1.4. Biocompatibilidad y citotoxicidad.....	p. 41
2.5.2.1.5. Penetración en túbulos dentinarios.....	p. 42
2.5.2.1.6. Calidad de la obturación.....	p. 42-43
2.5.2.2. Cementos de resina.....	p. 43-44
2.5.2.2.1. Tiempo de fraguado y solubilidad.....	p. 44
2.5.2.2.2. Filtración/sellado.....	p. 44
2.5.2.2.3. Capacidad antibacteriana.....	p. 45
2.5.2.2.4. Biocompatibilidad y citotoxicidad.....	p. 45
2.6. Técnicas de obturación.....	p. 46-47
2.6.1. Condensación lateral.....	p. 48
2.6.2. Termocompactación.....	p. 48-49
2.6.3. Obturación termoplástica técnica de vástago (Guttacore).....	p. 49
2.6.4. Condensación vertical.....	p. 49-50
2.6.5. Onda Continua.....	p. 50-51
2.6.6. Cono Único.....	p. 51-54

2.7. Filtración de conductos radiculares.....	p. 54
3. Justificación.....	p. 55-56
4. Hipótesis.....	p. 57
5. Objetivos.....	p. 59
6. Material y métodos.....	p. 61
6.1. Material.....	p. 61-64
6.2. Método.....	p. 65
6.2.1. Selección de muestras.....	p. 65
6.2.2. Preparación de los conductos radiculares.....	p. 66-67
6.2.3. Obturación de los conductos radiculares.....	p. 67-72
6.2.4. Análisis estadístico.....	p. 73-74
7. Resultados.....	p. 75
7.1. Área de penetración.....	p. 75-77
7.2. Penetración de cemento en el perímetro del conducto.....	p. 78-80
7.3. Porcentaje de penetración cemento en el perímetro del conducto.....	p. 81-83
7.4. Profundidad máxima.....	p. 84-87
8. Discusión.....	p. 89
8.1. Discusión del método.....	p. 89
8.1.1. Método observacional.....	p. 89-92
8.1.2. Método de selección de muestras.....	p. 92-93
8.1.3. Material utilizado.....	p. 93
8.1.3.1. Cementos.....	p. 93-95
8.1.3.2. Gutapercha.....	p. 95-96
8.1.3.3. Sistema de instrumentación.....	p. 96
8.1.3.4. Sistema de irrigación y activación.....	p. 96-97
8.1.3.5. Técnicas de obturación.....	p. 97-99
8.2. Discusión de los resultados.....	p. 100
8.2.1. Área de penetración.....	p. 100-106
8.2.2. Penetración de cemento en el perímetro del conducto.....	p. 107-109

8.2.3. Porcentaje de penetración perímetro del conducto.....	p. 110-111
8.2.4. Profundidad máxima.....	p. 111-113
8.3. Limitaciones/ Sesgos.....	p. 113
9. Conclusiones.....	p. 115
10. Bibliografía.....	p. 117-136
11. Anexos.....	p. 137-163

Índice de tablas, anexos y figuras

Tabla 1. Materiales y fabricantes utilizado.....	p. 61
Tabla 2. Área de penetración intratubular (μm^2).....	p. 75
Tabla 3. Penetración de cemento en el perímetro del conducto (μm).....	p. 78
Tabla 4. Porcentaje medio penetración de cemento en el perímetro del conducto (%)....	p. 81
Tabla 5. Profundidad máxima de cemento (μm).....	p. 84
Anexo 1. Informe favorable del comité de ética	p. 137
Anexo 2. Prueba de Levene (Área de penetración).....	p. 138
Anexo 3. Pruebas robustas de comparación de Welch (Área de penetración).....	p. 138
Anexo 4. Pruebas e comparación múltiple de Games-Howell (Área de penetración)...	p. 139
Anexo 5. Prueba de Levene (Penetración en el perímetro del conducto).....	p. 140
Anexo 6. Prueba Anova de un factor (Penetración en el perímetro del conducto).....	p. 140
Anexo 7. Test estadístico de Welch (Penetración en el perímetro del conducto).....	p. 140
Anexo 8. Pruebas de comparación múltiple de Games-Howell y Bonferroni (Penetración en el perímetro del conducto).....	p. 141
Anexo 9. Prueba de Levene (Porcentaje de penetración en el perímetro del conducto)...	p. 142
Anexo 10. Pruebas robustas de igualdad de las medias (Porcentaje de penetración en el perímetro del conducto).....	p. 142
Anexo 11. Pruebas de comparación múltiple de Games-Howell (Porcentaje de penetración en el perímetro del conducto).....	p. 143
Anexo 12. Prueba de Levene (Profundidad máxima de penetración del cemento).....	p. 144
Anexo 13. Prueba ANOVA de un factor (Profundidad máxima penetración cemento)...	p. 144
Anexo 14. Pruebas de comparación múltiple de Bonferroni (Profundidad máxima de penetración del cemento).....	p. 145
Anexo 15. Artículo publicado Journal of Clinical and Experimental Dentistry.....	p. 147-153
Anexo 16. Artículo publicado Heliyon.....	p. 155-161
Anexo 17. Diploma mejor comunicación oral centro de estudios.....	p. 162
Anexo 18. Diploma comunicación oral centro de estudios.....	p. 163
Figura 1. Sistema de activación de la irrigación. A: Punta EDDY; B: Air Scaler.....	p. 62
Figura 2. Cementos utilizados. A: TotalFill BC Sealer HiFlow; B: AH Plus.....	p. 62

Figura 3. Tipos de gutapercha utilizadas. A: BC Pellets (gutapercha biocerámica pellets); B: pellets gutapercha convencional; C: BC Points (gutapercha biocerámica 25-6%); D: gutapercha convencional F2 conform fit; E: Gutapercha convencional 25-4%.....**p. 63**

Figura 4. Unidades de obturación utilizadas. A: System B; D: EQ-V.....**p. 63**

Figura 5. GuttaCore y Horno ThermaPrep 2.....**p. 64**

Figura 6. A. Raíz dividida por tercios; B. Muestras para visualizar en el microscopio de láser confocal**p. 69**

Figura 7. Microscopio de láser confocal Leica TCS SP8.....**p. 69**

Figura 8. Imagen microscopio de láser confocal en el programa informático Autocad® con las variables estudiadas.....**p. 71**

Amarillo: conducto radicular
Azul: área de penetración tubular
Magenta: área no penetrada
Verde: distancia máxima
Verde en el perímetro del conducto: zona del perímetro del conducto sin penetración de cemento sellador

Figura 9. Interpretación de muestra en el programa informático Autocad con las diferentes partes de ella.....**p. 71**

Figura 10. Gráfica área de penetración (μm^2).....**p. 77**

Figura 11. Gráfica longitud media de penetración de cemento en perímetro del conducto (μm).....**p. 80**

Figura 12. Gráfica media de porcentaje de penetración de cemento en el perímetro del conducto (%).....**p. 83**

Figura 13. Gráfica media de profundidad máxima de penetración del cemento (μm)....**p. 86**

Figura 14. Técnica de condensación lateral: A (coronal), B (medio), C (apical); Técnica cono único: D (coronal), E (medio), F (apical); Guttacore: G (coronal), H (medio), I (apical)..**p. 87**

Figura 15. Onda continua gutapercha convencional: J (coronal), K (medio), L (apical). Onda continua gutapercha biocerámica. M (coronal), N (medio), O (apical): Condensación vertical gutapercha convencional: P (coronal), Q (medio), R (apical). Condensación vertical gutapercha biocerámica: S (coronal), T (medio), U (apical).....**p. 87**

Figura 16. Imagen característica “Efecto mariposa”.....**p. 109**

Figura 17. Imagen característica “MIZ”. La flecha verde indica la homogeneidad de los túbulos dentinarios y la incapacidad de poder distinguirlos.....**p. 109**

Tabla de acrónimos

BaSO₄: sulfato de bario

BC Pellets: gutapercha biocerámica pellets

BC Points: gutapercha biocerámica puntas

BC sealer: Endosequence/TotalFill BC sealer

BCC: gutapercha modificada impregnada o revestida de una nanocapa de partículas de biocerámicas

BCS: sellador biocerámico

CLSM: microscopio de láser confocal

EDTA: ácido etilendiaminotetraacético

GAM: gutapercha apical maestra

LT: longitud de trabajo

Micro-CT: microtomografía computarizada

MIZ: zona de infiltración mineral

NaOCl: hipoclorito de sodio

Nano CT: nanotomografía computarizada

Ni-Ti: Níquel-Titanio

PBS: solución salina tamponada con fosfato

PUI: irrigación ultrasónica pasiva

SEM: microscopio electrónico de barrido

ZOE: óxido de zinc eugenol

1. Preámbulo

Para alcanzar el deseado éxito del tratamiento endodóncico, las diferentes técnicas de obturación radicular desempeñan un papel importante, su principal función es rellenar las irregularidades morfológicas dentro del conducto radicular y proporcionar cierto grado de penetración del cemento sellador en los túbulos dentinarios para mejorar la obturación y prevenir o minimizar la microfiltración. La capacidad de sellado es de suma importancia en el sellador, el uso de este es esencial porque establece una unión entre el material de relleno del núcleo (normalmente gutapercha) y la dentina radicular. A menudo, la elección de una técnica de obturación se basa en factores como la velocidad, la simplicidad o la economía, en lugar de en la anatomía radicular o en otros parámetros cuantitativos. El relleno del conducto radicular debe considerarse como el paso final de la desinfección.

El sistema de conductos radiculares no se puede limpiar y desinfectar completamente con la preparación quimiomecánica, por tanto la obturación del conducto radicular se usa para eliminar vías de filtración a los tejidos perirradiculares y sellar cualquier irritante residual dentro del sistema de conductos. La principal función de la obturación radicular es conseguir un sellado hermético del conducto con un material de relleno inerte y eliminar todas las vías de entrada entre el periodonto y el sistema de conducto/conductos.

Los materiales basados en biocerámica recientemente introducidos tienen propiedades físicas, químicas, mecánicas y biológicas atractivas. En endodoncia, los cementos biocerámicos promueven la remineralización de la dentina, tienen una citotoxicidad aceptable, muestran efecto antibacteriano y una buena penetración en los túbulos dentinarios. Esta última característica es de vital importancia ya que vamos a conseguir un efecto bactericida por contacto y otro efecto de enterramiento de bacterias en el interior de los túbulos dentinarios. El cemento biocerámico se desarrolló como un relleno permanente del conducto radicular, no se contrae durante el fraguado lo que aumenta su capacidad de sellado.

2. Introducción

Contexto histórico (1-3)

Si revisamos y comprendemos los logros de nuestros predecesores, quizás podamos ampliar nuestro desarrollo futuro.

La era empírica (1687-1805)

La teoría del "gusano de los dientes" se ha mantenido a lo largo de los tiempos desde la época de los babilonios. Se pensaba que el gusano de los dientes residía en el hueco de un diente, donde causaba dolor de muelas al roer la estructura del diente. Incluso Pierre Fauchard no negó públicamente su existencia, aunque dijo que los gusanos dentales no se generaban espontáneamente y que debían llegar a la estructura de los dientes a través de la contaminación de la estructura dental a partir de alimentos contaminados, si es que existían.

En 1700, Anton von Leeuwenhoek, contribuyó a desmentir la teoría del "gusano de los dientes".

En 1728, Pierre Fauchard, el "fundador de la odontología moderna", escribió El cirujano dentista. Este libro ofrecía descripciones precisas de las cavidades pulpares y los conductos radiculares de los dientes. En él, Fauchard describía la práctica de abrir los dientes para aliviar los abscesos y evacuar el pus. Tras dejar el diente abierto durante un periodo de dos a tres meses, rellenaba la cámara pulpar con una lámina de plomo. Aunque no mencionó el tratamiento de conductos, describió un procedimiento de extirpación de la pulpa con un pequeño alfiler.

En 1756, Phillip Pfaff, el dentista alemán de Federico el Grande, mencionó por primera vez un procedimiento de recubrimiento pulpar. Simplemente recortó un trozo de oro o plomo para aproximarse a la abertura sobre la pulpa y lo colocó sobre la exposición de manera que la superficie más cercana a la pulpa fuera cóncava. Esto evitaba que el metal tocara el nervio expuesto. Esta técnica fue probablemente una mejora del método de Fauchard de rellenar la cavidad directamente sobre la exposición.

La era vitalista (1806-1878)

En 1802, B. T. Longbothom, de Charleston, recomendó empastar las raíces de los dientes cuando se consideraba desaconsejable extraerlos. Sin embargo, a Edward Hudson, un irlandés que ejercía en Filadelfia, se le suele atribuir el mérito de haber sido el primero en colocar empastes en los conductos radiculares en 1809.

Koecker se convirtió en un dentista de éxito y escribió Principios de cirugía dental en 1826, un excelente texto que se convirtió en una obra estándar durante 50 años. Popularizó el procedimiento de recubrimiento pulpar, éste dominó los procedimientos de tratamiento de la pulpa durante más de 50 años.

En 1837, Jacob Linderer y su hijo Joseph, estudiante de odontología, publicaron un manual en el que recomendaban el uso de un aceite esencial o narcótico para insensibilizar la pulpa antes de intentar colocar un empaste permanente en un diente con la pulpa expuesta.

La época de la infección focal (1909-1937)

La teoría de la infección focal reinó durante aproximadamente 25 años y generó un gran número de seguidores en la profesión dental estadounidense. Estos hombres, que condenaban a todos los dientes sin pulpa a la extracción, eran conocidos como los "cien por cien".

La era científica (1937-1963)

El futuro de la endodoncia es apasionante e ilimitado. A medida que avanzamos debemos recordar siempre a todos los que nos precedieron. Sin sus esfuerzos no habríamos tenido el futuro. Un viejo proverbio italiano resume el tema básico de esta serie de artículos. "Chi lascia la via vecchia per al nuova, sa quel che perde e non sa quel che trova". (Quien abandona la vía vieja por la nueva sabe lo que pierde pero no lo que encontrará).

Contexto actual

Las infecciones bacterianas se consideran las causas más comunes de patologías pulpares, necrosis, pulpitis y lesiones periapicales. A consecuencia de éstas, los microorganismos y sus subproductos tóxicos juegan un papel crítico en el inicio y desarrollo de las patologías pulpares (4, 5). El objetivo del tratamiento de conductos es la prevención, el tratamiento de la periodontitis apical o, más precisamente, la prevención o eliminación de la infección microbiana (6). Este objetivo consiste en eliminar la mayor parte de los microorganismos del sistema de conductos radiculares infectados (7).

Como el principal factor etiológico de la infección es la presencia de bacterias, el tratamiento endodóncico se dirige al control y la eliminación de la flora bacteriana del conducto trabajando de forma “estéril”. Con todos los avances en las técnicas de endodoncia, todavía carecemos de un sistema perfecto que pueda erradicar completamente los microorganismos. El sistema radicular presenta muchas variaciones en la anatomía, como conductos de forma irregular, conductos laterales, conductos accesorios, istmos, deltas apicales, etc....(8)

El éxito del tratamiento endodóncico se basa en la desinfección y sellado completo del sistema de conductos radiculares, sin embargo, las bacterias restantes podrían ser viables incluso después de la preparación quimiomecánica (9, 10). Se ha observado la presencia de microorganismos, incluso después de una preparación quimiomecánica completa (11, 12). Por lo tanto es esencial crear un sellado hermético del sistema de conductos utilizando materiales de obturación (13).

Estudios previos demostraron que la presencia de microorganismos en el momento de la obturación radicular afecta negativamente al resultado del tratamiento endodóncico primario (14, 15). Por lo tanto, es esencial eliminar o al menos reducir las poblaciones microbianas a un nivel subcrítico que sea compatible con la cicatrización del tejido perirradicular por la respuesta inmune del huésped (5).

Para ello se recomienda rellenar el conducto con el material de obturación endodóncico más común en todo el mundo que es la gutapercha. La gutapercha por sí misma no puede obturar el sistema de conductos debido a que no es capaz de adherirse a las paredes del mismo; su capacidad de sellado con solo el cono se ve deteriorada cuando se usa sin cemento sellador (16), por tanto se hace indispensable el uso de este material sellador. También cabe destacar que el éxito, depende en parte

de la capacidad del cemento endodóncico para realizar una función de sellado y prevenir así la infección recurrente del espacio periapical de origen endodóncico. Este sellado puede ser mecánico con materiales que proporcionan un cierre hermético (el propio proporcionado por el material sellador, sellando túbulos dentinarios de manera física), pero también puede ser de origen biológico (17). En este caso, el material de obturación induce la formación de tejido duro por las células PDL, aislando el conducto radicular de los tejidos circundantes y estimulando los procesos de cicatrización de los tejidos apicales dañados (17).

El sellador ideal debería ser capaz de eliminar las bacterias restantes presentes en las paredes dentinarias de los conductos radiculares y también las presentes en las profundidades de los túbulos dentinarios. Para lograr esto, el sellador no solo debe eliminar las bacterias por acción de contacto, sino también debe poder difundir dentro de los túbulos dentinarios. Esto es posible solo si el sellador tiene buenas propiedades de flujo. Las mediciones de flujo evalúan la capacidad del sellador para llenar los conductos accesorios, los conductos principales y el espacio entre la gutapercha (8). Por lo tanto, al planificar la medición de las propiedades antibacterianas de un sellador, debe tenerse en cuenta el contacto y la difusión del sellador junto con su propiedad de flujo (8).

Es ampliamente reconocido que los selladores si se extruyen a través de la constricción apical, pueden entrar en contacto directo con los tejidos periapicales y pueden afectarlos. Por lo tanto, los selladores deben ser biocompatibles y no citotóxicos con los tejidos periapicales (18).

2.1. Bacterias

La infección intrarradicular primaria es causada por microorganismos que inicialmente invaden y colonizan el tejido pulpar necrótico. Es caracterizado por bacterias anaeróbicas, donde se han identificado diversos grupos bacterianos, bacterias Gram negativas y Gram positivas en infecciones primarias, destacando *Porphyromonas spp.*, *Prevotella spp.*, *Treponemas orales*, *Fusobacterium nucleatum* y *Enterococcus spp.*, (19).

Los microorganismos intrarradiculares pueden superar la barrera de defensa periapical y establecer una infección extrarradicular, que puede causar un absceso apical agudo entre otros. Los

microorganismos cultivables que prevalecen en la infección extrarradicular son las bacterias anaeróbicas tales como *Actinomyces spp.*, *Propionibacterium propionicum*, *Treponema spp.*, *Porphyromonas endodontalis*, *Porphyromonas gingivalis*, *Treponema forsythia*, *Prevotella spp.*, y *Fusobacterium nucleatum*; aunque por secuencia genómica han aparecido muchos otros. Otro microorganismo que puede sobrevivir como mono infección e incluso invadir los túbulos dentinarios es la *Cándida albicans* (20).

Se ha encontrado que los principales factores asociados con el fracaso endodóncico son la persistencia de la infección microbiana en el sistema de conductos y/o el área perirradicular (21). Una vez que estas bacterias han infectado los túbulos dentinarios, su erradicación es muy difícil incluso con el uso de varias soluciones de irrigación y medicamentos durante el tratamiento de conductos (22).

Enterococcus faecalis es un microorganismo anaerobio facultativo gram-positivo, forma parte de la flora oral, y desempeña un papel importante en la etiología de las lesiones perirradiculares persistentes después del tratamiento de conductos (21). La invasión de los túbulos dentinarios, la compatibilidad con las condiciones inadecuadas y capacidad de poder vivir en situaciones de inanición (23, 24), son algunos de los factores que introducen este microorganismo como un patógeno resistente en tratamientos o retratamientos de conductos (10, 25, 26).

Sundqvist y cols. (27) relataron que el 38% del fracaso en los tratamientos de conductos estaban infectados por *Enterococcus faecalis*. Este puede formar biopelículas, por lo que se vuelve más resistente a la fagocitosis, anticuerpos y antimicrobianos, que los organismos que no producen biopelículas. Por todas estas razones, es uno de los microorganismos más ampliamente estudiados en el campo de la endodoncia (28).

A pesar de la preparación quimiomecánica con soluciones de irrigación antimicrobianas, algunos microorganismos, incluyendo *E. faecalis*, pueden sobrevivir en el sistema de conductos radiculares. Los medicamentos intraconducto deben tener un espectro antimicrobiano amplio, deben poder difundirse a través de los túbulos dentinarios y por todas las ramificaciones del sistema de conductos incluyendo las áreas que ni los instrumentos, ni la solución de irrigación pueden alcanzar y no deberían ser citotóxicos para los tejidos vivos (29, 30).

2.2. Irrigación

Las complejidades anatómicas de los sistemas de conductos radiculares limitan el efecto de la instrumentación mecánica. La instrumentación e irrigación no pueden considerarse por separado; los términos que se usan para combinar estos dos aspectos serían preparación quimiomecánica o preparación biomecánica (31).

Los objetivos del tratamiento endodóncico son eliminar los microorganismos y prevenir la recontaminación del sistema de conductos, debido a la compleja anatomía de los mismos, la cual incluye conductos laterales, ramificaciones, deltas, istmos, etc... es imposible la completa desinfección del sistema de conductos usando únicamente la instrumentación mecánica (32). La irrigación es un complemento de la instrumentación porque elimina bacterias, residuos y tejido pulpar (33).

Aunque la instrumentación mecánica, combinada con la irrigación jeringa-aguja de diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio (NaOCl) es capaz de reducir significativamente las poblaciones microbianas, las bacterias remanentes aún se identifican en el 38-54% de esos conductos radiculares (11, 34-36). Esto puede explicarse por la complejidad anatómica de los sistemas de conductos y las limitaciones asociadas con el desbridamiento quimiomecánico contemporáneo y los procedimientos de irrigación (37, 38). Los microorganismos tienen la capacidad de sobrevivir y colonizar áreas que son inaccesibles para los irrigantes antibacterianos. En consecuencia, hay presencia de bacterias y residuos de contenido orgánico en varias regiones, incluida la luz del conducto radicular, paredes, ramificaciones, túbulos dentinarios, istmos e irregularidades (39).

La instrumentación del conducto radicular produce una capa de barrillo dentinario en la pared de este, la eliminación del barrillo dentinario es un factor a tener en cuenta. Estudios previos demostraron que la capa de barrillo dentinario dificulta la penetración de irrigantes, materiales de obturación y medicamentos intraconducto en los túbulos dentinarios (40-42), lo que protege a las bacterias contenidas en ellos (43).

Las soluciones químicas se consideran como auxiliares fundamentales durante la terapia endodóncica porque actúan en áreas inaccesibles (33). Se sabe que, durante la irrigación, la solución

inicialmente entra en contacto directo con la capa de dentina más superficial y luego se difunde hacia el interior de la dentina tubular, promoviendo la limpieza (44). Esta limpieza tiene como objetivo eliminar los restos de pulpa, restos de barrillo dentinario y microflora bacteriana, buscando la reparación de los tejidos periapicales (45).

La solución de NaOCl ha sido ampliamente estudiada en la literatura, es el irrigante endodóncico más recomendado y usado (46, 47). Tiene la capacidad de disolver colágeno (48), materia orgánica, tejido pulpar vital, necrótico y eliminar microorganismos (46). Se trata del mejor disolvente del tejido pulpar cuya capacidad de disolución depende de la integridad estructural de los componentes del tejido conjuntivo de la pulpa, de su concentración y de su temperatura (49). Presenta capacidad de desbridamiento a la hora de eliminar los detritus desarrollados durante la preparación, favorece la instrumentación de los conductos debido a la lubricación que genera humedeciendo las paredes y permitiendo así un mejor paso de los instrumentos. Es un agente antimicrobiano, tiene capacidad de eliminar y destruir los microorganismos de los conductos radiculares ya sean bacterias o virus que se generan por esporas, presentando así una potente acción antibacteriana (50).

Tiene una baja tensión superficial que le permite entrar en cada una de las concavidades de los conductos radiculares, de esta forma permite que posteriormente resulte más eficaz la aplicación de medicamentos de forma tópica. Estudios sobre la efectividad de distintas concentraciones de NaOCl con respecto a su acción solvente y bactericida, están de acuerdo en que las soluciones con una concentración superior resultan más efectivas que otras soluciones con concentraciones más bajas. Por ello, la única concentración con capacidad de remover físicamente la capa de biofilm bacteriano y no permitir que las bacterias sean viables es al 6 %, aunque con una concentración del 3% también determinó que fue capaz de romper y eliminar la biopelícula (51).

Sin embargo, el NaOCl es citotóxico y puede causar necrosis tisular local en caso de extrusión al área periapical (52). Además, algunos estudios muestran que en concentraciones más altas, asociado con una solución quelante, puede causar la alteración de los componentes orgánicos e inorgánicos de la dentina, modificación del contorno peritubular y, en consecuencia, la erosión de la dentina (53), debilitando la estructura dental (54). Una de las consecuencias de la irrigación del conducto es la modificación de la interacción de la dentina con el sellador al afectar a las características del sustrato dentinario (55).

Cuando se usa solo dentro del conducto radicular, el NaOCl es tan ineficaz como el agua destilada para eliminar la capa de barrillo dentinario producida durante la preparación mecánica (56, 57). Por lo tanto, algunos estudios han demostrado que el uso de una combinación de NaOCl y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es particularmente efectivo en la eliminación de la capa de barrillo dentinario (57).

La biomineralización es un proceso eficaz para restaurar las características fisicoquímicas de la dentina (58-60). La mineralización tisular guiada se puede lograr utilizando nanocomplejos precursores de quitosan-hidroxiapatita (61). El quitosan es un biopolímero lineal que se encuentra en la superficie de la dentina, ha demostrado ser biocompatible, biodegradable y antibacteriano (62). La incorporación de quitosan en las soluciones de irrigación se ha utilizado para mejorar las propiedades mecánicas del colágeno (63). Así pues, el acondicionamiento de la dentina del conducto radicular con nanocomplejos de quitosan-hidroxiapatita antes de la obturación radicular podría modificar las características de la dentina, lo que mejoraría la interacción sellador de silicato tricálcico-dentina y la integridad mecánica (62).

El gluconato de clorhexidina se ha utilizado en endodoncia como irrigante. Recientemente, debido a su efecto antimicrobiano y adsorción a los tejidos duros dentales, también se ha sugerido como medicamento intraconducto. Los autores han demostrado que la clorhexidina es más efectiva que el hidróxido de calcio cuando se usa contra *Enterococcus faecalis* y que el uso de medicación intraconducto con clorhexidina sola o asociada con hidróxido de calcio reduce los factores microbianos responsables del dolor y la inflamación después del tratamiento (29, 30).

2.3. Activación irrigación final

La administración de irrigantes se puede clasificar básicamente en técnicas de administración manual y dispositivos de activación mecánica (64). La irrigación manual incluye irrigación por presión positiva, que se realiza comúnmente con una jeringa y una aguja con salida lateral (65). Las técnicas mecánicas incluyen el uso de presión negativa, métodos de activación/agitación como puntas ultrasónicas, dispositivos sónicos, cepillos, limas rotatorias de plástico u otro tipo de material que dentro del conducto activan la irrigación con su movimiento (66, 67).

La parte apical del conducto, por su forma, presenta un desafío especial y se ha observado que la irrigación con jeringa y aguja tiende a dejar estas partes del conducto cubiertas con una capa de barrillo dentinario, a pesar de la aplicación de EDTA (68). Al enfrentarnos a sistemas de conductos cerrados, la dinámica de fluidos resulta especial, el intercambio de irrigantes en la porción apical del conducto es muy complicada, por tanto llevar al tercio apical su acción de limpieza y desinfección será todo un reto. Dichos sistemas cerrados conllevan atrapamientos de aire en el tercio apical, que se ven favorecidos por la formación de determinados vapores (amonio y dióxido de carbono) producidos por la descomposición de materia orgánica del NaOCl, este efecto recibe el nombre de “Vapor Lock”, que podríamos definirlo como aire atrapado en la zona apical del sistema de conductos que impide el paso de irrigantes. (69, 70).

En la actualidad encontramos el sistema EDDY, presenta irrigación sónica con vibraciones generadas por un Air Scaler (W&H Dentalwerk Bürmoos GmbH, Bürmoos, Austria) (71). La punta EDDY (EDDY; VDW, Munich, Alemania) está hecha de poliamida flexible para evitar que corte la dentina y cambie la morfología del conducto radicular durante la activación sónica (5000-6000 Hz) (72). Se informó que el dispositivo de activación sónica EDDY era efectivo para eliminar microfilms bacterianos, barrillo dentinario y tejidos orgánicos de las paredes del conducto (72, 73). El dispositivo de activación sónica también demostró una alta eficacia en la reducción de la carga bacteriana en comparación con la irrigación ultrasónica pasiva y una mejor eficacia en comparación con la irrigación con jeringa y aguja convencional(74).

El sistema EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK) es un sistema de activación sónica diseñado para producir una agitación vigorosa de fluidos intraconducto. Ha demostrado aumentar la eficacia de la irrigación en mayor medida que la irrigación con aguja tradicional (75).

La irrigación sónica es diferente a la ultrasónica por la frecuencia de operación: 1-6 kHz frente a 25-30 kHz respectivamente (76).

La irrigación ultrasónica pasiva (PUI), descrita por primera vez por Weller y cols. en 1980, utiliza una punta de acero inoxidable, titanio u otro tipo de aleaciones metálicas para activar el irrigante en el interior del conducto (77). Es capaz de interrumpir el biofilm bacteriano, lo que facilita una mejor penetración de los irrigantes en los túbulos dentinarios (76). Usada como irrigación final ha

demostrado mayor capacidad de eliminación de la capa de barrillo dentinario que la jeringa convencional (78). Lui y cols. (79) y Schmidt y cols. (80) encontraron que el uso de ultrasonido con EDTA al 17% mejora la eliminación de la capa de barrillo dentinario.

El EndoVac (Kerr Corporation, Oranga, California, EE. UU.) es un sistema de irrigación apical por presión negativa (81), fue introducido en 2007 y fue diseñado para que hubiera un continuo intercambio de irrigante en el tercio apical y las regiones no instrumentadas del sistema de conductos. El dispositivo consta de una punta de suministro que va a depositar el irrigante en la cámara pulpar; y de una microcánula con microperforaciones apicales que está conectada al sistema de aspiración. Se coloca dentro del conducto a longitud de trabajo o un mm menos. Esta microcánula va a ejercer una acción de succión lo que va a llevar todo el irrigante depositado en la cámara pulpar al interior del sistema de conductos (82).

La PUI, la sónica (EndoActivator®; Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EE. UU.) y el EndoVac (Kerr Corporation, Oranga, California, EE. UU.), han dado como resultado una eliminación superior de la capa de barrillo dentinario en conductos radiculares tanto rectos como curvos (83, 84) en comparación con la irrigación con jeringa y aguja.

2.4. Barrillo dentinario

Se ha demostrado que se puede lograr una unión micromecánica y química de los cementos selladores a las paredes del conducto radicular, pero solo después de una limpieza y conformación adecuadas, por tanto es importante la eliminación de la capa de barrillo dentinario de las paredes del sistema de conductos (85).

El uso de instrumentos para la conformación del sistema de conductos crea una cantidad considerable de residuos dentinales que constituyen en parte la capa de barrillo dentinario (86). Está compuesta por virutas de dentina, soluciones irrigantes, bacterias, subproductos bacterianos, restos de tejido pulpar, procesos odontoblásticos, células de la sangre en el interior de túbulos dentinarios, etc... todos ellos se adhieren a las paredes del conducto radicular por lo que debe ser eliminada completamente (87, 88).

Podrían diferenciarse como dos capas separadas: una capa que se presentaría como un depósito superficial suelto y otra capa que se extendería hacia los túbulos dentinarios, formando tapones de estos, también llamados tapones de oclusión (86).

La capa de barrillo dentinario puede crear un espacio entre la pared del conducto radicular y los materiales de obturación (88). Esta capa representa una barrera que reduce la profundidad de penetración de los agentes antimicrobianos en los túbulos dentinarios (42). Además, aumenta la microfiltración bacteriana, reduce la resistencia de unión de los materiales de obturación en las paredes del conducto radicular y disminuye la capacidad de penetración de estos en los túbulos dentinarios (89). La ausencia de dicha capa de barrillo nos permitirá sellar los túbulos dentinarios con los materiales de obturación (86), también puede permitir la introducción de medicación intraconducto para penetrar en los túbulos y conseguir una mejor desinfección (88).

Agentes quelantes, como EDTA, ácido cítrico, ácido maleico, ácido fosfórico y combinaciones de EDTA con NaOCl se han utilizado para eliminar dicha capa de barrillo dentinario (90-92). Se ha demostrado que el EDTA al 17% y el NaOCl al 5,25% eliminaban efectivamente la capa de barrillo dentinario (93). El resultado clínico del tratamiento endodóncico mejora cuando se usa EDTA (94), lo que podría atribuirse a la eliminación de la capa de barrillo dentinario.

El EDTA es el irrigante más utilizado en endodoncia para eliminar la capa de barrillo dentinario (95), con una concentración al 17 % es el mejor irrigante para eliminar el barrillo dentinario y así conseguir un buen punto de unión entre la dentina y el cemento sellador (22). Tiene algunas desventajas, como una baja actividad antimicrobiana (96), una limpieza limitada en el tercio apical de los conductos radiculares en ausencia de activador (97), además produce modificaciones importantes en las propiedades mecánicas de la estructura dentinal en caso de mucho tiempo de exposición (98).

Otras funciones de la irrigación con EDTA, aparte de la de eliminar el barrillo dentinario, podría ser la optimización de las condiciones para la diferenciación celular, la formación de tejidos y la regeneración a través de la exposición de factores de crecimiento atrapados en la matriz de la dentina (99). El EDTA se usa ampliamente como agente quelante y puede reaccionar con los iones de calcio en los cristales de hidroxiapatita, eliminando dicho ion de la dentina (100).

Los agentes quelantes extraen el calcio de la red de cristales de fosfato de calcio inorgánico; esto resulta en la desmineralización de la capa de dentina superficial y la exposición de las fibrillas de colágeno de la matriz orgánica (101). Las soluciones con 15% de EDTA redujeron significativamente la microdureza de la capa de dentina más superficial del lumen del conducto (44).

El EDTA como agente quelante se combina con los iones de calcio en la estructura dental a diferencia de los ácidos, como el cítrico, el maleico y el tánico, que disuelven la estructura inorgánica en función de su bajo PH. La eficacia quelante de EDTA es limitada ya que no se produce una disolución adicional de los iones de calcio del diente después de que todos los iones estén unidos y se alcance el equilibrio (86).

Desde una perspectiva química, el NaOCl disuelve los componentes orgánicos, mientras que el EDTA elimina los componentes inorgánicos de la capa de barrillo dentinario (102). Sin embargo, cuando el NaOCl se asocia con EDTA, se observan alteraciones de los componentes de dentina orgánicos e inorgánicos y erosión (53, 57) por tanto es imprescindible el uso con suero salino entre de ellos.

El uso del EDTA al 17 % a pH 7 facilita el acceso a los conductos radiculares pudiendo descalcificar hasta una profundidad de 50 μm (90). El tiempo de uso de este tipo de quelantes aún no está claro por el momento. Diversos estudios han llegado a la conclusión de que para lograr una limpieza efectiva del EDTA al 17 % tanto líquido como en forma de pasta el tiempo de trabajo debe ser entre uno y 5 minutos (90).

Se buscan alternativas al EDTA ya que no es natural y se considera un contaminante potencial (103). Se sabe que la aplicación de tiempo y el volumen de EDTA, mayor de 1 minuto o 1 ml causan erosión dentinal (104).

El ácido cítrico es un ácido orgánico débil que reacciona rápidamente con los iones de calcio. Un estudio reciente de Silva y cols. (105) mostró una eliminación efectiva de la capa de barrillo dentinario con ácido cítrico al 10% en comparación con EDTA. Sin embargo, no hay una conclusión unificada con respecto a esta capacidad en todas las investigaciones (103, 106, 107).

El ácido maleico se usa en el grabado en odontología adhesiva y la eliminación de la capa de barrillo dentinario en endodoncia. La capacidad del ácido maleico para eliminar la capa de barrillo dentinario ha sido comparable a la del EDTA (103) o incluso mayor (97, 108).

El MTAD BioPure (Tulsa Dental, Tulsa, OK, USA) fue introducido en el mercado en 2003 por Torabinejad y cols. (109). Es un irrigante que combina la tetraciclina (doxiciclina)+ácido cítrico+detergente (Tween 80), unifica varias características que poseen otros irrigantes como la acción antibacteriana del hipoclorito de sodio al 5,25 %, efecto de remoción del barrillo dentinario al igual que el EDTA al 17 %.

2.5. Obturación radicular

Actualmente se acepta que el objetivo principal en la obturación radicular mediante materiales de relleno inerte es prevenir cualquier intercambio entre la cavidad oral, el sistema de conductos y los tejidos perirradiculares, lo que va a proporcionar una barrera para la infección o reinfección del sistema de conductos (110). Se ha sugerido que los conductos radiculares con relleno insuficiente o infraobturados puede ser un factor importante en el fracaso del tratamiento (111).

Uno de los requisitos más importantes del sellador radicular es su adaptación a la dentina. El grado de adaptación depende de multitud de factores que interactúan, como la energía superficial intermolecular de la dentina, su limpieza, la tensión superficial del sellador y su capacidad de humectación (112). Clínicamente, la zona crítica de obturación radicular susceptible de sufrir fugas bacterianas se encuentra en la interfaz entre el sellador y la dentina (113). Según Estrela y cols. (114), las regiones que contienen vacíos pueden aumentar la posibilidad de invasión y recolonización bacteriana, ya que las bacterias pueden pasar a la interfaz entre el sellador y la pared del conducto radicular (115). Sarkar y cols. (116) informaron de que la mejor adaptación a la dentina de un material bioactivo en presencia de humedad puede deberse al proceso de biomineralización.

El sistema de conductos radiculares no se puede limpiar y desinfectar completamente con la preparación quimiomecánica (117), por tanto la obturación del conducto se usa para eliminar vías de filtración a los tejidos perirradiculares y sellar cualquier irritante residual contenido en él (118).

Las diferentes técnicas de obturación endodóncica desempeñan un papel importante para rellenar las irregularidades morfológicas dentro del conducto radicular y proporcionar cierto grado de penetración del cemento sellador en los túbulos dentinarios para mejorar la obturación y prevenir o minimizar la microfiltración (119).

A menudo, la elección de una técnica de obturación se basa en diferentes factores, en lugar de en la anatomía radicular u otros parámetros (120). La obturación del conducto radicular debe considerarse como el paso final de la desinfección (121). Ninguna técnica de instrumentación quimiomecánica permite erradicar el 100% de las bacterias presentes en un sistema de conductos infectados (122-125).

La condensación lateral es la técnica de obturación más común. Además es una técnica de obturación con bajo coste (126). Sin embargo, por lo general, hay presencia de vacíos en el material sellador, separación entre las puntas de gutapercha, huecos del condensador y deficiencias de unión de material (127).

Schilder introdujo una técnica de obturación termoplástica en 1967 (128), la condensación vertical. Esta técnica muestra una mejor adaptación del material de relleno inerte a las paredes del conducto en comparación con la condensación lateral, y da como resultado una obturación exitosa de los conductos laterales con un menor tiempo (127). Esta técnica tiene algunas desventajas, como por ejemplo, la no estabilidad del material durante el calentamiento y enfriamiento, ya que se observa una contracción (1% -2%), lo que puede producir huecos en la obturación del sistema de conductos (126). Con el uso de esta técnica se aumenta el riesgo de extrusión apical del sellador (129).

La técnica de onda continua es una técnica de obturación radicular con calor, similar a la condensación vertical pero con claras diferencias entre ambas en cuanto a la aplicación del calor, diseñada por Buchanan en 1996 (130).

La técnica de obturación de cono único utiliza un solo cono de gutapercha y cemento sellador. Es simple, fácil de dominar y ahorra tiempo a los odontólogos. En la técnica de cono único no se ejerce presión longitudinal ni lateral en las paredes del conducto radicular, a diferencia de las técnicas de obturación con condensación que sí que presentan dichos tipos de presiones (131, 132). Por lo tanto, el riesgo de fractura radicular disminuye en los dientes obturados mediante la técnica de cono único (133). Además, no se espera daño térmico al ligamento periodontal cuando se usa la técnica de cono único, este daño térmico sí podríamos encontrarlo en las técnicas de condensación vertical, onda continua y termocompactación (134).

Sin embargo, debido a que no existe presión de condensación durante el procedimiento de obturación, el conducto siempre contiene una cantidad de cemento sellador, que es mucho mayor que para las técnicas de condensación lateral y condensación vertical caliente (135).

La contracción durante el fraguado y la disolución cuando se pone en contacto con el fluido tisular son problemas comunes en la mayoría de los selladores disponibles actualmente (136). Estas deficiencias darán lugar a la aparición de vacíos en la interfase de los selladores con la pared del conducto. Después de un tiempo podríamos observar la microfiltración en el sistema de conductos; afectando al resultado del tratamiento endodóncico. La técnica de cono único con cementos selladores de resina rara vez se ha utilizado en los últimos años.

En la actualidad, con la aparición de cementos selladores biocerámicos y su propiedad de expansión (137), la técnica de cono único vuelve a estar en uso de manera optimizada evitando todos los inconvenientes nombrados anteriormente.

El sistema Thermafil (Dentsply Sirona), se ha desarrollado como obturación termoplástica con técnica de vástago para realizar un relleno tridimensional del conducto radicular con un espesor de sellador más pequeño (138, 139). Sin embargo, la presencia de su soporte de plástico podría ser un verdadero problema. En primer lugar, los odontólogos generales, que carecen de los principios básicos para usar el obturador Thermafil, podrían realizar un relleno del conducto con el soporte de plástico desnudo en el último milímetro del conducto (140). En segundo lugar, la preparación del espacio para colocar algún tipo de retención extra en la raíz, en un conducto lleno con un obturador Thermafil podría ser muy difícil y podría causarse una perforación postoperatoria como resultado de la falta de atención o experiencia por parte del odontólogo (121). En tercer lugar, el manejo del

retratamiento en un conducto obturado con Thermafil podría ser muy difícil para un odontólogo general (121).

Soo y cols. (141) indicaron que los sistemas con vástago producen mejores rellenos del conducto radicular en comparación con la técnica de condensación lateral. Guttacore (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) es un sistema de obturación termoplástica con técnica de vástago introducido hace unos años. Los estudios a largo plazo que evalúan los resultados clínicos de los dientes obturados con el sistema de obturación basado en el vástago han mostrado una alta tasa de supervivencia y éxito (142, 143). El núcleo de Guttacore está formado por gutapercha reticulada especial termoestable que puede soportar la alta temperatura generada por el horno (144). Las ventajas distintivas del Guttacore sobre Thermafil son su capacidad para proporcionar un relleno tridimensional del sistema de conductos, un retratamiento más fácil y la preparación del espacio posterior (145).

Para proporcionar un sellado tridimensional, la obturación del conducto radicular implica el uso de gutapercha en combinación con un cemento sellador endodóncico (121). El sellador se usa para rellenar los huecos y espacios, como una interfase, que quedan entre el material de gutapercha y las paredes del conducto radicular, especialmente en los conductos radiculares de forma ovalada o irregular (121). Por otro lado, el sellador representa el eslabón débil en la cadena de la obturación del conducto por tres razones principales: en primer lugar, por su reacción de fraguado con la posterior posible contracción, en segundo lugar por sus porosidades intrínsecas y, por último, por su posible reabsorción en el tiempo (125). Estos factores son probablemente la causa de la formación de áreas vacías que, por supuesto, constituyen un problema relevante en términos de sellado (121) y penetración tubular. Por lo tanto, según Mancino et al. (121) el espesor del sellador debe ser lo más pequeño posible .

La penetración de los materiales de obturación en los túbulos dentinarios forman una barrera física (40), mejoran la retención de la obturación (119) e inhiben las bacterias residuales al obturar los túbulos dentinarios que las contienen (146). Cuanto más lejos penetra el material sellador en los túbulos, más puede ejercer su efecto antibacteriano (7). Las propiedades físicas y químicas, como el tamaño de las partículas, la solubilidad, la viscosidad, la consistencia, la tensión superficial y fluidez, influyen en la profundidad de penetración del material en los túbulos dentinarios (146). La

penetración del cemento sellador, tanto en términos de profundidad máxima, área penetrada y porcentaje, es importante para un tratamiento exitoso (147-152).

Muchos factores pueden influir en el porcentaje y en la profundidad máxima de penetración del cemento sellador. Estos factores incluyen la efectividad de la eliminación de la capa de barrillo dentinario, técnica de obturación radicular, propiedades físicas y químicas del sellador y la anatomía del sistema de conductos. La efectividad de la eliminación de la capa de barrillo dentinario dependerá en gran medida de la técnica de irrigación utilizada (153) como hemos nombrado anteriormente.

Para lograr la penetración de los materiales de obturación dentro de los túbulos dentinarios, el tamaño de la partícula debe ser más pequeño que el diámetro del túbulo; cuanto más grande es el túbulo, más profundamente puede penetrar una partícula (153). Los túbulos dentinarios son más pequeños en el ápice y más grandes a nivel coronal (154), el diámetro del túbulo es variable, variando entre 2,0 y 3,2 μm . Dentro del sistema de conductos hay más túbulos dentinarios en el área coronal con respecto al área apical (155).

Además de los cementos selladores del conducto radicular, el tipo de material del núcleo podría desempeñar un papel importante en el éxito del tratamiento endodóncico (16).

El uso de materiales de obturación que tengan la propiedad de expandir ligeramente mejora el sellado (126). Según Wu y cols. (135) el cierre de los pequeños gaps o vacíos en los conductos llenos de gutapercha podría ser por la humedad presente dentro de los túbulos dentinarios, originando una ligera expansión de esta, y pudiera compensar la filtración que surge de la disolución del sellador a nivel apical.

Gibby y cols. (156) evaluaron los efectos de las propiedades químicas y físicas del cemento sellador; la humedad residual en el conducto después del secado redujo la profundidad de penetración del sellador a base de resina epoxi. A diferencia de los cementos selladores biocerámicos que necesitan la humedad presente en los túbulos dentinarios para su reacción de fraguado (157).

2.5.1. Gutapercha

2.5.1.1. Gutapercha convencional

La gutapercha se ha utilizado ampliamente como material principal en la mayoría de los procedimientos de obturación endodóncica. El primer uso exitoso de la gutapercha como material de obturación endodóncica se atribuye al Dr. G. A. Bowman en 1867 (158). La gutapercha es un polímero orgánico natural con pesos moleculares que varían de 104 a 106 (159). Es un material muy biocompatible, se retira con cierta facilidad del sistema de conductos en la fase beta.

La gutapercha tiene una excelente biocompatibilidad y buena resistencia a la humedad, no es reabsorbible y es fácil de desinfectar. Estas diversas ventajas explican su uso generalizado en endodoncia. Sin embargo, un almacenamiento demasiado prolongado puede hacer que la gutapercha se vuelva frágil y quebradiza bajo la influencia de la luz y el calor, que modifican su estructura cristalina, y ya no sea posible compactarla suficientemente. La gutapercha almacenada en un ambiente húmedo es más suave, más maleable y permite una mejor compactación en comparación con el almacenamiento en un refrigerador en un ambiente seco (160).

La gutapercha es la savia lechosa de algunas especies de árboles tropicales en el sudeste asiático y Sudáfrica. Para uso endodóncico, se añaden otros componentes a la materia prima para mejorar sus propiedades. La gutapercha dental está compuesta de óxido de gutapercha (19% a 45%), zinc (33% a 62.5%), sulfato de bario (BaSO_4) (1.5% a 31.2%), ceras y materiales plásticos (1% a 4.1%), así como varios colorantes (1.5% a 3.4%). El óxido de zinc es principalmente un relleno y proporciona un efecto antibacteriano moderado, la adición de sulfato de bario le da a esta mezcla su opacidad a los rayos X, las ceras y los plásticos aumentan su plasticidad (160).

Químicamente, la gutapercha es un poliisopreno formado por varias subunidades de isopreno. Presenta dos fases básicamente para su uso en endodoncia, forma cristalina α y una forma β . La fase cristalina α es la forma inicial en que se encuentra la sustancia (estado natural de la misma), cuando se calienta a unos 65°C (temperatura de fusión), se transforma en una gutapercha amorfa que al ser enfriada rápidamente a temperatura ambiente de modo espontáneo, se transforma y adopta la fase cristalina β . Si el enfriamiento sucede de forma lenta se produce una recristalización en forma alfa.

