

Citar como:

Calderón JCM, Cassana LR, Villar JC, Velásquez Z. Terapia fotodinámica, una nueva tendencia en endodoncia para la eliminación del *Enterococcus faecalis*. Rev Estomatol Herediana. 2024; 34(1): 77-84. DOI: 10.20453/reh.v34i1.5333

Recibido: 11-04-2023

Aceptado: 06-09-2023

En línea: 31-03-2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiamiento: Autofinanciado.

Aprobación de ética: No requiere.

Contribución de autoría:

JCMCA: conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, validación, visualización, redacción de borrador original, redacción (revisión y edición).

LRRC y JCVZ: conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, recursos, visualización, redacción de borrador original.

ZVH: conceptualización, metodología, supervisión.

Correspondencia:

José Carlos Martín Calderón Augusto

Teléfono: 949073597

Contacto:

jose.calderon.augusto@upch.pe



Artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

© Los autores

© Revista Estomatológica Herediana

Terapia fotodinámica, una nueva tendencia en endodoncia para la eliminación del *Enterococcus faecalis*

Photodynamic therapy, a new trend in endodontics for the removal of *Enterococcus faecalis*

Terapia fotodinâmica, uma nova tendência na endodontia para a remoção de *Enterococcus faecalis*

José Carlos Martín Calderón Augusto^{1, a, b} , Luis Rodrigo Cassana Rojas^{1, a, b} , Jean Carlo Villar Zapata^{1, a, b} , Zulema Velásquez Huamán^{1, a, c, d} 

RESUMEN

La desinfección se consigue mediante procedimientos como la instrumentación, la irrigación y la medicación intraconducto; sin embargo, estos no son suficientes, ya que diversos estudios han reportado al *E. faecalis* como uno de los microorganismos persistentes con mayor prevalencia en tratamientos de conductos que no han conseguido la curación de los tejidos periapicales. Se ha tratado de mejorar los protocolos de desinfección incluyendo diferentes herramientas tecnológicas como en el caso de la terapia fotodinámica, la cual utiliza una fuente de luz y sustancias fotosensibilizantes que favorecen el proceso de eliminación de las bacterias remanentes dentro del sistema de conductos radiculares. La presente revisión de literatura científica profundiza en la importancia clínica de la terapia fotodinámica y su efecto en la desinfección e inhibición del *E. faecalis* dentro del sistema de conductos, lo cual se ha vuelto una pieza clave para el éxito del tratamiento endodóntico.

Palabras clave: *Enterococcus faecalis*, terapia fotodinámica, fotosensibilizantes.

ABSTRACT

Disinfection is achieved through procedures such as instrumentation, irrigation, and intra-canal medication; however, these are not enough since several studies have reported *E. faecalis* as one of the most prevalent persistent microorganisms in

¹ Universidad Peruana Cayetano Heredia, Facultad de Estomatología. Lima, Perú.

^a Cirujano dentista.

^b Residente en Endodoncia.

^c Especialista en endodoncia.

^d Magíster en Estomatología.

root canal treatments that have not achieved healing of the periapical tissues. Efforts have been made to improve disinfection protocols by including different technological tools, as in the case of photodynamic therapy, which uses a light source and photosensitizing substances that favor the process of elimination of the remaining bacteria within the root canal system. The present review of scientific literature delves into the clinical importance of photodynamic therapy and its effect on the disinfection and inhibition of *E. faecalis* within the root canal system, which has become a key element for the success of endodontic treatment.

Keywords: *Enterococcus faecalis*, photodynamic therapy, photosensitizers.

RESUMO

A desinfeção é conseguida através de procedimentos como a instrumentação, a irrigação e a medicação intracanal; no entanto, isto não é suficiente, uma vez que vários estudos relataram a *E. faecalis* como um dos microrganismos persistentes mais prevalentes nos canais radiculares que não conseguiram cicatrizar os tecidos periapicais. Têm sido feitos esforços para melhorar os protocolos de desinfeção através da inclusão de diferentes ferramentas tecnológicas, como a terapia fotodinâmica, que utiliza uma fonte de luz e substâncias fotossensibilizadoras que favorecem o processo de eliminação das bactérias remanescentes no sistema de canais radiculares. Esta revisão da literatura científica analisa a importância clínica da terapia fotodinâmica e o seu efeito na desinfeção e inibição da *E. faecalis* no interior do sistema de canais radiculares, o que se tornou um fator chave para o sucesso do tratamento endodóntico.

Palavras-chave: *Enterococcus faecalis*, terapia fotodinâmica, fotossensibilizadores.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento endodóntico está basado en eliminar mecánicamente el tejido pulpar necrótico y desinfectar químicamente el sistema de conductos radiculares (1). Los microorganismos y sus subproductos metabólicos son agentes etiológicos de las patologías endodónticas más frecuentes; por lo tanto, eliminar o reducir los microorganismos dentro del sistema de conductos radiculares debe ser uno de los objetivos principales para lograr el éxito del tratamiento (2).

Para enfrentar el desafío antimicrobiano, se emplean soluciones como irrigantes que, durante

el procedimiento endodóntico, actúan mediante el contacto continuo con los microorganismos objetivos. Sin embargo, estas soluciones no consiguen penetrar adecuadamente en los túbulos dentinarios, por lo que no existe solución irrigante ideal, pues ninguno posee todos los requisitos, incluida la biocompatibilidad con los tejidos del hospedero, la propiedad de solvente del tejido, el efecto antimicrobiano y el costo (3). Por otro lado, la penetración de microorganismos en la dentina circundante ocurre a través de los túbulos dentinarios, y la contaminación puede alcanzar una profundidad de aproximadamente 1000 μm . A pesar de la variedad de microorganismos, las especies dominantes son los anaerobios cuya carga microbiana se encuentra entre el 70 % y el 100% (4).

El *Enterococcus faecalis* es un microorganismo anaerobio grampositivo facultativo, comúnmente aislado en infecciones endodónticas primarias y secundarias. Entre los factores de patogenia, el más importante es la capacidad de formación de biopelículas, la cual potencia la resistencia de las bacterias a los agentes antimicrobianos; además, la capacidad de penetrar profundamente dentro de los túbulos dentinarios adhiriéndose al colágeno dentinario impide que las sustancias antibióticas utilizadas no logren entrar en contacto (5, 6). Debido a que es un microorganismo encontrado frecuentemente en infecciones endodónticas persistentes, la eliminación del *E. faecalis* del sistema de conductos radiculares tiene una gran importancia clínica (7).

Para obtener mejores resultados se han realizado esfuerzos para desarrollar técnicas y dispositivos novedosos que proporcionen una potenciación al proceso de desinfección de los microorganismos presentes dentro del sistema de conductos radiculares, como el uso de puntas sónicas, ultrasónicas y, en los últimos años, fuentes de luz dentro del conducto, como es el caso de la terapia fotodinámica (TFD) (8).

La TFD es un método de desinfección de poderosa acción antibacteriana, que es aplicada contra infecciones periodontales, endodónticas y otras patologías orales. Este procedimiento está basado en una tríada que consta de una molécula no tóxica conocida como fotosensibilizador, una fuente de luz (láseres, lámparas fluorescentes o LED) y el oxígeno molecular; donde el fotosensibilizador transfiere la energía recibida al oxígeno molecular y lo convierte en especies reactivas, provocando así la muerte de los microorganismos al afectar sus membranas, proteínas y ácidos nucleicos.