Este proceso es reversible por recalentamiento. Las dos fases con propiedades diferentes se utilizan en endodoncia. Dado que la fase α es flexible, pegajosa, puede fluir bajo presión, y tiene cierto grado de adhesividad, se usa durante los procesos termoplásticos. Debido a su consistencia suave, no es adecuado para técnicas de frío convencionales, ya que no se puede compactar lo suficiente. La forma β , que tiene mayor dureza, se utiliza para las técnicas de obturación en frío, no presenta adherencia a la dentina ya que es una masa sólida (160).

Dado que las gutaperchas deben formularse específicamente para las distintas técnicas de obturación. La expansión y la contracción (estabilidad volumétrica) de este material son propiedades importantes que deben tenerse en cuenta al seleccionar uno de estos productos. La reducción volumétrica afecta negativamente al sellado en la interfaz dentina-gutapercha. En consecuencia, cuanto menor sea la contracción, mejor será la calidad de la gutapercha como material de obturación del conducto radicular (158).

La gutapercha presenta ciertas desventajas, como la falta de rigidez, la escasa adaptación a las paredes del conducto y una capacidad limitada para rellenar las irregularidades del conducto y los conductos laterales (161), por tanto está bien establecido nuestro punto de vista, haciendo indispensable el uso de un cemento sellador en la obturación radicular.

2.5.1.2. Gutapercha biocerámica

Actualmente, se ha introducido un sellador de conductos radiculares a base de silicato de calcio (sellador biocerámico [BCS]) y un cono de gutapercha modificado impregnado o revestido de una nanocapa de partículas de biocerámicas (BCC). La composición básicamente del sellador es silicato de calcio, fosfato de calcio monobásico, hidróxido de calcio, óxido de circonio, rellenos y agentes espesantes (162). El cono biocerámico es una modificación de la composición interior del cono de gutapercha y el recubrimiento de la superficie externa con nanopartículas de silicato cálcico. El fabricante recomienda obturar los conductos radiculares utilizando BCC/BCS con la técnica de cono único (137). El BCS actúa como unidad de obturación primaria, mientras que el BCC se utiliza como núcleo para introducir el sellador en el conducto radicular con presión hidráulica. El BCS normalmente podemos encontrarlo en una jeringa inyectable premezclado; el sellador se fija con humedad en el conducto radicular (137). El BCS crea una adhesión a la dentina mediante la

penetración micromecánica del sellador (163) y la formación química de hidroxiapatita (137, 164). Además, se espera que se produzca una adhesión entre las partículas biocerámicas del BCS y el BCC (165).

La gutapercha TotalFill BC Points® (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suiza) está impregnada y recubierta con una nanocapa de partículas de biocerámicas para mejorar la adaptación junto con un cemento sellador biocerámico TotalFill BC Sealer® (BC sealer) o TotalFill BC Sealer HiFlow®. Las partículas biocerámicas del sellador se unen con las partículas biocerámicas de la gutapercha para formar un verdadero sellado sin espacios.

2.5.2. Cementos selladores

El uso de un sellador es esencial porque establece una unión entre el material de relleno del núcleo (normalmente gutapercha) y la dentina radicular (166).

El flujo de los selladores endodóncicos puede tener un efecto sobre la obturación de conductos accesorios y microespacios entre el cono maestro y gutaperchas accesorias (167). Varios factores, como la composición, la velocidad de corte, el tamaño de partícula, la temperatura y el tiempo de mezcla, están relacionados con la fluidez de los selladores (167).

El tiempo de fraguado también es importante para proporcionar un tiempo de trabajo idóneo y una consistencia adecuada para obturar completamente el sistema de conductos radiculares (168).

Los cementos selladores presentan unas funciones principales: son necesarios para el sellado y obturación de los espacios entre la gutapercha y las paredes dentinarias, también a su vez entre las puntas de gutapercha en caso de técnicas de obturación en frío, deben evitar la presencia de vacíos en la interfase sellador-dentina (169). Actúan como lubricante mientras se facilita la colocación del núcleo de obturación (170), obturan los conductos laterales y accesorios, múltiples forámenes e irregularidades en el conducto radicular (171), además de sellar los túbulos dentinarios enterrando los microorganismos restantes (170).

Los cementos selladores a menudo pueden penetrar en los túbulos dentinarios, lo que aumenta la interfaz entre las paredes dentinarias y el material de núcleo y puede mejorar la retención mecánica del material de obturación (171). Los túbulos dentinarios contienen bacterias residuales (40), los cementos pueden penetrar en dichos túbulos consiguiendo sellar e inhibir cualquier bacteria residual presente en el interior de dichos túbulos y prevenir la colonización bacteriana y la reinfección del conducto (148, 172).

Grossman describió las propiedades biológicas y físicas ideales que deberían tener los cementos selladores, tales como permitir una buena adhesión entre él y la pared del conducto, proporcionar un sellado hermético, ser radiopaco para que pueda visualizarse en el radiografía, permitir una fácil mezcla y manipulación, no contraerse durante el fraguado, no decolorar la estructura del diente, tener capacidad bacteriostática o al menos no fomentar el crecimiento bacteriano, ser bien tolerado por el tejido periapical y ser soluble en disolventes comunes por si fuera necesario eliminarlo del conducto radicular (170).

Los selladores se clasifican de acuerdo con sus principales componentes químicos: óxido de zinc eugenol, hidróxido de calcio, ionómero de vidrio, glasiómero, silicona, resina y selladores a base de silicato de calcio (133, 170). Sin embargo, en la actualidad ninguno de los selladores existentes cumple con todos los criterios nombrados por Grossman (170).

Los selladores basados en óxido de zinc eugenol (136), hidróxido de calcio (173) e ionómero de vidrio tienen el problema común de disolverse cuando entran en contacto con los tejidos perirradiculares. Además, el sellador de zinc eugenol se contrae ligeramente cuando fragua (174, 175).

El AH Plus® (Dentsply DeTrey, Konstanz, Alemania) es un sellador de conductos a base de resina epoxi con buenas propiedades fisicoquímicas (176), buena adhesión a la dentina (177), excelente fluidez (177), estabilidad en solución acuosa (177) y efecto antibacteriano (178). Además de ser biocompatible, no es genotóxico y exhibe buena tolerancia con el tejido, capacidad de sellado y estabilidad dimensional a largo plazo (177). Es un sellador de uso común en la práctica clínica. Si se extruye en los tejidos periapicales, AH Plus no se reabsorbe fácilmente (179) y puede producir una respuesta inflamatoria a corto plazo. AH Plus exhibe una ligera contracción después de estar sumergido en agua durante 30 días (167).

La actividad antimicrobiana del cemento sellador puede ser causada directamente por acción de contacto de dicho material, o indirectamente por la obturación de los túbulos dentinarios dejando dentro de estos a las bacterias contenidas. Al estar sellados esos túbulos dentinarios, las bacterias incluidas en su interior quedan inactivadas por la falta de nutrientes. Cualquier sellador endodóncico que haga un sellado hermético funciona para enterrar bacterias dentro de los túbulos, evitando la comunicación de bacterias residuales al tejido apical (5).

2.5.2.1. Cementos Biocerámicos

Los materiales basados en biocerámica presentan dos grandes grupos en función de su composición, los derivados del cemento de Portland y los derivados de los silicatos cálcicos. A su vez en función de su utilidad podemos diferenciar dos grupos, los cementos selladores y los materiales reparadores. El primer material biocerámico o bioagregado que encontraríamos en endodoncia sería el MTA y podríamos catalogarlo como la primera generación de estos. Dentro de los cementos selladores diferenciamos dos grandes grupos en función de la técnica de obturación empleada, calor o frío. En los selladores biocerámicos de segunda generación el fabricante y diferentes estudios confirman el uso de ellos con técnicas frías. Los de tercera generación o nuevos materiales específicos permiten el uso de técnicas calientes debido a una modificación de su composición.

Los materiales basados en biocerámica recientemente introducidos tienen propiedades físicas, químicas, mecánicas y biológicas atractivas (162, 180, 181). Potente actividad antibacteriana, biocompatibilidad, osteoconductividad, capacidad para lograr un excelente sellado hermético en ambientes constantemente húmedos, formación de enlaces químicos con dentina, insolubilidad en fluidos tisulares, expansión durante el tiempo de fraguado, muy buena radiopacidad, fácil manejo, características que hacen que los selladores a base de biocerámica sean una alternativa actualizada al estándar actual de las técnicas de obturación calientes con gutapercha y un sellador de resina epoxi (182).

En endodoncia, los cementos biocerámicos promueven la remineralización de la dentina, tienen una citotoxicidad aceptable y una buena penetración en los túbulos dentinarios (183-185). Su composición general presenta óxido de circonio, silicatos de calcio, fosfato de calcio, hidróxido de calcio, relleno, agentes espesantes (186). Se desarrolló como un relleno permanente del conducto

radicular (184, 185), no se contrae durante el fraguado lo que aumenta su capacidad de sellado (187), es más en el artículo de Trope y cols. (137) muestran cierta expansión de los cementos selladores biocerámicos. BC Sealer experimenta una ligera expansión (0,2%) al fraguar, lo que puede mejorar aún más el sellado (182). Tiene la capacidad de adherirse y unirse químicamente a la pared del conducto radicular (188), esta capacidad mecánica es importante ya que va a disminuir la filtración (189, 190).

Entre un amplio espectro de selladores de conductos disponibles comercialmente, EndoSequence BC Sealer (BC sealer) (Brasseler USA, Savannah, GA), es un sellador endodóncico a base de silicato tricálcico hidrófilo, que ha ganado popularidad en los últimos años. Podemos encontrar diferentes nombres para un mismo producto ya que cambia la casa comercial, pero presentan la misma composición iRoot SP/ EndoSequence BC/ Total Fill BC/ Edge Endo Sealer® (186); lo mismo pasa con EndoSequence BC Sealer HiFlow y TotalFill BC Sealer HiFlow; y las puntas de gutapercha TotalFill BC Points y EndoSequence BC Points.

EndoSequence BC Sealer es un sellador inyectable, premezclado y de fraguado lento basado en una composición de silicato tricálcico (162, 167). Muchos estudios in vitro han indicado su buena biocompatibilidad (191-194), bioactividad (188, 195), propiedades antibacterianas (196-198) y capacidad de sellado (196, 199). Utiliza la humedad presente inherentemente en los túbulos dentinarios para su reacción de fraguado (157). Presenta nanopartículas de silicatos de calcio, fosfato de calcio monobásico, hidróxido de calcio y óxido de circonio (157). Da como resultado una interfaz libre de huecos entre gutapercha, sellador y dentina, ya que no se contrae al fraguar (157). Con sus propiedades de no contraerse al fraguar y no disolverse cuando está en contacto con fluidos tisulares, el sellador biocerámico puede ser un material de obturación prometedor para superar los inconvenientes de la técnica de cono único (133).

El fabricante afirma que este sellador se puede usar solo como un material de obturación radicular único o junto con su material de núcleo principal patentado (gutapercha), las EndoSequence BC Point (Brasseler, Savannah, GA) o con gutapercha convencional.

Es un material radiopaco con un tiempo de fraguado de 2-4 h (180). La microdureza se reduce en presencia de humedad ambiental, mientras que la fase de fraguado inicial se acelera (162). Cumple con la normativa ISO en términos de precisión dimensional, solubilidad y espesor de la película.

Penetra en los túbulos dentinarios debido a sus nanopartículas. La humedad de los túbulos dentinarios creará una unión mecánica con el material al fraguar, esto da como resultado una menor contracción, manteniendo así la estabilidad dimensional (167). El BC sealer se ha ganado una buena reputación debido a su biocompatibilidad, bioactividad y propiedades antibacterianas. En presencia de fluidos biológicos, los iones de calcio y fosfato presentes en el BC sealer pueden precipitar para formar apatita (144, 200). Esta capacidad de formación de apatita es la responsable de su bioactividad y excelente capacidad de sellado (201). Se deposita el tejido duro debido a la liberación de calcio ya que tiene un pH alcalino. También tiene propiedades antibacterianas contra *Enterococcus faecalis* debido a su alto pH (202).

Una desventaja de los selladores biocerámicos es la dificultad para la eliminación completa de los mismos, cuando se usan sin un material de núcleo como gutapercha, dentro del sistema de conductos en caso de que estuviera indicado el retratamiento (203, 204). Se ha informado que la permeabilidad era difícil de obtener con los procedimientos de retratamiento en las raíces de los molares extraídos que habían sido obturados mediante el uso de selladores a base de calcio (203). El uso de material central (gutapercha) con el sellador endodóncico EndoSequence BC Sealer permitió alcanzar la longitud de trabajo durante el procedimiento de retratamiento, a diferencia del grupo con solo cemento endodóncico EndoSequence BC Sealer, que no se pudo llegar a longitud de trabajo a la hora de realizar el retratamiento (205). La capacidad de eliminación del sellador a la hora de la realización de un retratamiento con o sin puntas de gutapercha sigue siendo desconocida (205), aunque varios estudios confirman la imposibilidad de retirar todo el material de obturación tanto cemento sellador como gutapercha del sistema de conductos durante el retratamiento (206).

Debido a su alta conductancia hidráulica, los selladores a base de silicato tricálcico pueden penetrar en los túbulos dentinarios (199, 207). Dicha penetración no solo mejora la adaptación del sellador a nivel microscópico, sino que también establece un bloqueo micromecánico (146). La penetración de selladores en los túbulos dentinarios también puede prevenir la colonización de bacterias residuales y la reinfección del conducto radicular a través de su efecto antimicrobiano (208).

Este tipo de materiales biocerámicos presentan un pH alcalino que puede contribuir a su potencial osteogénico, biocompatibilidad y capacidad antibacteriana (167, 173, 209-211).

2.5.2.1.1. Tiempo de fraguado y solubilidad

Se ha demostrado que los tiempos de fraguado para los selladores a base de silicato tricálcico, incluido EndoSequence BC Sealer, superan un mes (212); sin embargo, los tiempos de fraguado para otros selladores biocerámicos varían entre 3 y 4 horas. Se encontró que los selladores de silicato tricálcico como el TotalFill BC Sealer tienen una solubilidad significativamente mayor en agua destilada que los selladores de diferentes composiciones (213). Dicha solubilidad puede atribuirse a la formación de hidróxido de calcio durante el fraguado (214).

Oltra y cols. (206) concluyeron que el retratamiento de los incisivos maxilares que contienen EndoSequence BC Sealer, fue más fácil de retirar con el solvente orgánico en este caso cloroformo, que sin él; en el citado estudio encontraron que el grupo de EndoSequence BC Sealer presentaba más material residual restante después del retratamiento en comparación con AH Plus.

Eymirli y cols. (205) realizaron retratamientos en dientes obturados con gutapercha de conicidad 0.2 y 0.4 con cemento sellador asociado, y obturación completa con EndoSequence BC Sealer y observaron la incapacidad de realizar los retratamientos de las muestras cuando la obturación era íntegra con cemento biocerámico (205). Desde una perspectiva clínica, el uso de instrumentos ultrasónicos es más práctico que el uso de solventes para los selladores de silicato tricálcico (215).

Garrib y cols. (216) eliminaron más del 95% de gutapercha y cemento sellador biocerámico, sin dañar la dentina utilizando ácido fórmico al 10% con preparación mecánica.

2.5.2.1.2. Filtración/sellado

Se observó una menor microfiltración de colorante en iRoot SP en comparación con AH Plus (217, 218). La combinación de EndoSequence BC Sealer con C Points (Endodontic Innovations Ltd., St. Austell, UK) (puntas de obturación que contienen un núcleo de poliamida con un recubrimiento externo de polímero hidrófilo que son capaces de expandirse después de la absorción de agua) mostró una filtración de colorante apical menor que cuando se combina con conos simples de gutapercha (16). Sin embargo, no se encontraron diferencias en la filtración de colorante entre iRoot SP y AH Plus en varios estudios (196, 199), mientras que dos estudios informaron una mayor filtración apical para iRoot SP en comparación con AH Plus (219, 220). Un estudio por el método

de filtración de fluidos, observó que el iRoot SP proporcionó una mejor capacidad de sellado que MTA Fillapex (cemento a base de resina y partículas biocerámicas) (221). La capacidad de sellado de iRoot SP fue estable durante un período de 3 meses (221). Se encontró una microfiltración bacteriana similar de *Enterococcus faecalis* después de la obturación de gutapercha, con iRoot SP en comparación con AH Plus (222).

iRoot SP mostró una microfiltración significativamente mayor en comparación con AH 26 (Dentsply Sirona) después de un período de incubación de 21 días (223). Se informó una microfiltración bacteriana similar del Endoseal MTA® (cemento a base de MTA) con obturación de cono único y AH Plus con la técnica de condensación vertical caliente (224).

EndoSequence BC Sealer exhibió la microfiltración más baja en comparación con AH Plus (186). En las pruebas de microfiltración de tinta, EndoSequence BC Sealer mostró menos filtración que AH Plus, Resilon / Epiphany y selladores basados en ZOE (óxido de zinc eugenol) (218). Los selladores de silicato tricálcico distintos de EndoSequence BC tuvieron resultados mixtos (186).

2.5.2.1.3. Capacidad antibacteriana

La capacidad antibacteriana de los cementos selladores biocerámicos se atribuye a que el óxido de calcio, al reaccionar con el agua, forma hidróxido de calcio que induce un pH elevado, entre 12-12,5, que da lugar a su disociación en iones de calcio e hidróxido favoreciendo la eliminación de bacterias (225).

Singh y cols. en su estudio evaluaron los cementos selladores frente al *Enterococcus faecalis*, los selladores a base de silicato tricálcico como EndoSequence BC Sealer exhibieron mayores propiedades antibacterianas que los selladores de resina epoxi y ZOE (225). Kapralos y cols. evaluaron crecimiento de plancton y biofilm bacteriano en 24 h. y descubrieron que TotalFill BC Sealer tenía un notable efecto antibacteriano en las bacterias planctónicas después de 7 días, junto con un efecto antibacteriano en las biopelículas para *Staphylococcus aureus* y *Enterococcus faecalis* (226). Los mismos efectos antibacterianos del hidróxido de calcio deben producirse en los silicatos tricálcicos debido a la formación de hidróxido de calcio como producto de reacción a partir de los silicatos tricálcicos y dicálcicos (186).

Los cementos selladores a base de silicato tricálcico (EndoSequence BC Sealer) tenían una mayor actividad antimicrobiana para *Enterococcus faecalis* que la resina epoxi (AH Plus) y los selladores ZOE (24, 225).

2.5.2.1.4. Biocompatibilidad y citotoxicidad

El pH alcalino observado después de la hidratación de los selladores a base de silicato de calcio se produce debido a los iones de calcio e hidroxilo liberados, es una propiedad deseable para inducir la reparación después de los tratamientos endodóncicos (227).

Los selladores a base de silicato tricálcico han exhibido efectos beneficiosos en términos de biocompatibilidad (228). Los materiales basados en resinas son más propensos a ser genotóxicos (229), incluyendo el sellador MTA Fillapex (230). BioRoot RCS y EndoSequence BC Sealer no mostraron efectos citotóxicos en las células mesenquimales de la médula ósea humana en comparación con AH Plus; EndoSequence BC Sealer también ha demostrado tener una fuerte viabilidad celular in vitro, incluso disminuyendo la inflamación mediada por lipopolisacáridos (225).

Se ha informado que un pH alcalino de los selladores del conducto radicular podría neutralizar el ácido láctico de los osteoclastos y evitar la reabsorción de los componentes mineralizados de la dentina (212). Por lo tanto, los cementos selladores pueden contribuir a la formación de tejido duro al activar la fosfatasa alcalina (231). Lee y cols. (212) mostraron que el valor del pH de 3 cementos selladores biocerámicos recién preparados, permaneció significativamente más alto que el de 3 selladores a base de resina epoxi durante 24 horas. El pH alcalino más alto durante todo el período de evaluación fue el del Endosequence BC Sealer. Teniendo en cuenta el tiempo de fraguado requerido, BC Sealer con un pH alto prolongado antes de su fraguado puede causar daño al tejido periapical a través de la pérdida de la viabilidad celular y la integridad de la membrana, similar a las respuestas celulares observadas en las quemaduras químicas (212). Tales complicaciones, por lo tanto, deben considerarse cuidadosamente, junto con el efecto bactericida de los selladores (212).

Las propiedades osteoinductoras y la citocompatibilidad fueron superiores para BioRoot RCS en comparación con ZOE Kerr's Pulp Canal Sealer (17). La biocompatibilidad es un atributo superior para los selladores a base de silicona y los selladores a base de silicato tricálcico (186).

2.5.2.1.5. Penetración de cementos biocerámicos en los túbulos dentinarios

Se informó que el cemento iRoot SP presentó una penetración hacia el interior de los túbulos dentinarios de hasta 2 mm de profundidad (163). En comparación con el sellador a base de resina epoxi AH Plus, algunos estudios relacionaron una penetración significativamente mayor del cemento sellador iRoot SP hacia el interior túbulo dentinario (133, 232, 233), mientras que otros estudios no encontraron diferencias significativas en la penetración tubular (234, 235).

El uso de agentes quelantes (236) o técnicas de activación de irrigación (232) para la eliminación de la capa de barrillo dentinario en el protocolo de irrigación final promovió la penetración del cemento sellador en los túbulos dentinarios de iRoot SP. iRoot SP y mostró una mejor adhesión a las paredes del conducto radicular que AH Plus (237).

Se publicaron hallazgos no concordantes con respecto a la penetración del cemento sellador BioRoot RCS en los túbulos dentinarios. Mientras que un estudio encontró una mayor penetración en los túbulos dentinarios del cemento sellador BioRoot RCS en comparación con un sellador a base de resina epoxi (238), en otros estudios se informó de una menor penetración en los túbulos dentinarios del BioRoot RCS (239, 240).

La medicación intraconducto con hidróxido de calcio disminuyó la penetración en los túbulos dentinarios del cemento sellador biocerámico (238).

Se comprobó una remineralización mejorada de la dentina radicular más allá de los “tags” del cemento sellador biocerámico dentro de los túbulos dentinarios (241). La presencia de solución salina tamponada con fosfato (PBS) mejoró este efecto de remineralización (241).

2.5.2.1.6. Calidad de la obturación

Se encontró una menor cantidad de áreas vacías dentro del sellador y también menos separación entre la pared del conducto radicular y el cemento sellador iRoot SP en comparación con el sellador a base de resina epoxi AH Plus (133). Contradictoriamente, otros estudios informaron de cantidades comparables de vacíos después de la obturación con iRoot SP en comparación con los selladores a

base de resina epoxi (242-245) , o incluso más y mayores huecos en el tercio apical del conducto radicular (235, 246).

iRoot SP también mostró un mayor espesor de material dentro del conducto radicular después de la técnica de obturación de condensación lateral (246). En dos estudios observaron muchos más vacíos con BioRoot RCS en comparación con AH Plus en un análisis de micro-CT (26) y mediante microscopía de láser confocal (239).

Con respecto a la obturación de conductos laterales artificiales con la técnica de cono único, iRoot SP llenó insuficientemente estos conductos laterales, mientras que AH Plus selló bien estos conductos (247). Cuando se utiliza la técnica de cono único, el uso de puntas de gutapercha biocerámicas dio como resultado más huecos dentro de la fase del sellador iRoot SP en comparación con los conos de gutapercha convencionales (248). Se encontró una mayor cantidad de huecos en Endoseal MTA utilizado con la técnica de cono único en comparación con AH Plus utilizado con la técnica de compactación vertical caliente (249), lo que podría ser una consecuencia de las diferentes técnicas utilizadas.

2.5.2.2 Cementos de resina

Los selladores a base de resina epoxi se usan ampliamente para la obturación del conducto radicular debido a su resistencia a la resorción y estabilidad dimensional (250-252).

La resina epoxi fue inventada en 1938 por P. Castan, un químico suizo de De Trey (Zurich, Suiza), el AH 26 (Dentsply Sirona, Konstanz, Alemania) fue desarrollado durante la década de 1940. Guttuso estudió el AH 26 con ratas en 1963 y encontró una respuesta tisular moderada en 16 días (253). Feldmann y Nyborg encontraron que AH 26, implantado después de un día de fraguado, causó mucha más irritación en los tejidos que la plata pura en el estudio de conejos en 1964 (254). En 1993, Spångberg y cols. informaron que el AH 26 libera formaldehído (255), recomienda la transición de AH 26 a AH Plus, que no libera formaldehído. Los selladores AH 26 y AH Plus (Dentsply Sirona, Konstanz, Alemania), están compuestos de resinas epoxídicas de bajo peso molecular, aminas y reaccionan para formar un polímero (186).

AH 26 se presenta en formato pasta y polvo, mientras que AH Plus se presenta en formato pasta y pasta. Cuando se vende en una jeringa automezcladora, AH Plus se conoce como AH Plus Jet. En los Estados Unidos, AH Plus y AH Plus Jet se venden con otros nombres, incluidos ThermaSeal Plus y Ribbon sealer, respectivamente. AH Plus también se conoce como TopSeal en Europa, América Central y América del Sur. Adseal (Meta Biomed, Cheongju, República de Corea), Acroseal (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Francia) y MM Seal (Micro-Mega, Besançon, Francia) también están disponibles comercialmente.

2.5.2.2.1. Tiempo de fraguado y solubilidad

Se ha demostrado que AH Plus y AH 26 tienen tiempos de fraguado de 8 h y 34 h, respectivamente (256, 257). AH Plus cumple con los requisitos de solubilidad ISO (213), con 0.16% de solubilidad en agua (168). AH Plus fue significativamente más soluble en halotano, produciendo un 68% de pérdida de peso después de 10 min (120), haciendo viable el retratamiento con un solvente.

2.5.2.2.2. Filtración/sellado

La capacidad de sellado es de suma importancia en el sellador. Aunque se han publicado muchos estudios de microfiltración, la comparación directa de cada sellador es difícil porque la condición experimental fue diferente en cada investigación. En muchos estudios cada sellador evaluado era comparado junto con AH Plus, por tanto podemos denominarlo como *gold standard* (186, 258).

Pawar y cols. observaron colorante en todos los selladores evaluados, independientemente del tipo, lo que sugiere que no se puede lograr un sellado microscópico completo con selladores contemporáneos (217).

Los selladores de resina epoxi que no sean AH Plus, es decir, AH 26 y MM Seal, proporcionaron casi la misma microfiltración que los selladores de silicona (186); estos dos selladores también mostraron un mejor rendimiento de sellado que AH Plus (186). El rendimiento de sellado de los selladores a base de resina epoxi puede verse comprometido debido a la contracción de polimerización (259). Se ha demostrado que los selladores a base de resina epoxi utilizando el microscopio estereoscópico tienen una capacidad de sellado moderada, pero superior a los selladores a base de ZOE (260).

2.5.2.2.3. Capacidad antibacteriana

El sellador AH Plus tuvo una mejor actividad antimicrobiana solo en comparación con GuttaFlow, pero fue menos antimicrobiano que MTA Fillapex y CRCS (sellador ZOE) (261). En comparación con otros tipos de selladores, el sellador de resina epoxi (AH Plus) no mostró diferencias significativas en la actividad antimicrobiana para *Enterococcus faecalis* (186). Las pruebas de zona de inhibición para el AH Plus fueron comparables con las de los selladores ZOE con *Enterococcus faecalis*. Sin embargo, Kapralos y cols. descubrió que AH Plus tenía la mayor actividad antibacteriana tanto en bacterias planctónicas como en biopelículas, pero solo duraba 24 h (226).

El sellador a base de resina de metacrilato EndoREZ tuvo la actividad antibacteriana más fuerte comparado con los selladores AH Plus y Sealapex (262).

2.5.2.2.4. Biocompatibilidad y citotoxicidad.

Los selladores a base de resina en su conjunto tienen una biocompatibilidad limitada cuando no están fraguados. Los selladores epóxicos son genotóxicos en los ensayos de células madre esto es debido al monómero residual y al formaldehído (263). Se ha observado que los selladores epóxicos como AH 26 liberan formaldehído incluso dos días después de ser mezclados (255). AH Plus se modifica de tal manera que no libera formaldehído (264). Por tanto, AH Plus tiene una mejor biocompatibilidad que AH 26 dentro de los selladores de resina epoxi (186). También se han detectado altos niveles de inflamación en los tejidos periapicales y subcutáneos después del uso de selladores a base de resina epoxi (265, 266).

Se ha demostrado que los selladores a base de resina de metacrilato (Real Seal y EndoREZ) son más citotóxicos en comparación con un sellador a base de salicilato (Apexit Plus) o a base de resina epoxi (AH Plus), según un estudio que prueba biomarcadores inflamatorios (267).

Los silicatos tricálcicos y AH Plus tienen la mayor viabilidad celular a las 24 h. Sin embargo, la viabilidad disminuyó después de 72 h (18).

2.6. Técnicas de obturación

Por lo general, la técnica de condensación lateral es la más utilizada debido a la mayor capacidad que confiere para controlar la longitud. La técnica de condensación lateral no es especialmente eficaz cuando se tratan conductos muy curvados, conductos laterales o irregularidades intraconducto. Por ello, a partir de la técnica de condensación vertical, introducida por Schilder en 1967 (128), se han desarrollado diversas modificaciones en los materiales o procedimientos para mejorar la obturación, como la gutapercha inyectada termoplástica (268), la termocompactación (269) y las combinaciones de los métodos de condensación vertical y lateral (270). Aunque las desventajas del difícil control de la longitud y de un procedimiento complicado y sensible a la técnica persisten cuando se utiliza gutapercha calentada o ablandada, se han observado claras ventajas sobre la condensación lateral (271).

La técnica de obturación, así como las propiedades físicas y químicas del cemento sellador, determinarán en gran medida el espesor de la película formada por éste (136).

Las técnicas de obturación dependen en gran medida de la técnica de preparación empleada para limpiar y dar forma al sistema de conductos radiculares (272). Esto ha dado lugar a varios sistemas de instrumentación-obturación, que pueden combinarse y adaptarse más estrechamente a un conducto radicular preparado de manera uniforme (273).

La evaluación y comparación de las técnicas de obturación actuales es, por tanto, importante para determinar su eficacia relativa para lograr un sellado óptimo (148).

El comienzo de las técnicas de obturación con gutapercha caliente, fue a finales de la década de los setenta y principios de los ochenta, su objetivo fue aumentar la adaptación de la gutapercha a las paredes del conducto y homogeneidad de la obturación radicular. Se ha recomendado su uso ya que son más exitosas con respecto a las técnicas de gutapercha en frío (fase beta), proporcionando una masa más uniforme (274).

Aunque los selladores mejoran la capacidad de sellado al rellenar cualquier espacio residual, y adherirse a la dentina. El resultado óptimo en la obturación con técnicas con calor es maximizar el

volumen del material del núcleo y minimizar la cantidad de cemento sellador entre la gutapercha y la pared del conducto (275).

Muchos factores influyen en la obturación de los túbulos dentinarios; la eliminación de la capa de barrillo dentinario, la técnica de obturación, propiedades físicas y químicas del sellador, la anatomía del sistema de conductos, el tamaño de los túbulos, etc... (101). La penetración se refiere a la cantidad de sellador que ingresa a los túbulos dentinarios y la calidad de la adaptación describe la forma en que el sellador se adapta a la pared de la dentina (276). La penetración y la adaptación dependen de muchos factores, incluida la permeabilidad y la densidad de los túbulos dentinarios (276). Algunos dientes presentan un fenómeno óptico conocido como "Efecto Mariposa" y tienen una densidad significativamente mayor de túbulos dentinarios en la dirección bucolingual en comparación con mesio-distal (277). Esto produce una forma característica de mariposa en secciones transversales de las raíces causadas por los diferentes tipos de dentina (277). La dentina esclerótica hace que la luz se refracte y se disperse (278). Una disminución en el número de túbulos dentinarios da como resultado una mayor transmisión de luz para dar una apariencia translúcida (278). El efecto mariposa puede afectar el comportamiento de los selladores dentro de los conductos radiculares (277).

La complejidad del sistema de conductos juega un papel relevante en este caso de penetración del sellador dentro de los túbulos dentinarios, ya que está lleno de ramificaciones e istmos que dificultan la limpieza, la conformación y la obturación adecuada (148). La sinuosidad y el diámetro de los conductos radiculares también afectan la penetración de los selladores, independientemente de la edad del paciente (279).

Se han desarrollado técnicas de obturación con gutapercha caliente termoplastificada para lograr una obturación tridimensional con una mejor adaptación a las complejidades del conducto, una mejor relación gutapercha-sellador y un menor riesgo de formación de huecos en comparación con las técnicas de obturación en frío (141). Independientemente de la técnica de obturación utilizada, los selladores son responsables de las funciones principales de la obturación del conducto radicular (280).

2.6.1. Condensación lateral

La condensación lateral es la técnica de obturación radicular *gold standard* contra la cual se evalúan todas las demás técnicas de obturación (281). Aunque se han propuesto muchas variaciones de la técnica en términos de diseño de cono maestro, conicidad de este, diseño de espaciador, aplicación y selección de conos accesorios, no existe un consenso claro de cuál es el ideal (273). La condensación lateral es una técnica segura y rentable, pero consume mucho tiempo, carece de homogeneidad y de adaptación a las paredes del conducto (282).

Se coloca la gutapercha apical maestra (GAM) dentro del sistema de conductos que normalmente va a coincidir con el diámetro de la lima apical maestra, una vez obtengamos la sensación de “tug-back” enganchamiento apical de la gutapercha, retiraremos la GAM y colocaremos en el sistema de conductos cemento sellador con una punta de papel y también en la GAM, una vez colocado el cemento y la GAM, procederemos a rellenar el resto de conducto con gutaperchas accesorias, esas gutaperchas accesorias irán colocadas en el espacio que hagamos con los espaciadores digitales que serán uno o dos números mayores que nuestras gutaperchas accesorias para lleguen hasta la longitud del espaciador. Una vez tengamos todo el conducto relleno de gutaperchas accesorias y el espaciador no llegue más allá del tercio coronal de nuestra preparación radicular, cortaremos el penacho de gutapercha con un instrumento caliente y haremos una ligera condensación vertical (283).

2.6.2. Termocompactación

Mc Spadden en 1980 (284) introdujo la técnica termomecánica de condensación de gutapercha, por medio de un instrumento semejante a una lima Hedström invertida. Se monta en un contra ángulo y girando en sentido horario, el compactador debe activarse a por lo menos 8,000 rpm en el interior del conducto, para plastificar la gutapercha. La forma concreta de las espiras del termocompactor empujan la gutapercha caliente hacia el interior del conducto, produciéndose una obturación tridimensional y uniforme del conducto. Con esta técnica era muy común la extrusión del material de obturación a periápice por el pobre control apical del material, por tanto Tagger en 1984 creo una técnica híbrida, con los principios de McSpadden pero haciendo una condensación lateral para tener mayor control del material a nivel apical. Se coloca el cono maestro de gutapercha con cemento sellador en el conducto y se hace una condensación lateral, con espaciadores digitales y gutaperchas

acesorias, explicada anteriormente, una vez tengamos el tercio apical y medio obturado, activaremos e introduciremos el compactador hasta 3-4 mm menos de nuestra longitud de trabajo, que es un instrumento de acero inoxidable y lo haremos girar dentro del conducto, al entrar en contacto con la gutapercha va a producir la fluidez de esta al aumentar la temperatura, posteriormente haremos una condensación vertical con pluggers.

2.6.3. Obturación termoplástica con técnica de vástago (Guttacore)

El obturador Thermafil consta de dos partes: el soporte de plástico, derivado de la polisulfona; y la gutapercha, mientras que GuttaCore consiste en un portador fabricado a partir de un elastómero reticulado y termoestable de gutapercha recubierto de gutapercha (121).

El Guttacore es la evolución del Thermafil (285), consiste en un sistema de obturación de núcleo de gutapercha con un punto de fusión más alto que la gutapercha que reviste dicho núcleo. Una vez preparado el sistema de conductos para obturar, se realiza una radiografía para confirmar la longitud de trabajo con un elemento metálico que recibe el nombre de verificador; se coloca la unidad de Guttacore en el horno para su calentamiento, mientras se calienta el Guttacore se coloca con una punta de papel el cemento sellador en el interior del sistema de conductos, posteriormente se traslada la unidad de Guttacore al sistema de conductos consiguiendo el sellado de los mismos.

2.6.4. Condensación vertical

La condensación vertical fue introducida por primera vez por Schilder en 1967 (128). La condensación vertical caliente mejora la homogeneidad y la adaptación de la gutapercha a las paredes de la dentina radicular (128). Sin embargo, el procedimiento puede provocar la extrusión del material de relleno de obturación en los tejidos periapicales, también se han planteado preocupaciones con respecto al daño térmico del ligamento periodontal durante la condensación. Una vez se ha preparado el sistema de conductos quimiomecánicamente colocaremos nuestra GAM a longitud de trabajo y verificaremos con una radiografía y con la sensación de “tug back” que está en la posición adecuada, se retira la gutapercha, se verifica que todos los pluggers que utilizemos sean los adecuados y lleguen hasta la longitud deseada, se coloca dentro del conducto el cemento sellador y se vuelve a colocar la GAM, se corta el cono de gutapercha en el tercio coronal y se condensa de manera vertical hacía apical, se retiraron porciones pequeñas de uno o dos milímetros

de gutapercha con los “heat carriers” o transportadores de calor y se procedió a compactar para realizar el down pack, se repite esta operación hasta llegar a los 3-4 mm apicales; una vez tengamos sellado el ápice del sistema de conductos, se realiza un back fill con la unidad de gutapercha caliente con incrementos de tapones de gutapercha de 2-3 mm con la consiguiente compactación para evitar la contracción del material al enfriarse y la formación de vacíos o burbujas de aire en nuestra masa de obturación.

La introducción de la instrumentación rotatoria de níquel-titanio (Ni-Ti) ha alterado el tratamiento endodóncico al reducir el tiempo de preparación, minimizando los errores de procedimiento asociados con la instrumentación del conducto radicular y produciendo una preparación centrada previsiblemente, incluso en conductos curvos. Ahora se producen conos de gutapercha que coinciden con la conicidad de los conductos preparados con limas rotatorias de Ni-Ti, que nos van a ayudar a la obturación de los conductos radiculares con las técnicas de condensación vertical y onda continua.

La técnica de condensación vertical con biocerámicos de segunda generación, en los cuáles la aplicación de técnicas calientes con alta temperatura ($> 100^{\circ}\text{C}$) modifican las propiedades de los selladores como fluidez y grosor de la película (286), ha sufrido una serie de modificaciones para poder ser utilizada con este tipo de cementos selladores, respecto a la técnica inicial de Schilder. Se ha observado en los diferentes estudios que los “heat carriers” o condensadores calientes de la unidad de obturación deben someter a los selladores a 100°C durante 1 minuto como máximo y luego mantenerse a 37°C para no alterar sus propiedades físicas como fraguado, grosor de película y fluidez, las cuales son importantes para producir un sellado adecuado, como lo sugiere Camilleri y cols. (287) y Chen y cols. (286).

2.6.5. Onda Continua

La técnica de onda continua fue diseñada por Buchanan (130). Una vez estimada la longitud de trabajo, se comprueba el plugger con el tope de goma a menos 4 mm de la longitud de trabajo. Se coloca el cono maestro para comprobar que llega adecuadamente a la longitud de trabajo y percibimos esa sensación de “tug-back”. Las paredes del conducto se recubren con una punta de papel sumergida en cemento. Se coge la punta de gutapercha apical maestra y se reviste ligeramente con sellador, se coloca lentamente en el conducto a longitud de trabajo. La fuente de calor se ajusta

a 200-230°C. El plugger se introduce en el conducto con el cono de gutapercha colocado hasta que el tope de goma llega a la longitud estimada anteriormente. Durante el downpack, el calor se desactiva y se mantiene una presión apical firme durante 10 sg, seguidamente se retira el plugger caliente y se condensa con un condensador 10 sg de manera vertical. El conducto se rellena completamente con gutapercha fluída suministrada desde la unidad de obturación (Back Fill), haciendo incrementos de 2-3 mm y condensando con el plugger manual para evitar la contracción. Finalmente se aplica presión constante con un plugger manual insertado en el conducto radicular durante 30 sg (283).

2.6.6. Cono Único

La técnica de cono único es muy sencilla, una vez tengamos preparado el conducto para obturar, se coloca la gutapercha apical maestra junto con cemento sellador, imprescindible que ese ajuste sea óptimo a nivel apical, por ello buscaremos una sensación de “tug-back”; el cono de gutapercha va a tener la misma conicidad que nuestra lima apical maestra, y los pequeños desajustes que se hayan creado durante la instrumentación quedarán sellados por el cemento sellador. Ha sido especialmente preconizada esta técnica combinada con selladores de ionómero de vidrio (Ketac Endo), de silicona (Guttaflow), y en la actualidad con cementos biocerámicos (BioRoot, CeraSeal, TotalFill BC Sealer...).

La “Hydraulic Filling Technique” o “Capillary Condensation” consta de varias etapas (288):

- 1.Preparación de un “reservorio coronal” en el que colocar el cemento biocerámico y podamos llevarlo al interior del conducto hasta el tercio apical con un léntulo o la propia punta de gutapercha. También podemos introducir el cemento sellador si viene premezclado en una jeringa colocando una punta dispensadora o aguja en el interior del conducto.

Se necesita la presencia de una ligera humedad dentro del conducto radicular para trabajar con este tipo de materiales, la humedad presente en los túbulos dentinarios y la propia del periápice se ha observado suficiente.

- 2.“Capillary condensation”, del sellador para llenar el conducto radicular. La condensación del sellador con un “condensador”, cuya regla básica es que llegue a 1 mm de la longitud de trabajo libremente. Es preferible utilizar instrumentos de NiTi para conductos curvos. Al

empujar el condensador lentamente hacia adentro y luego sacarlo, sin sacarlo completamente del “depósito coronal”, el sellador se condensa dentro del conducto, a un lado de las paredes del conducto y al mismo tiempo hacia su orificio apical. La condensación debe realizarse lentamente y con la máxima amplitud posible de los movimientos de "empuje" y "extracción”.

El tiempo total para la condensación del sellador es de aproximadamente 10-15 segundos. Se necesitan entre 12 y 15 movimientos de "empujar / sacar" para lograr un buen llenado del tercio apical del conducto y también para asegurar una buena adhesión del sellador a las paredes del conducto. Diez segundos después del inicio de la condensación (aproximadamente 10 movimientos de "inserción") el odontólogo debe sacar el instrumento del conducto. No debe haber agregados endurecidos en la superficie del instrumento, sino solo solución líquida. Entonces se debe mirar al fondo del "depósito coronal". Si hay un "agujero negro” y se observa un llenado incompleto del conducto, significa que se debe agregar más cemento sellador.

3. Inserción de cono/conos de gutapercha, en el momento de elegir el condensador del tamaño correcto, el dentista también debe elegir el cono maestro de gutapercha del mismo tamaño comprobar la adaptación de este antes de colocar el cemento sellador en el interior del conducto, asegurándose de percibir la sensación de “tug back”. La inserción del cono de gutapercha dentro del conducto cumplirá tres funciones simultáneamente:

A. Terminará la condensación del sellador dentro del conducto radicular y hará que la capa de sellador sea uniforme a lo largo del conducto. También eliminará cualquier burbuja de aire que quede atrapado dentro del conducto.

B. Observará un espacio dentro del conducto con el cual acomodar el estrés creado por la expansión de los selladores cerámicos durante su endurecimiento. Los selladores a base de biocerámica BioAggregate, iRoot SP e iRoot BP tienen una expansión significativa del 0,20 por ciento.

C. Al insertar los conos de gutapercha, se mantiene la posibilidad de poder preparar el conducto radicular para conseguir una preparación más fácil del "lecho" en el cual cementar un poste de fibra de vidrio en el interior, si es que fuera necesario.

El cono maestro de gutapercha se inserta lentamente con movimientos de "empuje" y "extracción" hasta 0,5-1 mm menos que la longitud de trabajo. Se pueden agregar conos de gutapercha de menor diámetro adicional, si es necesario. Los extremos de los conos de gutapercha que se extienden fuera del conducto radicular se cortan y los conos se condensan con un instrumento caliente. Durante la condensación de gutapercha, el exceso de gutapercha y cemento sellador se eliminan con una pequeña bolita de algodón húmeda. Se coloca un relleno temporal en la cavidad del diente. Después de endurecer el sellador cerámico, preferiblemente 24 horas después de llenar los conductos, se realiza la restauración final.

Con esta técnica de obturación se debe prestar especial atención a la interfaz formada entre las paredes del conducto radicular de la dentina, la gutapercha y el sellador en un lado y el periodonto y los fluidos corporales en el otro lado. El sellado hermético a largo plazo del tercio apical logrado en un ambiente constantemente húmedo es una condición obligatoria para garantizar la falta de crecimiento microbiano. Otro factor extremadamente importante que promueve el cierre de los tejidos duros del conducto es la presencia de osteoconductividad como característica del sellador. El sellado hermético perfecto y duradero en ambientes húmedos del tercio apical combinado con la osteoconductividad del sellador endodóncico asegura las condiciones para el cierre del tejido duro del orificio apical del conducto radicular. La obturación del conducto radicular con sellador biocerámico, que debido a su acción de osteoconductividad promueve el cierre fisiológico del conducto por el tejido duro cementoide, puede denominarse "injerto endodóncico". Tal injerto endodóncico puede garantizar la salud duradera de la raíz mientras permanece constantemente en contacto con fluidos corporales.

El uso de selladores a base de biocerámica con sus características (osteoconductividad, hidrofiliidad, adhesividad y unión química a las paredes de la dentina del conducto radicular) parece ser un enfoque eficaz para eliminar a largo plazo, el microespacio. Tal microespacio es un lugar potencial para un posible crecimiento microbiano, debido a las microfiltraciones observadas con otro tipo de selladores. Por tanto con este tipo de técnica y este tipo de cemento sellador obtendríamos un "sellado biológico" (288).

Con conos maestros de mejor ajuste, puede ser posible minimizar la cantidad de sellador, lo que disminuye el potencial de vacíos o gaps que se producen debido a la contracción y disolución del sellador (205). El uso de una gutapercha que se ajusta a la forma del conducto radicular preparado genera cierta presión que mejoraría la penetración del cemento sellador a base de silicato tricálcico dentro del túbulo dentinario (205).

2.7. Filtración de conductos radiculares

Como hemos visto anteriormente conseguir un sistema de conductos estéril es imposible y en un alto porcentaje van a quedar bacterias o subproductos de éstas en el interior del sistema de conductos, incluso después de haber realizado una preparación quimiomecánica adecuada, por tanto es importante conseguir un buen sellado apical y coronal de nuestros tratamientos restauradores.

El proceso de microfiltración consiste en el intercambio de fluidos, bacterias y sustancias entre el sistema de conductos y el espacio periapical (sellado apical) o la cavidad oral (sellado coronal).

Para observar la calidad de la obturación de los conductos radiculares tenemos la opción de hacerlo radiográficamente mediante radiografías periapicales (289); observación con micro-CT (microtomografía computarizada) y nano CT (nanotomografía computarizada) (290); tomografía de coherencia óptica y micro CT (291); sistemas informáticos de análisis de imágenes como Autocad® (292, 293), microscopio estereoscópico (294), microscopio de láser confocal (CLSM) (258), microscopio electrónico de barrido (SEM) (133).

3. Justificación

Con la aparición de nuevos materiales selladores en el campo de la endodoncia se desarrollan o modifican también las técnicas de procedimiento que condicionan el comportamiento de éstos en relación a la dentina radicular y más concretamente a los túbulos dentinarios.

El objetivo de estos factores es sellar la mayor cantidad de túbulos dentinarios intraconducto para conseguir enterrar las bacterias presentes en el sistema de conductos radiculares y así conseguir un doble efecto antibacteriano; uno de enterramiento y otro de eliminación bacteriana por acción de contacto con ellas.

La aplicación de calor a los cementos selladores biocerámicos antiguos ha sido motivo de controversia, ya que algunos autores utilizaban esas técnicas de obturación caliente con este tipo de materiales cuando el fabricante recomendaba el uso de ellos con técnicas de obturación en frío. Se ha observado en la literatura que la microestructura de estos selladores biocerámicos con la aplicación de calor a altas temperaturas se ve modificada, confirmando así la imposibilidad de utilizar cementos selladores biocerámicos de segunda generación con dichas técnicas calientes. Con la entrada de nuevos cementos selladores como el TotalFill BC Sealer HiFlow, el cual presenta una serie de modificaciones en su composición, muy similar al TotalFill BC Sealer, permiten convertirlo en un material idóneo para la utilización de técnicas calientes de obturación. Al ser un producto relativamente nuevo en el mercado europeo se requieren estudios para comprobar sus diferentes cualidades en relación a la capacidad de sellado del mismo, penetración del cemento sellador en los túbulos dentinarios entre otras. En relación al cemento sellador EndoSequence BC Sealer HiFlow solo encontramos un artículo (286) en el cual estudiaban las propiedades microestructurales al aplicar calor. Dichas propiedades se veían afectadas en menor medida en EndoSequence BC Sealer HiFlow que en el EndoSequence BC Sealer y por tanto concluyen que el HiFlow puede utilizarse con técnicas de calor y no sufrir modificaciones severas en la estructura del sellador.