La TFD se utiliza principalmente en el tratamiento de conductos para la desinfección del conducto radicular, que es un procedimiento clave para determinar su éxito, produciendo así múltiples beneficios, que incluyen una alta eficiencia en la reducción de la carga bacteriana, reducción del dolor postoperatorio y disminución del tamaño de las lesiones periapicales. Además, puede aumentar la eficacia de la preparación químico-mecánica del conducto radicular en anatomías complejas como los conductos en forma de C y en el retratamiento de conductos (9, 10).

El propósito de la presente revisión es investigar, describir y analizar la efectividad de la TFD frente al *E. faecalis*, así como su posible impacto en la generación de nuevos protocolos de desinfección del conducto radicular.

ENTEROCOCCUS FAECALIS

Las bacterias son los principales protagonistas de la patogenia y progresión de las enfermedades pulpares y periapicales. Por lo tanto, el principal objetivo del tratamiento de conductos debe ser eliminar los microorganismos dentro del sistema de conductos radiculares. El *E. faecalis* es la cepa más común aislada de dientes con tratamiento de conducto fallido e infección persistente (11).

La capacidad del *E. faecalis* para causar infecciones del conducto radicular se ha relacionado con la posesión de varias características que le entregan factores de virulencia. La capacidad de formación de biopelículas es una característica dominante de esta bacteria, la cual se extiende a la resistencia a los irrigantes intracanales convencionales (5).

Con el advenimiento de los estudios proteómicos, se revela que la formación de biopelículas en el *E. faecalis* puede gestionarse mediante un mecanismo de comunicación de célula a célula a través de moléculas de señalización, denominadas fenómenos de detección de *quorum* (5).

El papel del sistema de detección de *quorum* FsrB como regulador de la patogenicidad, la degradación de los tejidos del huésped y la formación de biopelículas son parte de las características de virulencia del *E. faecalis*. Muchas características de las biopelículas bacterianas contribuyen a su mayor resistencia a los antimicrobianos en relación con las células planctónicas, incluida la disminución de la penetración de antibióticos, el secuestro de antibióticos y la

presencia de células persistentes. Además, se han determinado los elementos genéticos involucrados en la resistencia antimicrobiana asociada a la biopelícula para *E. faecalis*. Estos elementos incluyen genes del operón que codifican dos glicosiltransferasas (GTF), antígeno polisacárido enterocócico (epa), epaOX y epaI, gelE que codifica gelatinasa y el sistema de detección de *quorum* fsr. También demostraron que los GTF desempeñan funciones adicionales en el *E. faecalis*, incluida la determinación de la forma celular, mantener íntegra la envoltura celular y la composición de polisacáridos. Además, una delección de epaOX de *E. faecalis* da como resultado las diferencias fenotípicas más notables en la composición bioquímica y la arquitectura de la biopelícula (5).

Asimismo, se ha demostrado que las biopelículas de tipo salvaje exhiben una disposición arquitectónica similar tras la exposición a la daptomicina, un antibiótico activo en la membrana celular. Se sugiere un vínculo entre la arquitectura de la biopelícula, el estrés de la envoltura celular y el operón epa. Además, con la información básica obtenida del FsrB a través del análisis bioinformático, se ha demostrado que es una proteína válida y estable con una calidad aceptable que puede considerarse como una proteína codificada por el gen objetivo para la desinfección fotodinámica (5).

TERAPIA FOTODINÁMICA

Antecedentes

En la década de 1980, se establecieron los fundamentos de la fototerapia moderna por el científico danés Niels Finsen, quien trabajó ampliamente con fuentes de luz que van desde pequeños rayos activos hasta radiación ultravioleta; su investigación permitió a otros científicos utilizar posteriormente estas fuentes de luz como modalidad terapéutica contra el *Lupus vulgaris* y la viruela (12).