En el presente estudio se investigan siete técnicas de obturación radicular y materiales distintos para llevar a cabo dichas técnicas de manera óptima, con el fin de valorar su rendimiento a la hora de obturar las diferentes áreas dentinarias. En la revisión de la literatura científica realizada hasta la actualidad, no hay publicado ningún estudio similar. Dicho rendimiento se valora según el área de penetración tubular, la longitud del perímetro del conducto radicular en el cual hay penetración de

cemento sellador intratubular, porcentaje de penetración tubular en el perímetro del conducto, penetración máxima de cemento sellador en el interior de los túbulos dentinarios.

Evaluamos la mayor cantidad de túbulos dentinarios obturados por materiales selladores así como las mejores técnicas y materiales para conseguirlo.

4. Hipótesis

HIPÓTESIS 1

-Hipótesis Nula (H0): No existen diferencias entre las áreas de penetración intratubular de cemento sellador obtenidas por las distintas técnicas de obturación.

-Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias entre las áreas de penetración intratubular de cemento sellador obtenidas por las distintas técnicas de obturación.

HIPÓTESIS 2

-Hipótesis Nula (H0): No existen diferencias entre la penetración intratubular de cemento sellador en el perímetro del conducto obtenidas por las distintas técnicas de obturación.

-Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias entre la penetración intratubular de cemento sellador en el perímetro del conducto obtenidas por las distintas técnicas de obturación.

HIPÓTESIS 3

-Hipótesis Nula (H0): No existen diferencias entre el porcentaje de penetración intratubular de cemento sellador en el perímetro del conducto en función de las distintas técnicas de obturación.

-Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias entre el porcentaje de penetración intratubular de cemento sellador en el perímetro del conducto en función de las distintas técnicas de obturación.

HIPÓTESIS 4

-Hipótesis Nula (H0): No existen diferencias entre la profundidad máxima de penetración intratubular de cemento sellador en las distintas técnicas de obturación.

-Hipótesis Alternativa (H1): Existen diferencias entre la profundidad máxima de penetración intratubular de cemento sellador en las distintas técnicas de obturación.

5. Objetivos

Los objetivos planteados en esta Tesis Doctoral son los siguientes:

Objetivo general

1. Evaluar el área de penetración intratubular de cemento sellador mediante el uso de siete técnicas de obturación radicular endodóncica por tercios radiculares.

Objetivos específicos

2. Valorar la longitud del perímetro del conducto radicular en el cual hay penetración intratubular de cemento sellador mediante el uso de siete técnicas de obturación radicular endodóncica por tercios radiculares.

3. Analizar el porcentaje de penetración intratubular de cemento sellador en el perímetro del conducto para cada técnica de obturación en los diferentes tercios radiculares.

4. Examinar el punto de mayor penetración intratubular de cemento sellador mediante el uso de siete técnicas de obturación endodóncica en los diferentes tercios radiculares.

6. Material y Métodos

Este trabajo de investigación fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación (CEI) de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir, con el código de proyecto: UCV/2019-2020/001. (Ver Anexos)

6.1. Material

Tabla 1. Materiales y fabricantes utilizado

	Material (Fabricante)
Muestra	210 raíces de dientes humanos extraídos, dientes unirradiculares
Preparación y conservación de la muestra	Suero fisiológico
Instrumentación de los conductos	Limas K 10-15 (Komet) Limas Protaper Gold S1, S2, F1, F2(Dentsply Sirona) Regla de endodoncia Mini-Endo-Bloc (Dentsply Sirona) Motor de endodoncia VDW Gold
Irrigación de los conductos	Hipoclorito de Sodio 5,25% (Fórmula magistral) EDTA 17% (Fórmula magistral) Suero fisiológico Chitosan-hidroxiapatita (Fórmula magistral) Jeringas y agujas con salida lateral Puntas EDDY(VDW) (Fig. 1) Air Scaler (VDW) (Fig. 1)
Obturación de los conductos	AH Plus (Dentsply Sirona) (Fig. 2) TotalFill BC Sealer HiFlow (FKG) (Fig. 2) Conos de gutapercha F2 (Dentsply Sirona) (Fig. 3) Conos de gutapercha 25 (4%) y 15-20 (2%) (Dentsply Sirona) (Fig. 3) Pellets de gutapercha convencional (Meta Biomed) (Fig. 3) Conos de gutapercha TotalFill BC Points (FKG) (Fig. 3) Pellets de gutapercha biocerámica TotalFill BC Pellets (FKG) (Fig. 3) Espaciador digital (Dentsply Sirona) Unidad de obturación System B (SybronEndo) (Fig. 4) Unidad de obturación EQ-V (MetaBiomed) (Fig. 4) Guttacore (Fig. 5) Horno Thermaprep 2 (Fig. 5) Puntas de papel F2 Condensadores verticales manuales Rodamina B
Materiales diversos	Discos de Corte de diamante Turbina Fresa de bola Rotulador indeleble Esmalte de uñas transparente Cámara de fotos Canon Cureta 1-2
Material radiográfico	Radiografía digital
SopORTE informático	Pages Excel Autocad
Microscopía	Microscopio de láser confocal (Leica TCS SP8)



Figura 1. Sistema de activación de la irrigación. A: Punta EDDY; B: Air Scaler.



Figura 2. Cementos utilizados. A: TotalFill BC Sealer HiFlow; B: AH Plus.



Figura 3. Tipos de gutapercha utilizadas. A: BC Pellets (gutapercha biocerámica pellets); B: pellets gutapercha convencional; C: BC Points (gutapercha biocerámica 25-6%); D : gutapercha convencional F2 conform fit; E: Gutapercha convencional 25-4%.

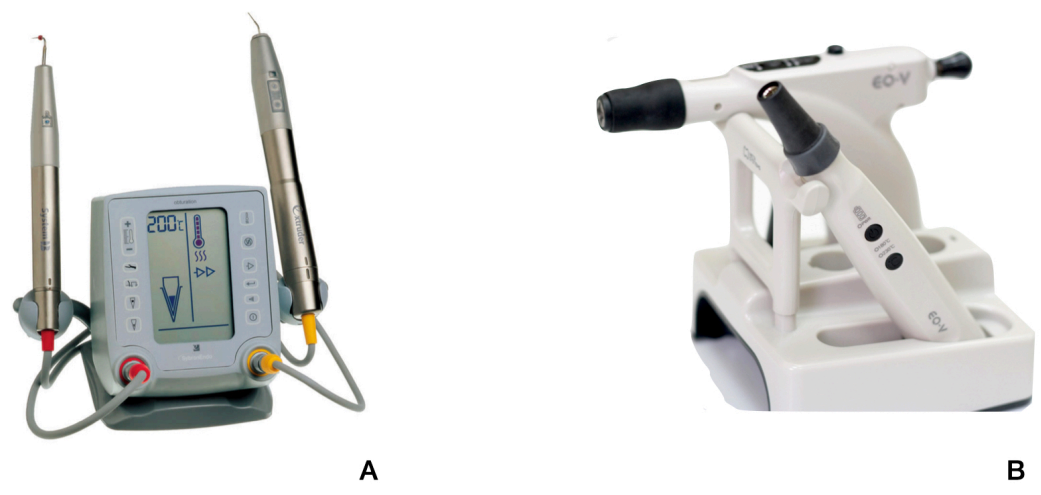


Figura 4. Unidades de obturación utilizadas. A: System B; B: EQ-V



Figura 5. GuttaCore y Horno ThermoPrep 2.

6.2. Método

Esta tesis doctoral presentó una metodología cuantitativa trasladando los resultados a valores numéricos, posteriormente se realizó el análisis estadístico de ellos para obtener un enfoque objetivo de los mismos.

6.2.1. Selección de muestras

Para este estudio se seleccionaron 210 dientes humanos extraídos, dientes unirradiculares como incisivos, caninos y premolares superiores e inferiores confirmando la presencia de un único conducto de manera radiográfica, mediante dos radiografías, una en sentido mesio-distal y otra vestibulo-lingual.

Los dientes fueron extraídos en varias clínicas dentales situadas en la provincia de Teruel y Valencia entre la fecha 1-12-2020 hasta el 1-6-2021. Todos ellos fueron de pacientes con nacionalidad española, a los que se les entregaron dos documentos, uno con el consentimiento informado en el cual iban a donar su diente para un estudio de tesis doctoral, y otro en el cual se explicaba el tipo de estudio.

Tras la extracción de los dientes por motivos periodontales, se almacenaron una hora en hipoclorito de sodio al 5,25%, posteriormente se limpiaron con una cureta número 1-2 para eliminar restos de tejido periodontal, tejido óseo y sarro, seguidamente se almacenaron en una solución de suero fisiológico.

Se asignó un valor numérico a cada diente realizando un muestreo probabilístico, más concretamente un muestreo aleatorio simple. Con este procedimiento, todos los dientes tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Posteriormente se realizaron grupos de 30 dientes que fueron obturados con las distintas técnicas de obturación radiculares estudiadas. Para calcular la muestra necesaria nos basamos en un estudio similar (295), en el cual los grupos que analizaron eran de 30 dientes como en nuestro estudio.

6.2.2. Preparación de los conductos radiculares

Se realizó la apertura de acceso al sistema de conductos radiculares con una fresa troncocónica de turbina y refrigeración mediante agua, se localizó el conducto con una sonda endodóncica DG16. Se separó la raíz de la corona clínica por la unión amelocementaria con un disco de diamante de pieza de mano y refrigeración mediante agua, se introdujo una lima K de tamaño 10 ó 15 en el espacio del conducto. La longitud de trabajo (LT) se estableció a 0.5 mm del foramen apical mediante observación visual de la lima. Todos los conductos se prepararon con Protaper Gold (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suiza) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Las limas de conformación S1 (250 rpm y 3 Ncm) y S2 (250 rpm y 1 Ncm) se usaron con movimientos de cepillado y circunferenciales a la longitud de trabajo, luego las limas de acabado F1 (250 rpm y 1,5 Ncm), F2 (250 rpm y 2,5 Ncm), se usaron con un movimiento de picoteo con el motor Gold Reciproc (VDW, Munich, Alemania), con las especificaciones de uso propuestas del fabricante. Después de usar cada lima, el conducto se irrigó con NaOCl al “5,25%”. La permeabilidad de los conductos se confirmó insertando una lima de tamaño 10 a través del foramen apical una vez finalizada la instrumentación rotatoria.

Como irrigación final se uso un protocolo eminentemente clínico basándonos en los resultados de diferentes artículos (71, 72, 296); usamos el sistema sónico de puntas EDDY (VDW, Munich, Alemania) junto con el Air Scaler:

- 30 sg de activación con hipoclorito de sodio al 5,25%
- lavado con suero fisiológico
- 30 sg de activación con EDTA 17% (primer ciclo)
- 30 sg de activación con EDTA 17% (segundo ciclo)
- lavado con suero fisiológico
- 30 sg de activación con hipoclorito de sodio al 5,25%
- lavado con suero fisiológico
- 30 sg de activación con precursor Chitosan-hidroxiapatita
- lavado con suero fisiológico

Los conductos se secaron con puntas de papel F2 (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suiza).

Este procedimiento de preparación quimiomecánica de las muestras fue común en todas ellas independientemente de la técnica de obturación utilizada.

6.2.3. Obturación de los conductos radiculares

Se procedió a obturar todas las muestras con las diferentes técnicas de obturación nombradas a continuación. Se espatuló el cemento y se añadió un 0,1% de rodamina B (colorante fluorescente) en relación al peso del cemento sellador para su posterior observación en el microscopio de láser confocal.

Seguidamente las muestras instrumentadas previamente divididas de manera aleatoria en siete grupos experimentales de n=30, tal y como muestra este estudio (295), fueron obturadas con las siguientes técnicas de obturación:

-Grupo 1: Técnica condensación lateral con gutaperchas conicidad 4% y gutaperchas accesorias 15-20 conicidad 2% (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suiza), cemento AH Plus (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suiza).

-Grupo 2: Técnica de cono único con gutaperchas biocerámicas 25-0.6 (TotalFill BC Points) y cemento biocerámico TotalFill BC Sealer HiFlow (“Hydraulic filling techniques”o “Capillary technique”).

-Grupo 3: Técnica obturación termoplástica con técnica de vástago Guttacore y cemento biocerámico TotalFill BC Sealer HiFlow.

-Grupo 4: Técnica de onda continua con gutapercha Protaper F2 y cemento biocerámico TotalFill BC Sealer HiFlow.

-Los dientes fueron obturados con la técnica de onda continua diseñada por Buchanan se comprobó el plugger con el tope de goma a menos 4 mm de la longitud de trabajo. La unidad de obturación utilizada fue E&Q Master® (Meta Biomed, Chalfont, PA, USA), a una temperatura de 230 °C para el plugger caliente y una temperatura de 200°C para la unidad de inyección de gutapercha caliente.

-Grupo 5: Técnica de onda continua con gutapercha biocerámica 25-0.6 (TotalFill BC Points), gutapercha biocerámica (TotalFill BC Pellets) y cemento biocerámico TotalFill BC Sealer HiFlow.

-Grupo 6: Técnica de condensación vertical con gutapercha Protaper F2 y cemento biocerámico TotalFill BC Sealer HiFlow.

-Para la técnica de condensación vertical con biocerámicos usamos la unidad de obturación System-B® (Sybron Dental, Orange, CA, USA) a una temperatura de 100°C en el plugger caliente, retirando porciones de 1-2 mm de gutapercha y condensando hasta llegar a 4 mm de la longitud de trabajo, y una temperatura de 200°C para la unidad de inyección de gutapercha caliente.

-Grupo 7: Técnica de condensación vertical con gutapercha biocerámica 25-0.6 (TotalFill BC Points), gutapercha biocerámica (TotalFill BC Pellets) y cemento biocerámico TotalFill BC Sealer HiFlow.

El grupo control fue asignado con el número 1 (condensación lateral y AH Plus) ya que este tipo de técnica se considera como *gold standard* en numerosos estudios (186, 258, 281). El resto de grupos desde el 2 al 7 fueron considerados como experimentales.

Una vez obturadas todas las muestras se colocaron tres capas de esmalte de uñas transparente en toda la superficie radicular excepto en el tercio apical; se almacenaron a 37 °C con un 100% de humedad durante 14 días, la raíz se dividió en tres tercios, tercio coronal, medio y apical (Figura 6.A), y se realizaron unos cortes horizontales mediante un disco de diamante de pieza de mano (Komet, Lemgo, Germany) con constante irrigación (293). Se obtuvieron unas rebanadas de 1 mm de espesor (Figura 6.B), que se fijaron en un portaobjetos mediante pegamento transparente. Se asignó un valor numérico a cada uno de los portaobjetos para no saber la técnica de obturación empleada al comienzo de la visualización de las muestras y no sesgar los resultados con posibles ideas preconcebidas de cada una de las técnicas; y las letras en mayúscula, A: apical; M: medio y C: coronal, en relación al tercio correspondiente. Una vez fraguado el pegamento se realizó el pulido de las muestras con discos de pulir Soft Lex discs (3M (™) ESPE (™) St. Paul, MN, USA). Estos cortes se estudiaron al microscopio de láser confocal (Leica TCS SP8) (Figura 7), por un técnico de laboratorio de la Universidad de Valencia y se guardaron capturas de las imágenes observadas. Dichas imágenes fueron analizadas en el programa informático Autocad®.

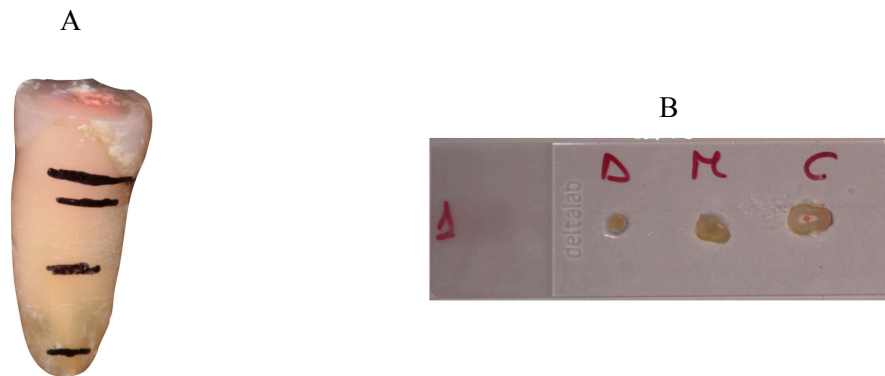


Figura 6. A. Raíz dividida por tercios; B. Muestras para visualizar en el microscopio de láser confocal

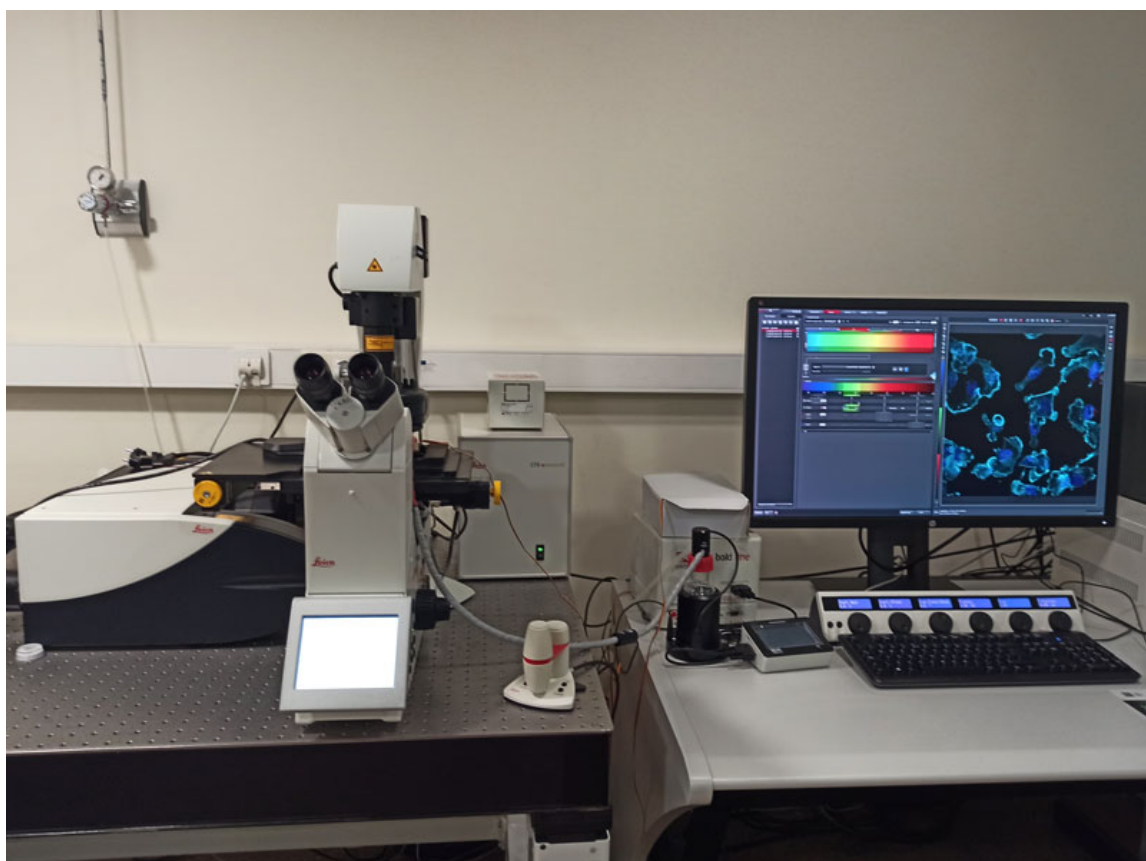


Figura 7. Microscopio de láser confocal Leica TCS SP8

Se estudió el área de penetración tubular. Para ello se delinearon y midieron las áreas con penetración de material sellador (Fig.8 líneas azules) y el tamaño del conducto (Fig.8 líneas amarillas), se sumaron estas dos mediciones obteniendo el área de penetración tubular total en micras cuadradas (μm^2).

Se examinó la longitud en micras (μm) del perímetro del conducto en la cual hubo penetración tubular, se delineó el perímetro del conducto (Fig.8 líneas verde y blanca) y se midió la línea blanca que fue la que indicó la longitud del perímetro con penetración tubular.

El porcentaje de cemento sellador penetrado en el perímetro del conducto se obtuvo de la siguiente manera, el perímetro del conducto que tuvo penetración tubular se dividió por el perímetro total del conducto y se multiplicó por 100 (Fig.8 líneas verde y blanca) (205).

Se hizo una evaluación de las muestras para estudiar la penetración máxima de material sellador, en el interior de los túbulos dentinarios. Con este fin se midió la distancia mayor entre la pared del conducto y el punto más alejado del área de penetración tubular (Fig.8 línea verde), se extrajo un valor numérico en micras (μm).

Las imágenes se estudiaron con el programa Autocad®, utilizando la herramienta “área” para medir las áreas (μm^2) y las distancias (μm). Previamente a realizar las mediciones cada una de las imágenes se escaló a 500 μm para posteriormente realizar las mediciones pertinentes y se rellenó la hoja de datos de Excel. Tras tener registrados todos los resultados del estudio se anotó la técnica de obturación evaluada en la hoja de Excel.

Los datos fueron recogidos de todas las muestras nombradas anteriormente y se registraron las variables que se nombran a continuación. Los datos obtenidos fueron anotados en el programa Excel, para posteriormente proceder a analizar dichos resultados y realizar los análisis estadísticos adecuados.

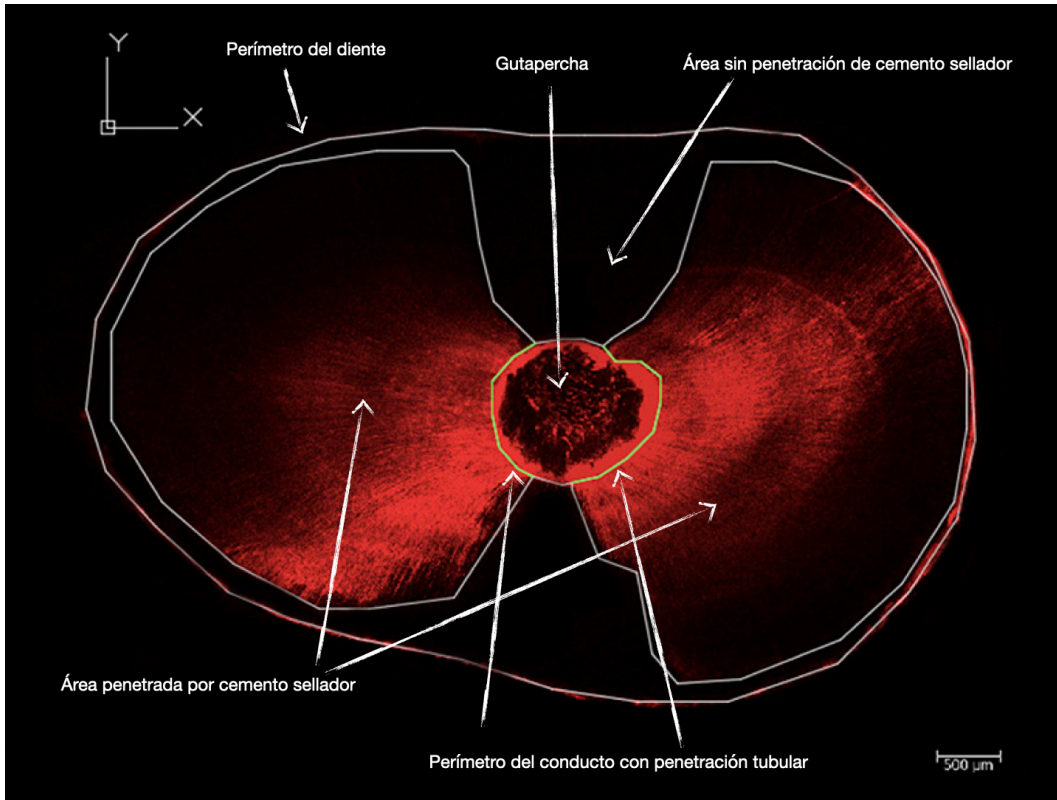


Figura 8. Imagen microscopio de láser confocal en el programa informático Autocad® con las variables estudiadas.
 Amarillo: conducto radicular
 Azul: área de penetración tubular
 Magenta: área no penetrada
 Verde: distancia máxima
 Verde en el perímetro del conducto: zona del perímetro del conducto sin penetración de cemento sellador

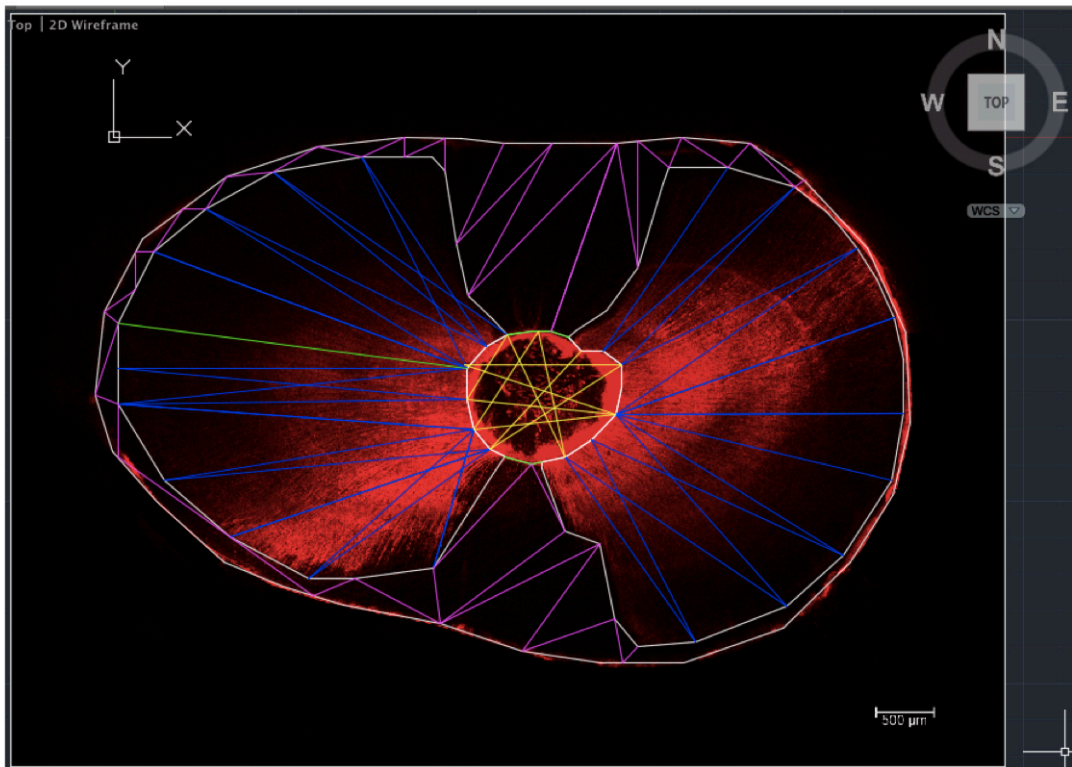


Figura 9. Interpretación de muestra en el programa informático Autocad con las diferentes partes de ella.

En cuanto a las variables registradas fueron las siguientes:

- Técnica de obturación
 - Técnica caliente
 - Técnica en frío
 - Cemento sellador utilizado
- Tercio evaluado
- Área total del corte (μm^2)
- Área penetración tubular (μm^2)
- Área del conducto (μm^2)
- Área no penetrada (μm^2)
- Profundidad máxima (μm)
- Perímetro del conducto con penetración de cemento sellador (μm)
- Perímetro del conducto sin penetración de cemento sellador (μm)
- Perímetro total del conducto (μm)

En cuanto a las variables estudiadas:

- Variable principal: Se analizó el área de penetración de cemento sellador intratubular (μm^2), esta capacidad proporcionó un sellado de los túbulos dentinarios impidiendo la salida al conducto de bacterias contenidas en ellos. La aplicación de técnicas calientes con el uso de cementos selladores biocerámicos a día de hoy es posible y quisimos observarlo.
- Variables secundarias: Se estudió la zona de los túbulos dentinarios en el perímetro del conducto observando el porcentaje (%) y la distancia lineal (μm) de él con penetración intratubular. También examinamos la distancia máxima (μm) de penetración intratubular de cemento sellador.

6.2.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos recogidos se realizó mediante el programa informático SPSS 23 utilizando un nivel de confianza del 95% y considerando estadísticamente significativos aquellos resultados de comparación para los cuales el p-valor obtenido fue menor de 0,05, de manera que si el p-valor fue menor que 0,05 rechazamos la hipótesis nula.

Como las variables dependientes son cuantitativas utilizaremos pruebas de comparación de medias, en concreto, cómo el número de categorías que toma la variable independiente es mayor de dos utilizaremos pruebas ANOVA de un factor, en caso de que exista homogeneidad de varianzas. En caso de que no podamos suponer homogeneidad de varianzas en los valores de la variable dependiente entre los distintos grupos, usaremos pruebas robustas de comparación de medias (prueba de Welch).

En caso de encontrar evidencias para decir que existen diferencias significativas entre los valores tomados por la variable dependiente utilizaremos pruebas Post-hoc para realizar comparaciones múltiples entre los resultados de los distintos grupos de la variable independiente. Utilizaremos la prueba de Bonferroni si existe homogeneidad de varianzas entre los grupos y la prueba de Games-Howell cuando esto no ocurra.

Como el tamaño de las muestras era suficientemente grande ($n \geq 30$) se utilizaron métodos paramétricos de comparación, en concreto la prueba ANOVA y la prueba robusta de comparación de Welch.

Para evaluar el área de penetración intratubular se utilizaron las pruebas de Levene de homogeneidad de varianzas, pruebas robustas de comparación de Welch y pruebas de comparación múltiple de Games-Howell.

Para evaluar la penetración de cemento en el perímetro del conducto se emplearon las pruebas de Levene, la prueba Anova de un factor utilizando el estadístico F, test estadístico

de Welch, pruebas de comparación múltiple de Games-Howell (tercio coronal), pruebas de Bonferroni (tercio medio y apical).

Para evaluar el porcentaje de penetración de cemento en el perímetro del conducto se emplearon las pruebas de Levene, la prueba ANOVA con el estadístico F (tercio medio y apical), prueba robusta de comparación de Welch (tercio coronal), pruebas de comparación múltiple de Games-Howell (tercio coronal), pruebas de Bonferroni (tercio medio y apical).

Para evaluar la profundidad máxima se utilizaron las pruebas de Levene, la prueba ANOVA de un factor, pruebas de comparación múltiple de Bonferroni.

7. Resultados

7.1. Área de penetración

La tabla 2 muestra los resultados descriptivos del área de penetración intratubular en μm^2 .

Tabla 2. Área de penetración intratubular (μm^2 .)

DESCRIPTIVOS				
Tercio	Técnica de obturación	N	Media	Desviación típica
CORONAL	Condensación lateral	30	3,70E+06	3,70E+06
	Cono único	30	6,30E+06	5,93E+06
	Guttacore	30	1,28E+07	6,86E+06
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	1,00E+07	5,12E+06
	Onda continua-gutapercha convencional	30	9,30E+06	5,04E+06
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	1,04E+07	5,61E+06
	Vertical-gutapercha convencional	30	1,21E+07	5,77E+06
MEDIO	Condensación lateral	30	2,10E+06	1,66E+06
	Cono único	30	2,70E+06	2,55E+06
	Guttacore	30	5,74E+06	4,75E+06
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	5,60E+06	3,89E+06
	Onda continua-gutapercha convencional	30	5,46E+06	3,70E+06
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	5,02E+06	2,80E+06
	Vertical-gutapercha convencional	30	5,26E+06	3,50E+06
APICAL	Condensación lateral	30	6,76E+05	6,88E+05
	Cono único	30	5,13E+05	5,78E+05
	Guttacore	30	9,60E+05	1,07E+06
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	1,24E+06	1,25E+06
	Onda continua-gutapercha convencional	30	1,33E+06	1,30E+06
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	6,80E+05	6,24E+05
	Vertical-gutapercha convencional	30	9,18E+05	7,93E+05

Las pruebas de Levene de homogeneidad de varianzas en cada uno de los tercios mostraron los siguientes resultados (Anexo 2).

En los tres tercios los p-valores de los estadísticos de contraste de Levene fueron menores que 0,05, por lo que en ninguno de los tercios supusimos que las varianzas de los resultados obtenidos por las siete técnicas de obturación tuvieron varianzas iguales. Por este motivo utilizamos pruebas robustas de comparación de Welch para estudiar las diferencias entre las áreas de penetración de las siete técnicas de obturación en cada uno de los tercios.

En los tres tercios obtuvimos p-valores menores que 0,05, por tanto se encontraron evidencias estadísticas para decir que en los tres tercios existieron diferencias significativas en cuanto a las áreas de penetración entre al menos dos de las siete técnicas de obturación evaluadas (Anexo 3).

Para ver como fueron estas diferencias utilizamos las pruebas de comparación múltiple de Games-Howell (Anexo 4).

En **negrita** vemos indicadas aquellas comparaciones en las que se encontraron diferencias estadísticamente significativas, de manera que obtuvimos los siguientes resultados (Anexo 4):

En el tercio coronal se encontró que el área de penetración de la técnica “condensación lateral” fue significativamente menor que el de las técnicas “onda continua-gutapercha convencional”, “onda continua-gutapercha biocerámica”, “guttacore”, “condensación vertical-gutapercha convencional” y “condensación vertical-gutapercha biocerámica”.

Además el área de penetración del “cono único” fue significativamente menor que el área de las técnicas “guttacore” y “condensación vertical-gutapercha convencional”.

En el resto de comparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

En el tercio medio se observó que el área de penetración de la técnica “condensación lateral” fue significativamente menor que el de las técnicas “onda continua-gutapercha convencional”, “onda continua-gutapercha biocerámica”, “guttacore”, “condensación vertical-gutapercha convencional” y “condensación vertical-gutapercha biocerámica”.

Además el área de penetración del “cono único” fue significativamente menor que el área de las técnicas “onda continua-gutapercha convencional”, “onda continua-gutapercha biocerámica”,

“guttacore”, “condensación vertical-gutapercha convencional” y “condensación vertical-gutapercha biocerámica”.

En el resto de comparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

En el tercio apical se halló que el área de penetración del “cono único” fue significativamente menor que el área de penetración de las técnicas “onda continua-gutapercha convencional” y “onda continua-gutapercha biocerámica”.

En el resto de comparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

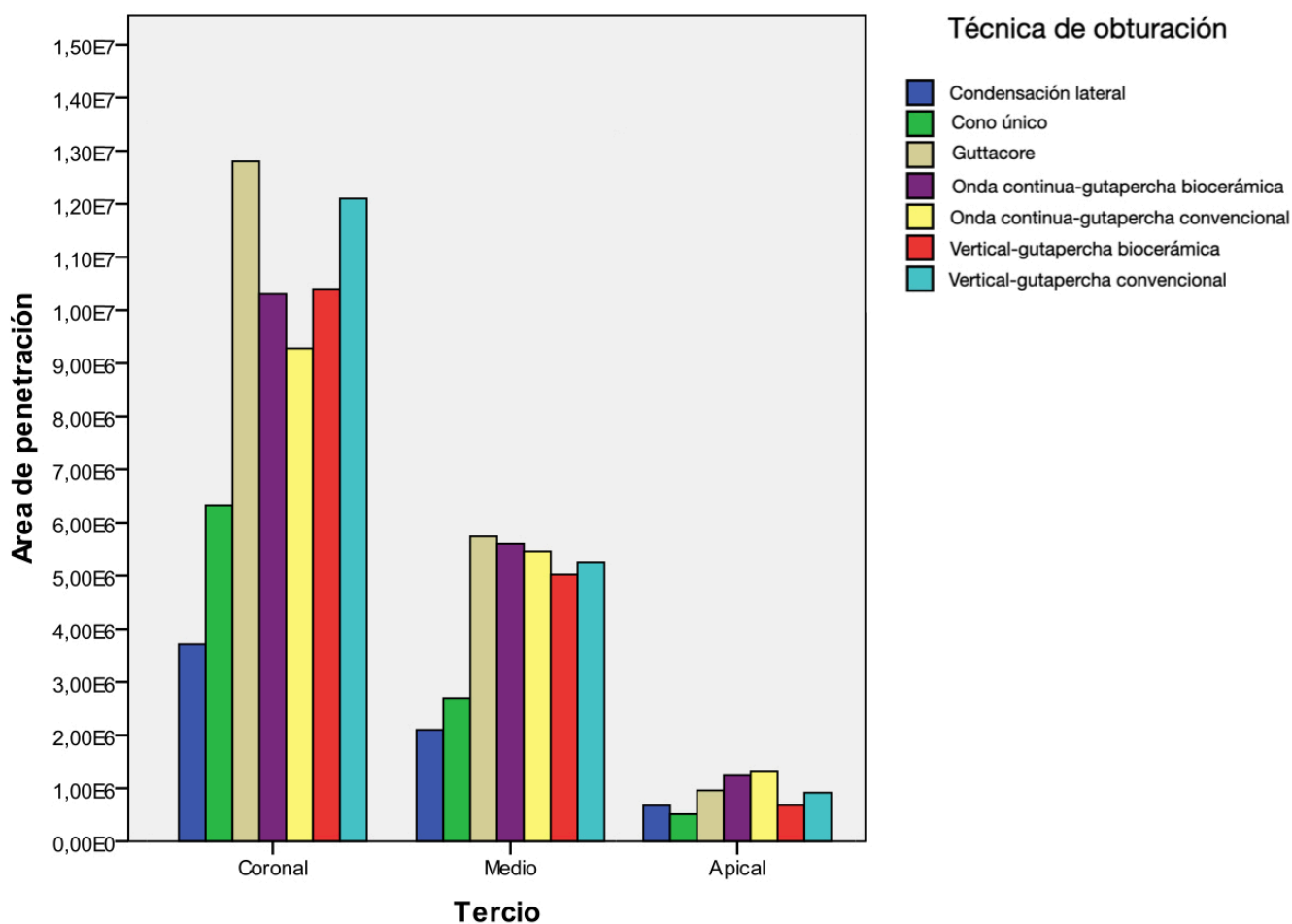


Figura 10. Gráfica área de penetración (μm^2)

7.2. Penetración de cemento en el perímetro del conducto

Descubrimos el “efecto mariposa” en varias muestras, así como la presencia de una zona de infiltración mineral. La tabla 3 muestra los resultados descriptivos de la penetración de cemento en el perímetro del conducto en μm .

Tabla 3. Penetración de cemento en el perímetro del conducto (μm)

DESCRIPTIVOS				
Tercio	Técnica de obturación	N	Media	Desviación típica
CORONAL	Condensación lateral	30	3.006,58	1.561,68
	Cono único	30	2.351,14	1.016,92
	Guttacore	30	3.329,51	848,18
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	3.228,46	1.483,82
	Onda continua-gutapercha convencional	30	3.172,26	1.387,54
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	4.040,92	1.667,03
	Vertical-gutapercha convencional	30	3.677,6	1.305,88
MEDIO	Condensación lateral	30	1.825,65	986,89
	Cono único	30	1.157,52	763,05
	Guttacore	30	2.001,21	617,73
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	2.025,42	1.170,08
	Onda continua-gutapercha convencional	30	2.071,41	1.166,97
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	2.129,89	1.028,64
	Vertical-gutapercha convencional	30	1.974,51	800,56
APICAL	Condensación lateral	30	687,24	675,73
	Cono único	30	439,50	520,45
	Guttacore	30	822,96	558,13
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	773,25	672,55
	Onda continua-gutapercha convencional	30	1.154,19	929,75
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	514,86	493,65
	Vertical-gutapercha convencional	30	1.062,44	775,91

Las pruebas de Levene de homogeneidad de varianzas nos dieron los siguientes resultados (Anexo 5).

Los p-valores obtenidos para los tercios medio y apical son 0,660 y 0,119 respectivamente, mayores que 0,05, por tanto en estos tercios supusimos que los resultados obtenidos por las siete técnicas de obturación presentaron varianzas similares en cada uno de los tercios, por lo que se empleó la prueba ANOVA de un factor utilizando el estadístico F para estudiar las diferencias entre las longitudes de penetración en el perímetro del conducto (Anexo 6).

Por otro lado para el tercio coronal el p-valor de la prueba de Levene es 0,026, menor que 0,05, por lo que no pudimos suponer que las varianzas obtenidas para todas las técnicas de obturación fueran iguales por lo que utilizamos el estadístico de Welch (Anexo 7).

Los p-valores de los estadísticos de contraste de las pruebas ANOVA y prueba robusta de comparación de medias fueron todos menores que 0,05, por lo que en los tres tercios se encontraron evidencias estadísticas para decir que existieron diferencias significativas entre las longitudes de penetración en el perímetro del conducto entre al menos dos de las siete técnicas de obturación evaluadas.

Como en el tercio coronal no se pudo suponer homogeneidad de varianzas utilizamos una prueba de Games-Howell para ver como son las diferencias y para los otros dos tercios utilizamos las pruebas de Bonferroni (Anexo 8).

En **negrita** vemos indicadas aquellas comparaciones en las que se encontraron diferencias estadísticamente significativas, de manera que obtuvimos los siguientes resultados (Anexo 8):

En el tercio coronal se encontró que la penetración de cemento en el perímetro del conducto para la técnica de “cono único” fue significativamente menor que para las técnicas “condensación vertical-gutapercha convencional” y “condensación vertical-gutapercha biocerámica”. Para el resto de comparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

En el tercio medio se observó que la penetración de cemento en el perímetro del conducto para la técnica “cono único” fue significativamente menor que para todas las demás técnicas a excepción

de la “condensación lateral” con la que no se encontraron diferencias significativas. Para el resto de comparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

En el tercio apical se halló que la longitud de penetración en el perímetro del conducto para la técnica “condensación vertical-gutapercha biocerámica” fue significativamente menor que para la técnica “onda continua-gutapercha convencional” y “condensación vertical-gutapercha convencional”. Lo mismo ocurre para la técnica de “cono único”. Para el resto de comparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

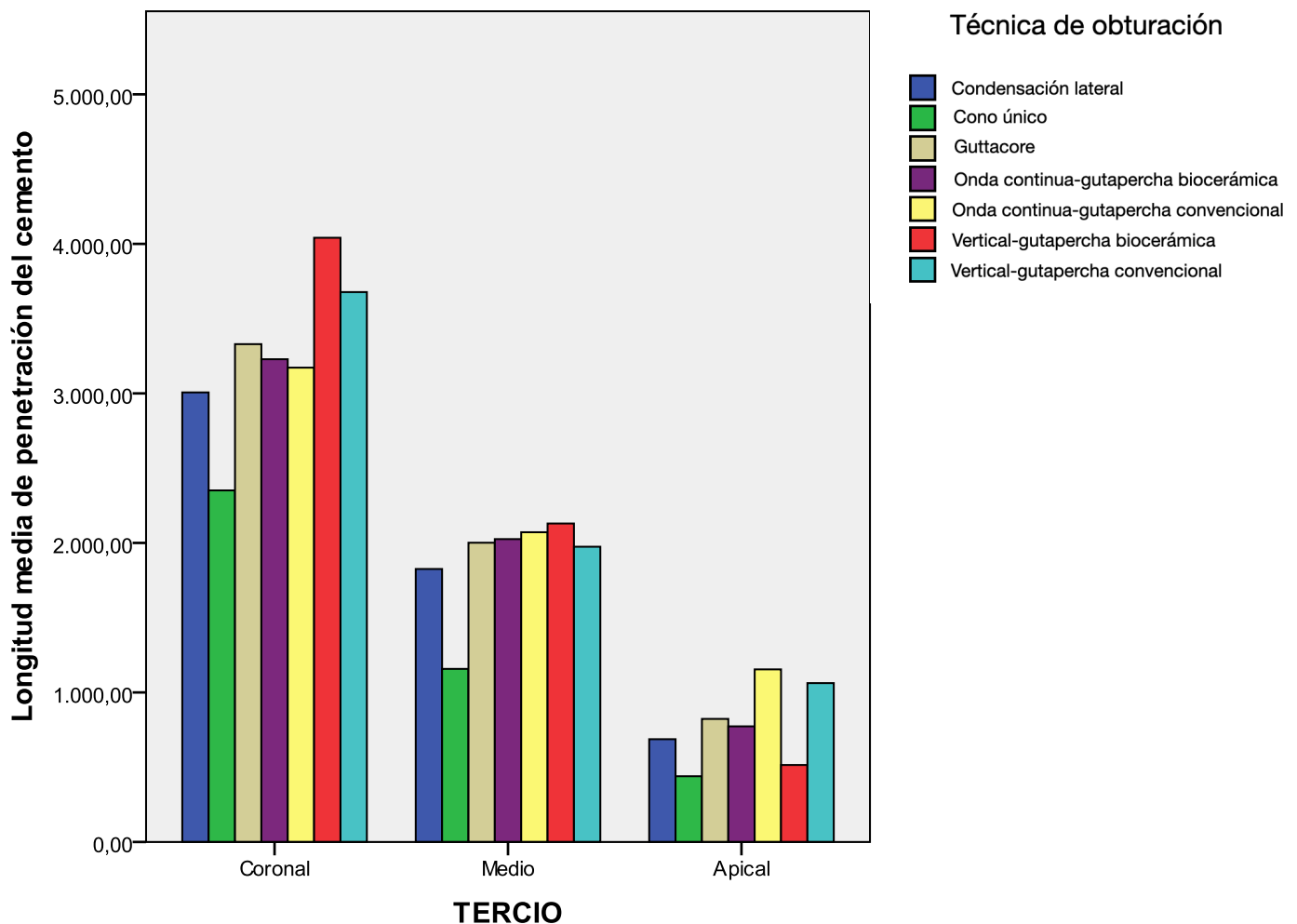


Figura 11. Gráfica longitud media de penetración del cemento en el perímetro del conducto (µm)

7.3. Porcentaje de penetración de cemento en el perímetro del conducto

La tabla 4 muestra los resultados descriptivos del porcentaje de penetración de cemento sellador en el perímetro del conducto.

Tabla 4. Porcentaje medio penetración de cemento en el perímetro del conducto (%)

DESCRIPTIVOS				
Tercio	Técnica de obturación	N	%	Desviación típica
CORONAL	Condensación lateral	30	81,16	27,18
	Cono único	30	66,52	28,69
	Guttacore	30	88,93	17,89
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	83,41	28,37
	Onda continua-gutapercha convencional	30	83,15	24,65
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	89,11	21,46
	Vertical-gutapercha convencional	30	90,88	21,45
MEDIO	Condensación lateral	30	70,20	32,86
	Cono único	30	46,13	34,18
	Guttacore	30	72,67	25,56
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	70,14	25,60
	Onda continua-gutapercha convencional	30	69,08	29,83
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	78,44	26,29
	Vertical-gutapercha convencional	30	70,67	29,57
APICAL	Condensación lateral	30	35,33	36,68
	Cono único	30	22,88	27,71
	Guttacore	30	54,06	32,65
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	42,95	33,74
	Onda continua-gutapercha convencional	30	56,12	33,74
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	33,04	33,72
	Vertical-gutapercha convencional	30	60,50	36,82

La prueba de Levene en cada uno de los tercios nos arrojó los siguientes resultados (Anexo 9).

En los tercios medio y apical los p-valores de los estadísticos de contraste de Levene fueron mayores que 0,05, por lo que en estos tercios se supuso que las varianzas de los resultados obtenidos por las siete técnicas tuvieron varianzas iguales y se utilizó la prueba ANOVA con el estadístico F para estudiar las diferencias entre los porcentajes de penetración de las siete técnicas de obturación en cada uno de los tercios. En el tercio coronal el p-valor es menor que 0,05, por lo que se utilizó la prueba robusta de comparación de Welch (Anexo 10).

En los tres tercios obtuvimos p-valores menores que 0,05, por tanto se encontraron evidencias estadísticas para decir que existieron diferencias significativas en cuanto a los porcentajes de penetración entre al menos dos de las siete técnicas de obturación.

Para ver como fueron estas diferencias se utilizaron las pruebas de comparación múltiple de Games-Howell, en el caso del tercio coronal y de Bonferroni en los otros dos tercios (Anexo 11).