En 1990, en un estudio realizado por el estudiante de Medicina Alemán Oscar Raab y el profesor Hermann von Tappeiner, en el que se tenía como objetivo la búsqueda de nuevos medicamentos contra la malaria, se descubrió que los paramecios incubados con colorante naranja de acridina (AO) morían más rápido después de una tormenta eléctrica. Estos resultados fueron similares a cuando los paramecios tratados con AO se expusieron a la luz solar desde una ventana adyacente, en comparación con la incubación en una habitación oscura. Por lo tanto, von Tappeiner postuló que la luz desempeña un papel

en la aceleración de la reacción químico-biológica. Este fenómeno se denominó «fotodinámica» y su teoría era que se requería oxígeno para que ocurriera el proceso de fotosensibilización (12).

En 1907, von Tappeiner publicó un libro que resumía los resultados de sus experimentos clínicos, en colaboración con el dermatólogo alemán Albert Jesonek, utilizando el colorante de xanteno eosina junto con iluminación para tratar el carcinoma de células basocelulares, condiloma acuminado en los genitales femeninos y lupus vulgar, con resultados favorables. Este fue el primer uso clínico real de la TFD para tratar una enfermedad. Posteriormente, tras el auge en el campo de la bioquímica y de los compuestos de porfirina, la TFD revolucionó. En 1913, el médico austriaco Fredrich Meyer-Betz experimentó consigo mismo con una inyección IV de 200 mg de hematoporfirina. De este modo, tras la exposición a la luz, notó el desarrollo de dolor extremo e hinchazón, que se limitaba a las áreas expuestas a la luz; estas áreas permanecieron fotosensibles durante varios meses después del incidente. Por lo cual, se concluyó que la hematoporfirina era un agente fotosensibilizador y que, además, se dirigía a las células cancerosas con mayor eficacia y proporcionaba mejores resultados generales (12).

En la década de 1960, Dougherty et al., tras sus estudios pioneros tanto en ciencia básica como en aplicaciones clínicas, ganaron mayor reconocimiento después de realizar ensayos clínicos de TFD a escala mundial; además, establecieron en 1986 la Asociación Fotodinámica Internacional y la expandieron a varios países de alrededor del mundo. Como resultado, en 1999, la Administración Mundial de Alimentos y Medicamentos aprobó la TFD para tratar enfermedades oncológicas y dermatológicas principalmente, como lesiones cutáneas precancerosas de la cara o el cuero cabelludo, cáncer y entre otras enfermedades; asimismo, se la ha propuesto para ser útil en casi todas las especialidades de la medicina, y las posibles aplicaciones siguen ampliándose cada día (12).

En odontología, la TFD es una nueva alternativa de desinfección de poderosa acción antibacteriana, que tiene variedad de aplicaciones, principalmente en periodoncia y endodoncia. En esta última, se utiliza principalmente para la desinfección del conducto radicular, que es el punto clave para determinar un resultado exitoso de un tratamiento de conductos radiculares. Este método ha ganado popularidad en

la odontología contemporánea debido a sus diversos beneficios, incluida la alta eficiencia en la reducción de la carga bacteriana, la reducción del dolor postoperatorio y la disminución del tamaño de las lesiones periapicales (10).

Mecanismo de acción

La TFD es un tratamiento que consiste en dos etapas que implican, primero, la aplicación y la retención de un fotosensibilizador en los tejidos objetivo y, segundo, la activación mediante la exposición a una luz visible que tiene una longitud de onda adecuada y se emite a través de un dispositivo. Esta luz debe conducirse directamente al objetivo. Posterior a la irradiación, el fotosensibilizador experimenta una transición desde un singlete de bajo nivel de energía, estado fundamental, a un estado triplete de mayor energía (9).

Existen dos mecanismos por los cuales, en presencia de un sustrato como el oxígeno, la activación de sensibilizador al estado triplete puede entrar en reacciones químicas con biomoléculas. Los mecanismos de tipo I actúan mediante la formación de radicales libres por transferencia de electrones o hidrógeno. Estas sustancias reactivas, después de la interacción con el oxígeno, pueden producir sustancias oxigenadas altamente reactivas, como los aniones peróxido o superóxido, que atacan los microorganismos objetivo. Las reacciones de tipo I pueden causar daño a los componentes de la célula objetivo directamente por la acción de los radicales libres (9).

En los mecanismos de tipo II, se libera un estado de oxígeno estimulado electrónica y altamente oxidante, que se le conoce como oxígeno singlete, el cual sería el principal causante de la destrucción de células microbianas. Sin embargo, no es fácil distinguir entre los dos mecanismos de reacción de la TFD. Una contribución de los procesos de tipo I y tipo II indica que el mecanismo del daño a la célula objetivo dependerá de la tensión de oxígeno, así como de la concentración del fotosensibilizador (9).

Fotosensibilizadores

Los fotosensibilizadores son elementos clave en la TFD, que transfieren la energía recibida al oxígeno molecular y lo convierte en especies reactivas, provocando la muerte de los microorganismos al afectar sus membranas, proteínas y ácidos nucleicos (10).

Los fotosensibilizadores se dividen en tres subgrupos, de primera, segunda y tercera generación. Las porfirinas solubles en agua llamadas hematoporfirinas se caracterizan como fotosensibilizadores de primera generación; y azul de metileno, azul de toluidina, fotosensibles®, Foscan®, y 5'-ácido aminolevulínico (ALA) son ejemplos de fotosensibilizadores de segunda generación. Esos últimos poseen un mayor rendimiento cuántico de oxígeno singlete, pureza química y selectividad que los fotosensibilizadores de primera generación. Los de tercera generación se han investigado recientemente con el objetivo principal de reducir el daño a las células sanas y aumentar la biodisponibilidad. Estas sustancias generalmente consisten en sistemas de transporte del fármaco, tecnologías basadas en ingeniería genética o combinaciones de receptores de anticuerpos monoclonales (13).

Existen fotosensibilizadores naturales. Hay muchos compuestos naturales extraídos de plantas y otros organismos que actúan como fotosensibilizadores y absorben la luz blanca o UV-A. Todavía quedan muchos compuestos de fotosensibilizadores naturales por descubrir, por lo que la variedad no se puede restringir. Sin embargo, hasta ahora incluyen cumarinas, furanocumarinas, benzofuranos, antraquinonas y derivados de la flavina. La hipericina y la curcumina son dos compuestos naturales que han sido ampliamente estudiados (14).

Un fotosensibilizador ideal debería:

- Tener absorción fuerte en el pico de la región espectral desde el rojo hasta cercano al infrarrojo (entre 650 nm y 800 nm).
- Poseer un sustancial rendimiento triplete cuántico que lleve a una buena obtención de especies reactivas de oxígeno tras la irradiación.
- Tener alta selectividad tisular.
- No exhibir toxicidad oscura.
- Tener una solubilidad ideal para mantener la capacidad lipofílica de cruzar la membrana de fosfolípidos y evitar la autoagregación.
- Exhibir alta estabilidad bajo condiciones de almacenamiento.
- Matar los microorganismos lo suficiente sin dañar las células huésped eucariotas.
- Mostrar absorción, distribución, metabolismo y excreción óptimos (ADME).
- Tener un tamaño pequeño para permitir la penetración de la membrana microbiana.
- Tener bajos costos de fabricación (13).

Fuentes de luz

Las fuentes de luz utilizadas para la TFD en los conductos radiculares incluyen láseres de helio-neón y argón, láseres de neón, láseres de vapor de metal y láser de diodo. Debido a las desventajas de los láseres de alta potencia, como el cambio de la superficie del diente y el daño térmico a los tejidos periodontales, así como la falta de actividad antimicrobiana, los láseres de bajo nivel se utilizan para la activación de moléculas fotosensibilizadoras. La aplicación de láseres de bajo nivel en endodoncia, como los láseres de diodo, mejora la cicatrización de los tejidos periapicales y disminuye las molestias y complicaciones posteriores al tratamiento (15).