En negrita vemos indicadas aquellas comparaciones en las que se encontraron diferencias estadísticamente significativas, de manera que obtuvimos los siguientes resultados (Anexo 11):

En el tercio coronal se encontró que el porcentaje de penetración del “cono único” fue significativamente menor que las técnicas “guttacore”, “condensación vertical-gutapercha convencional” y “condensación vertical-gutapercha biocerámica”.

En el resto de comparaciones no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

En el tercio medio se halló que el porcentaje de penetración del “cono único” fue significativamente menor que las técnicas “onda continua-gutapercha biocerámica”, “guttacore”, “condensación lateral”, “condensación vertical-gutapercha convencional” y “condensación vertical-gutapercha biocerámica”.

En el resto de comparaciones no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

En el tercio apical se observó que el porcentaje de penetración en el caso del “cono único” fue significativamente menor que las técnicas “onda continua-gutapercha convencional”, “guttacore” y “condensación vertical-gutapercha convencional” y el porcentaje de penetración de “condensación vertical-gutapercha biocerámica” fue menor que el del “condensación vertical-gutapercha convencional”.

En el resto de comparaciones no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

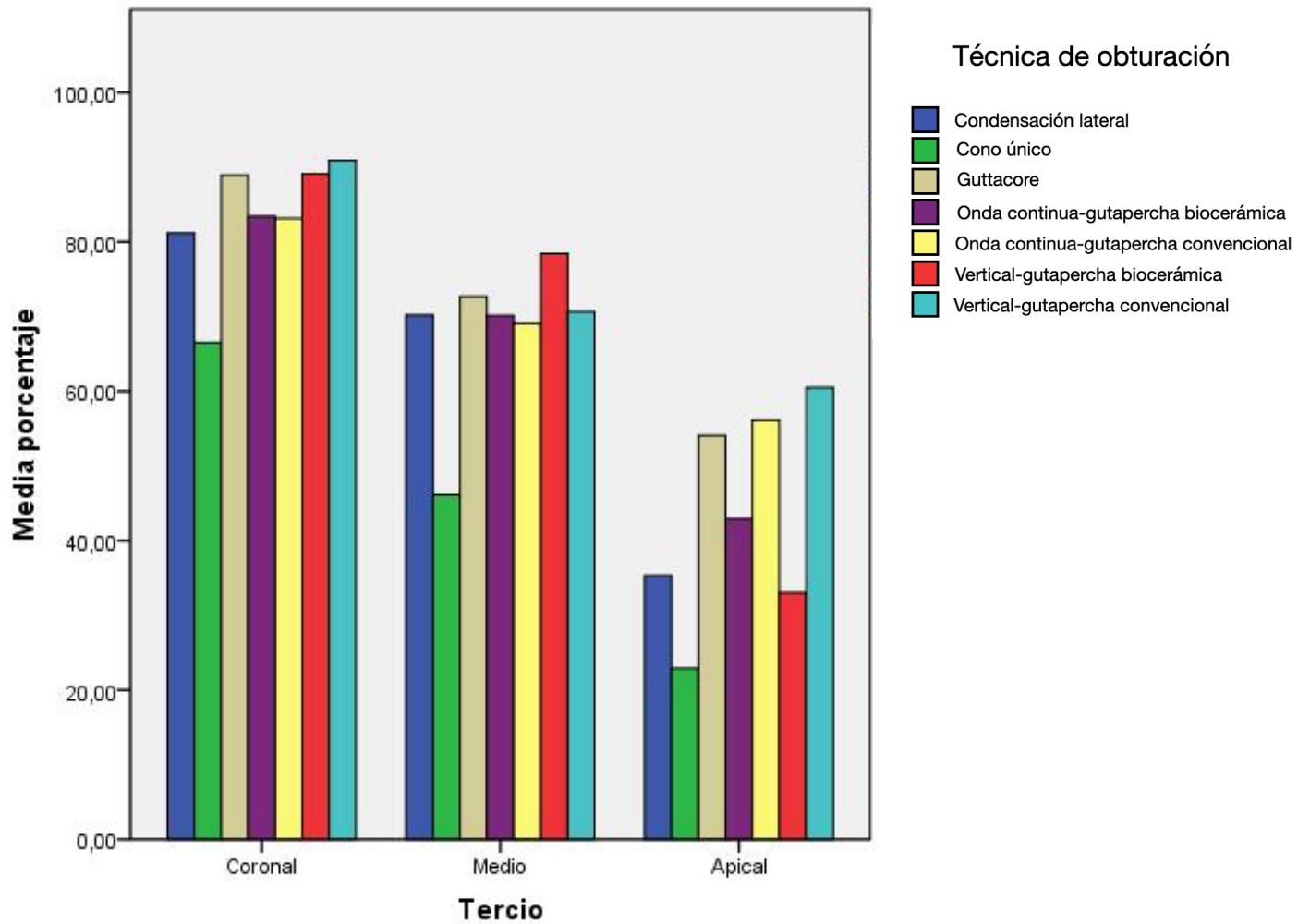


Figura 12. Gráfica media de porcentaje de penetración de cemento en el perímetro del conducto (%)

7.4. Profundidad máxima

La tabla 5 muestra los resultados descriptivos de la profundidad máxima de cemento en μm .

Tabla 5. Profundidad máxima de cemento (μm)

DESCRIPTIVOS				
Tercio	Técnica de obturación	N	Media	Desviación típica
CORONAL	Condensación lateral	30	1.002,03	555,86
	Cono único	30	1.602,73	773,44
	Guttacore	30	2.110,03	640,62
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	1.900,85	524,05
	Onda continua-gutapercha convencional	30	1.830,81	616,78
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	1.962,66	591,02
	Vertical-gutapercha convencional	30	2.133,99	476,86
MEDIO	Condensación lateral	30	939,30	643,13
	Cono único	30	1.006,26	691,49
	Guttacore	30	1.546,08	568,81
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	1.606,44	431,61
	Onda continua-gutapercha convencional	30	1.534,26	600,16
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	1.676,57	628,86
	Vertical-gutapercha convencional	30	1.558,61	599,19
APICAL	Condensación lateral	30	409,72	420,08
	Cono único	30	363,04	462,72
	Guttacore	30	539,77	431,10
	Onda continua-gutapercha biocerámica	30	650,35	516,05
	Onda continua-gutapercha convencional	30	659,91	412,34
	Vertical-gutapercha biocerámica	30	524,44	378,46
	Vertical-gutapercha convencional	30	526,19	351,92

Las pruebas de Levene de homogeneidad de varianzas nos arrojó los siguientes resultados (Anexo 12).

Los p-valores obtenidos para los tres tercios fueron todos mayores que 0,05, por tanto se supuso que los resultados obtenidos por todas las técnicas de obturación presentan varianzas similares en cada uno de los tercios.

En vista de este resultado se utilizaron las pruebas ANOVA de un factor para estudiar las diferencias entre las profundidades máximas de penetración del cemento en función del tipo de técnica de obturación (Anexo 13).

Los p-valores de los estadísticos de contraste de las pruebas ANOVA fueron menores que 0,05 en los tercios coronal y medio, por lo que con un nivel de confianza del 95% en estos tercios encontramos evidencias estadísticas para decir que existen diferencias significativas en la profundidad máxima entre al menos dos de las siete técnicas de obturación analizadas. Para el tercio apical se obtuvo un p-valor de 0,065, mayor que 0,05, por lo que no encontramos evidencias estadísticas para decir que existan diferencias significativas en las profundidades máximas de las siete técnicas de obturación.

Para ver como fueron estas diferencias en los tercios coronal y medio utilizamos pruebas de comparación múltiple de Bonferroni (Anexo 14).

En **negrita** vemos indicadas aquellas comparaciones en las que se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Anexo 14).

En el tercio coronal tenemos que la profundidad máxima de la técnica “condensación lateral” fue significativamente menor que las otras técnicas de obturación, y además la profundidad máxima de “cono único” fue significativamente menor que “guttacore” y “condensación vertical-gutapercha convencional”.

En el tercio medio la profundidad máxima de la técnica “condensación lateral” fue significativamente menor que la de las otras técnicas a excepción de “cono único”, con la que no

encontramos diferencia significativa. Además la profundidad máxima de la técnica “cono único” fue significativamente menor que las otras técnicas a excepción de “condensación lateral”, con la que no encontramos diferencias significativas.

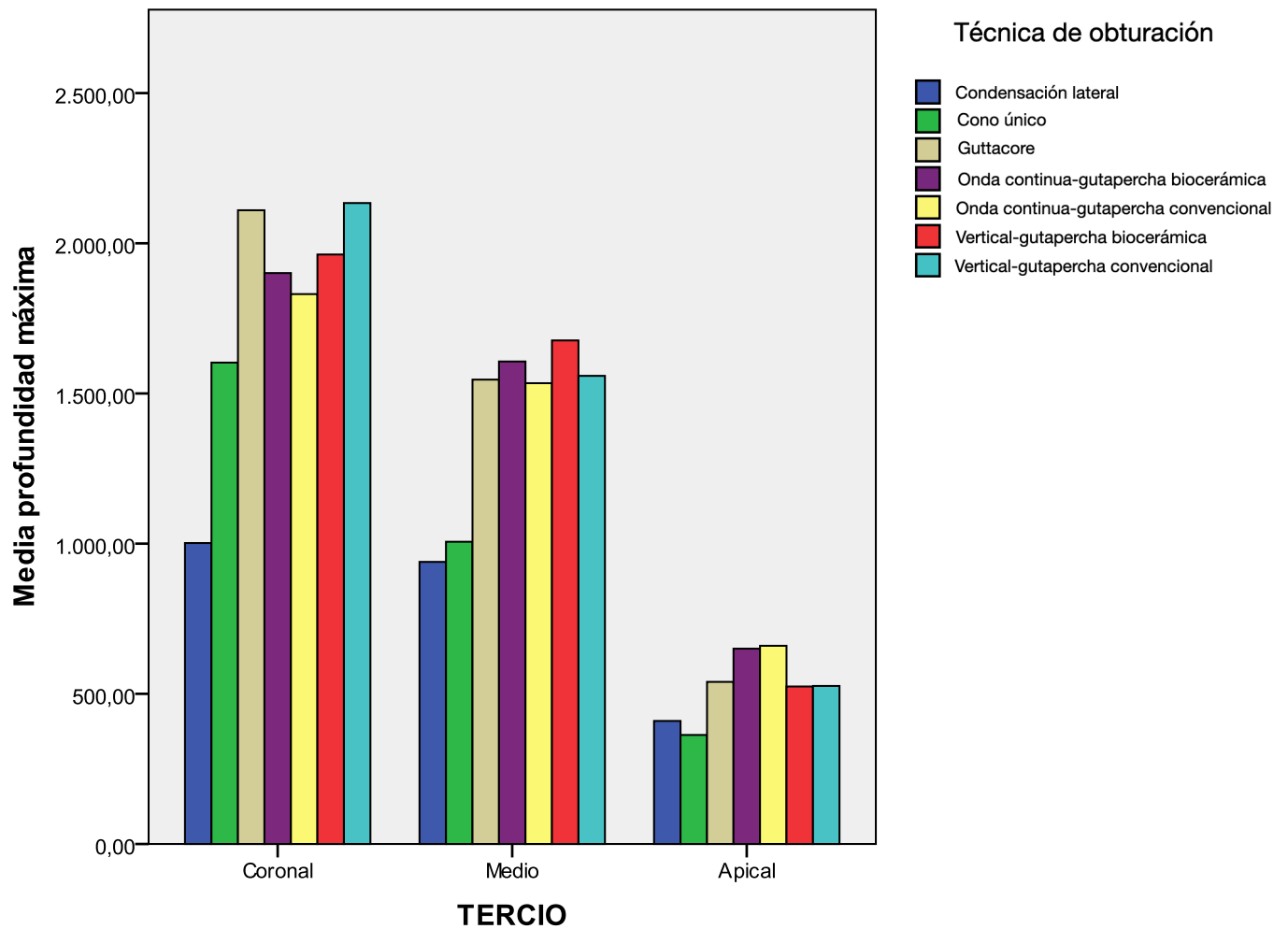


Figura 13. Gráfica media de profundidad máxima de penetración del cemento (μm)

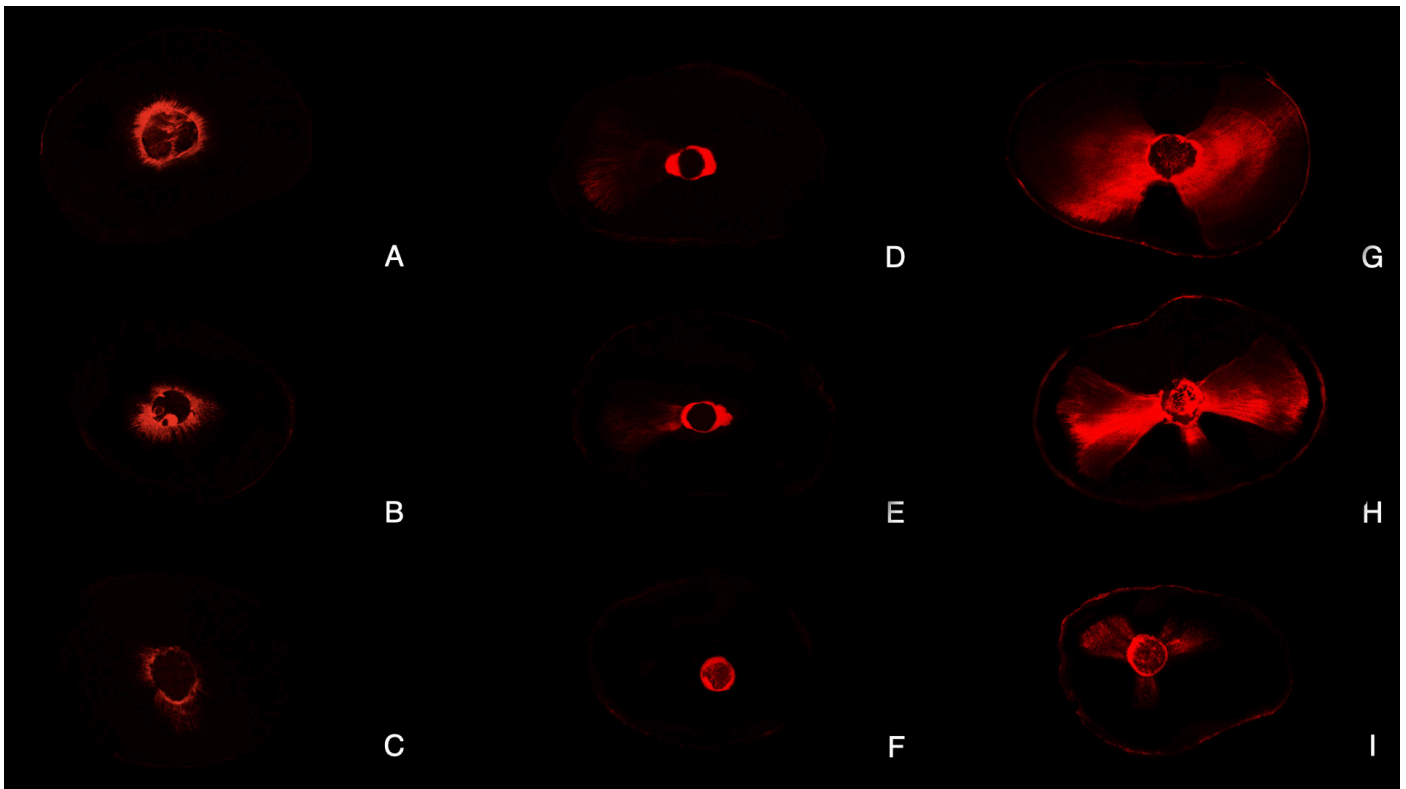


Figura 14. Técnica de condensación lateral: A (coronal), B (medio), C (apical); Técnica como único: D (coronal), E (medio), F (apical); Guttacore: G (coronal), H (medio), I (apical).

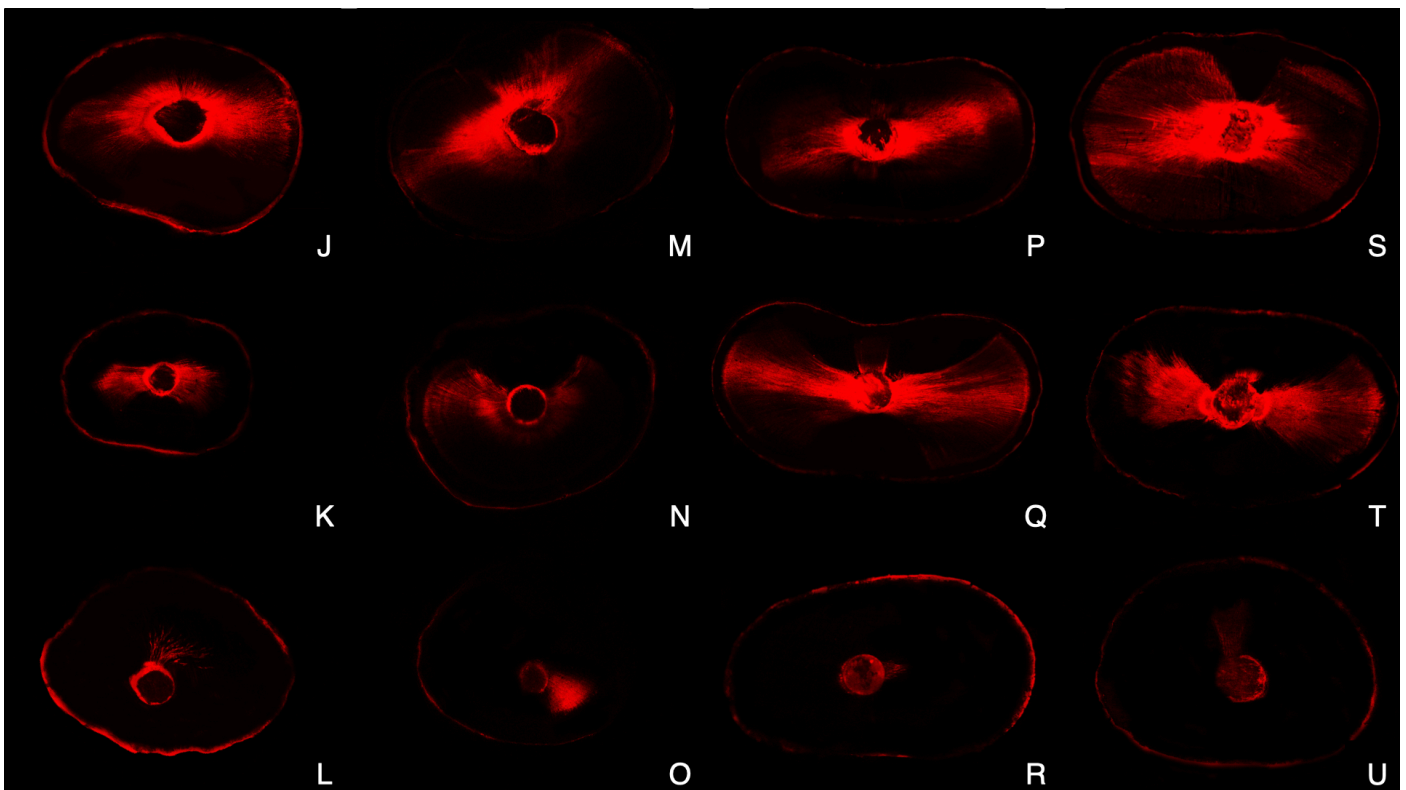


Figura 15. Onda continua gutapercha convencional: J (coronal), K (medio), L (apical). Onda continua gutapercha biocerámica. M (coronal), N (medio), O (apical): Condensación vertical gutapercha convencional: P (coronal), Q (medio), R (apical). Condensación vertical gutapercha biocerámica: S (coronal), T (medio), U (apical).

8. Discusión

8.1. Discusión del método

8.1.1. Método observacional

Actualmente, la profundidad de penetración intratubular de cemento sellador se puede evaluar mediante diferentes métodos, que incluyen SEM (171, 297), microscopía óptica (147, 148), CLSM (149, 163, 298) y micro CT (133). Aunque los principales son la SEM y CLSM (133). Wang Y y cols. (133) observaron secciones de la raíz después de la obturación del conducto radicular y emplearon el CLSM para estimar la capacidad de penetración, y la adaptación de un sellador biocerámico; también evaluaron la densidad de obturación usando un microscopio estereoscópico.

El CLSM es un método no destructivo (299), la preparación de muestras tiende a producir menos artefactos que para el SEM (101) porque no requiere un procesamiento especial y por tanto las mediciones se pueden realizar en condiciones ambientales normales (299), además no promueve la deshidratación de la muestra en comparación con SEM (300). El CLSM tiene varias ventajas sobre SEM y sobre otras técnicas (258). La adquisición de imágenes de varias secciones ópticas usando CLSM, permite una reconstrucción de la imagen final más completa (190).

La preparación de las muestras (secciones radiculares) para el SEM es más compleja. Necesitan desecarse (258), pudiendo llevar a la pérdida de sellador, deformación de la muestra y de los materiales (295). Las muestras deben ser sometidas a un proceso de fijación, seguido de desmineralización y desproteización, lo que puede dañar la estructura dentinaria (301). Además deben someterse a pulverización de oro-paladio, y debido a que SEM funciona bajo vacío, el procedimiento lleva mucho tiempo (300). Dicho proceso puede ser responsable de la producción de artefactos, comprometiendo una evaluación adecuada en comparación con el análisis CLSM (301, 302).

Al utilizar el sistema CLSM, el sellador debe utilizarse junto con tinte fluorescente específico para su evaluación (295), este colorante no interfiere en el sellador conservando la integridad del mismo (303). La rodamina B (Sigma-Aldrich, San Luis, MO) se ha utilizado en estudios anteriores como un tinte fluorescente al usar el CLSM (101, 149, 150, 152, 163, 234, 304-308). El tinte de rodamina

B se usó para promover la fluorescencia del sellador porque el CLSM funciona con puntos de alto contraste para identificar los selladores dentro de los túbulos dentinarios (309). Se realizaron estudios para determinar si el sellador marcado y el sellador no marcado tenían propiedades fisicoquímicas diferentes, Patel y cols. (150) no observaron influencia alguna del colorante rodamina B en las propiedades físicas del sellador, muy probablemente debido a la pequeña cantidad del colorante (0.1%) mezclado con el sellador. Ordinola-Zapata y cols. (152) concluyeron que el sellador marcado con rodamina al 0.1% no mostró cambios en la fluidez de los selladores, otro estudio observó que la mezcla de selladores del conducto radicular con 0,1% de rodamina B no modificó las características de fluidez de los selladores (101). La penetración del sellador se puede evaluar más rápidamente y se puede obtener una vista detallada de la muestra a aumentos más bajos usando el tinte fluorescente de rodamina B con el CLSM (220). Tedesco y cols. (310) verificaron la fluidez de los selladores probados después del proceso de adicción del tinte de rodamina, a su vez tampoco pareció afectar la miscibilidad de los selladores. La unión entre el sellador del conducto radicular y el tinte (rodamina B) se produce sin enlaces químicos por tanto no se observa ningún cambio en la estructura química del cemento sellador (299, 302, 309).

El SEM permite la observación de los túbulos dentinarios y la medición precisa de la profundidad de penetración a grandes aumentos. CLSM también permite la determinación de la cantidad total de sellador penetrado en los túbulos dentinarios (149). El análisis por CLSM generalmente se realiza a partir de la superficie de las muestras de hasta 20–30 μm de profundidad, permitió visualizar la muestra debajo de la superficie de la dentina sin quitar la capa de barrillo dentinario (302, 311); esta afirmación está en desacuerdo con otros artículos que ven de extrema importancia la eliminación del barrillo dentinario para la correcta penetración del cemento sellador (40, 101, 190, 298).

La penetración del sellador fue influenciada por los irrigantes utilizados en el protocolo final de irrigación para la eliminación del barrillo dentinario (190). Es importante tener en cuenta que la penetración del sellador en los túbulos dentinarios puede usarse como un indicador de la eliminación del barrillo dentinario (190).

McKinlay y cols., Bitter y cols. (302, 312) han comparado la precisión de SEM y CLSM en la medición del espesor de la capa híbrida y la capacidad de penetración de cementos de resina en el cementado de postes. Observaron una fuerte y positiva correlación entre ambos métodos en el análisis de integridad de la capa híbrida. Sin embargo, la penetración intratubular no tuvo

correlación significativa, y se observó una baja cantidad de “tags” de cemento de resina cuando se realizó el análisis SEM. Los autores (302, 312) concluyeron que ambos análisis son comparables; sin embargo, el CLSM mostró con más detalles que SEM la distribución y la longitud de las “tags” de resina dentro de los túbulos dentinarios.

Con respecto a la penetración de los selladores, Tedesco y cols. (310), demostraron con el uso del CLSM una mejor evaluación de la profundidad y la cantidad de “tags”. Por otro lado, SEM observó con mayor precisión los detalles de la interfase adhesiva y la morfología de los “tags” del sellador (310).

En los estudios demostraron que SEM puede proporcionar imágenes de alta calidad durante el análisis de la interfaz adhesiva (310, 313-315). Sin embargo, existen varias limitaciones en este método, como la contracción de muestras al aplicarles el vacío, la incidencia de artefactos y la formación de microgrietas sobre las estructuras de interés a analizar.

El micro CT es un método analítico no destructivo que proporciona datos objetivos en 3D con alta precisión y resolución espacial (242). Se usó popularmente para estimar la calidad de obturación del conducto radicular y para detectar defectos en la dentina como grietas pre y post instrumentación y obturación (316-319). Una investigación (249) comparó la calidad de obturación de un sellador a base de silicato de calcio (Endoseal MTA) con la técnica de cono único y AH Plus con técnica vertical utilizando micro TC y secciones de raíz con microscopio estereoscópico. No se encontraron diferencias significativas entre los grupos evaluados por micro CT, mientras que en la evaluación del microscopio estereoscópico, el grupo Endoseal MTA mostró un mayor número de vacíos en comparación con los otros grupos. Por lo tanto, especularon que las observaciones de micro CT podrían ser menos sensibles en comparación con el método de corte en términos de detección de huecos. Sugirieron que las observaciones microscópicas del espécimen obtenido por seccionamiento deberían incluirse como un método de apoyo para evaluar la calidad de obturación en el interior del conducto radicular. Otra razón para no usar micro CT para detectar grietas de dentina se basó en la evidencia de un estudio (319), que usó micro CT y secciones de raíz con microscopio estereoscópico simultáneamente para evaluar la aparición de grietas de dentina. Inesperadamente, las imágenes del microscopio estereoscópico después de la instrumentación del conducto radicular exhibieron fisuras en la dentina, pero la misma imagen no apareció en las imágenes de micro CT que mostraban la instrumentación previa y posterior de la misma sección.

Los autores indicaron que la formación de nuevas grietas pudo resultar del procedimiento de seccionamiento en sí mismo y no debido a la instrumentación mecanizada. El micro CT no tiene tanta especificidad ni tanta definición como para evaluar los parámetros que en esta tesis se miden respecto a la penetración del cemento en los túbulos dentinarios y su distribución

La microscopía óptica (147) también se ha utilizado para evaluar la eliminación de la capa de barrillo dentinario y la penetración del sellador en los túbulos dentinarios. La principal desventaja de la microscopía óptica fue la incapacidad de distinguir el sellador de la dentina radicular (305). En el estudio de Kim y cols. (249) utilizan el microscopio estereoscópico para evaluar la calidad de la obturación, presencia de vacíos, etc...

Por tanto creímos conveniente el uso del CLSM para nuestro estudio, ya que muestra más ventajas que los otros métodos observacionales evaluados.

En el presente estudio los cortes se realizaron en el plano horizontal porque la dentina que rodea el conducto radicular no se puede visualizar completamente en los cortes longitudinales, lo que conduce a una mala interpretación de la penetración del sellador en el interior de los túbulos dentinarios bajo la observación del CLSM.

8.1.2. Método de selección de muestras

Los dientes unirradiculares se incluyeron en el estudio tal y como muestran diferentes autores en investigaciones anteriores para ver la capacidad de penetración de materiales selladores en los artículos de Kim y cols. (303), Gunes y cols. (258) utilizan premolares unirradiculares con un único conducto; Tedesco y cols. (310) en su investigación utilizan como muestra incisivos superiores con un único conducto, Eymirly y cols. estudian incisivos mandibulares (205). El Sayed y cols. (16) en su estudio utilizan como muestra caninos inferiores para estudiar la capacidad de sellado apical.

En el estudio de Jeong JW y cols. (295), seleccionan más de un grupo de dientes incisivos superiores, caninos superiores y caninos inferiores al igual que nuestro estudio que seleccionamos más de un grupo de dientes para nuestra muestra.

Se observa una alta variabilidad en referencia al tipo de diente seleccionado para realizar estudios con esta metodología, con una característica común en todos ellos que es la presencia de un único conducto.

8.1.3. Material utilizado

8.1.3.1. Cementos

En la mayor parte de los estudios publicados cada sellador era comparado junto con AH Plus, será conveniente comparar cada sellador utilizando el AH Plus como el *gold standard* (186). El AH Plus generalmente se elige como el control en los estudios sobre las propiedades de los nuevos selladores debido a su buena fluidez, espesor de película adecuado y viscosidad (167).

Este sellador tiene compuestos orgánicos sintéticos, como Bisfenol A y F, en su composición (315), y son capaces de penetrar las porosidades e irregularidades de la dentina debido a su excelente fluidez (301). Leal y cols. (320) informaron que AH Plus tuvo los mejores resultados en cuanto a fuerza de unión a la dentina radicular después de la irrigación final con EDTA asociado con NaOCl. Se sabe que NaOCl puede afectar la polimerización de los materiales adhesivos debido a la formación de una capa rica en oxígeno en la superficie de la dentina después de la irrigación con esta solución (321); sin embargo, Stelzer y cols. (322) demostraron que NaOCl no afectó la fuerza de unión de AH Plus y gutapercha a las paredes de la dentina radicular. Además, Collares y cols., mostraron que la literatura científica no es regular en indicar un efecto positivo o negativo de diferentes protocolos de irrigación sobre la fuerza de unión de los selladores a la dentina, independientemente del sellador utilizado (323).

Tanto el EndoSequence BC Sealer como el EndoSequence BC Sealer HiFlow son cementos selladores basados en silicatos cálcicos. Hay mucha controversia en el uso de cementos selladores biocerámicos y la aplicación de técnicas de obturación con calor.

Los 2 selladores mostraron un tiempo de fraguado, microdureza, solubilidad, composición química y citotoxicidad similares (286). Someter ambos selladores a 100°C durante 1 minuto no causó un cambio significativo en el tiempo de fraguado inicial y final. En cuanto al flujo, ambos selladores exhibieron un flujo mayor de 20 mm a temperatura ambiente (21°C), que está de acuerdo con las normas ISO 6876/2001. Cuando se sometió a 100°C durante 1 minuto, el flujo de ambos selladores

disminuyó pero aún estaba dentro de las recomendaciones ISO 6876 (>17 mm). HiFlow tuvo un flujo mayor que BC Sealer a ambas temperaturas. Hubo un aumento significativo en el espesor de la película de BC Sealer a altas temperaturas de 100°C lo que puede afectar su capacidad de sellado, mientras que el espesor de la película HiFlow no se vio afectado y fue mucho más bajo que BC Sealer a alta temperatura (286).

Para una mejor comprensión del efecto de la alta temperatura durante la técnica de obturación vertical caliente, se ha estudiado el perfil térmico durante la compactación vertical caliente. Blum y cols. (324) informaron que la temperatura máxima en el conducto era de 118°C a 8 mm del ápice. A 0–2 mm del extremo apical, la temperatura máxima era de solo 44°C . Otro estudio utilizó el dispositivo System B (Analytic Technologies, Redmond, WA) con ondas continuas de calor, y la temperatura en el portador de calor fue aproximadamente de 100°C , aunque la unidad de portador de calor estaba preajustada a 200°C (134). En el estudio de Chen B y cols. (286), los selladores se sometieron a 100°C durante 1 minuto y luego se mantuvieron a 37°C para imitar la condición clínica durante la compactación vertical caliente, como lo sugiere Camilleri J (287). El tiempo de fraguado inicial y final de los selladores fue el mismo para los 2 selladores y ambos fueron ligeramente más cortos después de someterlos a 100°C durante 1 minuto.

Chen y cols. (286) observaron que BC Sealer y HiFlow poseían un tiempo de fraguado, microdureza, solubilidad, composición química y citotoxicidad similares. HiFlow era más radiopaco y mostró un mejor rendimiento en el flujo/viscosidad y el grosor del material especialmente a altas temperaturas, que se generan mediante la técnica de compactación vertical caliente comúnmente utilizada. Por tanto concluyen que el HiFlow es un cemento adecuado para el uso de técnicas de obturación radicular calientes, no así BC Sealer ya que la presencia de altas temperaturas modifica sus propiedades y características físicas.

Un aumento de la temperatura acelera el fraguado de los materiales a base de silicato tricálcico (286, 287), también aumenta el espesor de la película lo que puede afectar a su capacidad de sellado (286).

Calentar BioRoot RCS hasta 250°C para simular el efecto de las técnicas de compactación vertical caliente resultó en una pérdida de peso del 15% de BioRoot RCS (325).

Un estudio anterior informó que el tiempo de fraguado de BC Sealer se redujo aproximadamente de 4 horas a 14 minutos a 140°C (326). El cambio insignificante del tiempo de fraguado en el estudio de Chen y cols. (286), probablemente se debió a que los selladores se sometieron a 100°C durante solo 1 minuto, en lugar de mantenerlos a una temperatura alta durante todo el proceso de fraguado (286). Aunque el calentamiento no aceleró mucho la reacción de fraguado, el espesor de la película de BC Sealer se incrementó significativamente, lo que puede afectar su capacidad de sellado a altas temperaturas. La viscosidad del sellador determina su capacidad para fluir en espacios reducidos y alrededor del material del núcleo. La fluidez de BC Sealer y HiFlow se redujo calentándolos a 100°C durante 1 minuto, mientras que HiFlow aún mantuvo una fluidez más alta que BC Sealer, la viscosidad de ambos selladores mostró dependencia de la temperatura (286). A 150°C, BC Sealer comenzó con una viscosidad más alta que a otras temperaturas y se volvió cada vez más viscoso durante el resto del período experimental (286). Los resultados aquí indicaron que las características de flujo y viscosidad de HiFlow eran mejores que las de BC Sealer a alta temperatura; el espesor de material de HiFlow no se vio afectado a una temperatura alta (286). Tanto BC Sealer como HiFlow mostraron una composición química similar, se confirmó la formación de hidroxiapatita en la etapa inicial del proceso de fraguado (286). Se ha demostrado que la biocompatibilidad de BC Sealer es excelente con los fibroblastos (194), y también se ha informado de una baja expresión de mediadores inflamatorios y la mejora de la diferenciación osteoblástica de las células del ligamento periodontal con BC Sealer (193).

La biocompatibilidad de BC Sealer y HiFlow para los tejidos periapicales puede ser buena en condiciones clínicas (286). Por todas las características nombradas, por ser un producto novedoso y por ser el único cemento sellador biocerámico que puede ser utilizado con técnicas de obturación en frío y en caliente con evidencia científica, decidimos estudiar este producto en nuestra tesis doctoral.

8.1.3.2. Gutapercha

Se demostró que los puntas de gutapercha del sistema ProTaper Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) se pueden usar de manera efectiva y sencilla para la técnica de obturación de cono único y también para técnicas de obturación caliente, siempre que los conductos radiculares se preparen con limas del sistema Protaper Gold (327). En el estudio de El Sayed y cols. (16) utilizan gutaperchas Protaper con la técnica de cono único para ver la microfiltración apical.

El uso de gutapercha convencional como material de núcleo en cuanto a obturación radicular se refiere está muy descrito en la literatura.

Diversos autores como Eltair y cols. (248), Osiri y cols. (165) utilizaron también gutapercha modificada con partículas biocerámicas, la cual es un material de reciente introducción. La casa comercial recomienda su uso junto con un cemento sellador biocerámico para conseguir una adaptación del cono de gutapercha y sellador más fuerte entre sí, al tener una composición similar.

8.1.3.3. Sistema de instrumentación

Se descubrió que la instrumentación rotatoria consume menos tiempo, es más cómoda y más eficiente que la instrumentación manual y proporciona una preparación estandarizada del conducto radicular (328).

En nuestra investigación se usó el sistema de limas rotario de Protaper Gold, al igual que en el estudio que compara la temperatura de obturación en las técnicas de obturación radicular caliente (329), un sistema que ha sido muy estudiado y que proporciona unas preparaciones radiculares adecuadas. Kharouf y cols. (330), en su estudio también utiliza Protaper Gold.

El mantenimiento de la permeabilidad apical de los conductos radiculares después de terminar la instrumentación es importante para evitar el bloqueo del foramen apical con un tapón dentinal que podría influir en los resultados del estudio (16). Ya que el tercio apical es el tercio que mas dificultad tiene el cemento sellador para penetrar en los túbulos dentinarios, por ello es de vital importancia que el conducto esté permeable desde el principio del tratamiento hasta el momento de obturar el conducto.

8.1.3.4. Sistema de irrigación y activación

El Sayed y cols. (16) irrigaron los conductos radiculares con NaOCl al 3% seguido de una solución de EDTA al 17% para eliminar los tejidos orgánicos restantes y la capa de barrillo dentinario, lo que puede mejorar la penetración del sellador dentro de los túbulos dentinarios y mejorar su capacidad de sellado. Se ha demostrado que el EDTA al 17% y el NaOCl al 5,25% eliminaban efectivamente

la capa de barrillo dentinario (93, 221, 295). Se observó la utilización del EDTA 17% en muchos estudios para eliminar la capa de barrillo dentinario (258, 295, 303). En nuestro estudio se utilizaron los mismos irrigantes el NaOCl al 5.25% y EDTA 17% para la eliminación de la capa de barrillo dentinario.

En nuestro estudio se utilizó el sistema EDDY de VDW junto con el Air Scaler; es un sistema de activación sónica. Se comprobó su eficacia a la hora de eliminar microfilms bacterianos, barrillo dentinario y tejidos orgánicos de las paredes del conducto (72, 73).

Hashmi y cols. (62) en su estudio pusieron de manifiesto el potencial de modificación del sustrato dentinario mediante el acondicionamiento con nanocomplejos quitosan-hidroxiapatita de la dentina del conducto radicular previamente irrigada, restaurando la humectabilidad de la superficie con un refuerzo sincrónico de colágeno. Estos descubrimientos pueden tener una aplicación potencial en el establecimiento de una mejor interacción entre el sellador biocerámico y la dentina, lo que resulta en un aumento de la penetración del sellador biocerámico en los túbulos dentinarios.

Por tanto para nuestro estudio utilizamos NaOCl al 5.25%, EDTA 17% y precursor Quitosan-hidroxiapatita, activados todos ellos con las puntas EDDY.

8.1.3.5. Técnicas de obturación

Es importante tener en cuenta que la técnica de obturación influye bajo nuestro punto de vista en el porcentaje de penetración intratubular de cemento sellador (147).

En nuestro estudio utilizamos las técnicas de obturación más frecuentemente revisadas en la literatura científica, condensación lateral, onda continua (331), condensación vertical (128) y Guttacore (121). Podríamos denominar la técnica de condensación lateral como *gold standard* (281), es la más utilizada por los dentistas generales y se utiliza en muchos países (140).

Jeong y cols. (295), evaluaron la penetración tubular de cemento sellador biocerámico (Smart Paste Bio) con diferentes técnicas; sin especificar las temperaturas que utiliza para emplear este tipo de técnica caliente de obturación con cementos selladores biocerámicos.

Es discutido el uso de técnicas de obturación calientes junto con cementos biocerámicos como muestra el artículo de Chen y cols. (286). Un estudio reveló que BC Sealer mostró un tiempo de fraguado significativamente más corto y una disminución de la fluidez a una temperatura alta de 140° C que a temperatura ambiente (326). Por lo tanto, se ha cuestionado la idoneidad de BC Sealer para la compactación vertical caliente (286).

Buchanan y cols. (332) propusieron una duración de calentamiento de no más de 4 segundos, por lo tanto, la influencia de los efectos de la temperatura en las propiedades del sellador debe ser cuestionada. Al comparar los diferentes métodos de obturación, el aumento de temperatura causado por Thermafil+AH Plus no difirió significativamente del causado por el grupo de control (técnica de obturación de cono único+AH Plus) en ningún punto de medición (329). Esto puede atribuirse a la menor cantidad de gutapercha que cubre el núcleo de los portadores de plástico en comparación con la técnica de onda continua (329). La técnica de onda continua+AH Plus creó los cambios de temperatura significativamente más altos en comparación con el resto de técnicas de obturación en la porción apical y media de los conductos. La mayor cantidad de gutapercha en la porción coronal puede amortiguar los picos de calor, y en la porción apical el material se enfría más rápidamente (329).

McMichael y cols. (163) evaluaron las técnicas de onda continua y cono único con diferentes cementos selladores para evaluar la capacidad de penetración tubular.

Según Mancino y cols. (121) la técnica GuttaCore es menos sensible a la técnica y menos difícil de dominar en comparación con la técnica Thermafil, no compartimos esta afirmación ya que la técnica que más extrusión produjo en nuestro estudio fue la obturación termoplástica con técnica de vástago, GuttaCore. Haciéndola más sensible a la técnica y más difícil de dominar que el resto de técnicas evaluadas en nuestra opinión.

Las observaciones SEM revelaron la presencia de “tags” para ambos grupos (GuttaCore y Thermafil) (121). Los microanálisis químicos nos permitieron concluir que los tags de ambos grupos estaban compuestos de material de gutapercha (121). La gutapercha Thermafil y GuttaCore es rompible en estado sólido, pero cambia en propiedades cuando se calienta (121). La fluidez de la gutapercha GuttaCore es mayor que la de la gutapercha estándar de los conos de gutapercha. Además, a 2 y 5 mm de distancia del ápice, para cada muestra tratada usando las dos técnicas de

obturación diferentes, se visualizó la presencia de tags de gutapercha (121). La obturación GuttaCore puede llenar conductos de forma ovalada de una manera excelente (121), bajo nuestro punto de vista es indispensable el buen manejo de la técnica ya que estamos llevando gutapercha fluida a longitud de trabajo y la probabilidad de extrusión de la misma es muy alta.

8.2. Discusión de los resultados

8.2.1. Área de penetración

Es razonable pensar que una técnica de obturación vertical caliente con una mayor presión apical daría lugar a una mayor penetración de cemento sellador dentro del túbulo, pero la literatura muestra resultados contradictorios sobre si esta suposición es o no exacta (333).

La penetración del sellador en conductos accesorios, istmos, deltas apicales y túbulos dentinarios es particularmente importante porque la actividad antibacteriana del sellador y su efecto de bloqueo pueden considerarse beneficiosos para prevenir la reinfección (334).

Reynolds y cols. (333) mostraron que no hay diferencias significativas entre el porcentaje de penetración del sellador al comparar el sellador a base de resina (2Seal) con BC Sealer y BC Sealer HiFlow. No se encontraron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de penetración del sellador entre las técnicas de obturación vertical caliente y cono único (333). Estas diferencias con respecto a nuestros resultados, mayor penetración tubular en técnicas de obturación radicular caliente, pueden ser debidas a la diferente metodología utilizada por este autor, diferente irrigación, diferente temperatura de los pluggers, y los diferentes cortes estandarizados a 3 y 6 mm a diferencia de los nuestros que fueron divididos por tercios y no por cortes con medidas preestablecidas.

Jeong y cols. (295) compararon tres técnicas de obturación diferentes utilizando un sellador a base de silicato de calcio y encontraron que la condensación vertical caliente no tenía un efecto significativo en la profundidad de penetración del sellador.

McMichael y cols. (163) en su estudio comparaban múltiples materiales biocerámicos con técnicas de cono único y vertical caliente, mostraron que las dos técnicas de obturación producían niveles similares de penetración en los túbulos. Encontraron una penetración tubular similar de Endosequence BC Sealer tanto con cono único como con técnica de condensación vertical en tercio medio y apical. Estos resultados podían estar influenciados por el uso de técnicas de obturación caliente con este tipo de materiales biocerámicos, no adecuado para ello.

En la comparación de diferentes técnicas de obturación, Weis y cols. (148) no encontraron ninguna relación entre la técnica de obturación y la penetración del sellador utilizando el cemento de resina AH26.

Eid y cols. (335) observaron que la aplicación de calor mediante técnica de condensación vertical con HiFlow mejoró la penetración del sellador a base de silicato de calcio en los túbulos dentinarios. Estos resultados son acorde a los nuestros, debido probablemente a las similitudes metodológicas de ambos estudios, en cuanto a temperatura de pluggers, cementos selladores e irrigación junto con activación.

Akçay y cols. (232) estudiaron la penetración intratubular de cementos selladores, AH Plus, iRoot SP, MTA Fillapex y GuttaFlow Bioseal con técnica de cono único después de diferentes protocolos de irrigación final. El grupo iRoot SP exhibió un área de penetración significativamente mayor que los otros grupos. Estos resultados están de acuerdo con los artículos de Wang y cols. (133), Qu y cols. (326), Turkel y cols. (336). Esta mayor penetración podría ser explicada por el tamaño medio de la partícula de cemento sellador biocerámico $<2 \mu\text{m}$ y su alta fluidez (167, 180, 232).

Qu y cols. (326) observaron que las técnicas de obturación del conducto radicular no tuvieron efecto sobre la zona penetrada, aunque se encontró una reducción significativa de la fluidez de iRoot SP a alta temperatura. Sugirieron que podía haber una razón para este fenómeno: el calor se transmitió a una distancia limitada dentro del conducto radicular, de modo que la parte apical del conducto radicular llena por la técnica vertical caliente se obturó realmente utilizando la técnica de cono único. De acuerdo con estudios previos (163, 337), observamos que, independientemente del tipo de selladores o técnicas de obturación utilizados, los porcentajes de zonas obturadas del conducto radicular aumentaron de la parte apical a la coronal, al igual que en nuestro estudio. Esto se debió al aumento en el número y el diámetro de los túbulos dentinarios y al aumento de la eliminación de la capa de barrillo dentinario del conducto radicular (133), gracias al protocolo de irrigación final.

Ordinola-Zapata y cols. (152) estudiaron el porcentaje de penetración de material sellador en las raíces obturadas con la técnica de obturación Thermafil y con un cemento sellador a base de resina RealSeal (SybronEndo, Orange, CA). Concluyeron que dicho sistema de obturación permite una penetración adecuada en los túbulos dentinarios.

La presencia de huecos en la obturación del conducto radicular influye en gran medida en la capacidad de penetración intratubular del cemento sellador, por eso consideramos importante hablar de la presencia de huecos en el citado apartado. En nuestro estudio observamos menor o incluso nula penetración cuando teníamos la presencia de huecos entre los materiales de obturación y la pared dentinaria.

Yadav y cols. (144) no observaron diferencias significativas en términos de porcentajes de área rellena de gutapercha, área rellena de sellador y vacíos a nivel de 2 mm . Los resultados están de acuerdo con varios estudios que han concluido que la técnica de obturación de cono único puede rellenar eficazmente el tercio apical (338, 339). En los niveles de 5 y 8 mm, los conductos obturados con Guttacore produjeron una área de gutapercha significativamente mayor y menor porcentaje de sellador que la condensación lateral (144). Incluso después de la expansión higroscópica, la técnica de cono único no fue capaz de proporcionar un sellado eficaz a los niveles de 5 mm y 8 mm y resultó ser muy dependiente del sellador (144). Estos resultados están de acuerdo con estudios anteriores (338, 340) que concluyeron que las técnicas de obturación cono único se asocian a menudo con una menor área de gutapercha y una mayor área de cemento sellador. El porcentaje de vacíos fue menor en los conductos obturados con Guttacore en todos los niveles evaluados. Esta observación corrobora los resultados de un análisis de tomografía microcomputarizada y SEM realizado por Li y cols. (341), que concluyó que la obturación con Guttacore se asociaba a un menor número de huecos en comparación con la condensación lateral. El porcentaje máximo de huecos se encontró en el grupo de condensación lateral seguido por cono único. Esto podría atribuirse a la limitación de la técnica de condensación lateral para permitir una capa homogénea de sellador en todas las paredes del conducto radicular, como se ha demostrado anteriormente (135). Se puede concluir que el conducto radicular obturado con Guttacore mostró un relleno homogéneo con una alta área de gutapercha y menores vacíos en todos los niveles evaluados (144).

Al-Haddad y cols. (246) observaron que iRoot SP mostró más espacios en comparación con AH Plus cuando los conductos se llenaron mediante la técnica de condensación lateral.