En la actualidad, entre los láseres de bajo nivel, se prefiere el láser de diodo debido a su bajo costo y portabilidad. El diodo emisor de luz (LED) ha sido uno de los métodos de desinfección más favorables recientemente. Emite luz de espectro estrecho no colimada a través de los rangos de longitudes de onda del ultravioleta al infrarrojo cercano. Las ventajas, como el bajo costo, la facilidad de uso y el menor consumo de energía en comparación con el láser, lo convirtieron en un dispositivo alternativo deseable. Además, es portátil, flexible, liviano y, más importante, no aumenta la temperatura del tejido, evitando así el daño tisular adicional. El LED se ha aplicado en muchos campos clínicos, como la liberación del dolor, el rejuvenecimiento de la piel, la cicatrización de heridas y las enfermedades virales. Recientemente, se sugirió que se puede usar LED en lugar de láser de diodo como fuente de luz para la TFD (15).

Protocolo de uso

El conducto radicular se llena con 0,5 mL de fotosensibilizante, con un período de preirradiación de 5 min. Posteriormente, se inserta la fibra láser de diodo en el conducto radicular con una longitud de onda de 635 nm, una potencia de salida de 220 mW y una densidad de potencia de 3,05 W/cm² o fibra LED con una longitud de onda de 635 nm y una densidad de potencia de 2000-4000 mW/cm², emitiendo luz en longitud de onda continua (CW). La irradiación se realiza durante 30-90 segundos. La fibra se mueve dentro del conducto radicular en movimientos helicoidales apico-cervicales; por último, el conducto radicular es irrigado una vez más con 5 mL de solución salina estéril para eliminar el fotosensibilizador (16). Cuando se utilizan fotosensibilizadores naturales, se recomienda el uso sinérgico de irrigantes, como

el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) y el hipoclorito de sodio (NaOCl) (6, 17).

DISCUSIÓN

La TFD es un método de desinfección que ha logrado demostrar capacidad antimicrobiana contra el *E. faecalis*, el cual ha tomado relevancia clínica por ser un organismo persistente en infecciones primarias y secundarias de los tratamientos de conductos radiculares (7).

Para mejorar la efectividad antimicrobiana de la TFD, se recomienda el uso de fotosensibilizadores. Afkhami et al. (15) compararon el uso de sustancias fotosensibilizantes, como el azul de metileno y el azul de toluidina, demostrando mayor eficacia el segundo debido a sus características anfifílicas, que generan la eliminación de las bacterias presentes en el conducto radicular, lo cual también se debe a su alta capacidad de unión al *E. Faecalis*.

Mozayeni et al. (17) compararon la eficacia del azul de toluidina, el azul de metileno y un compuesto natural, como la curcumina, en la TFD frente al *E. Faecalis*, todos estos compuestos utilizados sinérgicamente con NaOCl; y concluyeron que el uso de azul de toluidina con NaOCl y curcumina con NaOCl son superiores en la eliminación del *E. Faecalis* frente al grupo de azul de metileno con NaOCl. Cusicanqui et al. (6) también evaluaron la curcumina como fotosensibilizador, y obtuvieron resultados estadísticamente favorables cuando esta se combinó con EDTA o bifosfonato de hidroxietilideno (HEBP) contra una biopelícula de *E. faecalis*, ya que los quelantes parecieron contribuir a la reducción de la vitalidad de las capas internas de la biopelícula.

Sobre el uso de otros compuestos naturales, Pourhajibagher et al. (11) demostraron que el uso de clorela (*Chlorella*) en la TFD frente al *E. faecalis* fue muy efectivo. Esto refuerza el uso de fotosensibilizadores naturales que podrían evitar reacciones adversas por algún compuesto sintético o mineral.