Celikten y cols. (242) evaluaron la presencia de huecos en los conductos radiculares ovalados rellenos con diferentes selladores endodóncicos (EndoSequence BCSealer, Smartpaste bio, ActiV GP) y compararlos con los conductos radiculares obturados con el sellador AH Plus utilizando

micro-TC, todos ellos con la técnica de cono único. El análisis mostró una disminución de la formación de huecos en el tercio apical, con una diferencia significativa entre los tercios apical y coronal entre los selladores biocerámicos, ActiV GP y AH Plus, pero no se encontró ninguna diferencia significativa entre los tercios apical y medio o entre los tercios medio y coronal para estos selladores probados. Todos los selladores de conductos radiculares probados produjeron vacíos. Los selladores biocerámicos (EndoSequenceBC Sealer, Smartpaste bio) produjeron vacíos similares, siendo los más escasos en el tercio apical de los conductos radiculares entre los selladores probados, lo que puede estar relacionado con las variaciones de la anatomía del conducto radicular.

Schäfer y cols. (340) observaron que las técnicas de obturación de cono único dependen en gran medida del sellador, especialmente en el tercio medio y coronal, lo que conduce a un mayor número de vacíos dentro de la masa de sellador.

Independientemente de si se utilizó la técnica de cono único o técnica vertical caliente, no se encontraron diferencias significativas en la aparición de huecos dentro del conducto radicular (133). iRoot SP podría tener una capacidad de obturación similar al AH Plus cuando se utilizaron estas dos técnicas (133). Iglecias y cols. (342) evaluaron la presencia de huecos después de la técnica onda continua y cono único con sellador AH Plus en molares mandibulares utilizando micro TC. No se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de volumen total de huecos entre las dos técnicas de obturación; solo en el tercio coronal, el volumen de huecos en la técnica de onda continua fue menor que en la obturación de cono único. Se encontraron más áreas vacías a nivel de 6 mm que a nivel de 2 mm en el grupo iRoot con la técnica de cono único (133, 242). Al aplicar calor al iRoot de una manera no homogénea, podría haber sido la razón de la aparición de más vacíos a un nivel de 6 mm que a un nivel de 2 mm en el grupo de cono único ya que a 2mm la técnica sería similar al cono único, ya que el calor no se hubiera distribuido de manera uniforme por todo el conducto (133, 242).

AlShehri y cols. (343) concluyeron que un cono maestro adecuado para la técnica de cono único se ajustaba mejor a la anatomía del conducto, lo que permitía una calidad de obturación similar a la técnica de condensación vertical. Algunos estudios informaron de un predominio de una técnica sobre la técnica de condensación vertical, mientras que otros defendieron que no había diferencias significativas entre las técnicas (335). No se ha alcanzado un consenso claro que indique una mejor obturación con una técnica sobre la otra (163). De hecho, la principal diferencia entre las técnicas es

que las irregularidades se rellenan principalmente del sellador endodónico con la técnica cono único, mientras que la gutapercha termoplastificada penetra más en esas zonas irregulares con la técnica de condensación vertical (344).

Con respecto a la relación entre la penetración intratubular del sellador y la microfiltración, solo podemos implicar que si el contacto de la interfaz del sellador con la dentina radicular se vuelve más íntimo se obtendrá una mayor penetración, esto podría prevenir o minimizar microfiltración apical y mejorar el sellado tubular de la obturación radicular (295).

Los resultados de este estudio mostraron que el área de penetración del sellador para cada tipo de sellador y técnica fueron mayores en la sección coronal en comparación con la apical. Estos resultados son coherentes con los hallazgos de los estudios anteriores (163, 165, 298, 333, 345, 346). Una explicación de este hallazgo podría deberse a una mayor eficacia en la administración de los irrigantes y en la eliminación de la capa de barrillo dentinario en los niveles coronales. El barrillo dentinario presenta adherencia en las paredes del conducto, forma barreras físicas y contaminación en los túbulos dentinarios, bloqueando la penetración del sellador (298). Además, el diámetro y la densidad tubular disminuyen en los niveles apicales, lo que explica la tendencia a la disminución de la penetración del sellador desde la región coronal hacia la apical (345). Además, la viscosidad y el flujo de los selladores endodónicos pueden determinar la eficacia con la que penetran en los túbulos dentinarios. En un estudio realizado por Zhou y cols. (167), el sellador BC Sealer mostró un mayor flujo que los selladores a base de resina epoxi (AH plus y Thermaseal). Chen y cols. (286) mostraron que el sellador EndoSequence BC Sealer HiFlow tenía una mayor fluidez que el sellador EndoSequence BC Sealer a altas temperaturas.

Las propiedades químicas y físicas del sellador también influyen en la profundidad de penetración (347). Mamootil y cols. (146) señalaron que el sellador a base de resina epoxi AH26 y el sellador a base de resina de metacrilato EndoREZ, mostraron una penetración más profunda que el sellador a base de óxido de zinc eugenol Pulp Canal Sealer EWT (Kerr, Sybron Dental Specialties, Romulus, MI). Esto podría explicarse por la capilaridad en los túbulos dentinarios y el hecho de que AH26 requiere un tiempo de fraguado más prolongado que EndoREZ. El sellador puede introducirse en los túbulos por el fenómeno de capilaridad y no por fuerzas hidráulicas creadas durante el llenado del conducto radicular.

Las finas partículas de los selladores a base de silicato de calcio ($<2 \mu\text{m}$) representan una de las principales razones por las que es más probable que se produzca su difusión profunda incluso con la técnica cono único, además de su pH básico que desnaturaliza las fibras de colágeno, su alta velocidad de flujo y su expansión de volumen del 0,2% con el fraguado da lugar a la penetración tubular (232, 348). La penetración del sellador en los túbulos dentinarios podría verse afectada también por sus propiedades fisicoquímicas además de por activación de los irrigantes (347).

Aunque la mayoría de los estudios muestran que el tipo de sellador, y no la técnica de obturación, es el factor determinante en la penetración del sellador (133, 148, 295, 336), la discordancia de los resultados entre todos estos estudios deja lugar a dudas.

Los resultados de este estudio proporcionan que los factores dependientes del diente, el tipo de sellador, la técnica de obturación, variaciones en la instrumentación, técnicas de irrigación desempeñan un papel importante en la profundidad y el área de penetración del sellador. Es posible que factores como la irrigación desempeñen un papel significativo en la penetración de sellador debido a la desobstrucción de los túbulos y la eliminación de la capa de barrillo dentinario residual.

En los conductos circulares, la instrumentación mecánica circunferencial de las paredes del conducto puede exponer mejor los túbulos (333). Los conductos ovoides u ovalados tienen más probabilidades de tener paredes no instrumentadas (349). Además, es posible que los conductos ovoides no permitan una estrecha adaptación del cono de gutapercha al espacio preparado, lo que hace que no se produzca una presión hidráulica adecuada para empujar el sellador hacia los túbulos (333).

Cuando los nuevos selladores de silicato tricálcico modificados se emplean con técnicas termoplásticas obtenemos una mejora en la calidad de la obturación (335). Por lo tanto, la mejor técnica de obturación para este material sigue siendo objeto de debate (335). Sin embargo, a pesar de que la temperatura de los dispositivos se establece en $200 \text{ }^\circ\text{C}$, la verdadera temperatura generada por la mayoría de los portadores de calor parece ser mucho menor (350).

El sellador EndoSequence BC Sealer se recomienda normalmente con la técnica de cono único porque el calor podría deteriorar sus propiedades físicas disminuyendo la fuerza de adhesión (335). El tiempo de fraguado y la fluidez se redujeron en presencia de altas temperaturas (326).

Aunque se han publicado muchos estudios de cementos selladores endodóncicos, la comparación entre cementos selladores es difícil porque la condición experimental era diferente en cada artículo/investigación (186). Podemos observar la disparidad en los resultados obtenidos en los diferentes artículos, esto puede ser debido a las múltiples metodologías en este tipo de estudios, factores dependientes del propio diente, protocolo de irrigación, instrumentación, cementos evaluados u otros factores.

8.2.2. Penetración de cemento en el perímetro del conducto

Creímos conveniente estudiar esta medida por la característica del “efecto mariposa” que pasaremos a explicar a continuación.

En algunas de las muestras escaneadas mediante microscopio de láser confocal, la penetración del sellador en los túbulos dentinarios no era homogénea. Además, las direcciones de los túbulos dentinarios pueden afectar a los resultados (236). Se observó que la penetración del sellador era mayor en la dirección bucolingual que en la mesiodistal, aunque no en la totalidad de las muestras analizadas, este resultado coincide con el estudio de Weis y cols (148). La razón puede estar relacionada con un fenómeno denominado "efecto mariposa" (Figura 16), una apariencia similar a la de una mariposa que se observa en los cortes transversales de la raíz y que se produce como resultado del aumento de la esclerosis a lo largo de los túbulos dentinarios situados en los lados mesial y distal del lumen del conducto, observándose una mayor penetración bucolingual que mesiodistal, este efecto fue descrito por Russell y cols. (277). Es común en los dientes unirradiculares en un amplio rango de edades (277). Las áreas de dentina esclerótica son más comunes en el tercio apical (351). Además, los diámetros y el número de los túbulos del tercio apical son menores que los del tercio medio y coronal (95), es más difícil eliminar la capa de barrillo dentinario del tercio apical que del tercio coronal y medio, debido a la reducción del suministro de irrigante (352). Esto podría explicar la amplia gama de difusión encontrada con ambos selladores en nuestra investigación, así como en varios estudios anteriores (163, 295, 353).

Las imágenes se capturaron mínimo tras 14 días después de la obturación para permitir las interacciones dinámicas entre el tejido dentinario y el sellador a base de silicato de calcio (236), al igual que en nuestro estudio. Lee y cols. (212) en su estudio con BC Sealer no establecieron condiciones húmedas en el interior de la incubadora, y se observó que el fraguado final del material se produjo pasado un mes, por tanto es de vital importancia la presencia de humedad para el fraguado correcto de este tipo de materiales biocerámicos.

Según Loushine y cols. (162), la presencia de humedad es esencial para que los selladores biocerámicos alcancen su fraguado final porque los componentes inorgánicos y radiopacificadores del sellador se mezclan previamente con vehículos espesantes líquidos sin agua, el fabricante sugiere que hay un tiempo de fraguado prolongado en los conductos demasiado secos. Sin embargo,

los autores concluyeron que los conductos demasiado húmedos pueden afectar el tiempo de fraguado y, en particular, afectar negativamente la microdureza del sellador después del fraguado (162). También señalaron que una matriz más porosa estaría presente cuando el sellador se deposita en los conductos muy húmedos, lo que, a su vez, puede provocar una mayor lixiviación de sustancias irritantes del sellador (162).

Según Wang y cols. (133) observaron mayor penetración del conducto radicular en los cortes a nivel de 2 mm en los grupos iRoot-cono único y iRoot-condensación vertical que en los grupos AH Plus-cono único y AH Plus-condensación vertical. iRoot SP fue capaz de penetrar y sellar más túbulos dentinarios a nivel de 2 mm que AH Plus. No hubo diferencias estadísticas entre los grupos AH Plus-cono único y AH Plus-condensación vertical y entre los grupos iRoot-cono único y iRoot-condensación vertical. En los niveles de 4 y 6 mm, no hubo diferencias estadísticamente significativas en la penetración del conducto radicular entre estos cuatro grupos, respectivamente. Nuestros resultados difieren debido probablemente a la diferente metodología evaluada, ya que en nuestra opinión se evalúan cortes muy cercanos entre sí, 2-4-6 mm pudiendo no evaluar las tercios como lo hicimos nosotros dividiendo las muestras en tercios en función de la longitud radicular, probablemente entre los 4-6 mm no haya diferencias en cuanto a la anatomía de los túbulos dentinarios obteniendo resultados similares entre todas las técnicas evaluadas, ya que como hemos observado la anatomía de los túbulos varía en función del tercio radicular evaluado. Otra de las diferencias puede ser debido al uso de técnicas no adecuadas para ese tipo de materiales, ya que el iRoot SP no es recomendable su uso con técnicas de calor y AH Plus no lo es con la técnica de cono único.

Una de las interacciones que se observó fue la llamada zona de infiltración mineral (MIZ) (Figura 17) que es una zona híbrida en la que se produce la recristalización de hidroxiapatita en la dentina cuando se aplica un cemento a base de silicato de calcio (354). Se descubrió inesperadamente estas reacciones en las que los túbulos dentinarios se convirtieron en estructuras homogéneas por recristalización de hidroxiapatita. Sin embargo, no se observó dicha MIZ en la totalidad de las muestras. No se ha demostrado que la MIZ afecte positiva o negativamente al resultado del tratamiento endodóncico (295). Sin embargo, estaría indicado realizar más estudios para determinar la influencia de la MIZ en el tratamiento de conductos.

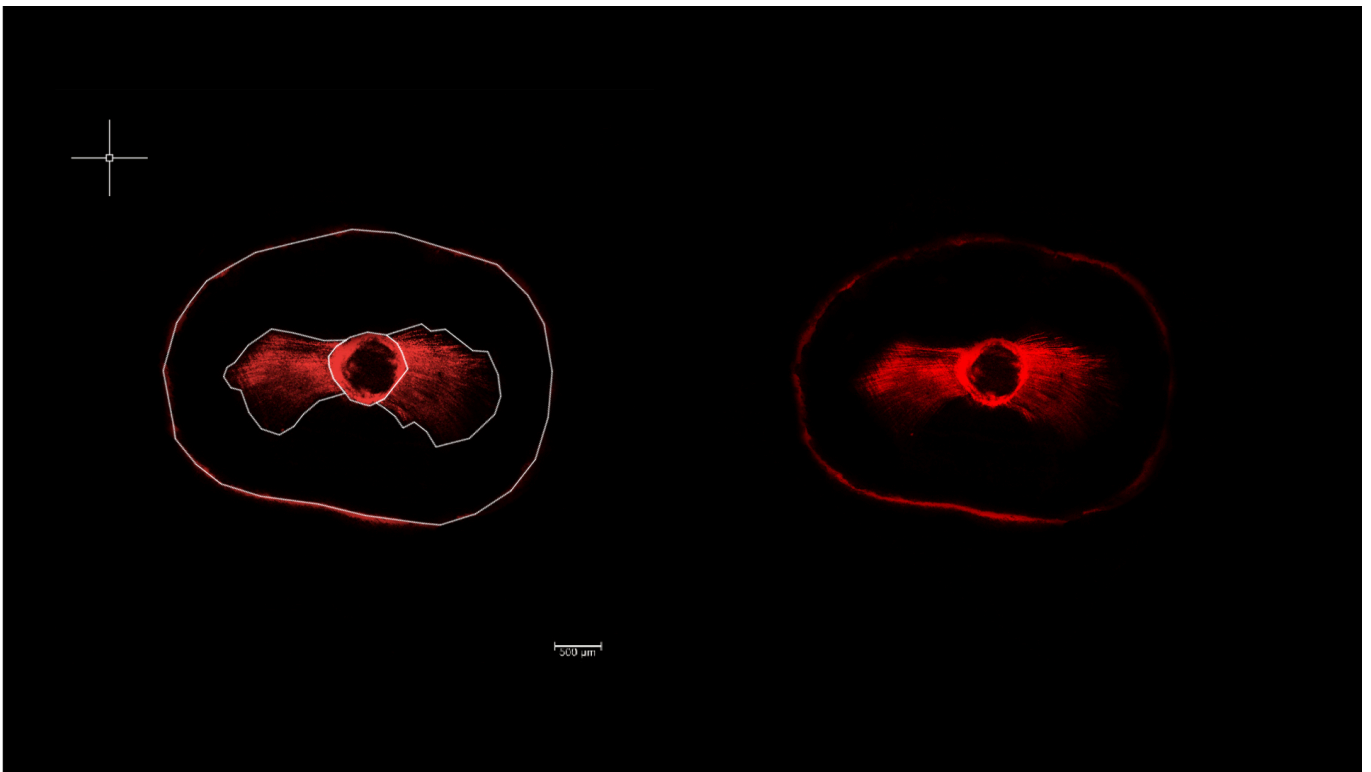


Figura 16. Imagen característica “Efecto mariposa”

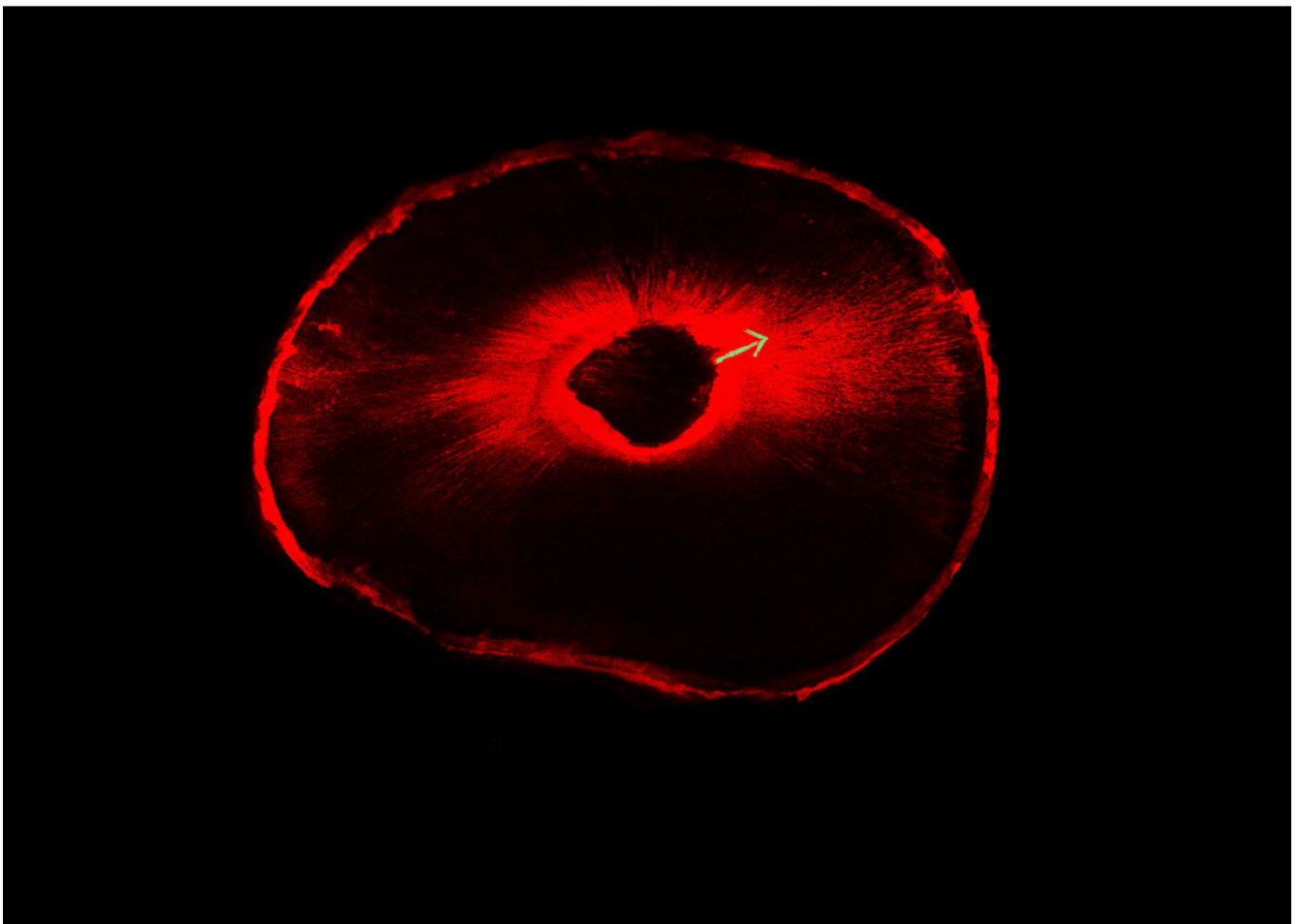


Figura 17. Imagen característica “MIZ”. La flecha verde indica la homogeneidad de los túbulos dentinarios y la incapacidad de poder distinguirlos.

8.2.3. Porcentaje de penetración en el perímetro del conducto

En comparación con la profundidad máxima de penetración, el porcentaje de penetración tubular en el perímetro del conducto probablemente tuvo más significado y relevancia clínica (345). Este proporciona una barrera física frente a la entrada o salida de microorganismos al sistema de conductos, independientemente de la profundidad de penetración o el área penetrada. La mayor superficie de contacto del cemento sellador con las paredes del conducto determina el sellado de la dentina radicular (295). Pocos estudios evalúan este parámetro.

Según Wang y cols. (133), las medias de porcentaje de penetración en el perímetro del conducto en los niveles de 2, 4 y 6 mm fueron 7,03%-43,20%, 48,34%-69,26% y 66,98%-82,81%, respectivamente. Estos resultados son ligeramente inferiores a los resultados obtenidos en nuestra investigación, quizás debido al menor número de la muestra con respecto a la nuestra, también observamos un rango de medias bastante amplio sobre todo en el tercio apical en todas las muestras (7%-43%).

Según McMichael y cols. (163) el MTA Fillapex con base de resina tuvo un porcentaje de penetración del sellador significativamente mayor con la técnica onda continua que con la técnica de cono único a 1 mm. La técnica onda continua produjo una mayor y más profunda penetración del sellador que la técnica de cono único en el nivel de 1 mm para todos los selladores excepto NeoMTA Plus, que tuvo un porcentaje de penetración más profundo y mayor con la técnica cono único. Las diferencias entre las técnicas onda continua y cono único no fueron estadísticamente significativas para NeoMTA Plus o QuickSet2. Con la técnica de cono único el sellador penetró más profundamente y de forma más uniforme alrededor del perímetro del conducto en el nivel de 5 mm en comparación con el nivel de 1 mm. En la técnica de onda continua los selladores de forma más uniforme alrededor de la circunferencia del conducto a nivel de 5 mm en comparación con el nivel de 1 mm. Al igual que en nuestro estudio, obtuvieron mayor porcentaje de penetración en el milímetro 5 que en el 1, independientemente de la técnica.

El rango de porcentaje de penetración del sellador para cada grupo fue del 0% al 30%, excepto para BC Sealer, que estuvo entre el 40% y el 50% tanto para la técnica onda continua como para la cono único. NeoMTA Plus se comportó de forma similar para ambas técnicas de obturación al igual que QuickSet2. Se midieron más valores atípicos para la técnica cono único que para la técnica onda

continua en ambos niveles y para todos los selladores. NeoMTA Plus tuvo el mayor porcentaje de penetración con la técnica de cono único en comparación con todos los demás selladores.

8.2.4. Profundidad máxima

Reynolds y cols. mostraron que no hay diferencias significativas entre la profundidad máxima de penetración del sellador al comparar un sellador a base de resina con BC Sealer y BC Sealer HiFlow. No se encontraron diferencias significativas en cuanto a la profundidad de penetración del sellador entre las técnicas de obturación vertical caliente y cono único (333).

Eid y cols. (335) no encontraron diferencias en la difusión máxima a 1 y 5 mm entre los dos cementos evaluados Bio-C-Sealer y HiFlow. Encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la técnica de cono único y la de condensación vertical a 1 y 5 mm. Mostraron una penetración más profunda con la técnica de condensación vertical. Esta diferencia podría estar relacionada con las mayores fuerzas de compresión aplicadas coronalmente durante la obturación, que mejorarían la penetración del sellador en el tercio coronal y medio. También se observaron medidas máximas en la porción media con respecto al tercio apical, ya que en este estudio no evalúan el tercio coronal de las raíces, para ambos selladores, independientemente de la técnica de obturación. La diferencia significativa puede atribuirse al aumento de la densidad y el diámetro de los túbulos en tercio medio. Además, la dentina esclerótica y la capa de barrido dentinario en el tercio apical podrían crear una barrera física dificultando la penetración del sellador (242). No encontraron diferencias en la difusión máxima entre los dos cementos evaluados.

De Deus y cols. (147) encontraron una asociación significativa entre las técnicas de obturación, mostrando que la técnica de condensación vertical caliente y Thermafil aumentaba la profundidad máxima de penetración del túbulo en comparación con la condensación lateral. Estos resultados son acorde a los nuestros observando una profundidad máxima de penetración mayor en las técnicas de obturación calientes.

Según McMichael y cols. (163) la técnica onda continua produjo una mayor y más profunda penetración del sellador que la técnica cono único en el nivel de 1 mm para todos los selladores excepto NeoMTA Plus. A 1 mm del ápice, la profundidad máxima media de penetración para cada grupo (BC Sealer, MTA Fillapex, NeoMTA Plus, QuickSet2) fue inferior a 0,2 mm. No hubo

diferencias significativas en cuanto a la penetración máxima del sellador entre los selladores cuando se utilizaron con la técnica cono único. La penetración del sellador fue significativamente mayor en profundidad a la distancia de 5 mm del ápice en comparación con el nivel de 1 mm. En el nivel de 1 mm, los resultados fueron más variables y menores en profundidad de penetración. NeoMTA Plus tuvo la mayor profundidad con la técnica cono único en comparación con todos los demás selladores.

En la técnica de onda continua los selladores penetraron más profundamente a nivel de 5 mm en comparación con el nivel de 1 mm. A 1 mm del ápice, la profundidad máxima media de penetración de cada grupo fue inferior a 0,2 mm, excepto en el caso del BC Sealer, que fue mayor con la técnica onda continua. A 5 mm del ápice, la media de penetración máxima del sellador para todos los grupos estaba entre 0,3 y 1,5 mm. El MTA Fillapex obtuvo los resultados más variables de todos los grupos en el nivel de 5 mm con la técnica onda continua. La penetración del sellador fue significativamente mayor en profundidad a la distancia de 5 mm del ápice en comparación con el nivel de 1 mm con la técnica onda continua. En el nivel de 1 mm los resultados fueron más variables y menores profundidad. NeoMTA Plus presentó el mayor rango de penetración del sellador, con una media situada entre BC Sealer y MTA Fillapex/ QuickSet2. Dentro del grupo onda continua, BC Sealer tuvo una penetración de sellador significativamente más profunda y mayor circunferencialmente que QuickSet2. Se produjo una penetración del sellador significativamente más profunda a nivel de 5 mm tanto para BC Sealer como para MTA Fillapex sobre QuickSet2 cuando se utilizó con la técnica onda continua en comparación con la técnica cono único. BC Sealer tuvo una penetración significativamente más profunda con onda continua frente a cono único a 1 mm. La técnica onda continua produjo una mayor y más profunda penetración del sellador que la técnica cono único en el nivel de 1 mm para todos los selladores excepto NeoMTA Plus, que tuvo una penetración más profunda y mayor con la técnica cono único (163).

Los resultados de este estudio muestran que la profundidad de penetración del sellador para cada tipo de sellador y técnica fueron mayores en la sección coronal en comparación con la apical. Estos resultados son coherentes con los hallazgos de los estudios anteriores (163, 165, 298, 333, 345, 346) y los nuestros.

Las técnicas calientes presentan mayor profundidad máxima que las técnicas en frío en los tercios coronal y medio, encontrando en algunos casos diferencias estadísticamente significativas. No

encontramos diferencias estadísticamente significativas en el tercio apical entre las técnicas en frío y con calor en nuestro estudio.

8.3 Limitaciones/ sesgos

Desde nuestro punto de vista, las limitaciones más considerables que nos encontramos en la realización de la tesis doctoral fueron la preparación de las muestras para una correcta observación en el CLSM, ya que debían de tener unas características muy precisas (cortes de 1 mm de grosor, pulido, cortes rectos no oblicuos, adhesión a los portaobjetos...), adecuado para poder ser visualizadas.

Otra de las limitaciones que podríamos encontrar sería la distribución aleatoria de las muestras, ya que los diferentes grupos de dientes podrían eventualmente modificar los resultados.

Como bien es sabido en ciencia, los estudios in vitro no son exactamente reproducibles con las condiciones in vivo, por tanto esta creemos que sería la mayor limitación de nuestra investigación.

9. Conclusiones

Tras el análisis de los resultados obtenidos dentro de las limitaciones de este estudio, y respondiendo a los objetivos planteados, se presentan a continuación las siguientes conclusiones:

1. El área de penetración tubular fue desigual entre los tercios y las técnicas evaluadas. Se observó mayor penetración en el tercio coronal que en el medio y más en éste que en el apical. Hubo diferencias entre las técnicas con calor y en frío. Con la técnica de condensación lateral, la penetración de cemento sellador fue significativamente menor respecto a las técnicas con calor en los tercios coronal y medio. Con la técnica de cono único, se observaron diferencias significativas respecto a las técnicas con calor en el tercio medio, con una penetración de cemento sellador menor.
2. Las técnicas de obturación radicular con calor mostraron mayor longitud de penetración en el perímetro del conducto. La técnica de cono único mostró resultados significativos respecto a las técnicas de obturación con calor en el tercio medio con una menor longitud de penetración en el perímetro del conducto.
3. Las técnicas de obturación radicular con calor mostraron mayor porcentaje de penetración en el perímetro del conducto en todos los tercios evaluados. El cono único tuvo valores significativamente menores respecto las técnicas de obturación con calor en el tercio medio.
4. Las técnicas de obturación con calor presentaron las mayores distancias de penetración. La condensación lateral exhibió diferencias significativas respecto a las técnicas de obturación con calor en el tercio coronal, con una menor distancia de penetración. Las técnicas de obturación en frío obtuvieron una distancia de penetración significativamente menor con respecto a las técnicas de obturación con calor en el tercio medio.

10. Bibliografia

1. Bellizzi R, Cruse WP. A historic review of endodontics, 1689-1963, part 3. *J Endod.* 1980;6(5):576-80.
2. Cruse WP, Bellizzi R. A historic review of endodontics, 1689-1963, part 1. *J Endod.* 1980;6(3):495-9.
3. Cruse WP, Bellizzi R. A historic review of endodontics, 1689-1963, part 2. *J Endod.* 1980;6(4):532-5.
4. Nair PN. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J.* 2006;39(4):249-81.
5. Siqueira JF, Jr., Rocas IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* 2008;34(11):1291-301.e3.
6. Ashofteh Yazdi K, Shokouhinejad N, Moazeni E, Mirzayi Rad S. Evaluation of the Doxycycline Release from AH26 Sealer-Doxycycline Combination: An ex vivo Study. *Iran Endod J.* 2011;6(4):160-7.
7. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Dentin extends the antibacterial effect of endodontic sealers against *Enterococcus faecalis* biofilms. *J Endod.* 2014;40(4):505-8.
8. Binoy D, Sajjan GS, Peddireddi S, Kumar MS, Bhavana V, Raju SR. A Comparative Evaluation of Sealing Ability, pH and Rheological Properties of Zinc Oxide Eugenol Sealer Combined with Different Antibiotics: An In Vitro Study. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(11):ZC05-8.
9. Prestegaard H, Portenier I, Orstavik D, Kayaoglu G, Haapasalo M, Endal U. Antibacterial activity of various root canal sealers and root-end filling materials in dentin blocks infected ex vivo with *Enterococcus faecalis*. *Acta Odontol Scand.* 2014;72(8):970-6.
10. Dornelles NBJ, Collares FM, Genari B, de Souza Balbinot G, Samuel SMW, Arthur RA, et al. Influence of the addition of microsphere load amoxicillin in the physical, chemical and biological properties of an experimental endodontic sealer. *J Dent.* 2018;68:28-33.
11. Shuping GB, Orstavik D, Sigurdsson A, Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod.* 2000;26(12):751-5.
12. Card SJ, Sigurdsson A, Orstavik D, Trope M. The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *J Endod.* 2002;28(11):779-83.
13. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod.* 1990;16(10):498-504.
14. Fabricius L, Dahlen G, Sundqvist G, Happonen RP, Moller AJ. Influence of residual bacteria on periapical tissue healing after chemomechanical treatment and root filling of experimentally infected monkey teeth. *Eur J Oral Sci.* 2006;114(4):278-85.
15. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF, Jr. Exuberant Biofilm infection in a lateral canal as the cause of short-term endodontic treatment failure: report of a case. *J Endod.* 2013;39(5):712-8.
16. Mohamed El Sayed MAA, Al Hussein H. Apical dye leakage of two single-cone root canal core materials (hydrophilic core material and gutta-percha) sealed by different types of endodontic sealers: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2018;21(2):147-52.
17. Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I, Laurent P, About I. Bioactivity of a Calcium Silicate-based Endodontic Cement (BioRoot RCS): Interactions with Human Periodontal Ligament Cells In Vitro. *J Endod.* 2015;41(9):1469-73.
18. Poggio C, Riva P, Chiesa M, Colombo M, Pietrocola G. Comparative cytotoxicity evaluation of eight root canal sealers. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(4):e574-e8.
19. Siqueira JF, Jr., Rocas IN. Diversity of endodontic microbiota revisited. *J Dent Res.* 2009;88(11):969-81.
20. Grgurevic J, Ivanisevic Malcic A, Tambic Andrasevic A, Prpic Mehicic G, Kuzmac S, Jukic S. Frequency of bacterial content finding in persistent periapical lesions. *Acta Stomatol Croat.* 2017;51(3):217-26.

21. Sharma D, Grover R, Pinnameneni PS, Dey S, Raju PR. Evaluation of efficacy of combinations of five endodontic sealers with five antibiotics against *Enterococcus Faecalis* - An in-vitro study. *J Int Oral Health*. 2014;6(2):90-5.
22. Kandaswamy D, Venkateshbabu N, Arathi G, Roohi R, Anand S. Effects of various final irrigants on the shear bond strength of resin-based sealer to dentin. *J Conserv Dent*. 2011;14(1):40-2.
23. Figdor D, Davies JK, Sundqvist G. Starvation survival, growth and recovery of *Enterococcus faecalis* in human serum. *Oral Microbiol Immunol*. 2003;18(4):234-9.
24. Wainstein M, Morgental RD, Waltrick SB, Oliveira SD, Vier-Pelisser FV, Figueiredo JA, et al. In vitro antibacterial activity of a silicone-based endodontic sealer and two conventional sealers. *Braz Oral Res*. 2016;30.
25. Kangarlou A, Neshandar R, Matini N, Dianat O. Antibacterial efficacy of AH Plus and AH26 sealers mixed with amoxicillin, triple antibiotic paste and nanosilver. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2016;10(4):220-5.
26. Viapiana R, Moizadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru Filho M, Camilleri J. Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *Int Endod J*. 2016;49(8):774-82.
27. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjogren U. Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998;85(1):86-93.
28. Rezende GC, Massunari L, Queiroz IO, Gomes Filho JE, Jacinto RC, Lodi CS, et al. Antimicrobial action of calcium hydroxide-based endodontic sealers after setting, against *E. faecalis* biofilm. *Braz Oral Res*. 2016;30.
29. Silva AR, Pinto SC, Santos EB, Santos FA, Farago PV, Gomes JC, et al. New intracanal formulations containing doxycycline or chlorhexidine against *Enterococcus faecalis*. *J Contemp Dent Pract*. 2014;15(1):61-5.
30. Silva AR, Santos EB, Pinto SC, Gomes JC, Vaz IP, Carvalho MF. Antimicrobial effect and transdental diffusion of new intracanal formulations containing nitrofurantoin or doxycycline. *Braz Dent J*. 2014;25(5):425-9.
31. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*. 2005;10(1):30-76.
32. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1984;58(5):589-99.
33. Siqueira JF, Jr., Rocas IN, Santos SR, Lima KC, Magalhaes FA, de Uzeda M. Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *J Endod*. 2002;28(3):181-4.
34. McGurkin-Smith R, Trope M, Caplan D, Sigurdsson A. Reduction of intracanal bacteria using GT rotary instrumentation, 5.25% NaOCl, EDTA, and Ca(OH)₂. *J Endod*. 2005;31(5):359-63.
35. Siqueira JF, Jr., Guimaraes-Pinto T, Rocas IN. Effects of chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite and intracanal medication with calcium hydroxide on cultivable bacteria in infected root canals. *J Endod*. 2007;33(7):800-5.
36. Siqueira JF, Jr., Magalhaes KM, Rocas IN. Bacterial reduction in infected root canals treated with 2.5% NaOCl as an irrigant and calcium hydroxide/camphorated paramonochlorophenol paste as an intracanal dressing. *J Endod*. 2007;33(6):667-72.
37. Versiani MA, De-Deus G, Vera J, Souza E, Steier L, Pecora JD, et al. 3D mapping of the irrigated areas of the root canal space using micro-computed tomography. *Clin Oral Investig*. 2015;19(4):859-66.
38. Alves FR, Andrade-Junior CV, Marceliano-Alves MF, Perez AR, Rocas IN, Versiani MA, et al. Adjunctive Steps for Disinfection of the Mandibular Molar Root Canal System: A Correlative Bacteriologic, Micro-Computed Tomography, and Cryopulverization Approach. *J Endod*. 2016;42(11):1667-72.

39. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30(8):559-67.
40. Kokkas AB, Boutsoukias A, Vassiliadis LP, Stavrianos CK. The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod.* 2004;30(2):100-2.
41. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J.* 2010;43(1):2-15.
42. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Effect of smear layer against disinfection protocols on *Enterococcus faecalis*-infected dentin. *J Endod.* 2013;39(11):1395-400.
43. Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE. Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer. *J Endod.* 1994;20(2):78-82.
44. Cruz-Filho AM, Sousa-Neto MD, Savioli RN, Silva RG, Vansan LP, Pecora JD. Effect of chelating solutions on the microhardness of root canal lumen dentin. *J Endod.* 2011;37(3):358-62.
45. Plotino G, Cortese T, Grande NM, Leonardi DP, Di Giorgio G, Testarelli L, et al. New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. *Braz Dent J.* 2016;27(1):3-8.
46. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-98.
47. Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *Int Endod J.* 2012;45(4):363-71.
48. Ari H, Erdemir A, Belli S. Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. *J Endod.* 2004;30(11):792-5.
49. Hashem AA, Ghoneim AG, Lutfy RA, Fouda MY. The effect of different irrigating solutions on bond strength of two root canal-filling systems. *J Endod.* 2009;35(4):537-40.
50. Arias-Moliz MT, Ordinola-Zapata R, Baca P, Ruiz-Linares M, Garcia Garcia E, Hungaro Duarte MA, et al. Antimicrobial activity of Chlorhexidine, Peracetic acid and Sodium hypochlorite/etidronate irrigant solutions against *Enterococcus faecalis* biofilms. *Int Endod J.* 2015;48(12):1188-93.
51. Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C, Belanger M, Britto LR. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *J Endod.* 2006;32(5):434-7.
52. Becking AG. Complications in the use of sodium hypochlorite during endodontic treatment. Report of three cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;71(3):346-8.
53. Lottanti S, Gautschi H, Sener B, Zehnder M. Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. *Int Endod J.* 2009;42(4):335-43.
54. Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *Int Endod J.* 2002;35(11):934-9.
55. Neelakantan P, Varughese AA, Sharma S, Subbarao CV, Zehnder M, De-Deus G. Continuous chelation irrigation improves the adhesion of epoxy resin-based root canal sealer to root dentine. *Int Endod J.* 2012;45(12):1097-102.
56. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, et al. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod.* 2003;29(3):170-5.
57. Baldasso FER, Cardoso LR, Silva VDD, Morgental RD, Kopper PMP. Evaluation of the effect of four final irrigation protocols on root canal dentin components by polarized light microscopy and scanning electron microscopy. *Microsc Res Tech.* 2017;80(12):1337-43.
58. Xu Z, Neoh KG, Lin CC, Kishen A. Biomimetic deposition of calcium phosphate minerals on the surface of partially demineralized dentine modified with phosphorylated chitosan. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2011;98(1):150-9.
59. Gandhi B, Bollineni S, Janga RK, Saraswati D, Babu MR. Evaluating the Effect of CPP-ACP as a Final Irrigant in Improving the Micro-Hardness of Erosive Root Dentin and

- its Influence on the Bond Strength of Self Etch Resin Sealer - An In-vitro Study. *J Clin Diagn Res.* 2016;10(8):Zc53-6.
60. Shao C, Zhao R, Jiang S, Yao S, Wu Z, Jin B, et al. Citrate Improves Collagen Mineralization via Interface Wetting: A Physicochemical Understanding of Biomineralization Control. *Adv Mater.* 2018;30(8).
61. Chen Z, Cao S, Wang H, Li Y, Kishen A, Deng X, et al. Biomimetic Remineralization of Demineralized Dentine Using Scaffold of CMC/ACP Nanocomplexes in an In Vitro Tooth Model of Deep Caries. *PLOS ONE.* 2015;10(1):e0116553.
62. Hashmi A, Zhang X, Kishen A. Impact of Dentin Substrate Modification with Chitosan-Hydroxyapatite Precursor Nanocomplexes on Sealer Penetration and Tensile Strength. *J Endod.* 2019;45:935-42.
63. Shrestha A, Friedman S, Kishen A. Photodynamically crosslinked and chitosan-incorporated dentin collagen. *J Dent Res.* 2011;90(11):1346-51.
64. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod.* 2010;36(7):1216-21.
65. Mohammadi Z, Shalavi S, Giardino L, Palazzi F, Asgary S. Impact of Ultrasonic Activation on the Effectiveness of Sodium Hypochlorite: A Review. *Iran Endod J.* 2015;10(4):216-20.
66. Bahcall JK, Olsen FK. Clinically enhancing the connection between endodontic and restorative treatment for better case prognosis. *Dent Today.* 2007;26(1):98-103; quiz , 15.
67. Chopra S, Murray PE, Namerow KN. A scanning electron microscopic evaluation of the effectiveness of the F-file versus ultrasonic activation of a K-file to remove smear layer. *J Endod.* 2008;34(10):1243-5.
68. Hulsmann M, Rummelin C, Schafers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod.* 1997;23(5):301-6.
69. Tay FR, Gu LS, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, et al. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod.* 2010;36(4):745-50.
70. Vera J, Arias A, Romero M. Dynamic movement of intracanal gas bubbles during cleaning and shaping procedures: the effect of maintaining apical patency on their presence in the middle and cervical thirds of human root canals-an in vivo study. *J Endod.* 2012;38(2):200-3.
71. Zeng C, Willison J, Meghil MM, Bergeron BE, Cutler CW, Tay FR, et al. Antibacterial efficacy of an endodontic sonic-powered irrigation system: An in vitro study. *J Dent.* 2018;75:105-12.
72. Urban K, Donnermeyer D, Schafer E, Burklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig.* 2017;21(9):2681-7.
73. Conde AJ, Estevez R, Llorona G, Valencia de Pablo O, Rossi-Fedele G, Cisneros R. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J.* 2017;50(10):976-82.
74. Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, Eick S, Lussi A. Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *J Endod.* 2016;42(12):1799-803.
75. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *J Endod.* 2009;35(6):891-5.
76. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35(6):791-804.

77. Blanken J, De Moor RJ, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med*. 2009;41(7):514-9.
78. Ahuja P, Nandini S, Ballal S, Velmurugan N. Effectiveness of four different final irrigation activation techniques on smear layer removal in curved root canals : a scanning electron microscopy study. *J Dent (Tehran)*. 2014;11(1):1-9.
79. Lui JN, Kuah HG, Chen NN. Effect of EDTA with and without surfactants or ultrasonics on removal of smear layer. *J Endod*. 2007;33(4):472-5.
80. Schmidt TF, Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT, Pashley DH, Bortoluzzi EA. Effect of Ultrasonic Activation of Irrigants on Smear Layer Removal. *J Endod*. 2015;41(8):1359-63.
81. Schoeffel GJ. The EndoVac method of endodontic irrigation, part 2--efficacy. *Dent Today*. 2008;27(1):82, 4, 6-7.
82. Abarajithan M, Dham S, Velmurugan N, Valerian-Albuquerque D, Ballal S, Senthilkumar H. Comparison of Endovac irrigation system with conventional irrigation for removal of intracanal smear layer: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011;112(3):407-11.
83. Blank-Goncalves LM, Nabeshima CK, Martins GH, Machado ME. Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: conventional irrigation versus activation systems. *J Endod*. 2011;37(9):1268-71.
84. Mancini M, Cerroni L, Iorio L, Armellini E, Conte G, Cianconi L. Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *J Endod*. 2013;39(11):1456-60.
85. Zmener O, Pameijer CH, Macri E. Evaluation of the apical seal in root canals prepared with a new rotary system and obturated with a methacrylate based endodontic sealer: an in vitro study. *J Endod*. 2005;31(5):392-5.
86. Ramachandran N, Podar R, Singh S, Kulkarni G, Dadu S. Effect of ultrasonic activation on calcium ion quantification, smear layer removal, and canal cleaning efficacy of demineralizing irrigants. *J Conserv Dent*. 2018;21(5):551-6.
87. Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT. The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *Int Endod J*. 2005;38(5):285-90.
88. Dineshkumar MK, Vinothkumar TS, Arathi G, Shanthisree P, Kandaswamy D. Effect of ethylene diamine tetra-acetic acid, MTAD, and HEBP as a final rinse on the microhardness of root dentin. *J Conserv Dent*. 2012;15(2):170-3.
89. Shahravan A, Haghdoost AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod*. 2007;33(2):96-105.
90. Ballal NV, Kandian S, Mala K, Bhat KS, Acharya S. Comparison of the efficacy of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid in smear layer removal from instrumented human root canal: a scanning electron microscopic study. *J Endod*. 2009;35(11):1573-6.
91. Mancini M, Armellini E, Casaglia A, Cerroni L, Cianconi L. A comparative study of smear layer removal and erosion in apical intraradicular dentine with three irrigating solutions: a scanning electron microscopy evaluation. *J Endod*. 2009;35(6):900-3.
92. Prado M, Gusman H, Gomes BP, Simao RA. Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *J Endod*. 2011;37(2):255-8.
93. Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parissis-Messimeris S, Boutsoukias A. Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study. *Endod Dent Traumatol*. 1998;14(4):191-5.

94. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *Int Endod J*. 2011;44(7):583-609.
95. Dai L, Khechen K, Khan S, Gillen B, Loushine BA, Wimmer CE, et al. The effect of QMix, an experimental antibacterial root canal irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. *J Endod*. 2011;37(1):80-4.
96. de Almeida J, Hoogenkamp M, Felipe WT, Crielaard W, van der Waal SV. Effectiveness of EDTA and Modified Salt Solution to Detach and Kill Cells from *Enterococcus faecalis* Biofilm. *J Endod*. 2016;42(2):320-3.
97. Kuruvilla A, Jaganath BM, Krishnegowda SC, Ramachandra PK, Johns DA, Abraham A. A comparative evaluation of smear layer removal by using edta, etidronic acid, and maleic acid as root canal irrigants: An in vitro scanning electron microscopic study. *J Conserv Dent*. 2015;18(3):247-51.
98. Wagner MH, da Rosa RA, de Figueiredo JAP, Duarte MAH, Pereira JR, So MVR. Final irrigation protocols may affect intraradicular dentin ultrastructure. *Clin Oral Investig*. 2017;21(7):2173-82.
99. Galler KM, D'Souza RN, Federlin M, Cavender AC, Hartgerink JD, Hecker S, et al. Dentin conditioning codetermines cell fate in regenerative endodontics. *J Endod*. 2011;37(11):1536-41.
100. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*. 2002;28(1):17-9.
101. Kara Tuncer A, Tuncer S. Effect of different final irrigation solutions on dentinal tubule penetration depth and percentage of root canal sealer. *J Endod*. 2012;38(6):860-3.
102. Carvalho AS, Camargo CH, Valera MC, Camargo SE, Mancini MN. Smear layer removal by auxiliary chemical substances in biomechanical preparation: a scanning electron microscope study. *J Endod*. 2008;34(11):1396-400.
103. Spano JC, Silva RG, Guedes DF, Sousa-Neto MD, Estrela C, Pecora JD. Atomic absorption spectrometry and scanning electron microscopy evaluation of concentration of calcium ions and smear layer removal with root canal chelators. *J Endod*. 2009;35(5):727-30.
104. Rathakrishnan M, Sukumaran VG, Subbiya A. To Evaluate the Efficacy of an Innovative Irrigant on Smear Layer Removal - SEM Analysis. *J Clin Diagn Res*. 2016;10(4):Zc104-6.
105. Silva PV, Guedes DF, Nakadi FV, Pecora JD, Cruz-Filho AM. Chitosan: a new solution for removal of smear layer after root canal instrumentation. *Int Endod J*. 2013;46(4):332-8.
106. Khedmat S, Shokouhinejad N. Comparison of the efficacy of three chelating agents in smear layer removal. *J Endod*. 2008;34(5):599-602.
107. Wu L, Mu Y, Deng X, Zhang S, Zhou D. Comparison of the effect of four decalcifying agents combined with 60 degrees C 3% sodium hypochlorite on smear layer removal. *J Endod*. 2012;38(3):381-4.
108. Ulusoy OI, Gorgul G. Effects of different irrigation solutions on root dentine microhardness, smear layer removal and erosion. *Aust Endod J*. 2013;39(2):66-72.
109. Aranda-Garcia AR, Guerreiro-Tanomaru JM, Faria-Junior NB, Chavez-Andrade GM, Leonardo RT, Tanomaru-Filho M, et al. Antibacterial effectiveness of several irrigating solutions and the Endox Plus system - an ex vivo study. *Int Endod J*. 2012;45(12):1091-6.
110. Kececi AD, Unal GC, Sen BH. Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation. *Int Endod J*. 2005;38(6):381-8.
111. Dow PR, Ingle JI. Isotope determination of root canal failure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1955;8(10):1100-4.

112. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D. The effects of dentine pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *Int Endod J.* 2002;35(10):859-66.
113. Tay FR, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH, Mak YF, et al. Ultrastructural evaluation of the apical seal in roots filled with a polycaprolactone-based root canal filling material. *J Endod.* 2005;31(7):514-9.
114. Estrela C, Sydney GB, Figueiredo JA, Estrela CR. A model system to study antimicrobial strategies in endodontic biofilms. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(2):87-91.
115. Roth KA, Friedman S, Lévesque CM, Basrani BR, Finer Y. Microbial biofilm proliferation within sealer-root dentin interfaces is affected by sealer type and aging period. *J Endod.* 2012;38(9):1253-6.
116. Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2005;31(2):97-100.
117. Peters LB, van Winkelhoff AJ, Buijs JF, Wesselink PR. Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. *Int Endod J.* 2002;35(1):13-21.
118. Sjogren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J.* 1997;30(5):297-306.
119. White RR, Goldman M, Lin PS. The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials. *J Endod.* 1984;10(12):558-62.
120. Whitworth JM, Boursin EM. Dissolution of root canal sealer cements in volatile solvents. *Int Endod J.* 2000;33(1):19-24.
121. Mancino D, Kharouf N, Hemmerle J, Haikel Y. Microscopic and Chemical Assessments of the Filling Ability in Oval-Shaped Root Canals Using Two Different Carrier-Based Filling Techniques. *Eur J Dent.* 2019;13(2):166-71.
122. Carver K, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod.* 2007;33(9):1038-43.
123. Bukiet F, Couderc G, Camps J, Tassery H, Cuisinier F, About I, et al. Wetting properties and critical micellar concentration of benzalkonium chloride mixed in sodium hypochlorite. *J Endod.* 2012;38(11):1525-9.
124. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Cavenago B, Graeff MS, Gomes de Moraes I, Marciano M, et al. Antimicrobial effect of endodontic solutions used as final irrigants on a dentine biofilm model. *Int Endod J.* 2012;45(2):162-8.
125. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Effectiveness of endodontic disinfecting solutions against young and old *Enterococcus faecalis* biofilms in dentin canals. *J Endod.* 2012;38(10):1376-9.
126. Sinhal TM, Shah RRP, Jais PS, Shah NC, Hadwani KD, Rothe T, et al. An In vitro Comparison and Evaluation of Sealing Ability of Newly Introduced C-point System, Cold Lateral Condensation, and Thermoplasticized Gutta-Percha Obturating Technique: A Dye Extraction Study. *Contemp Clin Dent.* 2018;9(2):164-9.
127. Arora S, Hegde V. Comparative evaluation of a novel smart-seal obturating system and its homogeneity of using cone beam computed tomography: In vitro simulated lateral canal study. *J Conserv Dent.* 2014;17(4):364-8.
128. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am.* 1967;723-44.
129. Moeller L, Wenzel A, Wegge-Larsen AM, Ding M, Kirkevang LL. Quality of root fillings performed with two root filling techniques. An in vitro study using micro-CT. *Acta Odontol Scand.* 2013;71(3-4):689-96.
130. Buchanan LS. The continuous wave of obturation technique: 'centered' condensation of warm gutta percha in 12 seconds. *Dent Today.* 1996;15(1):60-2, 4-7.

131. Blum JY, Esber S, Micallef JP. Analysis of forces developed during obturations. Comparison of three gutta-percha techniques. *J Endod.* 1997;23(5):340-5.
132. Capar ID, Saygili G, Ergun H, Gok T, Arslan H, Ertas H. Effects of root canal preparation, various filling techniques and retreatment after filling on vertical root fracture and crack formation. *Dent Traumatol.* 2015;31(4):302-7.
133. Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One.* 2018;13(2):e0192248.
134. Viapiana R, Baluci CA, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Investigation of chemical changes in sealers during application of the warm vertical compaction technique. *Int Endod J.* 2015;48(1):16-27.
135. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR. Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J.* 2000;33(4):340-5.
136. Peters DD. Two-year in vitro solubility evaluation of four Gutta-percha sealer obturation techniques. *J Endod.* 1986;12(4):139-45.
137. Trope M, Bunes A, Debelian G. Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endodontic Topics.* 2015;32(1):86-96.
138. De-Deus G, Gurgel-Filho ED, Magalhaes KM, Coutinho-Filho T. A laboratory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System B and lateral condensation. *Int Endod J.* 2006;39(5):378-83.
139. De-Deus G, Maniglia-Ferreira CM, Gurgel-Filho ED, Paciornik S, Machado AC, Coutinho-Filho T. Comparison of the percentage of gutta-percha-filled area obtained by Thermafil and System B. *Aust Endod J.* 2007;33(2):55-61.
140. Wong AW, Zhang S, Li SK, Zhang C, Chu CH. Clinical studies on core-carrier obturation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):167.
141. Soo WK, Thong YL, Gutmann JL. A comparison of four gutta-percha filling techniques in simulated C-shaped canals. *Int Endod J.* 2015;48(8):736-46.
142. Atav Ates A, Dumani A, Yoldas O, Unal I. Post-obturation pain following the use of carrier-based system with AH Plus or iRoot SP sealers: a randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2019;23(7):3053-61.
143. Pirani C, Zamparini F, Peters OA, Iacono F, Gatto MR, Generali L, et al. The fate of root canals obturated with Thermafil: 10-year data for patients treated in a master's program. *Clin Oral Investig.* 2019;23(8):3367-77.
144. Yadav S, Nawal RR, Chaudhry S, Talwar S. Assessment of Quality of Root Canal Filling with C Point, Guttacore and Lateral Compaction Technique: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. *Eur Endod J.* 2020;5(3):236-41.
145. Beasley RT, Williamson AE, Justman BC, Qian F. Time required to remove guttacore, thermafil plus, and thermoplasticized gutta-percha from moderately curved root canals with protaper files. *J Endod.* 2013;39(1):125-8.
146. Mamootil K, Messer HH. Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *Int Endod J.* 2007;40(11):873-81.
147. De Deus GA, Gurgel-Filho ED, Maniglia-Ferreira C, Coutinho-Filho T. The influence of filling technique on depth of tubule penetration by root canal sealer: a study using light microscopy and digital image processing. *Aust Endod J.* 2004;30(1):23-8.
148. Weis MV, Parashos P, Messer HH. Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. *Int Endod J.* 2004;37(10):653-63.
149. Gharib SR, Tordik PA, Imamura GM, Baginski TA, Goodell GG. A confocal laser scanning microscope investigation of the epiphany obturation system. *J Endod.* 2007;33(8):957-61.
150. Patel DV, Sherriff M, Ford TR, Watson TF, Mannocci F. The penetration of RealSeal primer and Tubliseal into root canal dentinal tubules: a confocal microscopic study. *Int Endod J.* 2007;40(1):67-71.

151. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Bernardineli N, Graeff MS, Garcia RB, de Moraes IG, et al. A preliminary study of the percentage of sealer penetration in roots obturated with the Thermafil and RealSeal-1 obturation techniques in mesial root canals of mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(6):961-8.
152. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Graeff MS, del Carpio Perochena A, Vivan RR, Camargo EJ, et al. Depth and percentage of penetration of endodontic sealers into dentinal tubules after root canal obturation using a lateral compaction technique: a confocal laser scanning microscopy study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(3):450-7.
153. Bharti R, Tikku AP, Chandra A, Shakya VK, Yadav S. Depth and percentage of resin-based sealer penetration inside the dentinal tubules using EndoVac, EndoActivator, Navi tip FX irrigation system: A confocal laser scanning microscope study. *J Conserv Dent.* 2018;21(2):216-20.
154. Garberoglio R, Brannstrom M. Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. *Arch Oral Biol.* 1976;21(6):355-62.
155. Mjor IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J.* 2001;34(5):346-53.
156. Gibby SG, Wong Y, Kulild JC, Williams KB, Yao X, Walker MP. Novel methodology to evaluate the effect of residual moisture on epoxy resin sealer/dentine interface: a pilot study. *Int Endod J.* 2011;44(3):236-44.
157. Koch K, Brave D, Nasseh A. A review of bioceramic technology in endodontics. *CE article.* 2012;4:6-12.
158. Lee CQ, Chang Y, Cobb CM, Robinson S, Hellmuth EM. Dimensional stability of thermosensitive gutta-percha. *J Endod.* 1997;23(9):579-82.
159. Marciano J, Michalesco P, Abadie MJ. Stereochemical structure characterization of dental gutta-percha. *J Endod.* 1993;19(1):31-4.
160. Yildirim A, Lubbers HT, Yildirim V. [Endodontic filling with gutta-percha-requirements, formation and characteristics]. *Swiss Dent J.* 2016;126(2):150-1.
161. Gesi A, Raffaelli O, Goracci C, Pashley DH, Tay FR, Ferrari M. Interfacial strength of Resilon and gutta-percha to intraradicular dentin. *J Endod.* 2005;31(11):809-13.
162. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine RJ, Weller RN, et al. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Endod.* 2011;37(5):673-7.
163. McMichael GE, Primus CM, Opperman LA. Dentinal Tubule Penetration of Tricalcium Silicate Sealers. *J Endod.* 2016;42(4):632-6.
164. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater.* 2015;31(4):351-70.
165. Osiri S, Banomyong D, Sattabanasuk V, Yanpiset K. Root Reinforcement after Obturation with Calcium Silicate-based Sealer and Modified Gutta-percha Cone. *J Endod.* 2018;44(12):1843-8.
166. Nielsen BA, Beeler WJ, Vy C, Baumgartner JC. Setting times of Resilon and other sealers in aerobic and anaerobic environments. *J Endod.* 2006;32(2):130-2.
167. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod.* 2013;39(10):1281-6.
168. Donnelly A, Sword J, Nishitani Y, Yoshiyama M, Agee K, Tay FR, et al. Water sorption and solubility of methacrylate resin-based root canal sealers. *J Endod.* 2007;33(8):990-4.
169. De-Deus G, Reis C, Di Giorgi K, Brandao MC, Audi C, Fidel RA. Interfacial adaptation of the Epiphany self-adhesive sealer to root dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;111(3):381-6.

170. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater*. 2016;2016:9753210.
171. Moradi S, Ghoddusi J, Forghani M. Evaluation of dentinal tubule penetration after the use of dentin bonding agent as a root canal sealer. *J Endod*. 2009;35(11):1563-6.
172. Heling I, Chandler NP. The antimicrobial effect within dentinal tubules of four root canal sealers. *J Endod*. 1996;22(5):257-9.
173. Desai S, Chandler N. Calcium hydroxide-based root canal sealers: a review. *J Endod*. 2009;35(4):475-80.
174. Kazemi RB, Safavi KE, Spangberg LS. Dimensional changes of endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1993;76(6):766-71.
175. Orstavik D, Nordahl I, Tibballs JE. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater*. 2001;17(6):512-9.
176. McMichen FR, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K. A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. *Int Endod J*. 2003;36(9):629-35.
177. Bailon-Sanchez ME, Baca P, Ruiz-Linares M, Ferrer-Luque CM. Antibacterial and anti-biofilm activity of AH plus with chlorhexidine and cetrimide. *J Endod*. 2014;40(7):977-81.
178. Leonardo MR, da Silva LA, Tanomaru Filho M, Bonifacio KC, Ito IY. In vitro evaluation of antimicrobial activity of sealers and pastes used in endodontics. *J Endod*. 2000;26(7):391-4.
179. Ricucci D, Rocas IN, Alves FR, Loghin S, Siqueira JF, Jr. Apically Extruded Sealers: Fate and Influence on Treatment Outcome. *J Endod*. 2016;42(2):243-9.
180. Candeiro GT, Correia FC, Duarte MA, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod*. 2012;38(6):842-5.
181. Lim ES, Park YB, Kwon YS, Shon WJ, Lee KW, Min KS. Physical properties and biocompatibility of an injectable calcium-silicate-based root canal sealer: in vitro and in vivo study. *BMC Oral Health*. 2015;15(1):129.
182. Kossev D SV. Ceramics-based sealers as new alternative to currently used endodontic sealers. *Roots*. 2009;1:42-8.
183. Watson TF, Atmeh AR, Sajini S, Cook RJ, Festy F. Present and future of glass-ionomers and calcium-silicate cements as bioactive materials in dentistry: biophotonics-based interfacial analyses in health and disease. *Dent Mater*. 2014;30(1):50-61.
184. Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y, Fleury A, Solomon E, He J. Clinical Outcome of Non-Surgical Root Canal Treatment Using a Single-cone Technique with Endosequence Bioceramic Sealer: A Retrospective Analysis. *J Endod*. 2018;44(6):941-5.
185. Vouzara T, Dimosiari G, Koulaouzidou EA, Economides N. Cytotoxicity of a New Calcium Silicate Endodontic Sealer. *J Endod*. 2018;44(5):849-52.
186. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J*. 2020.
187. Carvalho CN, Grazziotin-Soares R, de Miranda Candeiro GT, Gallego Martinez L, de Souza JP, Santos Oliveira P, et al. Micro Push-out Bond Strength and Bioactivity Analysis of a Bioceramic Root Canal Sealer. *Iran Endod J*. 2017;12(3):343-8.
188. Han L, Okiji T. Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *Int Endod J*. 2013;46(9):808-14.
189. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. 1967. *J Endod*. 2006;32(4):281-90.
190. Jardine AP, Rosa RA, Santini MF, Wagner M, So MV, Kuga MC, et al. The effect of final irrigation on the penetrability of an epoxy resin-based sealer into dentinal tubules: a confocal microscopy study. *Clin Oral Investig*. 2016;20(1):117-23.

191. Mukhtar-Fayyad D. Cytocompatibility of new bioceramic-based materials on human fibroblast cells (MRC-5). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(6):e137-42.
192. Zoufan K, Jiang J, Komabayashi T, Wang YH, Safavi KE, Zhu Q. Cytotoxicity evaluation of Gutta Flow and Endo Sequence BC sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(5):657-61.
193. Chang SW, Lee SY, Kang SK, Kum KY, Kim EC. In vitro biocompatibility, inflammatory response, and osteogenic potential of 4 root canal sealers: Sealapex, Sankin apatite root sealer, MTA Fillapex, and iRoot SP root canal sealer. *J Endod.* 2014;40(10):1642-8.
194. Zhou HM, Du TF, Shen Y, Wang ZJ, Zheng YF, Haapasalo M. In vitro cytotoxicity of calcium silicate-containing endodontic sealers. *J Endod.* 2015;41(1):56-61.
195. Guven EP, Tasli PN, Yalvac ME, Sofiev N, Kayahan MB, Sahin F. In vitro comparison of induction capacity and biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and a bioceramic root canal sealer. *Int Endod J.* 2013;46(12):1173-82.
196. Zhang W, Li Z, Peng B. Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107(6):e79-82.
197. Nirupama DN, Nainan MT, Ramaswamy R, Muralidharan S, Usha HH, Sharma R, et al. In Vitro Evaluation of the Antimicrobial Efficacy of Four Endodontic Biomaterials against *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans*, and *Staphylococcus aureus*. *Int J Biomater.* 2014;2014:383756.
198. Du T, Wang Z, Shen Y, Ma J, Cao Y, Haapasalo M. Combined Antibacterial Effect of Sodium Hypochlorite and Root Canal Sealers against *Enterococcus faecalis* Biofilms in Dentin Canals. *J Endod.* 2015;41(8):1294-8.
199. Ersahan S, Aydin C. Solubility and apical sealing characteristics of a new calcium silicate-based root canal sealer in comparison to calcium hydroxide-, methacrylate resin- and epoxy resin-based sealers. *Acta Odontol Scand.* 2013;71(3-4):857-62.
200. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Razmi H, Sajadi S, Davies TE, Saghiri MA, et al. Bioactivity of EndoSequence root repair material and bioaggregate. *Int Endod J.* 2012;45(12):1127-34.
201. Zamparini F, Siboni F, Prati C, Taddei P, Gandolfi MG. Properties of calcium silicate-monobasic calcium phosphate materials for endodontics containing tantalum pentoxide and zirconium oxide. *Clin Oral Investig.* 2019;23(1):445-57.
202. Lovato KF, Sedgley CM. Antibacterial activity of endosequence root repair material and proroot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2011;37(11):1542-6.
203. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J Endod.* 2011;37(11):1547-9.
204. de Siqueira Zuolo A, Zuolo ML, da Silveira Bueno CE, Chu R, Cunha RS. Evaluation of the Efficacy of TRUShape and Reciproc File Systems in the Removal of Root Filling Material: An Ex Vivo Micro-Computed Tomographic Study. *J Endod.* 2016;42(2):315-9.
205. Eymirli A, Sungur DD, Uyanik O, Purali N, Nagas E, Cehreli ZC. Dentinal Tubule Penetration and Retreatability of a Calcium Silicate-based Sealer Tested in Bulk or with Different Main Core Material. *J Endod.* 2019;45(8):1036-40.
206. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod.* 2017;42(1):19-26.
207. Gandolfi MG, Silvia F, H PD, Gasparotto G, Carlo P. Calcium silicate coating derived from Portland cement as treatment for hypersensitive dentine. *J Dent.* 2008;36(8):565-78.

208. Bouillaguet S, Shaw L, Barthelemy J, Krejci I, Wataha JC. Long-term sealing ability of Pulp Canal Sealer, AH-Plus, GuttaFlow and Epiphany. *Int Endod J*. 2008;41(3):219-26.
209. McHugh CP, Zhang P, Michalek S, Eleazer PD. pH required to kill *Enterococcus faecalis* in vitro. *J Endod*. 2004;30(4):218-9.
210. Okabe T, Sakamoto M, Takeuchi H, Matsushima K. Effects of pH on mineralization ability of human dental pulp cells. *J Endod*. 2006;32(3):198-201.
211. Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ, Owatz CB. *Enterococcus faecalis*: its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *J Endod*. 2006;32(2):93-8.
212. Lee JK, Kwak SW, Ha JH, Lee W, Kim HC. Physicochemical Properties of Epoxy Resin-Based and Bioceramic-Based Root Canal Sealers. *Bioinorg Chem Appl*. 2017;2017:2582849.
213. Poggio C, Arciola CR, Dagna A, Colombo M, Bianchi S, Visai L. Solubility of root canal sealers: a comparative study. *Int J Artif Organs*. 2010;33(9):676-81.
214. Huffman BP, Mai S, Pinna L, Weller RN, Primus CM, Gutmann JL, et al. Dislocation resistance of ProRoot Endo Sealer, a calcium silicate-based root canal sealer, from radicular dentine. *Int Endod J*. 2009;42(1):34-46.
215. Neelakantan P, Grotra D, Sharma S. Retreatability of 2 mineral trioxide aggregate-based root canal sealers: a cone-beam computed tomography analysis. *J Endod*. 2013;39(7):893-6.
216. Garrib M, Camilleri J. Retreatment efficacy of hydraulic calcium silicate sealers used in single cone obturation. *J Dent*. 2020;98:103370.
217. Pawar SS, Pujar MA, Makandar SD. Evaluation of the apical sealing ability of bioceramic sealer, AH plus & epiphany: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2014;17(6):579-82.
218. Ballullaya SV, Vinay V, Thumu J, Devalla S, Bollu IP, Balla S. Stereomicroscopic Dye Leakage Measurement of Six Different Root Canal Sealers. *J Clin Diagn Res*. 2017;11(6):Zc65-zc8.
219. Ulusoy OI, Nayir Y, Celik K, Yaman SD. Apical microleakage of different root canal sealers after use of maleic acid and EDTA as final irrigants. *Braz Oral Res*. 2014;28.
220. Deniz Sungur D, Moinezadeh AT, Wesselink PR, Calt Tarhan S, Ozok AR. Sealing efficacy of a single-cone root filling after post space preparation. *Clin Oral Investig*. 2016;20(5):1071-7.
221. Bidar M, Sadeghalhoseini N, Forghani M, Attaran N. Effect of the smear layer on apical seals produced by two calcium silicate-based endodontic sealers. *J Oral Sci*. 2014;56(3):215-9.
222. Yanpiset K, Banomyong D, Chotvorrarak K, Srisatjaluk RL. Bacterial leakage and micro-computed tomography evaluation in round-shaped canals obturated with bioceramic cone and sealer using matched single cone technique. *Restor Dent Endod*. 2018;43(3):e30.
223. Oh S, Cho SI, Perinpanayagam H, You J, Hong SH, Yoo YJ, et al. Novel Calcium Zirconate Silicate Cement Biomineralize and Seal Root Canals. *Materials (Basel)*. 2018;11(4).
224. Hwang JH, Chung J, Na HS, Park E, Kwak S, Kim HC. Comparison of bacterial leakage resistance of various root canal filling materials and methods: Confocal laser-scanning microscope study. *Scanning*. 2015;37(6):422-8.
225. Singh G, Gupta I, Elshamy FMM, Boreak N, Homeida HE. In vitro comparison of antibacterial properties of bioceramic-based sealer, resin-based sealer and zinc oxide eugenol based sealer and two mineral trioxide aggregates. *Eur J Dent*. 2016;10(3):366-9.
226. Kapralos V, Koutroulis A, Orstavik D, Sunde PT, Rukke HV. Antibacterial Activity of Endodontic Sealers against Planktonic Bacteria and Bacteria in Biofilms. *J Endod*. 2018;44(1):149-54.

227. Koutroulis A, Kuehne SA, Cooper PR, Camilleri J. The role of calcium ion release on biocompatibility and antimicrobial properties of hydraulic cements. *Sci Rep*. 2019;9(1):19019.
228. Primus CM, Tay FR, Niu LN. Bioactive tri/dicalcium silicate cements for treatment of pulpal and periapical tissues. *Acta Biomater*. 2019;96:35-54.
229. Huang TH, Lee H, Kao CT. Evaluation of the genotoxicity of zinc oxide eugenol-based, calcium hydroxide-based, and epoxy resin-based root canal sealers by comet assay. *J Endod*. 2001;27(12):744-8.
230. Bin CV, Valera MC, Camargo SE, Rabelo SB, Silva GO, Balducci I, et al. Cytotoxicity and genotoxicity of root canal sealers based on mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 2012;38(4):495-500.
231. Stock CJ. Calcium hydroxide: root resorption and perio-endo lesions. *Br Dent J*. 1985;158(9):325-34.
232. Akcay M, Arslan H, Durmus N, Mese M, Capar ID. Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers Surg Med*. 2016;48(1):70-6.
233. Jardim Del Monaco R, Tavares de Oliveira M, de Lima AF, Scarparo Navarro R, Zanetti RV, de Fatima Teixeira da Silva D, et al. Influence of Nd:YAG laser on the penetration of a bioceramic root canal sealer into dentinal tubules: A confocal analysis. *PLoS One*. 2018;13(8):e0202295.
234. Kim H, Kim E, Lee SJ, Shin SJ. Comparisons of the Retreatment Efficacy of Calcium Silicate and Epoxy Resin-based Sealers and Residual Sealer in Dentinal Tubules. *J Endod*. 2015;41(12):2025-30.
235. Chen H, Zhao X, Qiu Y, Xu D, Cui L, Wu B. The Tubular Penetration Depth and Adaption of Four Sealers: A Scanning Electron Microscopic Study. *Biomed Res Int*. 2017;2017:2946524.
236. Aydin ZU, Ozyurek T, Keskin B, Baran T. Effect of chitosan nanoparticle, QMix, and EDTA on TotalFill BC sealers' dentinal tubule penetration: a confocal laser scanning microscopy study. *Odontology*. 2019;107(1):64-71.
237. Ha JH, Kim HC, Kim YK, Kwon TY. An Evaluation of Wetting and Adhesion of Three Bioceramic Root Canal Sealers to Intraradicular Human Dentin. *Materials (Basel)*. 2018;11(8).
238. Uzunoglu-Ozyurek E, Erdogan O, Aktemur Turker S. Effect of Calcium Hydroxide Dressing on the Dentinal Tubule Penetration of 2 Different Root Canal Sealers: A Confocal Laser Scanning Microscopic Study. *J Endod*. 2018;44(6):1018-23.
239. Arikatla SK, Chalasani U, Mandava J, Yelisela RK. Interfacial adaptation and penetration depth of bioceramic endodontic sealers. *J Conserv Dent*. 2018;21(4):373-7.
240. Kebudi Benezra M, Schembri Wismayer P, Camilleri J. Interfacial Characteristics and Cytocompatibility of Hydraulic Sealer Cements. *J Endod*. 2018;44(6):1007-17.
241. Yoo YJ, Baek SH, Kum KY, Shon WJ, Woo KM, Lee W. Dynamic intratubular biomineralization following root canal obturation with pozzolan-based mineral trioxide aggregate sealer cement. *Scanning*. 2016;38(1):50-6.
242. Celikten B, Uzuntas CF, Orhan AI, Orhan K, Tufenkci P, Kursun S, et al. Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped canals: An In vitro Micro-CT study. *Scanning*. 2016;38(2):133-40.
243. Polineni S, Bolla N, Mandava P, Vemuri S, Mallela M, Gandham VM. Marginal adaptation of newer root canal sealers to dentin: A SEM study. *J Conserv Dent*. 2016;19(4):360-3.
244. Germain S, Meetu K, Issam K, Alfred N, Carla Z. Impact of the Root Canal Taper on the Apical Adaptability of Sealers used in a Single-cone Technique: A Micro-computed Tomography Study. *J Contemp Dent Pract*. 2018;19(7):808-15.

245. Huang Y, Orhan K, Celikten B, Orhan AI, Tufenkci P, Sevimay S. Evaluation of the sealing ability of different root canal sealers: a combined SEM and micro-CT study. *J Appl Oral Sci.* 2018;26:e20160584.
246. Al-Haddad A, Abu Kasim NH, Che Ab Aziz ZA. Interfacial adaptation and thickness of bioceramic-based root canal sealers. *Dent Mater J.* 2015;34(4):516-21.
247. Fernandez R, Restrepo JS, Aristizabal DC, Alvarez LG. Evaluation of the filling ability of artificial lateral canals using calcium silicate-based and epoxy resin-based endodontic sealers and two gutta-percha filling techniques. *Int Endod J.* 2016;49(4):365-73.
248. Eltair M, Pitchika V, Hickel R, Kuhnisch J, Diegritz C. Evaluation of the interface between gutta-percha and two types of sealers using scanning electron microscopy (SEM). *Clin Oral Investig.* 2018;22(4):1631-9.
249. Kim JA, Hwang YC, Rosa V, Yu MK, Lee KW, Min KS. Root Canal Filling Quality of a Premixed Calcium Silicate Endodontic Sealer Applied Using Gutta-percha Cone-mediated Ultrasonic Activation. *J Endod.* 2018;44(1):133-8.
250. Garrido AD, Lia RC, França SC, da Silva JF, Astolfi-Filho S, Sousa-Neto MD. Laboratory evaluation of the physicochemical properties of a new root canal sealer based on Copafiera multijuga oil-resin. *Int Endod J.* 2010;43(4):283-91.
251. Tennert C, Jungbäck IL, Wrbas KT. Comparison between two thermoplastic root canal obturation techniques regarding extrusion of root canal filling--a retrospective in vivo study. *Clin Oral Investig.* 2013;17(2):449-54.
252. Wolf M, Küpper K, Reimann S, Bourauel C, Frentzen M. 3D analyses of interface voids in root canals filled with different sealer materials in combination with warm gutta-percha technique. *Clin Oral Investig.* 2014;18(1):155-61.
253. Guttuso J. Histopathologic study of rat connective tissue responses to endodontic materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1963;16:713-27.
254. Feldmann G, Nyborg H, Conrado CA. Tissue reactions to root filling materials. 3. A comparison between implants of the root filling material N2 and silver in the jaws of rabbits. *Odontol Revy.* 1967;18(4):387-93.
255. Spangberg LS, Barbosa SV, Lavigne GD. AH 26 releases formaldehyde. *J Endod.* 1993;19(12):596-8.
256. De Gee AJ, Wu MK, Wesselink PR. Sealing properties of Ketac-Endo glass ionomer cement and AH26 root canal sealers. *Int Endod J.* 1994;27(5):239-44.
257. Camargo RV, Silva-Sousa YTC, Rosa R, Mazzi-Chaves JF, Lopes FC, Steier L, et al. Evaluation of the physicochemical properties of silicone- and epoxy resin-based root canal sealers. *Braz Oral Res.* 2017;31:e72.
258. Gunes B, Yeter KY, Terlemez A, Seker B, Altay Y. Dentinal tubule penetration of endodontic sealers after nonthermal plasma treatment: A confocal laser scanning microscopy study. *Microsc Res Tech.* 2019;82(6):903-8.
259. Royer K, Liu XJ, Zhu Q, Malmstrom H, Ren YF. Apical and root canal space sealing abilities of resin and glass ionomer-based root canal obturation systems. *Chin J Dent Res.* 2013;16(1):47-53.
260. Patni PM, Chandak M, Jain P, Patni MJ, Jain S, Mishra P, et al. Stereomicroscopic Evaluation of Sealing Ability of Four Different Root Canal Sealers- An invitro Study. *J Clin Diagn Res.* 2016;10(8):Zc37-9.
261. Shakya VK, Gupta P, Tikku AP, Pathak AK, Chandra A, Yadav RK, et al. An Invitro Evaluation of Antimicrobial Efficacy and Flow Characteristics for AH Plus, MTA Fillapex, CRCS and Gutta Flow 2 Root Canal Sealer. *J Clin Diagn Res.* 2016;10(8):Zc104-8.
262. Zhang H, Shen Y, Ruse ND, Haapasalo M. Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2009;35(7):1051-5.

263. Huang FM, Tai KW, Chou MY, Chang YC. Cytotoxicity of resin-, zinc oxide-eugenol-, and calcium hydroxide-based root canal sealers on human periodontal ligament cells and permanent V79 cells. *Int Endod J.* 2002;35(2):153-8.
264. Leonardo MR, Bezerra da Silva LA, Filho MT, Santana da Silva R. Release of formaldehyde by 4 endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;88(2):221-5.
265. Pascon EA, Leonardo MR, Safavi K, Langeland K. Tissue reaction to endodontic materials: methods, criteria, assessment, and observations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991;72(2):222-37.
266. Cintra LTA, Benetti F, de Azevedo Queiroz IO, Ferreira LL, Massunari L, Bueno CRE, et al. Evaluation of the Cytotoxicity and Biocompatibility of New Resin Epoxy-based Endodontic Sealer Containing Calcium Hydroxide. *J Endod.* 2017;43(12):2088-92.
267. Martinho FC, Camargo SEA, Fernandes AMM, Campos MS, Prado RF, Camargo CHR, et al. Comparison of cytotoxicity, genotoxicity and immunological inflammatory biomarker activity of several endodontic sealers against immortalized human pulp cells. *Int Endod J.* 2018;51(1):41-57.
268. Yee FS, Marlin J, Krakow AA, Gron P. Three-dimensional obturation of the root canal using injection-molded, thermoplasticized dental gutta-percha. *J Endod.* 1977;3(5):168-74.
269. Harris GZ, Dickey DJ, Lemon RR, Luebke RG. Apical seal: McSpadden vs lateral condensation. *J Endod.* 1982;8(6):273-6.
270. Goon WW. The apical push: hermetic seal enhancement using lateral condensation into warm gutta-percha. *Compend Contin Educ Dent.* 1985;6(7):499-500, 4-9, 12-4.
271. Nykaza RR, Wong M. Heat-softened gutta-percha: an update. *Gen Dent.* 1991;39(3):196-8.
272. von Fraunhofer JA, Fagundes DK, McDonald NJ, Dumsha TC. The effect of root canal preparation on microleakage within endodontically treated teeth: an in vitro study. *Int Endod J.* 2000;33(4):355-60.
273. Bal AS, Hicks ML, Barnett F. Comparison of laterally condensed .06 and .02 tapered Gutta-Percha and sealer in vitro. *J Endod.* 2001;27(12):786-8.
274. Robberecht L, Colard T, Claisse-Crinquette A. Qualitative evaluation of two endodontic obturation techniques: tapered single-cone method versus warm vertical condensation and injection system: an in vitro study. *J Oral Sci.* 2012;54(1):99-104.
275. Najar AL, Saquy PC, Vansan LP, Sousa-Neto MD. Adhesion of a glass-ionomer root canal sealer to human dentine. *Aust Endod J.* 2003;29(1):20-2.
276. Russell A, Friedlander L, Chandler N. Sealer penetration and adaptation in root canals with the butterfly effect. *Aust Endod J.* 2018;44(3):225-34.
277. Russell AA, Chandler NP, Hauman C, Siddiqui AY, Tompkins GR. The butterfly effect: an investigation of sectioned roots. *J Endod.* 2013;39(2):208-10.
278. Vasileiadis L, Parisi K, Stavrianos C, Dagkalis P, Stavrianou I, Tatsis D. Translucent Root Dentine in Relationship to Increasing Age. *Research Journal of Biological Sciences.* 2011;6(IKEEXREF-297610):92-5.
279. Montoya C, Arango-Santander S, Pelaez-Vargas A, Arola D, Ossa EA. Effect of aging on the microstructure, hardness and chemical composition of dentin. *Arch Oral Biol.* 2015;60(12):1811-20.
280. Schäfer E, Olthoff G. Effect of three different sealers on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha. *J Endod.* 2002;28(9):638-42.
281. Bjordal L, Reit C. The adoption of new endodontic technology amongst Danish general dental practitioners. *Int Endod J.* 2005;38(1):52-8.
282. Chu CH, Lo EC, Cheung GS. Outcome of root canal treatment using Thermafil and cold lateral condensation filling techniques. *Int Endod J.* 2005;38(3):179-85.

283. Mahera F, Economides N, Gogos C, Beltes P. Fluid-transport evaluation of lateral condensation, ProTaper gutta-percha and warm vertical condensation obturation techniques. *Aust Endod J.* 2009;35(3):169-73.
284. Hopkins JH, Remeikis NA, Van Cura JE. McSpadden versus lateral condensation: the extent of apical microleakage. *J Endod.* 1986;12(5):198-201.
285. Nino-Barrera JL, Gamboa-Martinez LF, Laserna-Zuluaga H, Unapanta J, Hernandez-Mejia D, Olaya C, et al. Factors associated to apical overfilling after a thermoplastic obturation technique - Calamus(R) or Guttacore(R): a randomized clinical experiment. *Acta Odontol Latinoam.* 2018;31(1):45-52.
286. Chen B, Haapasalo M, Mobuchon C, Li X, Ma J, Shen Y. Cytotoxicity and the Effect of Temperature on Physical Properties and Chemical Composition of a New Calcium Silicate-based Root Canal Sealer. *J Endod.* 2020;46(4):531-8.
287. Camilleri J. Sealers and warm gutta-percha obturation techniques. *J Endod.* 2015;41(1):72-8.
288. Kossev AD. Ceramics-based sealers as a new alternative to currently used endodontic sealers. 2009.
289. Jungnickel L, Kruse C, Vaeth M, Kirkevang LL. Quality aspects of ex vivo root canal treatments done by undergraduate dental students using four different endodontic treatment systems. *Acta Odontol Scand.* 2018;76(3):169-74.
290. Huang Y, Celikten B, de Faria Vasconcelos K, Ferreira Pinheiro Nicolielo L, Lippiatt N, Buyuksungur A, et al. Micro-CT and nano-CT analysis of filling quality of three different endodontic sealers. *Dentomaxillofac Radiol.* 2017;46(8):20170223.
291. Suassuna FCM, Maia AMA, Melo DP, Antonino ACD, Gomes ASL, Bento PM. Comparison of microtomography and optical coherence tomography on apical endodontic filling analysis. *Dentomaxillofac Radiol.* 2018;47(2):20170174.
292. Gencoglu N, Garip Y, Bas M, Samani S. Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B, and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002;93(3):333-6.
293. Faus-Llacer V, Collado-Castellanos N, Alegre-Domingo T, Dolz-Solsona M, Faus-Matoses V. Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: In vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2015;7(2):e299-303.
294. ElAyouti A, Kiefner P, Hecker H, Chu A, Lost C, Weiger R. Homogeneity and adaptation of endodontic fillings in root canals with enlarged apical preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(3):e141-6.
295. Jeong JW, DeGraft-Johnson A, Dorn SO, Di Fiore PM. Dentinal Tubule Penetration of a Calcium Silicate-based Root Canal Sealer with Different Obturation Methods. *J Endod.* 2017;43:633-7.
296. Neelakantan P, Ounsi HF, Devaraj S, Cheung GSP, Grandini S. Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin. *Odontology.* 2019;107(2):142-9.
297. Shokouhinejad N, Sabeti M, Gorjestani H, Saghiri MA, Lotfi M, Hoseini A. Penetration of Epiphany, Epiphany self-etch, and AH Plus into dentinal tubules: a scanning electron microscopy study. *J Endod.* 2011;37(9):1316-9.
298. Kuci A, Alacam T, Yavas O, Ergul-Ulger Z, Kayaoglu G. Sealer penetration into dentinal tubules in the presence or absence of smear layer: a confocal laser scanning microscopic study. *J Endod.* 2014;40(10):1627-31.
299. Bitter K, Paris S, Martus P, Schartner R, Kielbassa AM. A Confocal Laser Scanning Microscope investigation of different dental adhesives bonded to root canal dentine. *Int Endod J.* 2004;37(12):840-8.

300. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod.* 2008;34(11):1370-3.
301. Santini A, Miletic V. Comparison of the hybrid layer formed by Silorane adhesive, one-step self-etch and etch and rinse systems using confocal micro-Raman spectroscopy and SEM. *J Dent.* 2008;36(9):683-91.
302. Bitter K, Paris S, Mueller J, Neumann K, Kielbassa AM. Correlation of scanning electron and confocal laser scanning microscopic analyses for visualization of dentin/adhesive interfaces in the root canal. *J Adhes Dent.* 2009;11(1):7-14.
303. Kim Y, Kim BS, Kim YM, Lee D, Kim SY. The Penetration Ability of Calcium Silicate Root Canal Sealers into Dentinal Tubules Compared to Conventional Resin-Based Sealer: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. *Materials (Basel).* 2019;12(3).
304. Moon YM, Shon WJ, Baek SH, Bae KS, Kum KY, Lee W. Effect of final irrigation regimen on sealer penetration in curved root canals. *J Endod.* 2010;36(4):732-6.
305. Chandra SS, Shankar P, Indira R. Depth of penetration of four resin sealers into radicular dentinal tubules: a confocal microscopic study. *J Endod.* 2012;38(10):1412-6.
306. Kara Tuncer A, Unal B. Comparison of sealer penetration using the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation. *J Endod.* 2014;40(5):613-7.
307. Montero-Miralles P, Castillo-Oyague R, Saez de la Fuente I, Lynch CD, Castillo-Dali G, Torres-Lagares D. Effect of the Nd:YAG laser on sealer penetration into root canal surfaces: a confocal microscope analysis. *J Dent.* 2014;42(6):753-9.
308. Shenoy A, Ahmaduddin, Bolla N, Raj S, Mandava P, Nayak S. Effect of final irrigating solution on smear layer removal and penetrability of the root canal sealer. *J Conserv Dent.* 2014;17(1):40-4.
309. D'Alpino PH, Pereira JC, Svizero NR, Rueggeberg FA, Pashley DH. Use of fluorescent compounds in assessing bonded resin-based restorations: a literature review. *J Dent.* 2006;34(9):623-34.
310. Tedesco M, Chain MC, Bortoluzzi EA, da Fonseca Roberti Garcia L, Alves AMH, Teixeira CS. Comparison of two observational methods, scanning electron and confocal laser scanning microscopies, in the adhesive interface analysis of endodontic sealers to root dentine. *Clin Oral Investig.* 2018;22(6):2353-61.
311. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, Yoshida Y, Perdigao J, Lambrechts P, et al. Microscopy investigations. Techniques, results, limitations. *Am J Dent.* 2000;13(Spec No):3d-18d.
312. McKinlay KJ, Allison FJ, Scotchford CA, Grant DM, Oliver JM, King JR, et al. Comparison of environmental scanning electron microscopy with high vacuum scanning electron microscopy as applied to the assessment of cell morphology. *J Biomed Mater Res A.* 2004;69(2):359-66.
313. Teixeira CS, Silva-Sousa YC, Sousa-Neto MD. Effects of light exposure time on composite resin hardness after root reinforcement using translucent fibre post. *J Dent.* 2008;36(7):520-8.
314. Haragushiku GA, Teixeira CS, Furuse AY, Sousa YT, De Sousa Neto MD, Silva RG. Analysis of the interface and bond strength of resin-based endodontic cements to root dentin. *Microsc Res Tech.* 2012;75(5):655-61.
315. Tedesco M, Felipe MC, Felipe WT, Alves AM, Bortoluzzi EA, Teixeira CS. Adhesive interface and bond strength of endodontic sealers to root canal dentine after immersion in phosphate-buffered saline. *Microsc Res Tech.* 2014;77(12):1015-22.
316. De-Deus G, Silva EJ, Marins J, Souza E, Neves Ade A, Goncalves Belladonna F, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod.* 2014;40(9):1447-50.

317. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJ, Neves Ade A, Alves H, et al. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod.* 2015;41(7):1116-9.
318. De-Deus G, Belladonna FG, Silva E, Souza EM, Carvalho JCA, Perez R, et al. Micro-CT assessment of dentinal micro-cracks after root canal filling procedures. *Int Endod J.* 2017;50(9):895-901.
319. Stringheta CP, Pelegrine RA, Kato AS, Freire LG, Iglecias EF, Gavini G, et al. Micro-computed Tomography versus the Cross-sectioning Method to Evaluate Dentin Defects Induced by Different Mechanized Instrumentation Techniques. *J Endod.* 2017;43(12):2102-7.
320. Leal F, Simao RA, Fidel SR, Fidel RA, do Prado M. Effect of final irrigation protocols on push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer to dentin. *Aust Endod J.* 2015;41(3):135-9.
321. Saber SE, El-Askary FS. The outcome of immediate or delayed application of a single-step self-etch adhesive to coronal dentin following the application of different endodontic irrigants. *Eur J Dent.* 2009;3(2):83-9.
322. Stelzer R, Schaller HG, Gernhardt CR. Push-out bond strength of RealSeal SE and AH Plus after using different irrigation solutions. *J Endod.* 2014;40(10):1654-7.
323. Collares FM, Portella FF, Rodrigues SB, Celeste RK, Leitune VCB, Samuel SMW. The influence of methodological variables on the push-out resistance to dislodgement of root filling materials: a meta-regression analysis. *Int Endod J.* 2016;49(9):836-49.
324. Blum JY, Parahy E, Machtou P. Warm vertical compaction sequences in relation to gutta-percha temperature. *J Endod.* 1997;23(5):307-11.
325. Atmeh AR, AlShwaimi E. The Effect of Heating Time and Temperature on Epoxy Resin and Calcium Silicate-based Endodontic Sealers. *J Endod.* 2017;43(12):2112-8.
326. Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XJ. Influence of Warm Vertical Compaction Technique on Physical Properties of Root Canal Sealers. *J Endod.* 2016;42(12):1829-33.
327. Inan U, Aydin C, Tunca YM, Basak F. In vitro evaluation of matched-taper single-cone obturation with a fluid filtration method. *J Can Dent Assoc.* 2009;75(2):123.
328. Aguiar CM, Mendes Dde A, Camara AC, Figueiredo AP. Assessment of canal walls after biomechanical preparation of root canals instrumented with Protaper Universal rotary system. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(6):590-5.
329. Donnermeyer D, Schafer E, Burklein S. Real-time Intracanal Temperature Measurement During Different Obturation Techniques. *J Endod.* 2018;44(12):1832-6.
330. Kharouf N, Hemmerle J, Haikel Y, Mancino D. Technical Quality of Root Canal Filling in Preclinical Training at Strasbourg University Using Two Teaching Protocols. *Eur J Dent.* 2019;13(4):521-6.
331. Buchanan LS. Continuous wave of condensation technique. *Endod Prac.* 1998;1:7-10, 3-6, 8.
332. Buchanan LS. Filling root canal systems with centered condensation: concepts, instruments, and techniques. *Dent Today.* 2004;23(11):102, 4, 6 passim.
333. Reynolds JZ, Augsburg RA, Svoboda KKH, Jalali P. Comparing dentinal tubule penetration of conventional and 'HiFlow' bioceramic sealers with resin-based sealer: An in vitro study. *Aust Endod J.* 2020;46(3):387-93.
334. De-Deus G, Brandao MC, Leal F, Reis C, Souza EM, Luna AS, et al. Lack of correlation between sealer penetration into dentinal tubules and sealability in nonbonded root fillings. *Int Endod J.* 2012;45(7):642-51.
335. Eid D, Medioni E, De-Deus G, Khalil I, Naaman A, Zogheib C. Impact of Warm Vertical Compaction on the Sealing Ability of Calcium Silicate-Based Sealers: A Confocal Microscopic Evaluation. *Materials (Basel).* 2021;14(2).

336. Turkel E, Onay EO, Ungor M. Comparison of Three Final Irrigation Activation Techniques: Effects on Canal Cleanliness, Smear Layer Removal, and Dentinal Tubule Penetration of Two Root Canal Sealers. *Photomed Laser Surg.* 2017;35(12):672-81.
337. Amoroso-Silva PA, Guimarães BM, Marciano MA, Duarte MA, Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, et al. Microscopic analysis of the quality of obturation and physical properties of MTA Fillapex. *Microsc Res Tech.* 2014;77(12):1031-6.
338. Al-Hadlaq SM, Al-Jamhan A, Alsaheed T. Comparison of the single cone and cold lateral compaction techniques in sealing 0.04 taper root canal preparations. *Gen Dent.* 2010;58(5):e219-22.
339. Nica LM, Didilescu A, Rusu D, Bacila A, Stratul SI. Photomicrographic evaluation of the apical sealing capacity of three types of gutta-percha master cones: an in vitro study. *Odontology.* 2012;100(1):54-60.
340. Schäfer E, Köster M, Bürklein S. Percentage of gutta-percha-filled areas in canals instrumented with nickel-titanium systems and obturated with matching single cones. *J Endod.* 2013;39(7):924-8.
341. Li GH, Niu LN, Selem LC, Eid AA, Bergeron BE, Chen JH, et al. Quality of obturation achieved by an endodontic core-carrier system with crosslinked gutta-percha carrier in single-rooted canals. *J Dent.* 2014;42(9):1124-34.
342. Iglecias EF, Freire LG, de Miranda Candeiro GT, Dos Santos M, Antoniazzi JH, Gavini G. Presence of Voids after Continuous Wave of Condensation and Single-cone Obturation in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomography Analysis. *J Endod.* 2017;43(4):638-42.
343. Alshehri M, Alamri HM, Alshwaimi E, Kujan O. Micro-computed tomographic assessment of quality of obturation in the apical third with continuous wave vertical compaction and single match taper sized cone obturation techniques. *Scanning.* 2016;38(4):352-6.
344. Ortiz FG, Jimeno EB. Analysis of the porosity of endodontic sealers through micro-computed tomography: A systematic review. *J Conserv Dent.* 2018;21(3):238-42.
345. Bolles JA, He J, Svoboda KK, Schneiderman E, Glickman GN. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod.* 2013;39(5):708-11.
346. Generali L, Cavani F, Serena V, Pettenati C, Righi E, Bertoldi C. Effect of Different Irrigation Systems on Sealer Penetration into Dentinal Tubules. *J Endod.* 2017;43(4):652-6.
347. Oksan T, Aktener BO, Sen BH, Tezel H. The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1993;26(5):301-5.
348. Khaord P, Amin A, Shah MB, Uthappa R, Raj N, Kachalia T, et al. Effectiveness of different irrigation techniques on smear layer removal in apical thirds of mesial root canals of permanent mandibular first molar: A scanning electron microscopic study. *J Conserv Dent.* 2015;18(4):321-6.
349. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod.* 2010;36(4):703-7.
350. Atmeh AR, Hadis M, Camilleri J. Real-time chemical analysis of root filling materials with heating: guidelines for safe temperature levels. *Int Endod J.* 2020;53(5):698-708.
351. Ribeiro RG, Marchesan MA, Silva RG, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Dentin permeability of the apical third in different groups of teeth. *Braz Dent J.* 2010;21(3):216-9.
352. Eliot C, Hatton JF, Stewart GP, Hildebolt CF, Jane Gillespie M, Gutmann JL. The effect of the irrigant QMix on removal of canal wall smear layer: an ex vivo study. *Odontology.* 2014;102(2):232-40.