Respecto a la efectividad de las diferentes fuentes de luz, actualmente las más utilizadas son la luz LED y el láser de diodo. Afkhami et al. (15) demostraron que no existe diferencia significativa entre ambos; sin embargo, es necesario el uso de fotosensibilizadores para aumentar su capacidad antibacteriana.

Por otro lado, cabe resaltar que, principalmente, la TFD es utilizada de manera complementaria a

los protocolos de irrigación y en la última fase de desinfección en el tratamiento endodóntico. De Vasconcelos Neves et al. (16) compararon la TFD con láser de diodo y azul de metileno, NaOCl más TFD, PUI con NaOCl más TFD y XP Endo Finisher con NaOCl más TFD; y obtuvieron que el protocolo XP Endo Finisher más TFD resultó con el mayor porcentaje de inhibición (100 %), probablemente debido a la capacidad de generar la infiltración del irrigante y el fotosensibilizante en áreas de difícil acceso dentro del sistema de conductos radiculares en comparación con PUI y el riego convencional; por lo tanto, desarrollar nuevos protocolos de desinfección final beneficiarán a la eliminación de microorganismos patógenos dentro del conducto radicular, generando mayores tasas de éxito en los tratamientos (16).

Mustafa et al. (1) demostraron en un estudio *in vitro* que la TFD fue superior en la eliminación del *E. faecalis* en conductos en C frente a solo instrumentación manual debido a su capacidad de ingresar a la anatomía compleja de estos conductos. Por otro lado, Maciel Martins et al. (2) demostraron que, cuando se utilizó solución salina más TFD y EDTA más TFD, se obtienen resultados superiores en la eliminación del *E. faecalis*, siendo estos de 97,6 % y 89,8 %, respectivamente, en comparación con solo usar solución salina (68,2 %) y solo EDTA (76,4 %). La misma conclusión la obtuvieron Sarda et al. (3), quienes demostraron la superioridad de la TFD más NaOCl en la eliminación al 98 % del *E. faecalis*, en comparación con solo TFD (73 %) o solo hipoclorito de sodio al 3 % (76 %).

CONCLUSIONES

La presente revisión de literatura sobre la efectividad de la TFD contra el *E. Faecalis* concluye que la TFD incrementa el efecto de desinfección e inhibición cuando se realiza de manera coadyuvante el protocolo de desinfección tradicional. El uso de fotosensibilizadores aumenta la efectividad de la TFD, siendo el azul de toluidina el que obtuvo mejores resultados. Por otro lado, en relación con la fuente de luz utilizada, como LED y láser diodo, no hay diferencias significativas. El protocolo de desinfección propuesto por De Vasconcelos Neves et. al (16), el cual utilizó XP Endo Finisher seguido de TFD, resultó en el porcentaje de inhibición de 100 % *in vitro*; por tanto, deberían realizarse estudios clínicos complementarios en ese sentido. Es aconsejable para futuras investigaciones sobre TFD realizar estudios clínicos con controles a largo plazo para revalidar los resultados obtenidos en la actualidad.