353. Piai GG, Duarte MAH, Nascimento ALD, Rosa RAD, So MVR, Vivan RR. Penetrability of a new endodontic sealer: A confocal laser scanning microscopy evaluation. *Microsc Res Tech.* 2018;81(11):1246-9.
354. Atmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *J Dent Res.* 2012;91(5):454-9.

11. Anexos

Anexo 1. Informe favorable del comité de ética



INFORME DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALENCIA SAN VICENTE MÁRTIR (CEI).

Dra. Mar Aranda Jurado, Secretaria del Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir

Certifico que:

Ha tenido entrada en la reunión del Comité de Ética de la Investigación (CEI) de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir en su reunión, de fecha **19 de noviembre de 2020**, la solicitud de evaluación del proyecto de investigación, relacionado a continuación:

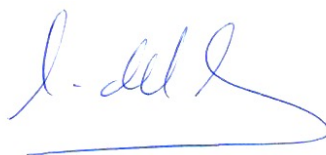
Título: "Estudio de la capacidad de penetración tubular de cemento sellador endodóncico usando 7 técnicas de obturación endodóncica: estudio con microscopio de láser confocal"

Código del proyecto: **UCV/2019-2020/001**

Investigador Principal: **Alberto Casino Alegre**

El Comité de Ética de la Investigación ha acordado **informar favorablemente el mismo**.

Valencia, 19 de noviembre de 2020.

A handwritten signature in blue ink, which appears to be "M. Aranda Jurado".

Mar Aranda Jurado
Secretaria del Comité de Ética de la Investigación

Anexo 2. Prueba de Levene (Área de penetración)

Prueba de homogeneidad de varianzas

Área de penetración

Tercio	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p-valor
Coronal	2,473	2	203	0,025
Medio	3,195	6	203	0,005
Apical	4,858	6	203	0,000

Anexo 3. Pruebas robustas de comparación de Welch (Área de penetración)

Pruebas robustas de igualdad de las medias

Área de penetración		Estadístico	gl1	gl2	p-valor
Tercio coronal	Welch	14,762	6	89,619	0,000
Tercio medio	Welch	10,329	6	88,721	0,000
Tercio apical	Welch	2,959	6	89,470	0,011

a. Distribuidos en F asintóticamente.

Anexo 4. Pruebas e comparación múltiple de Games-Howell (Área de penetración)

Comparaciones múltiples									
Variable dependiente: Área penetración									
(J)									
Sistema de obturación endodóncica radicular									
Tercio	(I) Sistema de obturación endodóncica radicular		Onda cont-guta conv	Onda cont-guta bioc	Guttacore	Cond lateral	Vert-guta conv	Vert-guta bioc	Cono único
Coronal	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		-1,02E+06	3,50E+06	5,57E+06	-2,83E+06	-1,08E+06	2,96E+06
		p-valor		0,986	0,285	0,000	0,412	0,985	0,378
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	1,02E+06		2,48E+06	6,60E+06	-1,80E+06	-5,65E+04	3,98E+06
		p-valor	0,986		0,691	0,000	0,858	1,000	0,097
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	3,50E+06	2,48E+06		9,08E+06	6,75E+05	2,42E+06	6,46E+06
		p-valor	0,285	0,691		0,000	1,000	0,745	0,005
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-5,57E+06	-6,60E+06	9,08E+06		-8,40E+06	-6,65E+06	-2,62E+06
		p-valor	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,375
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	2,83E+06	1,80E+06	6,75E+05	8,40E+06		1,75E+06	5,78E+06
		p-valor	0,412	0,858	1,000	0,000		0,895	0,006
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	1,08E+06	5,65E+04	2,42E+06	6,65E+06	-1,75E+06		4,04E+06
		p-valor	0,985	1,000	0,745	0,000	0,895		0,114
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-2,96E+06	-3,98E+06	6,46E+06	2,62E+06	-5,78E+06	-4,04E+06	
		p-valor	0,378	0,097	0,005	0,375	0,006	0,114	
Medio	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		-1,40E+05	2,86E+05	3,36E+06	2,00E+05	4,37E+05	2,75E+06
		p-valor		1,000	1,000	0,001	1,000	0,999	0,023
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	1,40E+05		1,46E+05	3,50E+06	3,40E+05	5,77E+05	2,89E+06
		p-valor	1,000		1,000	0,001	1,000	0,994	0,021
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	2,86E+05	1,46E+05		3,65E+06	4,86E+05	7,23E+05	3,04E+06
		p-valor	1,000	1,000		0,006	0,999	0,991	0,049
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-3,36E+06	-3,50E+06	3,65E+06		-3,16E+06	-2,92E+06	-6,05E+05
		p-valor	0,001	0,001	0,006		0,001	0,000	0,928
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	-2,00E+05	-3,40E+05	4,86E+05	3,16E+06		2,37E+05	2,55E+06
		p-valor	1,000	1,000	0,999	0,001		1,000	0,032
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	-4,37E+05	-5,77E+05	7,23E+05	2,92E+06	-2,37E+05		2,32E+06
		p-valor	0,999	0,994	0,991	0,000	1,000		0,023
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-2,75E+06	-2,89E+06	3,04E+06	6,05E+05	-2,55E+06	-2,32E+06	
		p-valor	0,023	0,021	0,049	0,928	0,032	0,023	
Apical	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		6,35E+04	3,45E+05	6,30E+05	3,88E+05	6,25E+05	7,93E+05
		p-valor		1,000	0,917	0,244	0,801	0,233	0,046
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	-6,35E+04		2,82E+05	5,67E+05	3,24E+05	5,62E+05	7,29E+05
		p-valor	1,000		0,965	0,332	0,892	0,319	0,041
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	-3,45E+05	-2,82E+05		2,85E+05	4,23E+04	2,80E+05	4,47E+05
		p-valor	0,917	0,965		0,879	1,000	0,874	0,416
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-6,30E+05	-5,67E+05	2,85E+05		-2,42E+05	-4,88E+03	1,63E+05
		p-valor	0,244	0,332	0,879		0,865	1,000	0,954
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	-3,88E+05	-3,24E+05	4,23E+04	2,42E+05		2,38E+05	4,05E+05
		p-valor	0,801	0,892	1,000	0,865		0,854	0,282
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	-6,25E+05	-5,62E+05	2,80E+05	4,88E+03	-2,38E+05		1,68E+05
		p-valor	0,233	0,319	0,874	1,000	0,854		0,932
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-7,93E+05	-7,29E+05	4,47E+05	1,63E+05	-4,05E+05	-1,68E+05	
		p-valor	0,046	0,041	0,416	0,954	0,282	0,932	

Anexo 5. Prueba de Levene (Penetración en el perímetro del conducto)

Prueba de homogeneidad de varianzas

Penetración de cemento en el perímetro del conducto

Tercio	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p-valor
Coronal	0,274	2	87	0,026
Medio	0,302	2	87	0,660
Apical	0,365	2	87	0,119

Anexo 6. Prueba Anova de un factor (Penetración en el perímetro del conducto)

ANOVA

Longitud Penetración cemento		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Tercio Medio	Inter-grupos	2,006E7	6	3343446,644	3,675	0,002
	Intra-grupos	1,847E8	203	909667,744		
	Total	2,047E8	209			
Tercio Apical	Inter-grupos	1,250E7	6	2082565,961	4,554	,000
	Intra-grupos	9,284E7	203	457353,834		
	Total	1,053E8	209			

Anexo 7. Test estadístico de Welch (Penetración en el perímetro del conducto)

	Estadístico ^a	gl1	gl2	p-valor
Welch	5,401	6	89,551	0,000

Anexo 8. Pruebas de comparación múltiple de Games-Howell y Bonferroni (Penetración en el perímetro del conducto)

Comparaciones múltiples									
Variable dependiente: Penetración de cemento en el perímetro del conducto									
		(J)							
		Sistema de obturación endodóncica radicular							
Tercio	(I) Sistema de obturación endodóncica radicular		Onda cont-guta conv	Onda cont-guta bioc	Guttacore	Cond lateral	Vert-guta conv	Vert-guta bioc	Cono único
Coronal	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		-5,62E+01	-1,57E+02	1,66E+02	-5,05E+02	-8,69E+02	8,21E+02
		p-valor		1,000	0,998	0,999	0,771	0,315	0,142
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	5,62E+01		-1,01E+02	2,22E+02	-4,49E+02	-8,12E+02	8,77E+02
		p-valor	1,000		1,000	0,998	0,873	0,430	0,127
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	1,57E+02	1,01E+02		3,23E+02	-3,48E+02	-7,11E+02	9,78E+02
		p-valor	0,998	1,000		0,952	0,881	0,380	0,003
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-1,66E+02	-2,22E+02	-3,23E+02		-6,71E+02	-1,03E+03	6,55E+02
		p-valor	0,999	0,998	0,952		0,550	0,186	0,473
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	5,05E+02	4,49E+02	3,48E+02	6,71E+02		-3,63E+02	1,33E+03
		p-valor	0,771	0,873	0,881	0,550		0,964	0,001
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	8,69E+02	8,12E+02	7,11E+02	1,03E+03	3,63E+02		1,69E+03
		p-valor	0,315	0,430	0,380	0,186	0,964		0,000
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-8,21E+02	-8,77E+02	-9,78E+02	6,55E+02	-1,33E+03	-1,69E+03	
		p-valor	0,142	0,127	0,003	0,473	0,001	0,000	
Medio	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		4,60E+01	7,02E+01	2,46E+02	9,69E+01	-5,85E+01	9,14E+02
		p-valor		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,006
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	-4,60E+01		2,42E+01	2,00E+02	5,09E+01	-1,04E+02	8,68E+02
		p-valor	1,000		1,000	1,000	1,000	1,000	0,011
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	-7,02E+01	-2,42E+01		1,76E+02	2,67E+01	-1,29E+02	8,44E+02
		p-valor	1,000	1,000		1,000	1,000	1,000	0,016
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-2,46E+02	-2,00E+02	-1,76E+02		-1,49E+02	-3,04E+02	6,68E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000		1,000	1,000	0,152
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	-9,69E+01	-5,09E+01	-2,67E+01	1,49E+02		-1,55E+02	8,17E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000	0,023
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	5,85E+01	1,04E+02	1,29E+02	3,04E+02	1,55E+02		9,72E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		0,002
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-9,14E+02	-8,68E+02	-8,44E+02	6,68E+02	-8,17E+02	-9,72E+02	
		p-valor	0,006	0,011	0,016	0,152	0,023	0,002	
Apical	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		3,81E+02	3,31E+02	4,67E+02	9,17E+01	6,39E+02	7,15E+02
		p-valor		0,636	1,000	0,170	1,000	0,007	0,001
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	-3,81E+02		-4,97E+01	8,60E+01	-2,89E+02	2,58E+02	3,34E+02
		p-valor	0,636		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	-3,31E+02	4,97E+01		1,36E+02	-2,39E+02	3,08E+02	3,83E+02
		p-valor	1,000	1,000		1,000	1,000	1,000	0,614
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-4,67E+02	-8,60E+01	-1,36E+02		-3,75E+02	1,72E+02	2,48E+02
		p-valor	0,170	1,000	1,000		0,690	1,000	1,000
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	-9,17E+01	2,89E+02	2,39E+02	3,75E+02		5,48E+02	6,23E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000	0,690		0,041	0,009
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	-6,39E+02	-2,58E+02	-3,08E+02	1,72E+02	-5,48E+02		7,54E+01
		p-valor	0,007	1,000	1,000	1,000	0,041		1,000
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-7,15E+02	-3,34E+02	-3,83E+02	2,48E+02	-6,23E+02	-7,54E+01	
		p-valor	0,001	1,000	0,614	1,000	0,009	1,000	

Anexo 9. Prueba de Levene (Porcentaje de penetración en el perímetro del conducto)

Prueba de homogeneidad de varianzas

Porcentaje de penetración

Tercio	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p-valor
Coronal	2,723	6	203	0,014
Medio	1,774	6	203	0,106
Apical	1,626	6	203	0,141

Anexo 10. Pruebas robustas de igualdad de las medias (Porcentaje de penetración en el perímetro del conducto)

Pruebas robustas de igualdad de las medias

Porcentaje de penetración		p-valor
Tercio coronal	Anova Welch	0,012
Tercio medio	Anova F	0,002
Tercio apical	Anova F	<0,001

Anexo 11. Pruebas de comparación múltiple de Games-Howell (Porcentaje de penetración en el perímetro del conducto)

Comparaciones múltiples									
Variable dependiente: Porcentaje penetración									
(J)									
Sistema de obturación endodóncica radicular									
(I)	(I)								
Tercio	Sistema de obturación endodóncica radicular		Onda cont-guta conv	Onda cont-guta bioc	Guttacore	cond lateral	Vert-guta conv	Vert-guta bioc	Cono único
Coronal	Onda cont-guta conv	Dif.medias		-0,26	-5,78	1,99	-7,73	-5,96	16,63
		p-valor		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,196
	Onda cont-guta bioc	Dif.medias	0,26		-5,51	2,25	-7,47	-5,69	16,90
		p-valor	1,000		1,000	1,000	1,000	1,000	0,174
	Guttacore	Dif.medias	5,78	5,51		7,77	-1,95	-0,18	22,41
		p-valor	1,000	1,000		1,000	1,000	1,000	0,011
	Cond lateral	Dif.medias	-1,99	-2,25	-7,77		-9,72	-7,95	14,64
		p-valor	1,000	1,000	1,000		1,000	1,000	0,459
	Vert-guta conv	Dif.medias	7,73	7,47	1,95	9,72		1,78	24,36
		p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000	0,003
	Vert-guta bioc	Dif.medias	5,96	5,69	0,18	7,95	-1,78		22,59
		p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		0,010
	Cono único	Dif.medias	-16,63	-16,90	-22,41	-14,64	-24,36	-22,59	
		p-valor	0,196	0,174	0,011	0,459	0,003	0,01	
Medio	Onda cont-guta conv	Dif.medias		-1,07	-3,59	-1,12	-1,59	-9,36	22,95
		p-valor		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,058
	Onda cont-guta bioc	Dif.medias	1,07		-2,52	-0,06	-0,52	-8,29	24,01
		p-valor	1,000		1,000	1,000	1,000	1,000	0,037
	Guttacore	Dif.medias	3,59	2,52		2,47	2,00	-5,77	26,53
		p-valor	1,000	1,000		1,000	1,000	1,000	0,012
	Cond lateral	Dif.medias	1,12	0,06	-2,47		-0,47	-8,24	24,07
		p-valor	1,000	1,000	1,000		1,000	1,000	0,036
	Vert-guta conv	Dif.medias	1,59	0,52	-2,00	0,47		-7,77	24,54
		p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000	0,029
	Vert-guta bioc	Dif.medias	9,36	8,29	5,77	8,24	7,77		32,30
		p-valor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		0,001
	Cono único	Dif.medias	-22,95	-24,01	-26,53	-24,07	-24,54	-32,30	
		p-valor	0,058	0,037	0,012	0,036	0,029	0,001	
Apical	Onda cont-guta conv	Dif.medias		13,17	2,06	20,79	-4,38	23,08	33,24
		p-valor		1,000	1,000	0,374	1,000	0,181	0,004
	Onda cont-guta bioc	Dif.medias	-13,17		-11,11	7,62	-17,55	9,92	20,08
		p-valor	1,000		1,000	1,000	0,945	1,000	0,463
	Guttacore	Dif.medias	-2,06	11,11		18,73	-6,44	21,03	31,19
		p-valor	1,000	1,000		0,683	1,000	0,348	0,009
	Cond lateral	Dif.medias	-20,79	-7,62	-18,73		-25,17	2,30	12,46
		p-valor	0,374	1,000	0,683		0,089	1,000	1,000
	Vert-guta conv	Dif.medias	4,38	17,55	6,44	25,17		27,47	37,62
		p-valor	1,000	0,945	1,000	0,089		0,039	0,001
	Vert-guta bioc	Dif.medias	-23,08	-9,92	-21,03	-2,30	-27,47		10,16
		p-valor	0,181	1,000	0,348	1,000	0,039		1,000
	Cono único	Dif.medias	-33,24	-20,08	-31,19	-12,46	-37,62	-10,16	
		p-valor	0,004	0,463	0,009	1,000	0,001	1,000	

Anexo 12. Prueba de Levene (Profundidad máxima de penetración del cemento)

Prueba de homogeneidad de varianzas

Profundidad máxima de penetración del cemento

Tercio	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p-valor
Coronal	0,961	6	203	0,453
Medio	1,311	6	203	0,253
Apical	0,845	6	203	0,537

Anexo 13. Prueba Anova de un factor (Profundidad máxima de penetración del cemento)

ANOVA

Profundidad máxima		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Tercio Coronal	Inter-grupos	2,761E7	6	4602248,820	12,637	0,000
	Intra-grupos	7,393E7	203	364189,967		
	Total	1,015E8	209			
Tercio Medio	Inter-grupos	1,651E7	6	2751267,169	7,654	0,000
	Intra-grupos	7,297E7	203	359469,623		
	Total	8,948E7	209			
Tercio Apical	Inter-grupos	2209523,661	6	368253,944	2,014	0,065
	Intra-grupos	3,712E7	203	182834,515		
	Total	3,932E7	209			

Anexo 14. Pruebas de comparación múltiple de Bonferroni (Profundidad máxima de penetración del cemento)

Comparaciones múltiples									
Variable dependiente: Profundidad máxima									
		(J)							
		Técnica de obturación endodóncica radicular							
Tercio	(I) Técnica de obturación endodóncica radicular		Onda cont-guta conv	Onda cont-guta bioc	Guttacore	Cond lateral	Vert-guta conv	Vert-guta bioc	Cono único
Coronal	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		-7,00E+01	-2,79E+02	8,29E+02	-3,03E+02	-1,32E+02	2,28E+02
		p-valor		1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	7,00E+01		-2,09E+02	8,99E+02	-2,33E+02	-6,18E+01	2,98E+02
		p-valor	1,000		1,000	0,000	1,000	1,000	1,000
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	2,79E+02	2,09E+02		1,11E+03	-2,40E+01	1,47E+02	5,07E+02
		p-valor	1,000	1,000		0,000	1,000	1,000	0,028
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-8,29E+02	-8,99E+02	-1,11E+03		-1,13E+03	-9,61E+02	-6,01E+02
		p-valor	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,003
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	3,03E+02	2,33E+02	2,40E+01	1,13E+03		1,71E+02	5,31E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000	0,000		1,000	0,016
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	1,32E+02	6,18E+01	-1,47E+02	9,61E+02	-1,71E+02		3,60E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000		0,460
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-2,28E+02	-2,98E+02	-5,07E+02	6,01E+02	-5,31E+02	-3,60E+02	
		p-valor	1,000	1,000	0,028	0,003	0,016	0,460	
Medio	Onda cont-guta conv	Dif. medias (I-J)		-7,22E+01	-1,18E+01	5,95E+02	-2,43E+01	-1,42E+02	5,28E+02
		p-valor		1,000	1,000	0,003	1,000	1,000	0,016
	Onda cont-guta bioc	Dif. medias (I-J)	7,22E+01		6,04E+01	6,67E+02	4,78E+01	-7,01E+01	6,00E+02
		p-valor	1,000		1,000	0,001	1,000	1,000	0,003
	Guttacore	Dif. medias (I-J)	1,18E+01	-6,04E+01		6,07E+02	-1,25E+01	-1,30E+02	5,40E+02
		p-valor	1,000	1,000		0,003	1,000	1,000	0,013
	Cond lateral	Dif. medias (I-J)	-5,95E+02	-6,67E+02	-6,07E+02		-6,19E+02	-7,37E+02	-6,70E+01
		p-valor	0,003	0,001	0,003		0,002	0,000	1,000
	Vert-guta conv	Dif. medias (I-J)	2,43E+01	-4,78E+01	1,25E+01	6,19E+02		-1,18E+02	5,52E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000	0,002		1,000	0,009
	Vert-guta bioc	Dif. medias (I-J)	1,42E+02	7,01E+01	1,30E+02	7,37E+02	1,18E+02		6,70E+02
		p-valor	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000		0,000
	Cono único	Dif. medias (I-J)	-5,28E+02	-6,00E+02	-5,40E+02	6,70E+01	-5,52E+02	-6,70E+02	
		p-valor	0,016	0,003	0,013	1,000	0,009	0,000	

Intratubular penetration ability in the canal perimeter using HiFlow bioceramic sealer with warm obturation techniques and single cone

Alberto Casino-Alegre ^{1,2}, Susana Aranda-Verdú ¹, Jose-Ignacio Zarzosa-López ¹, Jorge Rubio-Climent ¹, Eliseo Plasencia-Alcina ¹, Antonio Pallarés-Sabater ¹

¹ Department of Endodontics and Restorative Dentistry, School of Medicine and Dentistry, Catholic University of Valencia, Quevedo 2, 46001 Valencia, Spain

² Doctoral School, Catholic University of Valencia, 46001 Valencia, Spain

Correspondence:
Plaça de la Ciutat de Bruges, 6
46001 València, Valencia
casino_trl@hotmail.com

Received: 16/06/2022
Accepted: 17/07/2022

Casino-Alegre A, Aranda-Verdú S, Zarzosa-López JI, Rubio-Climent J, Plasencia-Alcina E, Pallarés-Sabater A. Intratubular penetration ability in the canal perimeter using HiFlow bioceramic sealer with warm obturation techniques and single cone. J Clin Exp Dent. 2022;14(8):e639-45.

Article Number: 59815 <http://www.medicinaoral.com/odo/indice.htm>
© Medicina Oral S. L. C.I.F. B 96689336 - eISSN: 1989-5488
eMail: jced@jced.es
Indexed in:
PubMed
PubMed Central® (PMC)
Scopus
DOI® System

Abstract

Background: The aim of this paper was to evaluate the intratubular penetration percentage in the perimeter of the canals of the calcium silicate-based sealer HiFlow, using three warm obturation techniques, continuous wave (CW) and vertical condensation (VC) with two different types of gutta-percha (conventional (NG) and bioceramic-coated (BG), GuttaCore (GC) and single cone (SC) with BG in different root thirds.

Material and methods: 180 human teeth with a single root were selected including incisors, canines and premolars were prepared and randomly divided into six groups (n=30). Teeth were filled using a bioceramic sealer TotalFill BC Sealer HiFlow (HiFlow) and two different types of gutta-percha, with CW, VC and GC techniques, the teeth in the control group were filled with SC technique and BG gutta-percha. The teeth were sectioned and evaluated as one-third portions in each case under a confocal laser microscope. The penetration ability in the canal's perimeter was carried out with the Autocad® programme. Data was analyzed using Levene's test ($p < 0,05$), ANOVA test ($p < 0,05$), Welch's comparison test ($p < 0,05$), Games-Howell multiple comparison test ($p < 0,05$), Bonferroni test ($p < 0,05$).

Results: The percentages relative to penetration was higher in the warm obturation techniques than the SC in all thirds evaluated. Games-Howell test ($p < 0,05$) showed up significant differences in multiple comparisons. There was greater penetration in the perimeter of the canals in the coronal third than in the apical third in all of the techniques.

Conclusions: The warm obturation techniques (CW, VC and GC) generated a greater intratubular penetration percentage in the canal perimeter of the sealer than the single cone in all thirds.

Key words: HiFlow, calcium silicate-based sealer, confocal laser microscope, dentinal tubules.

Introduction

The complete sealing and filling of the root canal system are essential because after chemomechanical preparation, the presence of microorganisms is detected. Sealers fill the irregularities of the root canal system and must therefore be applied. Furthermore, the sealing capacity is just as important as the antibacterial effect. The antibacterial effect of the bioceramic sealers may be achieved by direct contact action or a localized burial process; it is essential hence to distribute the sealer along the perimeter of the canal. Additionally, the use of a sealer creates a bond between the gutta-percha and the root dentine (1).

Bioceramic sealers boost the dentine remineralization processes, present acceptable cytotoxicity levels and offer a desirable degree of intratubular penetration (2). They are not prone to shrinkage, and therefore so the sealing capacity increases. In the work by Trope *et al.* (3), they detected evidence of expansion of bioceramic sealers in the setting reaction; they are characterized by having the ability to chemically bond to the dentine, so leakage decreases (4).

In the presence of biological fluids, calcium and phosphate ions present in the EndoSequence BC Sealer® (BC Sealer) may precipitate to form apatite (5). This ability is responsible for their bioactivity and excellent sealing capability (6). They also have antibacterial properties due to their high pH (7). The composition of the TotalFill BC Sealer HiFlow® (HiFlow) premixed calcium silicate-based sealers are made up of zirconium oxide, tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium hydroxide and fillers (8).

The intratubular penetration of the bioceramic sealer could generate a micromechanical interlock within the root dentine. In addition, the moisture that remains in the dentinal tubules could trigger their setting reaction with the production of hydroxyapatite, thus creating the aforementioned chemical bond with the root dentine (9). The micromechanical interlock and the chemical bond improve the resistance to any separation of the filling material and probably strengthens the root to prevent fractures (10).

Recently, the behaviour of the bioceramic sealers has been investigated when they have been exposed to heat application. The chemophysical properties were investigated during or shortly after heat exposure (11). While the physical properties of the new bioceramic sealer HiFlow was not adversely affected by heat, a negative modification of the properties in the older bioceramic sealers was observed (12).

The bioceramic-coated gutta-percha points (BG) is a modification of the inner composition of the gutta-percha cone and the coating of the outer surface with calcium silicate nanoparticles. According to the manufacturer, these types of points of gutta-percha should be used together with a bioceramic sealer.

The aim of this paper was to evaluate the intratubular penetration percentage in the perimeter of the canals of the calcium silicate-based sealer HiFlow, using three warm obturation techniques, continuous wave (CW) and vertical condensation (VC) with two different types of gutta-percha (conventional (NG) and BG), GuttaCore (GC) and single cone (SC) with BG in different root thirds. The null hypothesis states there are no differences between the intratubular penetration percentage in the perimeter of the canals obtained for each of the obturation techniques.

Material and Methods

This piece of research was approved by the Research Ethics Committee of UCV, (Registration number: UCV/2019-2020/001.).

-Selection of samples

To carry out the study, 180 human teeth with a single root were selected (including incisors, canines and premolars). The teeth were extracted for periodontal reasons. Roots with acute curvatures, immature apex, resorption, fissures, calcification, previous endodontic treatment or initial apical sizes larger than 15 were rejected. After extraction, the teeth were immersed for one hour in a 5.25% sodium hypochlorite solution after which the root surfaces were cleaned with a Gracey® 1-2 curette (Hu-Friedy, USA) and then stored in a saline solution.

Root canal preparation

Two preoperative X-rays were taken in two views to check the presence of a single canal. Buccolingual and mesiodistal parallel radiographs were obtained for each tooth. After opening the root canal system with a tapered cone burr (Komet, Lemgo, Germany) and constant irrigation, the canal was located with a DG16® endodontic probe (Hu-Friedy, USA). The root of the clinical crown was separated at the amelocemental junction with a handpiece diamond disc and water cooling; a size 10 or 15 K file was then introduced into the canal space, the working length (WL) was established 0.5 mm from the apical foramen by visual observation.

All canals were prepared with Protaper Gold® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) according to the producer's instructions. The shaping files S1 (250 rpm and 3 Ncm) and S2 (250 rpm and 1 Ncm) were used with circumferential movements and brushing at the working length, while the finishing files F1 (250 rpm and 1.5 Ncm) and F2 (250 rpm and 2.5 Ncm), were used with a pecking motion with the Gold Reciproc™ motor (VDW, Munich, Germany). After each file was used, the canal was flushed out with 5.25% NaOCl solution. The permeability of the canals was checked by inserting a size 10 file through the apical foramen after instrumentation was complete.

As the final irrigation protocol, canals were irrigated for 1 minute with 5 ml of 5.25% sodium hypochlorite, 1 mi-

nute with 5 ml of 17% EDTA, and 30 seconds with 5 ml of chitosan-hydroxyapatite precursor, 10 ml of saline solution was used for a final flush out and also used in the established order of different irrigants (13,14). The irrigants were activated using the EDDY® sonic tip system (VDW, München, Germany) with Air Scaler. The canals were dried with F2 paper tips. This chemomechanical sample preparation procedure was common denominator, regardless of the obturation technique used.

-Obturation of the root canals

0,1% of Rhodamine BTM (Sigma-Aldrich Corp., USA) was added to the bioceramic sealer in relation to the weight for its subsequent observation through the confocal laser microscope, thanks to the fluorescent property of the dye.

The samples were then randomly divided into 6 experimental groups (n=30). The samples were sealed with the different obturation techniques set forth as follows:

- Group 1: SC with TotalFill BC Points® BG and HiFlow.

- Group 2: GC technique with HiFlow.

- Group 3: CW technique with Protaper F2® gutta-percha, NG pellets and HiFlow.

The teeth were filled using the CW technique, designed by Buchanan (15). The plugger was checked with the rubber stopper positioned at less than 4 mm from the working length. The shutter unit used was E&Q Master® (Meta Biomed, Chalfont, PA, USA), at a temperature of 220°C for the hot plugger and a temperature of 200°C corresponding to the warm gutta-percha injection unit.

- Group 4: CW technique with TotalFill BC Points® BG, BG pellets and HiFlow.

- Group 5: VC technique with Protaper F2® gutta-percha, NG pellets and HiFlow.

The teeth were filled using the VC technique, designed by Schilder. We use the System-B® obturation unit (Sybron Dental, Orange, CA, USA) at a temperature of 100°C in the hot plugger, removing 2-3mm portions of

gutta-percha and condensing it until reaching 4mm of the working length, and a temperature of 200°C for the warm gutta-percha injection unit.

- Group 6: VC technique with TotalFill BC Points® BG, BG pellets and HiFlow®.

-Specimen preparation

Once all the samples were sealed, they were stored at 37°C and 100% humidity in a laboratory incubator for 14 days to allow complete sealer setting. The root was divided into three parts, taking a sample from each third: the coronal, middle and apical third (the apical third was taken by subtracting a length of two millimetres from the root apex). Horizontal cuts were made using a 0,3 mm diamond disc handpiece with water cooling (16), 1 mm thick slices were then obtained; the slices were polished with Soft Lex discs (3M (™) ESPE (™) St. Paul, MN, USA). After observation with the confocal laser microscope (Leica TCS SP8 Confocal Microscope) and the 5x object lens, photographs of each of the samples were taken for analysis and studied.

The intratubular penetration percentage in the perimeter of the canals of the sealer were carried out with AutoCad® Software from the images obtained and collected in a data sheet. Firstly, each image was scaled to 500 µm in order to obtain a correct measurement of all its elements. The appropriate AutoCad tool function was applied to the perimeter of the canals to obtain the intratubular penetration percentage (Fig. 1). The perimeter of the canal with tubular penetration was divided by the total canal perimeter and multiplied by 100 (17).

All measurements were recorded by one of the authors. In case of doubt on first viewing, the sample was polished and a new image was obtained. All data was recorded, and then analyzed.

-Statistical analysis

The statistical analysis of the data collected for the present study was carried out using SPSS 23 software using a confidence level of 95% and considering them

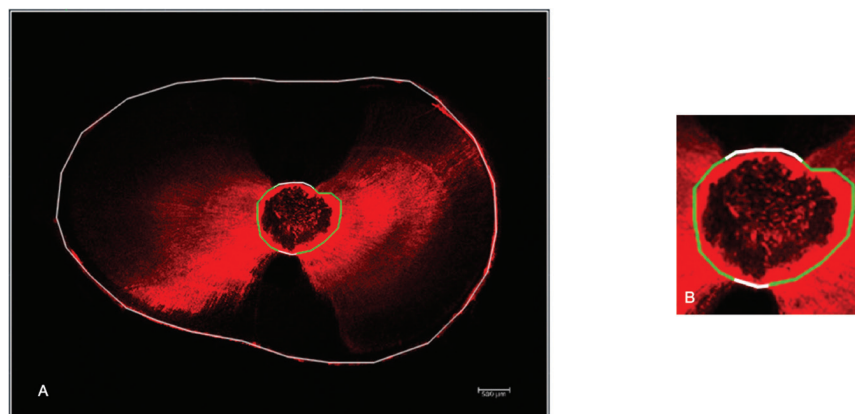


Fig. 1: A. The external White line outlines the tooth. B. It denotes the perimeter of the canal; in the White lines there is no evidence of sealer penetration. In the Green lines there is sealer penetration.

statistically significant ($p < 0,05$). As the sample size is sufficiently large, ($n=30$), we used parametric methods of comparison. Levene's test, ANOVA test (middle and apical third), Welch's comparison test (coronal third), Games-Howell multiple comparison test (coronal third), Bonferroni test (middle and apical third) were used to evaluate the percentage of sealer penetration in the canal perimeter.

Results

The study showed the average of intratubular penetration percentage in the perimeter of the canals of the sealer (Table 1). Figure 2 demonstrated the representative samples of confocal images of the different groups and thirds.

The results of Levene's test (Table 2) showed that the middle ($p = 0,106$) and apical ($p = 0,141$) third was greater than 0,05. For this reason, we used the ANOVA test (Table 3) in order to study the differences between the intratubular penetration percentage of each technique. In the coronal third ($p = 0,014$) we used Welch's comparison test (Table 3).

In all thirds ($p < 0,05$), there was a statistical difference between at least two of the obturation techniques. In order to study these differences, we used the Games-Howell multiple comparison test (Table 4) in the coronal third. In the middle and apical third, we used the Bonferroni test (Table 4).

Table 1: Average of intratubular penetration percentage in the perimeter of the canals (%).

DESCRIPTIVES			
Third	Obturation technique	N	%
CORONAL	SC-BG	30	66,52
	GC	30	88,93
	CW-NG	30	83,15
	CW-BG	30	83,41
	VC-NG	30	90,88
	VC-BG	30	89,11
MIDDLE	SC-BG	30	46,13
	GC	30	72,67
	CW-NG	30	69,08
	CW-BG	30	70,14
	VC-NG	30	70,67
	VC-BG	30	78,44
APICAL	SC-BG	30	22,88
	GC	30	54,06
	CW-NG	30	56,12
	CW-BG	30	42,95
	VC-NG	30	60,50
	VC-BG	30	33,04

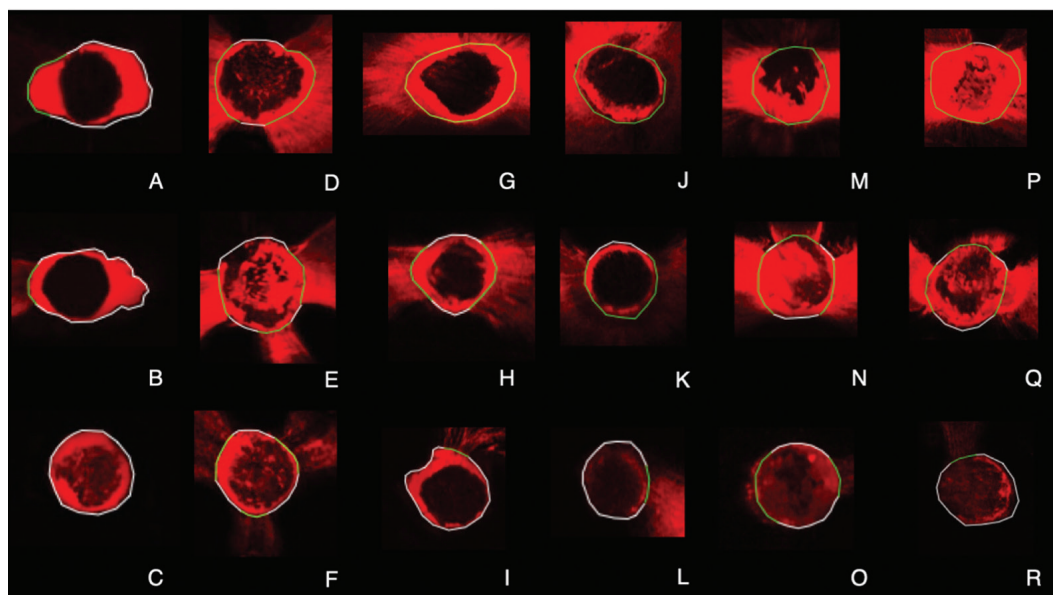


Fig. 2: Confocal images of representative sections. Single Cone: A (coronal), B (middle), C (apical). GuttaCore: D (coronal), E (middle), F (apical). Continuous wave with conventional gutta-percha: G (coronal), H (middle), I (apical). Continuous wave with bioceramic-coated gutta-percha: J (coronal), K (middle), L (apical). Vertical condensation with conventional gutta-percha: M (coronal), N (middle), O (apical). Vertical condensation with bioceramic-coated gutta-percha: P (coronal), Q (middle), R (apical).

Table 2: Levene’s test.

Third	Statistical Levene	P value
CORONAL	2,723	0,014
MIDDLE	1,774	0,106
APICAL	1,626	0,141

Table 3: Welch’s comparison test and ANOVA Test.

Percentage of intratubular penetration		P value
CORONAL	Welch	0,012
MIDDLE	Anova	0,002
APICAL	Anova	<0,001

root canal cannot be completely observed in the longitudinal plane (17).

The intratubular penetration percentage in the perimeter of the canals suggested a highly clinical significance level (20). This penetration performance provides a physical barrier to the entry or exit of micro-organisms into the canal regardless of the depth of penetration or the area penetrated. Furthermore, a bactericidal effect is created by contact action between the sealer and the bacteria through its antibacterial effect (21). These two properties (contact action and physical barrier) are favourable for the healing of the periapical lesion. The major contact surface of the sealer with the canal walls

Table 4: Games-Howell Test and Bonferroni Test.

Multiple comparison test								
Third	Obturation technique		Obturation technique					
			SC-BG	GC	CW-NG	CW-BG	VC-NG	VC-BG
Coronal	SC-BG	<i>p</i> -value		0,011	0,196	0,174	0,003	0,010
	GC	<i>p</i> -value	0,011		1,000	1,000	1,000	1,000
	CW-NG	<i>p</i> -value	0,196	1,000		1,000	1,000	1,000
	CW-BG	<i>p</i> -value	0,174	1,000	1,000		1,000	1,000
	VC-NG	<i>p</i> -value	0,003	1,000	1,000	1,000		1,000
	VC-BG	<i>p</i> -value	0,010	1,000	1,000	1,000	1,000	
Middle	SC-BG	<i>p</i> -value		0,012	0,058	0,037	0,029	0,001
	GC	<i>p</i> -value	0,012		1,000	1,000	1,000	1,000
	CW-NG	<i>p</i> -value	0,058	1,000		1,000	1,000	1,000
	CW-BG	<i>p</i> -value	0,037	1,000	1,000		1,000	1,000
	VC-NG	<i>p</i> -value	0,029	1,000	1,000	1,000		1,000
	VC-BG	<i>p</i> -value	0,001	1,000	1,000	1,000	1,000	
Apical	SC-BG	<i>p</i> -value		0,009	0,004	0,463	0,001	1,000
	GC	<i>p</i> -value	0,009		1,000	1,000	1,000	1,000
	CW-NG	<i>p</i> -value	0,004	1,000		1,000	1,000	1,000
	CW-BG	<i>p</i> -value	0,463	1,000	1,000		1,000	1,000
	VC-NG	<i>p</i> -value	0,001	1,000	1,000	1,000		1,000
	VC-BG	<i>p</i> -value	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	

In table 4, the bold type numbers indicate the statistical differences between the different obturation techniques.

Discussion

In the present study, we used the confocal laser microscope, since the preparation of specimens destined for the scanning electron microscope may lead to a loss of sealer and deformation of the sample (18).

Rhodamine B could be suitable with the bioceramic sealers, because the narrow amount (0.1%) used did not modify the sealer’s qualities (19). The sample cuts were performed in the horizontal plane as the dentine of the

determines the sealing of the root dentine (18). Few studies have assessed this parameter.

The results of our study showed a large percentage of penetration sealer in the warm obturation techniques compared to the SC technique. In general, the heat resulted in a positive effect in terms of penetration percentage. A statistical difference showed up in the different techniques although not in all cases. These varying results may be due to the different factors that affected the penetration ability of the sealer (root third, properties of the sealer, obturation technique, irrigation, instrumentation...).

Wang *et al.* (22) evaluated percentage sealer penetration with two different sealers (iRoot and AH Plus) and using the SC and VC techniques at 2-4 and 6 mm. There were no statistical differences between groups SC and AH Plus and VC with AH Plus and between the SC and VC groups with iRoot. At 2 mm, more penetrated segments of the root canal were observed in the iRoot groups than in the AH Plus groups. At the horizontal levels of 4 and 6 mm respectively, there were no statistically significant differences in the penetrated segment of root canal between these four groups. The differences with our outcomes may be due to the use of the specific techniques not being appropriate for these sealers. The study of Chen *et al.* (11) concluded that Endosequence BC sealer is not adequate for warm obturation techniques. In the study by Trope *et al.* (3) the resin sealer was observed to undergo shrinkage with the setting, so they were not suitable for the SC technique. The major apical diameter may have been influenced in the best access to the irrigants in the apical third and may have modified the results.

McMichael *et al.* (19) compared SC and CW technique with different sealers (BC Sealer, MTA Fillapex, NeoMTA Plus and QuickSet2). At 1 mm, the outcomes were lower in penetration percentage than at 5 mm. At the 5-mm level, there was no significant difference in percentage of sealer penetration between the VC or SC technique between any of the sealers. The difference with our results in the percentage of penetration may be due to the different instrumentation, the non-activation of the irrigants and the lower sample. In addition, the cuts were standardized at 5 mm in the study by McMichael; in our study however, the cuts were made by dividing the root into thirds. More outliers were measured for the SC technique than for the rest of the techniques in both studies.

Sealer penetration percentage was significantly higher, at the 5 mm distance (middle third) compared with the 1 mm (apical third) with the warm obturation technique. These outcomes fall in line with the findings of our study; an explanation may be that tubular density and diameter tend to decline in apical thirds. In addition, it is difficult to transport the irrigants to the apical third in order to remove the smear layer of the dentinal tubules. One of the interactions observed in our study was the so-called mineral infiltration zone (MIZ) which is a hybrid zone where hydroxyapatite recrystallisation occurs in dentine when a calcium silicate-based sealer is applied (23). These reactions were unexpectedly discovered when dentine tubules were converted into homogeneous structures due to by hydroxyapatite recrystallisation. However, such MIZ behaviour was not observed in all samples. MIZ has not been shown to positively or negatively affect the outcome of endodontic treatment (18). However, further studies would be required to determine the influence of MIZ on root canal treatment.

In some of the samples scanned by confocal laser microscopy, the penetration of the sealer into the dentinal tubules was not homogeneous. The varying directions of the dentinal tubules may affect the results (24). Sealer penetration was found to be higher in the buccolingual direction than in the mesiodistal direction, although not in all of the samples analyzed. This may be due to increased sclerosis in the dentinal tubules located on the mesial and distal sides of the canal lumen, with greater buccolingual than mesiodistal penetration observed. It is common in the single-root teeth over a broad age-range (25). Areas of sclerotic dentine are more common in the apical third (26).

The results of this study showed that the intratubular penetration percentages in the canal perimeter of the sealer, independently of the technique used, were greater in the coronal section compared to the apical section. One explanation for this finding could be due to a higher efficiency of irrigant administration and smear layer removal at the coronal levels. The smear layer sticks to the canal walls, forms physical barriers and creates contamination in the dentinal tubules, blocking sealer penetration (27). In addition, tubular diameter, density and number decrease at the apical levels, which explains the tendency for sealer penetration to decrease from the coronal to the apical region (20). In addition, the viscosity and flow of endodontic sealers may determine the efficiency with which they penetrate the dentinal tubules. Chen *et al.* (11) showed that HiFlow had a higher flow than BC Sealer at higher temperatures.

It is important to create an adequate glide path to disinfect properly before obturating the apical third. Due to the morphological characteristics of the tooth, it is difficult to deliver irrigant and sealer. We must consider whether the taper of the master apical file allows these minimum criteria for disinfection and obturation to be adequately met. Apical preparation using 2 sizes larger than the initial apical binding file with a taper of 4% is insufficient and results in significantly lower success rates compared to larger preparation sizes and taper (28). The sealers penetrated into the dentinal tubules can maintain their bactericidal effect (29) and therefore favourable for the healing of the periapical lesion.

In conclusion, within the limitations of this study, for each type of gutta-percha and technique, dentinal tubule penetration was higher in the coronal section than in the apical section. The warm obturation techniques (continuous wave, vertical condensation and Guttacore) showed more intratubular penetration percentage in the canal perimeter of the sealer than in the single cone in all of the thirds studied.

References

1. Nielsen BA, Beeler WJ, Vy C, Baumgartner JC. Setting times of Resilon and other sealers in aerobic and anaerobic environments. *J Endod.* 2006;32:130-2.

2. Vouzara T, Dimosiari G, Koulaouzidou EA, Economides N. Cytotoxicity of a New Calcium Silicate Endodontic Sealer. *J Endod.* 2018;44:849-52.
3. Trope M, Bunes A, Debelian G. Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endodontic Topics.* 2015;32:86-96.
4. Jardine AP, Rosa RA, Santini MF, Wagner M, So MV, Kuga MC, et al. The effect of final irrigation on the penetrability of an epoxy resin-based sealer into dentinal tubules: a confocal microscopy study. *Clin Oral Investig.* 2016;20:117-23.
5. Yadav S, Nawal RR, Chaudhry S, Talwar S. Assessment of Quality of Root Canal Filling with C Point, Guttacore and Lateral Compaction Technique: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. *Eur Endod J.* 2020;5:236-41.
6. Zamparini F, Siboni F, Prati C, Taddei P, Gandolfi MG. Properties of calcium silicate-monobasic calcium phosphate materials for endodontics containing tantalum pentoxide and zirconium oxide. *Clin Oral Investig.* 2019;23:445-57.
7. Lovato KF, Sedgley CM. Antibacterial activity of endosequence root repair material and proroot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2011;37:1542-6.
8. Antunes TBM, Janini ACP, Pelepenko LE, Abuna GF, Paiva EM, Sinhoreti MAC, et al. Heating stability, physical and chemical analysis of calcium silicate-based endodontic sealers. *Int Endod J.* 2021;54:1175-88.
9. Han L, Okiji T. Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *Int Endod J.* 2013;46:808-14.
10. Ghoneim AG, Lutfy RA, Sabet NE, Fayyad DM. Resistance to fracture of roots obturated with novel canal-filling systems. *J Endod.* 2011;37:1590-2.
11. Chen B, Haapasalo M, Mobuchon C, Li X, Ma J, Shen Y. Cytotoxicity and the Effect of Temperature on Physical Properties and Chemical Composition of a New Calcium Silicate-based Root Canal Sealer. *J Endod.* 2020;46:531-8.
12. Aksel H, Makowka S, Bosaid F, Guardian MG, Sarkar D, Azim AA. Effect of heat application on the physical properties and chemical structure of calcium silicate-based sealers. *Clin Oral Investig.* 2021;25:2717-25.
13. Zeng C, Willison J, Meghil MM, Bergeron BE, Cutler CW, Tay FR, et al. Antibacterial efficacy of an endodontic sonic-powered irrigation system: An in vitro study. *J Dent.* 2018;75:105-12.
14. Neelakantan P, Ounsi HF, Devaraj S, Cheung GSP, Grandini S. Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin. *Odontology.* 2019;107:142-9.
15. Buchanan LS. Continuous wave of condensation technique. *Endod Pract.* 1998;1:7-10, 3-6, 8 passim.
16. Faus-Llácer V, Collado-Castellanos N, Alegre-Domingo T, Dolz-Solsona M, Faus-Matoses V. Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: In vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2015;7:e299-303.
17. Eymirli A, Sungur DD, Uyanik O, Purali N, Nagas E, Cehreli ZC. Dentinal Tubule Penetration and Retreatability of a Calcium Silicate-based Sealer Tested in Bulk or with Different Main Core Material. *J Endod.* 2019;45:1036-40.
18. Jeong JW, DeGraft-Johnson A, Dorn SO, Di Fiore PM. Dentinal Tubule Penetration of a Calcium Silicate-based Root Canal Sealer with Different Obturation Methods. *J Endod.* 2017;43:633-7.
19. McMichael GE, Primus CM, Opperman LA. Dentinal Tubule Penetration of Tricalcium Silicate Sealers. *J Endod.* 2016;42:632-6.
20. Bolles JA, He J, Svoboda KK, Schneiderman E, Glickman GN. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod.* 2013;39:708-11.
21. Akcay M, Arslan H, Durmus N, Mese M, Capar ID. Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers Surg Med.* 2016;48:70-6.
22. Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One.* 2018;13:e0192248.
23. Atmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *J Dent Res.* 2012;91:454-9.
24. Aydin ZU, Ozyurek T, Keskin B, Baran T. Effect of chitosan nanoparticle, QMix, and EDTA on TotalFill BC sealers' dentinal tubule penetration: a confocal laser scanning microscopy study. *Odontology.* 2019;107:64-71.
25. Russell AA, Chandler NP, Hauman C, Siddiqui AY, Tompkins GR. The butterfly effect: an investigation of sectioned roots. *J Endod.* 2013;39:208-10.
26. Ribeiro RG, Marchesan MA, Silva RG, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Dentin permeability of the apical third in different groups of teeth. *Braz Dent J.* 2010;21:216-9.
27. Kuci A, Alacam T, Yavas O, Ergul-Ulger Z, Kayaoglu G. Sealer penetration into dentinal tubules in the presence or absence of smear layer: a confocal laser scanning microscopic study. *J Endod.* 2014;40:1627-31.
28. Fatima S, Kumar A, Andrabi S, Mishra SK, Tewari RK. Effect of Apical Third Enlargement to Different Preparation Sizes and Tapers on Postoperative Pain and Outcome of Primary Endodontic Treatment: A Prospective Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2021;47:1345-51.
29. Branstetter J, von Fraunhofer JA. The physical properties and sealing action of endodontic sealer cements: a review of the literature. *J Endod.* 1982;8:312-6.

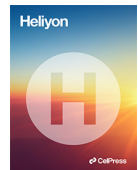
Conflict of interest

Non declared.



Contents lists available at ScienceDirect

Heliyon

journal homepage: www.cell.com/heliyon

Research article

Intratubular penetration capacity of HiFlow bioceramic sealer used with warm obturation techniques and single cone: A confocal laser scanning microscopic study



Alberto Casino Alegre^{a,b,*}, Susana Aranda Verdú^a, José Ignacio Zarzosa López^a,
Eliseo Plasencia Alcina^a, Jorge Rubio Climent^a, Antonio Pallarés Sabater^a

^a Department of Endodontics and Restorative Dentistry, School of Medicine and Dentistry, Catholic University of Valencia, Quevedo 2, 46001, Valencia, Spain

^b Doctoral School, Catholic University of Valencia, 46001, Valencia, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Bioceramic sealer
Confocal laser scanning microscopy
Tubule penetration
Warm gutta-percha techniques
Single cone

ABSTRACT

Objective: The aim of this paper was to evaluate the intratubular penetration area of a bioceramic sealer, using continuous wave (CW), vertical condensation (VC) with two different types of gutta-percha (conventional (NG) and bioceramic-coated (BG)) and single cone (SC) technique with BG gutta-percha, in different root thirds.

Methods: A total of 150 mature single-root human teeth (including incisors, canines and premolars) were prepared and randomly divided into five groups (n = 30). Teeth were filled using a bioceramic sealer (TotalFill BC Sealer HiFlow[®]) and two different types of gutta-percha, with CW and VC techniques, the teeth in the control group were filled with SC technique and BG gutta-percha. The teeth were sectioned and evaluated as one-third portions in each case under a confocal laser microscope. The penetration area measurements were carried out with the Autocad[®] programme. Data was analyzed using the one-factor ANOVA test (p < 0.05) and Post Hoc Test (p < 0.05).

Results: The ANOVA Test showed significant differences in the penetration areas of the five obturation techniques (P < 0.05). The Post Hoc Test exhibited significant differences in multiple comparisons (P < 0.05). There was more dentinal tubule penetration in the coronal third than in the apical third in all techniques.

Conclusions: The intratubular penetration of the bioceramic sealer was influenced by the obturation techniques tested, but not by the different gutta-percha tested. There was more penetration of sealer in the warm obturation techniques than the SC, regardless of the type of gutta-percha used.

1. Introduction

After chemomechanical preparation of the root canal in an endodontic procedure, the presence of microorganisms was detected [1, 2]. It is essential to prevent reinfection by creating an airtight seal of the canal system using obturation materials [3]. The use of a sealer is essential because it establishes a bond between the gutta-percha and the root dentine [4].

Bioceramic sealer penetration into dentinal tubules is essential in order to create a mechanical anchorage between the sealer and the dentinal tubules [5] and chemical hydroxyapatite formation [6]. In addition, it is used to eliminate biofilms and residual microorganisms either by contact action or by burial in the dentinal tubules [7, 8].

Previously, the usual root canal filling practice was to apply a considerable amount of gutta-percha and a small proportion of sealer [9]. Kim et al. [10] showed that the filling with bioceramic sealers used in warm obturation techniques required higher volumes of gutta-percha than single cone (SC) techniques. However, bioceramic sealers were manufactured for cold obturation techniques, in particular for the use in a SC technique [11]. A relatively high sealer proportion was no longer thought a disadvantage, as the biological and antibacterial properties of bioceramic sealers are believed to improve the success of the endodontic treatment. Due to the low condensation pressure of the gutta-percha and calcium silicate-based sealer during SC obturation, this technique is considered incapable of adequately filling any complicated root canal anatomy [12]. Warm obturation techniques were consequently developed to allow a better

* Corresponding author.

E-mail address: casino_trl@hotmail.com (A. Casino Alegre).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10388>

Received 1 December 2021; Received in revised form 8 April 2022; Accepted 15 August 2022

2405-8440/© 2022 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

three-dimensional obturation of root canal anatomy [12, 13], by heating and condensing the gutta-percha we achieve a better adaptation to the walls of the canal [9]. This results in a lower amount of sealer in the canal obturation [9]. However, the sealer is of paramount importance in sealing the dentinal tubules [14].

EndoSequence BC Sealer HiFlow[®] (HiFlow) (Brasseler USA[®], Savannah, GA, USA) is a bioceramic sealer developed to be heat-resistant [15]; it is similar to the EndoSequence BC Sealer[®] (BC Sealer) but with some modifications in its composition that make it more suitable for warm obturation techniques. HiFlow[®] has a lower viscosity than the original BC Sealer formulation. For an adequate setting of the sealer, the right level of humidity of the dentinal tubules is essential since the setting reaction of bioceramic materials is a process requiring several weeks [16]. The use of warm obturation technique may affect the chemophysical properties of the sealer and disturb the setting reaction. For this reason, it is essential to have a good grounding in the use of root obturation techniques with these bioceramic sealers. So far, no data is available addressing the long-term effects of heat treatment on bioceramic sealers [9].

EndoSequence BC Sealer[®] and EndoSequence BC Sealer HiFlow[®] have the same composition as TotalFill BC Sealer[®] (BC Sealer) (FKG Dentaire SA, La-Chaux-de-fonds, Switzerland) and TotalFill BC Sealer HiFlow[®] (HiFlow) [17]. The composition of the HiFlow premixed calcium silicate-based sealers are made up of zirconium oxide, tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium hydroxide and fillers [18].

Recently, the behaviour of other bioceramic sealers, such as BC Sealer or BioRoot RCS[®] (BR; Septodont, St. Maur-des-Fossés, France) has been investigated after exposure to heat. The chemophysical properties were investigated during or shortly after heat exposure [19, 20, 21, 22, 23]. While the physical properties of HiFlow were not adversely affected by heat, an increase in viscosity of the BioRoot RCS[®] and BC Sealer was found [22]. iRoot SP[®] (Innovative BioCeramix Inc., Vancouver, Canada) resulted in a reduced flow [24].

In the early 2000s, specialized manufacturers introduced root obturation techniques with the “monoblock” concept in which the gutta-percha, the sealer and the dentin generated a single unit [25]. Currently, there are few articles evaluating the penetration capacity of bioceramic sealer with warm obturation techniques using different types of gutta-percha. It seems that the design and development of bioceramic gutta-percha is aimed at the SC technique forming a “monoblock” obturation system in that it has a very similar composition to the gutta-percha and the bioceramic sealer. Most of the studies evaluated the likelihood of failure of these two materials, i.e. whether they separate when a certain force is applied, categorizing the failures as different types, namely: adhesive, cohesive and mixed types [17, 26].

The TotalFill BC filling system consists of TotalFill BC Points[®] bioceramic-coated (BG) gutta-percha and BC Sealer; the obturation system makes use of the moisture naturally present in the canal to start the setting reaction [27]. BC Sealer is biocompatible, osteogenic and offers zero shrinkage [28] and has even been observed to expand [6]. According to the manufacturer, the objective when the obturation system (TotalFill BC Points[®] and BC Sealer) is used with the SC, a fissure-free seal is created.

There is a general lack of information available concerning the capacity of tubule penetration of BC Sealer when used together with gutta-percha tips with different compositions (bioceramic or conventional) and different tapers (0.2–0.4–0.6–0.8).

The aim of this paper was to evaluate the intratubular penetration area of a calcium silicate-based sealer (HiFlow), using two warm obturation techniques, continuous wave (CW) and vertical condensation (VC) with two different types of gutta-percha (conventional (NG) and BG) and also SC technique with BG in different root thirds. The null hypothesis asserts there are no differences between the penetration areas obtained for each of the obturation techniques.

2. Materials and methods

This piece of research was approved by the Research Ethics Committee of UCV, (Registration number: UCV/2019-2020/001.).

2.1. Selection of samples

To carry out the study, 150 human teeth with a single root were selected (including incisors, canines and premolars). The teeth were extracted for periodontal reasons. Roots with acute curvatures, immature apex, resorption, previous endodontic treatment, calcification, fractures or initial apical sizes larger than 15 were rejected. After extraction, the teeth were immersed for one hour in a 5.25% sodium hypochlorite solution (NaOCl) after which the root surfaces were cleaned with a Gracey[®] 1-2 curette (Hu-Friedy, USA) and then stored in a saline solution.

2.2. Root canal preparation

Two preoperative X-rays were taken in two views to check the presence of a single canal. Buccolingual and mesiodistal parallel radiographs were obtained for each tooth. After opening the root canal system with a tapered cone burr (Komet, Lemgo, Germany) and constant irrigation, the canal was located with a DG16[®] endodontic probe (Hu-Friedy, USA). The root of the clinical crown was separated at the amelocemental junction with a handpiece diamond disc and water cooling; a size 10 or 15 K file was then introduced into the canal space, the working length (WL) was established 0.5 mm from the apical foramen by visual observation.

All canals were prepared with Protaper Gold[®] (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) according to the producer's instructions. The shaping files S1 (250 rpm and 3 Ncm) and S2 (250 rpm and 1 Ncm) were used with circumferential movements and brushing at the working length, while the finishing files F1 (250 rpm and 1.5 Ncm) and F2 (250 rpm and 2.5 Ncm), were used with a pecking motion with the Gold Reciproc[™] motor (VDW, Munich, Germany). After each file was used, the canal was flushed out with 5.25% NaOCl solution. The permeability of the canals was checked by inserting a size 10 file through the apical foramen after instrumentation was completed.

As the final irrigation protocol, canals were irrigated for 1 min with 5 ml of 5.25% NaOCl, 1 min with 5 ml of 17% EDTA, and 30 s with 5 ml of chitosan-hydroxyapatite precursor, 10 ml of saline solution was used for a final flush out and also used in the established order of different irrigants [29, 30]. The irrigants were activated using the EDDY[®] sonic tip system (VDW, München, Germany) with Air Scaler. The canals were dried with F2 paper tips. This chemomechanical sample preparation procedure was the common denominator, regardless of the obturation technique used.

2.3. Obturation of the root canals

0.1% of Rhodamine B[™] (Sigma-Aldrich Corp., USA) was added to the bioceramic sealer in relation to the weight for its subsequent observation through the confocal laser microscope, thanks to the fluorescent property of the dye.

The samples were then randomly divided into 5 experimental groups (n = 30). The samples were sealed with the different obturation techniques set forth as follows (Table 1).

2.4. Specimen preparation

Once all the samples were sealed, they were stored at 37 °C and 100% humidity in a laboratory incubator for 14 days to allow complete sealer setting. The root was divided into three parts at the dental laboratory of Catholic University of Valencia, taking a sample from each third: the coronal, middle and apical third (the apical third was taken by subtracting a length of two millimetres from the root apex). Horizontal cuts

Table 1. Groups and Description of the Study Design.

Number	Technique	Temperature	Sealer	Gutta-percha	Unit Obturation	Explanation
1.	Continuous wave technique	Hot plugger: 220 °C Warm gutta-percha injection unit: 200 °C	HiFlow	Protaper F2® gutta-percha, conventional gutta-percha pellets	E&Q Master® (Meta Biomed, Chalfont, PA, USA).	The teeth were filled using the technique designed by Buchanan. The plugger was checked with the rubber stopper positioned at less than 4 mm from the working length.
2.	Continuous wave technique	Hot plugger: 220 °C Warm gutta-percha injection unit: 200 °C	HiFlow	TotalFill BC Points® bioceramic-coated gutta-percha 25 (0.6), bioceramic gutta-percha pellets	E&Q Master® (Meta Biomed, Chalfont, PA, USA).	The teeth were filled using the technique designed by Buchanan. The plugger was checked with the rubber stopper positioned at less than 4 mm from the working length.
3.	Vertical condensation technique	Hot plugger: 100 °C Warm gutta-percha injection unit: 200 °C	HiFlow	Protaper F2® gutta-percha, conventional gutta-percha pellets	The System-B® obturation unit (Sybron Dental, Orange, CA, USA)	The teeth were filled using the technique designed by Schilder. The hot plugger was used to remove 2–3mm portions of gutta-percha and condensing it until reaching 4mm of the working length.
4.	Vertical condensation technique	Hot plugger: 100 °C Warm gutta-percha injection unit: 200 °C	HiFlow	TotalFill BC Points® bioceramic-coated gutta-percha 25 (0.6), bioceramic gutta-percha pellets	The System-B® obturation unit (Sybron Dental, Orange, CA, USA)	The teeth were filled using the technique designed by Schilder. The hot plugger was used to remove 2–3mm portions of gutta-percha and condensing it until reaching 4mm of the working length.
5.	Single cone	Hot plugger: 230 °C	HiFlow	TotalFill BC Points® bioceramic-coated gutta-percha 25 (0.6)	E&Q Master® (Meta Biomed, Chalfont, PA, USA).	The gutta-percha cone was inserted in the canal at working length with the sealer. It was then seared off with the hot plugger in the coronal third and compacted.

were made using a 0.3 mm diamond disc handpiece with water cooling [31], 1 mm thick slices were then obtained; the slices were polished with Soft Lex discs (3M (™) ESPE (™) St. Paul, MN, USA). After observation with the confocal laser microscope (Leica TCS SP8 Confocal Microscope) at the University of Valencia (unit of Central Service for Experimental Research (SCSIE)) and the 5x object lens, photographs of each of the samples were taken for analysis and studied (Figure 1).

The measurements of the penetration areas of the sealer were carried out with AutoCad® Software from the images obtained and collected in a data sheet. First, each image was scaled to 500 µm in order to obtain a correct measurement of all its elements. The appropriate AutoCad tool function was applied to the area of tubular sealer penetration and the canal area, to obtain the penetration area (Figure 2). The penetration area was calculated by adding the sealer penetration area in the tubules plus the canal area (mm²).

All measurements were recorded by one of the authors. In case of doubt on first viewing, the sample was polished, and a new image was then obtained for analysis. All data was recorded, and then analysed.

2.5. Statistical analysis

The statistical analysis of the data collected for the present study was carried out using SPSS 23 software using a confidence level of 95% and considering them statistically significant (p < 0.05). As the sample size is sufficiently large, (n = 30), we used parametric methods of comparison. The one-way ANOVA test was used to compare means and to determine the statistical and significant effect of the study variables (obturation techniques, heat and penetration of dentinal tubules) (Table 2 and Figure 3). The Post Hoc test revealed differences between groups (Table 3).

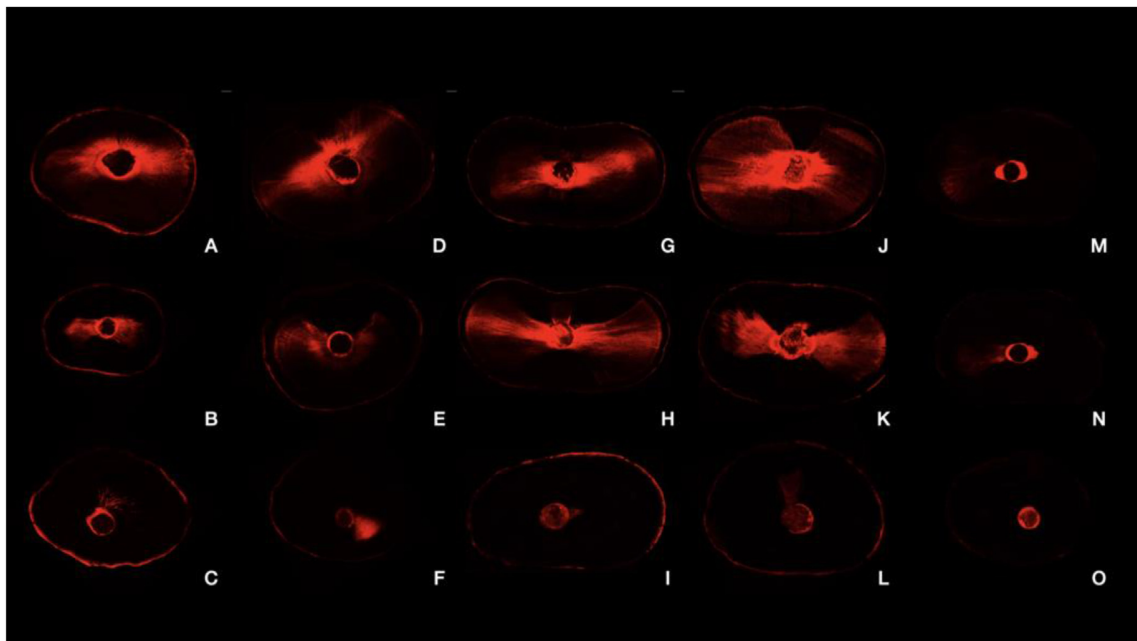


Figure 1. Continuous wave technique normal gutta-percha: A (coronal), B (middle), C (apical). Continuous wave technique bioceramic gutta-percha: D (coronal), E (middle), F (apical). Vertical condensation technique normal gutta-percha: G (coronal), H (middle), I (apical). Vertical condensation technique bioceramic gutta-percha: J (coronal), K (middle), L (apical). Single Cone: M (coronal), N (middle), O (apical).

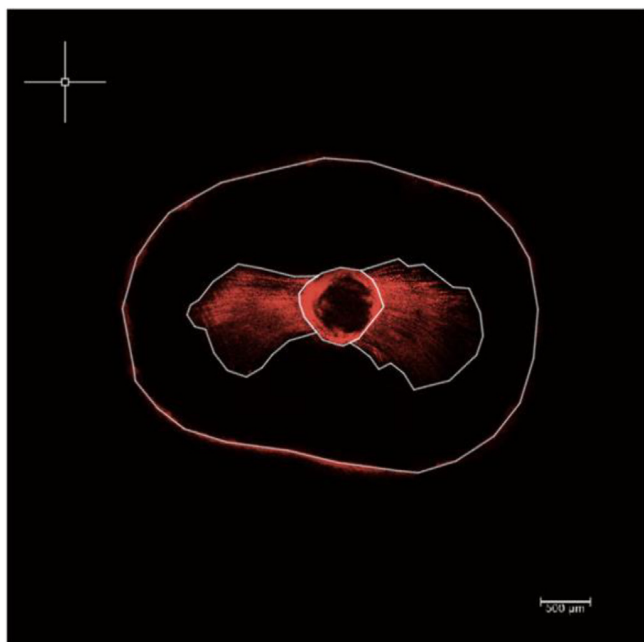


Figure 2. The white lines outline the tooth, the root canal, and penetration within the root canal as detected by the AutoCad Software.

Table 2. Penetration area of the sealer, showing means and *p* values (ANOVA Test).

Third	Obturation method	Mean (mm ²)	P value (<i>p</i> < 0.05)
Coronal	CW-BG	0.103 ± 0.019	0.002
	CW- NG	0.093 ± 0.019	
	VC-BG	0.103 ± 0.021	
	VC-NG	0.121 ± 0.022	
	SC-BG	0.062 ± 0.022	
Middle	CW-BG	0.056 ± 0.015	0.005
	CW- NG	0.055 ± 0.014	
	VC-BG	0.051 ± 0.013	
	VC-NG	0.053 ± 0.013	
	SC-BG	0.027 ± 0.009	
Apical	CW-BG	0.012 ± 0.005	0.005
	CW- NG	0.013 ± 0.005	
	VC-BG	0.007 ± 0.003	
	VC-NG	0.009 ± 0.003	
	SC-BG	0.005 ± 0.002	

3. Results

In all thirds, the ANOVA test showed significant differences between at least two of the obturation techniques (*p* < 0.05) (Table 2 and Figure 3).

In the coronal third, the Post Hoc test showed there was a statistical difference between the SC and VC with NG (*p* = 0.001), the penetration average was lower using the SC technique. There was no statistical difference observed compared to the other techniques (Table 3).

In the middle third, the Post Hoc test revealed there was a statistical difference between the SC and CW with NG (*p* = 0.017), CW with BG (*p* = 0.035) and VC with NG (*p* = 0.001). In this third, the penetration average was lower in the SC. There was no statistical difference compared to the other techniques (Table 3).

In the apical third, the Post Hoc test exhibited there was a statistical difference between the SC and CW with NG (*p* = 0.031), CW with BG

(*p* = 0.045), the penetration average was lower in the SC. There was no statistical difference compared to the other techniques (Table 3).

4. Discussion

During the study, we used the confocal laser microscope, since the conditioning of the specimens for the scanning electron microscope needs to be dried [32]. The samples had to be subjected to gold-palladium sputtering and manipulated under vacuum [33]. This whole series of procedures can lead to loss of sealer quantity, deformation of the sample and of the materials to be studied [34], which can be responsible for the production of artefacts, compromising an adequate evaluation compared to confocal laser microscopy analysis [35, 36].

Rhodamine B could be suitable with the bioceramic sealers [8], because the small amount (0.1%) used did not modify the sealer's qualities [37]. For this reason, it was the dye of choice in our research. The sample cuts were performed in the horizontal plane, as the dentine of the root canal cannot be completely observed in the longitudinal plane [38].

The correct evaluation of the samples in the microscope was difficult because the precision cuts and an adequate level of polishing were essential. The principal problem was one of accuracy: the root cuts had to be 1 mm deep, thin and completely straight. The samples of the apical third were particularly difficult to manipulate because of their size.

The penetration of a sealer is vitally important and it may be influenced by several factors such as the chemophysical properties of the sealer, the obturation technique and the anatomy of the root canal system [34]. Additionally, the variations in instrumentation, irrigation techniques and in the irrigants themselves play an essential role in the penetration of the sealer in the dentin tubules. These factors are influential in the removal of residual smear layer, tissue or debris. In our study we use a protocol with 5.25% NaOCl, 17% EDTA, and chitosan-hydroxyapatite precursor, with sonic activation to prepare the dentine surface for greater dentinal penetration of bioceramic sealer. Hashmi et al. [39] observed that the chitosan-hydroxyapatite precursor, enhances dentin surface wettability to facilitate greater bioceramic sealer penetration in the dentin. The irrigant used in this study to effectively remove the smear layer was characterized by the use of 17% EDTA and sonic activation, in accordance with the study of Virdee et al. [40].

The viscosity and flow of endodontic sealers are important in determining the effectiveness that they penetrate in the dentinal tubules [15]. The influential factors for the viscosity of the sealer include particle size, temperature and setting time [41, 42, 43]. In a study by Zhou et al. [44], BC sealer exhibited a higher flow than the epoxy resin-based sealers at room temperature. Chen et al. showed that HiFlow had a lower viscosity than the BC sealer at different temperatures [20]. The fine particle size (<1 μm) is one of main reasons why the deep diffusion is more likely to occur in the bioceramic sealers. In addition to their increase in volume during the setting and their basic pH, there was a resulting denaturing of the collagen fibres, resulting in tubular penetration [6, 7, 45].

The warm obturation techniques with bioceramic sealers have become a controversial theme. There were significant changes in the properties of the bioceramic sealers after heating during the thermo-plasticized obturation techniques [18]. Apatite-forming capacity is another desirable property in calcium silicate sealers, but the temperature increase may affect the biomineralization process [46]. Therefore, we believe it is essential to know the chemomechanical properties of bioceramic sealers and how they may be affected by the application of heat. Additionally, we must also be aware of the instructions given by the manufacturers regarding the bioceramic sealers and the recommended obturation technique.

Chen et al. compared [20] two bioceramic sealers (BC Sealer and HiFlow) and how heat action may influence different properties. The heat application in HiFlow did not considerably modify the setting time, micro hardness, solubility, chemical composition and cytotoxicity. They

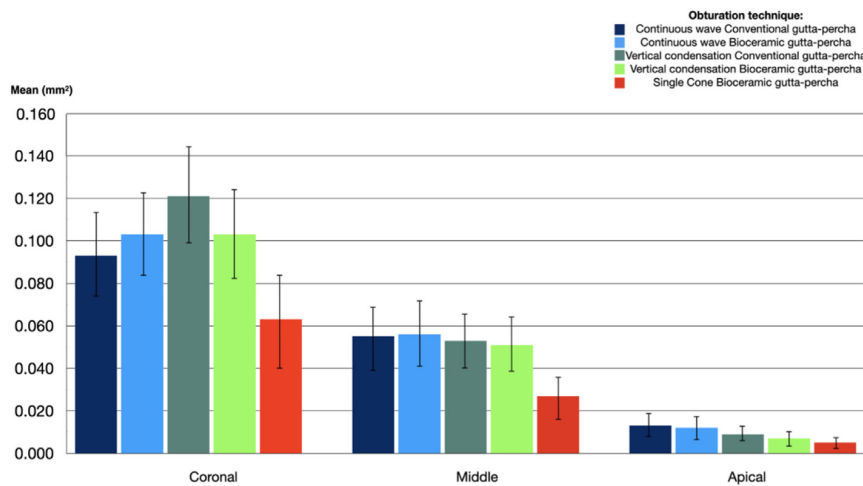


Figure 3. Mean area penetration (mm²), third portion assessed and obturation technique.

concluded HiFlow gave a better performance on flow/viscosity and film thickness than BC sealer, especially under high temperatures. When the temperature is increased, the sealer HiFlow has a shorter setting time [18, 20]. These specific properties of HiFlow may be one of the reasons why in our study we observed greater tubular penetration when applying heat-based rather than cold techniques. Therefore, HiFlow is an adequate sealer in order to use with the warm obturation techniques and according to the manufacturer it was designed for use with high temperatures up to 220 °C.

It is commonly believed that increasing the pressure in the warm obturation techniques produces a significant level of sealer penetration in the dentin tubules, however the literature demonstrates contradictory results [15]. For these inconsistent outcomes five different obturation techniques were studied, four warm obturation techniques and one cold technique.

We used one group of SC with BG points as the manufacturers recommended this type of BG points and bioceramic sealer with the SC technique [6, 47]. They suggest that the sealing ability should be improved by joining the sealer and gutta-percha with the same bioceramic particles [48]. This chemo-mechanical union creates a junction that may function like a “tertiary monoblock”. The obturation materials should have an elastic modulus close to dentin in order to reinforce the root [25]. Although Osiri et al. [26] showed that with a much lower elastic modulus than of dentin, the bioceramic sealer with BG could enhance the fracture resistance of the prepared roots. In addition, the adhesion to root dentin plays a major role in reinforcing the prepared

roots rather than the elastic modulus. These findings were not consistent with the monoblock concept that Tay et al. [25] proposed, in that the elastic modulus of material is an important factor for increased fracture resistance of the roots. The elastic modulus of BG was 0.20 ± 0.03 GPa, BC sealer 2.54 ± 0.13 GPa; dentine 8.60 ± 0.86 GPa respectively [26]. In general the gutta-percha (NG or BG) innately lacks adhesion to dentin *per se* [25]. Al-Hiyasat et al. [17] used the bioceramic sealer with BG with the SC technique and they obtained a sealer junction and BG that is better than the resin sealer and NG with the SC technique. Due to these arguments, we used only one group of SC with BG.

Our results showed a greater degree of penetration in the warm obturation techniques versus SC in all thirds, the area of penetration for each technique was greater in the coronal third compared to the apical portion. These results are in agreement with the those of previous studies [8, 15, 26]. Furthermore, we observed a lower degree of tubule penetration area in the apical third as regarding the middle and coronal third. Different studies have revealed that the depth of sealer penetration varies in each one thirds of the root canal [7, 49, 50, 51]. This may be due to the size and density of the tubule, as the size of the tubule decreases towards the apex [52] and the exchange of irrigants, as it becomes increasingly difficult as we move towards the apex [15]. The differing pressures in the different obturation techniques, the heat of the pluggers applied and the chemophysical properties of the sealer, all have a decisive influence on sealer penetration. On average, HiFlow has a particle size of 0.2 μm. This feature might improve its penetration into dentin tubules [26], notably in the cramped tubules in the apical third. In our opinion, these reasons may explain the much lower degree of sealer penetration in the apical third rather than the coronal third.

In the study by Eymirli et al. [38], the researchers evaluated the penetration ability of the BC Sealer in three outcomes groups: obturation with sealer only, sealer plus bioceramic gutta-percha .02 and sealer plus bioceramic gutta-percha .04 with the SC technique. Significantly greater sealer penetration area was achieved when the sealer was used with a BG .04, whereas there was no difference between the sealer and BG .02 groups. The use of a gutta-percha point with an adequate taper that fits snugly to the prepared canal shape generates some pressure that would enhance dentinal tubule penetration of the evaluated bioceramic sealer. With a fitting master cone to the master file, it is possible to minimize the amount of sealer, which decreases the for gaps. This pressure level in the SC technique is lower than in the warm obturation techniques, and this factor may be one of the differences in the dentinal tubule penetration sealer as we observed in our study. This disparity could improve the dentinal tubules penetration of the sealer during the obturation in the warm obturation

Table 3. Post Hoc Test p values.

Third	Obturation method	Obturation method	P value (p < 0.05)
Coronal	SC-BG	CW-BG	0.058
		CW-NG	0.393
		VC-BG	0.051
		VC-NG	0.001
Middle	SC-BG	CW-BG	0.010
		CW-NG	0.017
		VC-BG	0.078
		VC-NG	0.035
Apical	SC-BG	CW-BG	0.045
		CW-NG	0.031
		VC-BG	0.816
		VC-NG	0.174

techniques in all thirds [8]. Due to the compression in the warm obturation techniques, the sealer is pressed at the periphery of the canal, producing a thin layer of sealer on the dentinal wall [53].

Osiri et al. [26] studied the penetration capacity of bioceramic sealer with SC and BC Sealer with BG and AH Plus[®] with NG, obtaining greater penetration of the bioceramic group; furthermore, greater penetration was observed from coronal to apical as in our study. Turkel et al. [54], compared AH Plus and BC Sealer with NG and the SC technique, and they showed that the calcium silicates-based sealer had greater tubule penetration than the resin sealer. These results are in accordance with the previously published investigations [7, 55]. This differences in the results may be due to the bioceramic sealer having certain expansion characteristics versus the shrinkage of the resin sealers [6]. So, in our opinion, the SC technique should only be used with bioceramic sealers by the expansion they exhibit. In addition, we thought by increasing the volume during the setting, it would be one of the factors that influenced the dentinal tubule penetration. In the study by Eymirli et al. [38] they studied one group with only sealer and they observed that the sealer had penetrated in the dentinal tubules by itself. For this reason, this one was only of several factors influencing sealer penetration.

Eid et al. [8] compared two different techniques CW and SC with two bioceramic sealers (HiFlow and Bio-C sealer[®]). They showed better diffusion levels for both sealers with CW than SC [8] in the middle compared to the apical third, as in our study. Yang et al. [47] evaluated two techniques, SC and CW with two bioceramic sealers (HiFlow, iRoot SP[®]) and one resin sealer (AH Plus[®]). In the dentinal tubule penetration area HiFlow/CW was significantly higher than in the iRoot SP/SC at apical level. They also exhibited the HiFlow/CW may have better sealing ability than the iRoot SP/SC technique in the apical third [47]. HiFlow with the CW had superior sealer penetration in the different thirds of the root canal than iRoot SP[®] with the SC. This increase of penetration may result in better apical sealing and improve the root canal filling [47]. This study offered results in line with our own with regard to major tubule penetration sealer with warm obturation techniques in all thirds. In our opinion a difference between the CW, VC and SC that could affect dentin tubules penetration was compaction with heat, the apical pressure and the flow of the sealer. According to one earlier study [20], HiFlow had higher flow than iRoot SP[®].

The clinical relevance of our results may serve as a reference because the high ability of dentinal tubule penetration of the sealer with warm obturation techniques may improve the sealing action in the tubules, and therefore the antibacterial effect.

The blended use of HiFlow with the CW technique exhibited a good dentinal tubule penetration, so it is possible to achieve better apical sealing [47]. In addition, HiFlow was shown to have favourable biological properties and promoted expressions of osteo/cementogenic genes in human periodontal ligament stem cells [55]. These properties could make the blended use of the new bioceramic sealers with warm obturation techniques adequate for root canals with periapical periodontitis [47]. However, the best obturation technique for this material is still a matter under debate [8]. Features such as long-term clinical considerations, cellular responses, physicochemical properties, the use of warm obturation techniques with the new bioceramic sealers and antibacterial ability should be the subject of further research.

5. Conclusion

In conclusion, within the limitations of this study, the warm obturation techniques (CW and VC) showed more intratubular penetration of the calcium silicates-based sealer than the SC. The different gutta-percha tested in warm obturation techniques (NG and BG) were not influenced in the penetration area. For each type of gutta-percha and technique, dentinal tubule penetration was higher in the coronal section than in the apical section.

Declarations

Author contribution statement

Alberto Casino Alegre: Conceived and designed the experiments; Performed the experiments; Analyzed and interpreted the data; Contributed reagents, materials, analysis tools or data; Wrote the paper.

Susana Aranda Verdú: Conceived and designed the experiments; Analyzed and interpreted the data; Contributed reagents, materials, analysis tools or data; Wrote the paper.

Jose Ignacio Zarzosa López; Jorge Rubio Climent, Dr; Antonio Pallarés Sabater, Dr; Eliseo Plasencia Alcina, Dr: Analyzed and interpreted the data; Contributed reagents, materials, analysis tools or data; Wrote the paper.

Funding statement

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Data availability statement

Data will be made available on request.

Declaration of interest's statement

The authors declare no conflict of interest.

Additional information

No additional information is available for this paper.

References

- [1] H. Prestegard, I. Portenier, D. Ørstavik, G. Kayaoglu, M. Haapasalo, U. Endal, Antibacterial activity of various root canal sealers and root-end filling materials in dentin blocks infected ex vivo with *Enterococcus faecalis*, *Acta Odontol. Scand.* 72 (8) (2014) 970–976.
- [2] N.B.J. Dornelles, F.M. Collares, B. Genari, G. de Souza Balbinot, S.M.W. Samuel, R.A. Arthur, F. Visioli, S.S. Guterres, V.C.B. Leitune, Influence of the addition of microsphere load amoxicillin in the physical, chemical and biological properties of an experimental endodontic sealer, *J. Dent.* 68 (2018) 28–33.
- [3] U. Sjogren, B. Hagglund, G. Sundqvist, K. Wing, Factors affecting the long-term results of endodontic treatment, *J. Endod.* 16 (10) (1990) 498–504.
- [4] B.A. Nielsen, W.J. Beeler, C. Vy, J.C. Baumgartner, Setting times of Resilon and other sealers in aerobic and anaerobic environments, *J. Endod.* 32 (2) (2006) 130–132.
- [5] G.A. Haragushiku, M.D. Sousa-Neto, Y.T. Silva-Sousa, E. Alfredo, S.C. Silva, R.G. Silva, Adhesion of endodontic sealers to human root dentine submitted to different surface treatments, *Photomed. Laser Surg.* 28 (3) (2010) 405–410.
- [6] M. Trope, A. Bunes, G. Debelian, Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endod. Top.* 32 (1) (2015) 86–96.
- [7] M. Akcay, H. Arslan, N. Durmus, M. Mese, I.D. Capar, Dentinal tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: a confocal microscopic study, *Laser Surg. Med.* 48 (1) (2016) 70–76.
- [8] D. Eid, E. Medioni, G. De-Deus, I. Khalil, A. Naaman, C. Zogheib, Impact of warm vertical compaction on the sealing ability of calcium silicate-based sealers: a confocal microscopic evaluation, *Dent. Mater.* (2021) 14.
- [9] D. Donnermeyer, M. Ibing, S. Bürklein, I. Weber, M.P. Reitze, E. Schäfer, Physicochemical investigation of endodontic sealers exposed to simulated intracanal heat application: hydraulic calcium silicate-based sealers, *Materials (Basel)* 14 (4) (2021).
- [10] S.R. Kim, S.W. Kwak, J.K. Lee, H.J. Goo, J.H. Ha, H.C. Kim, Efficacy and retrievability of root canal filling using calcium silicate-based and epoxy resin-based root canal sealers with matched obturation techniques, *Aust. Endod. J.* 45 (3) (2019) 337–345.
- [11] D. Donnermeyer, S. Bürklein, T. Dammaschke, E. Schäfer, Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review, *Odontology* 107 (4) (2019) 421–436.
- [12] H. Schilder, Filling root canals in three dimensions, *Dent. Clin.* (1967) 723–744.
- [13] L.S. Buchanan, Filling root canal systems with centered condensation: concepts, instruments, and techniques, *Dent. Today* 23 (11) (2004), 102, 104, 106 passim.
- [14] D. Ørstavik, Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing, *Endod. Top.* 12 (1) (2005) 25–38.

- [15] J.Z. Reynolds, R.A. Augsburger, K.K.H. Svoboda, P. Jalali, Comparing dentinal tubule penetration of conventional and 'HiFlow' bioceramic sealers with resin-based sealer: an *in vitro* study, *Aust. Endod. J.* 46 (3) (2020) 387–393.
- [16] S.C.V. Chedella, D.W. Berzins, A differential scanning calorimetry study of the setting reaction of MTA, *Int. Endod. J.* 43 (6) (2010) 509–518.
- [17] A.S. Al-Hiyasat, S.A. Alfirjani, The effect of obturation techniques on the push-out bond strength of a premixed bioceramic root canal sealer, *J. Dent.* 89 (2019), 103169.
- [18] T.B.M. Antunes, A.C.P. Janini, L.E. Pelepenko, G.F. Abuna, E.M. Paiva, M.A.C. Sinhoreti, I.M. Raimundo Jr., B. Gomes, A. de-Jesus-Soares, M.A. Marciano, Heating stability, physical and chemical analysis of calcium silicate-based endodontic sealers, *Int. Endod. J.* 54 (7) (2021) 1175–1188.
- [19] A.R. Atmeh, M. Hadis, J. Camilleri, Real-time chemical analysis of root filling materials with heating: guidelines for safe temperature levels, *Int. Endod. J.* 53 (5) (2020) 698–708.
- [20] B. Chen, M. Haapasalo, C. Mobuchon, X. Li, J. Ma, Y. Shen, Cytotoxicity and the effect of temperature on physical properties and chemical composition of a new calcium silicate-based root canal sealer, *J. Endod.* 46 (4) (2020) 531–538.
- [21] M. Hadis, J. Camilleri, Characterization of heat resistant hydraulic sealer for warm vertical obturation, *Dent. Mater.* 36 (9) (2020) 1183–1189.
- [22] H. Aksel, S. Makowka, F. Bosaid, M.G. Guardian, D. Sarkar, A.A. Azim, Effect of heat application on the physical properties and chemical structure of calcium silicate-based sealers, *Clin. Oral Invest.* 25 (5) (2021) 2717–2725.
- [23] S. Yamauchi, S. Watanabe, T. Okiji, Effects of heating on the physical properties of premixed calcium silicate-based root canal sealers, *J. Oral Sci.* 63 (1) (2021) 65–69.
- [24] W. Qu, W. Bai, Y.H. Liang, X.J. Gao, Influence of warm vertical compaction technique on physical properties of root canal sealers, *J. Endod.* 42 (12) (2016) 1829–1833.
- [25] F.R. Tay, D.H. Pashley, Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal, *J. Endod.* 33 (4) (2007) 391–398.
- [26] S. Osiri, D. Banomyong, V. Sattabanasuk, K. Yanpiset, Root reinforcement after obturation with calcium silicate-based sealer and modified gutta-percha cone, *J. Endod.* 44 (12) (2018) 1843–1848.
- [27] T. Taşdemir, K. Er, D. Çelik, E. Tahan, A. Serper, K.T. Ceyhanli, C. Yeşilyurt, Bond strength of calcium silicate-based sealers to dentine dried with different techniques, *Med. Princ. Pract.* 23 (4) (2014) 373–376.
- [28] M. Ungor, E.O. Onay, H. Orucoglu, Push-out bond strengths: the Epiphany-Resilon endodontic obturation system compared with different pairings of Epiphany, Resilon, AH Plus and gutta-percha, *Int. Endod. J.* 39 (8) (2006) 643–647.
- [29] C. Zeng, J. Willison, M.M. Meghil, B.E. Bergeron, C.W. Cutler, F.R. Tay, L. Niu, J. Ma, Antibacterial efficacy of an endodontic sonic-powered irrigation system: an *in vitro* study, *J. Dent.* 75 (2018) 105–112.
- [30] P. Neelakantan, H.F. Ounsi, S. Devaraj, G.S.P. Cheung, S. Grandini, Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin, *Odontology* 107 (2) (2019) 142–149.
- [31] V. Faus-Llácer, N. Collado-Castellanos, T. Alegre-Domingo, M. Dolz-Solsona, V. Faus-Matoses, Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: *in vitro* study, *J. Clin. Exp. Dent.* 7 (2) (2015) e299–303.
- [32] B. Gunes, K.Y. Yeter, A. Terlemez, B. Seker, Y. Altay, Dentinal tubule penetration of endodontic sealers after nonthermal plasma treatment: a confocal laser scanning microscopy study, *Microsc. Res. Tech.* 82 (6) (2019) 903–908.
- [33] M. Hammad, A. Qualtrough, N. Silikas, Three-dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials, *J. Endod.* 34 (11) (2008) 1370–1373.
- [34] J.W. Jeong, A. DeGraft-Johnson, S.O. Dorn, P.M. Di Fiore, Dentinal tubule penetration of a calcium silicate-based root canal sealer with different obturation methods, *J. Endod.* 43 (4) (2017) 633–637.
- [35] A. Santini, V. Miletic, Comparison of the hybrid layer formed by Silorane adhesive, one-step self-etch and etch and rinse systems using confocal micro-Raman spectroscopy and SEM, *J. Dent.* 36 (9) (2008) 683–691.
- [36] K. Bitter, S. Paris, J. Mueller, K. Neumann, A.M. Kielbassa, Correlation of scanning electron and confocal laser scanning microscopic analyses for visualization of dentin/adhesive interfaces in the root canal, *J. Adhesive Dent.* 11 (1) (2009) 7–14.
- [37] G.E. McMichael, C.M. Primus, L.A. Opperman, Dentinal tubule penetration of tricalcium silicate sealers, *J. Endod.* 42 (4) (2016) 632–636.
- [38] A. Eymirli, D.D. Sungur, O. Uyanik, N. Purali, E. Nagas, Z.C. Cehreli, Dentinal tubule penetration and retreatability of a calcium silicate-based sealer tested in bulk or with different main core material, *J. Endod.* 45 (8) (2019) 1036–1040.
- [39] A. Hashmi, X. Zhang, A. Kishen, Impact of dentin substrate modification with chitosan-hydroxyapatite precursor nanocomplexes on sealer penetration and tensile strength, *J. Endod.* 45 (2019) 935–942.
- [40] S.S. Virdee, D.W. Seymour, D. Farnell, G. Bhamra, S. Bhakta, Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis, *Int. Endod. J.* 51 (6) (2018) 605–621.
- [41] S. Desai, N. Chandler, Calcium hydroxide-based root canal sealers: a review, *J. Endod.* 35 (4) (2009) 475–480.
- [42] E. Balguerie, L. van der Sluis, K. Vallaes, M. Gurgel-Georgelin, F. Diemer, Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study, *J. Endod.* 37 (11) (2011) 1576–1579.
- [43] H. Chen, X. Zhao, Y. Qiu, D. Xu, L. Cui, B. Wu, The tubular penetration depth and adaption of four sealers: a scanning electron microscopic study, *BioMed Res. Int.* 2017 (2017), 2946524.
- [44] H.M. Zhou, Y. Shen, W. Zheng, L. Li, Y.F. Zheng, M. Haapasalo, Physical properties of 5 root canal sealers, *J. Endod.* 39 (10) (2013) 1281–1286.
- [45] P. Khaord, A. Amin, M.B. Shah, R. Uthappa, N. Raj, T. Kachalia, H. Kharod, Effectiveness of different irrigation techniques on smear layer removal in apical thirds of mesial root canals of permanent mandibular first molar: a scanning electron microscopic study, *J. Conserv. Dent.* 18 (4) (2015) 321–326.
- [46] J. Camilleri, Sealers and warm gutta-percha obturation techniques, *J. Endod.* 41 (2015) 72–78.
- [47] R. Yang, J. Tian, X. Huang, S. Lei, Y. Cai, Z. Xu, X. Wei, A comparative study of dentinal tubule penetration and the retreatability of EndoSequence BC Sealer HiFlow, iRoot SP, and AH Plus with different obturation techniques, *Clin. Oral Invest.* 25 (6) (2021) 4163–4173.
- [48] G.H. Li, L.N. Niu, L.C. Selem, A.A. Eid, B.E. Bergeron, J.H. Chen, D.H. Pashley, F.R. Tay, Quality of obturation achieved by an endodontic core-carrier system with crosslinked gutta-percha carrier in single-rooted canals, *J. Dent.* 42 (9) (2014) 1124–1134.
- [49] M.V. Weis, P. Parashos, H.H. Messer, Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration, *Int. Endod. J.* 37 (10) (2004) 653–663.
- [50] S.R. Gharib, P.A. Tordik, G.M. Imamura, T.A. Baginski, G.G. Goodell, A confocal laser scanning microscope investigation of the epiphany obturation system, *J. Endod.* 33 (8) (2007) 957–961.
- [51] A. Kara Tuncer, S. Tuncer, Effect of different final irrigation solutions on dentinal tubule penetration depth and percentage of root canal sealer, *J. Endod.* 38 (6) (2012) 860–863.
- [52] J.A. Bolles, J. He, K.K. Svoboda, E. Schneiderman, G.N. Glickman, Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth, *J. Endod.* 39 (5) (2013) 708–711.
- [53] W. Zhang, H. Liu, Z. Wang, M. Haapasalo, Q. Jiang, Y. Shen, Long-term porosity and retreatability of oval-shaped canals obturated using two different methods with a novel tricalcium silicate sealer, *Clin. Oral Invest.* (2021).
- [54] E. Turkel, E.O. Onay, M. Ungor, Comparison of three final irrigation activation techniques: effects on canal cleanliness, smear layer removal, and dentinal tubule penetration of two root canal sealers, *Photomed. Laser Surg.* 35 (12) (2017) 672–681.
- [55] Y. Wang, S. Liu, Y. Dong, In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer, *PLoS One* 13 (2) (2018) e0192248.



Centro de Estudios
Odontostomatológicos
Valencia

Desde 1968

DIPLOMA DE
COLABORACIÓN
CIENTÍFICA

PREMIO A LA MEJOR COMUNICACIÓN ORAL CENTRO DE ESTUDIOS

A FAVOR DE:

DR. ALBERTO CASINO ALEGRE

POR SU TRABAJO:

"Estudio de la penetración intratubular de cemento sellador biocerámico HiFlow mediante técnicas de obturación radicular calientes"

Y para que así conste, se extiende el presente diploma,
en Gandía a 2 de julio de 2021

Vº Bº

EL PRESIDENTE

EL SECRETARIO

CIENCIA · VALORES · GERMANOR



El Comité Científico certifica que el trabajo:

Estudio de la penetración intratubular de cemento sellador biocerámico HiFlow mediante técnicas de obturación radicular calientes

de los autores:

Casino Alegre, A.; Aranda Verdú, S.; Zarzosa López, J.I.; Rubio Climent, J.; Pallarés Sabater, A.

ha sido presentado como comunicación oral en la **XLIX Reunión Anual del CEOE**, un evento de carácter nacional, celebrado el 1 y 2 de julio de 2021 en el Campus de Gandía – Universidad Politécnica de Valencia.

Gandía, 1 de julio de 2021

Dr. Joan Faus López
Presidente de la XLIX Reunión Anual

Dra. Carla Fons Badal
Presidenta del Comité Científico