REFERENCIAS

1. Mustafa M, Almnea R, Ajmal M, Alamri HM, Abdulwahed A, Divakar DD. Efficacy of root canal treatment in c-shaped canals with adjunctive photodynamic therapy using micro-CT. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2021; 34: 102257. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102257>
2. Maciel Martins CR, De Andrade MV, Carvalho AP, Afonso Pereira RM, Bresolin CR, Mello-Moura ACV, et al. Photodynamic therapy associated final irrigation in root canals of the primary teeth. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2021; 33: 102182. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102182>
3. Sarda RA, Shetty RM, Tamrakar A, Shetty SY. Antimicrobial efficacy of photodynamic therapy, diode laser, and sodium hypochlorite and their combinations on endodontic pathogens. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2019; 28: 265-272. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.09.009>
4. Anagnostaki E, Mylona V, Parker S, Lynch E, Grootveld M. Systematic review on the role of lasers in endodontic therapy: valuable adjunct treatment? *Dent J (Basel)* [Internet]. 2020; 8(3): 63. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/dj8030063>
5. Pourhajibagher M, Chiniforush N, Bahador A. Antimicrobial action of photoactivated C-phycoyanin against *Enterococcus faecalis* biofilms: attenuation of quorum-sensing system. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2019; 28: 286-291. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.10.013>
6. Cusicanqui Méndez DA, Cardenas Cuéllar MR, Feliz Pedrinha V, Velásquez Espedilla EG, Bombarda de Andrade F, Rodrigues PA, et al. Effects of curcumin-mediated antimicrobial photodynamic therapy associated to different chelators against *Enterococcus faecalis* biofilms. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2021; 35: 102464. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2021.102464>
7. Armand A, Khani M, Asnaashari M, AliAhmadi A, Shokri B. Comparison study of root canal disinfection by cold plasma jet and photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2019; 26: 327-333. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.04.023>
8. Meire MA, Bronzato JD, Bomfim RA, Gomes BPPA. Effectiveness of adjunct therapy for the treatment of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J* [Internet]. 2023; 56(Suppl 3): 455-474. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/iej.13838>
9. Plotino G, Grande NM, Mercade M. Photodynamic therapy in endodontics. *Int Endod J* [Internet]. 2019; 52(6): 760-774. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/iej.13057>
10. Shahbazi S, Esmaeili S, Feli M, Asnaashari M. Photodynamic therapy in root canal disinfection: a case series and mini-review. *J Lasers Med Sci* [Internet]. 2022; 13(1): e19. Disponible en: <https://doi.org/10.34172/jlms.2022.19>
11. Pourhajibagher M, Miri-Moosavi RS, Chiniforush N, Safarai Y, Arian-Kia S, Lalegani MR, et al. Anti-biofilm activity of *Chlorella*-mediated light activated disinfection: *Ex vivo* inhibition of intracanal mature *Enterococcus faecalis* biofilms via application of natural product. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2020; 31: 101853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101853>
12. Stájer A, Kajári S, Gajdács M, Musah-Eroje A, Baráth Z. Utility of photodynamic therapy in dentistry: current concepts. *Dent J (Basel)* [Internet]. 2020; 8(2): 43. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/dj8020043>
13. Polat E, Kang K. Natural photosensitizers in antimicrobial photodynamic therapy. *Biomedicines* [Internet]. 2021; 9(6): 584. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9060584>
14. Ghorbani J, Rahban D, Aghamiri S, Teymouri A, Bahador A. Photosensitizers in antibacterial photodynamic therapy: an overview. *Laser Ther* [Internet]. 2018; 27(4): 293-302. Disponible en: https://doi.org/10.5978/islm.27_18-RA-01
15. Afkhami F, Karimi M, Bahador A, Ahmadi P, Pourhajibagher M, Chiniforush N. Evaluation of antimicrobial photodynamic therapy with toluidine blue against *Enterococcus faecalis*: laser vs LED. *Photodiagnosis Photodyn Ther* [Internet]. 2020; 32: 102036. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.102036>
16. De Vasconcelos Neves G, Dos Santos KSA, De Souza Sales Rocha EAL, De Moura RQ, Morais Barros DG, Gominho LF, et al. Antibacterial effect of photodynamic therapy on root canal disinfection

combined with different irrigation protocols. Iran Endod J [Internet]. 2020; 15(2): 90-95. Disponible en: <https://doi.org/10.22037/iej.v15i2.27801>

17. Mozayeni MA, Vatandoost F, Asnaashari M, Shokri M, Azari-Marhabi S, Asnaashari N. Comparing

the efficacy of toluidine blue, methylene blue and curcumin in photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis*. J Lasers Med Sci [Internet]. 2020; 11(Suppl 1): 49-54. Disponible en: <https://doi.org/10.34172/jlms.2020.s8>