

**EFFECTIVIDAD DE LA FOTOBIMODULACIÓN CON LÁSER DE BAJA
DENSIDAD DE POTENCIA EN LA ACELERACIÓN DEL MOVIMIENTO
DENTAL ORTODÓNCICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y
METAANÁLISIS DE ENSAYOS CLÍNICOS ALEATORIZADOS DE BOCA
DIVIDIDA.**

**EFFECTIVENESS OF PHOTOBIMODULATION WITH LOW-LEVEL
LASERS ON THE ACCELERATION OF ORTHODONTIC TOOTH
MOVEMENT: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS OF SPLIT-
MOUTH RANDOMISED CLINICAL TRIALS**

AUTOR

JUAN CAMILO MÉNDEZ SÁNCHEZ

Odontólogo General, Estudiante del Posgrado de Ortodoncia y Ortopedia

Maxilar. Universidad El Bosque - UNICOC

ASESOR CIENTÍFICO

DR. NESTOR RÍOS OSORIO

Odontólogo General, Especialista en Endodoncia, Implantólogo Oral

Reconstructivo, Máster en ciencias. Universidad CES – Pontificia Universidad

Javeriana – UniCIEO – Universidad de Friburgo y Universidad de Buenos Aires.

ASESOR METODOLÓGICO

DRA. LUZ ANDREA VELANDIA PALACIOS

Odontóloga, Especialista en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar, Especialista en

Odontología Legal y Forense , Doctorado en investigación

UNICOC – P.U.J - Universidad de Macerata-Italia

**EFFECTIVIDAD DE LA FOTOBIMODULACIÓN CON LÁSER DE BAJA
DENSIDAD DE POTENCIA EN LA ACELERACIÓN DEL MOVIMIENTO
DENTAL ORTODÓNCICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y
METAANÁLISIS DE ENSAYOS CLÍNICOS ALEATORIZADOS DE BOCA
DIVIDIDA.**

RESUMEN

Aunque varios estudios han evaluado el efecto de la terapia con láser de baja densidad de potencia (LLLT) en la aceleración del movimiento ortodóncico, los resultados aún son inconsistentes. Estas inconsistencias pueden atribuirse a las diferencias en los protocolos de aplicación de LLLT, especialmente en términos de rangos de longitud de onda. **Objetivo:** (I) evaluar los efectos clínicos de LLLT en la aceleración del movimiento ortodóncico, (II) establecer la longitud de onda y densidad de energía del LLLT más efectiva para acelerar el movimiento dental durante el tratamiento de ortodoncia. **Materiales y métodos:** Se realizaron búsquedas en MEDLINE (PubMed), Scopus, ScienceDirect y LILACS desde su inicio hasta octubre de 2022. Criterios de inclusión: Ensayos clínicos aleatorizados de boca dividida (RCTs) en pacientes sistémicamente sanos que informan el efecto de LLLT en la aceleración de los movimientos ortodóncicos, específicamente retracción de caninos. El riesgo de sesgo se evaluó mediante RoB-2. Se aplicó un modelo de efectos aleatorios. **Resultados:** Diecinueve RCTs cumplieron los criterios de inclusión para la síntesis cualitativa y dieciocho RCTs se incluyeron en la síntesis cuantitativa. Diecisiete estudios se calificaron con algunos problemas de sesgo y dos estudios se clasificaron con bajo riesgo

de sesgo. En general, esta revisión sistemática y metaanálisis presenta un riesgo moderado de sesgo. **Conclusiones:** Los hallazgos de esta revisión sistemática y metaanálisis apuntan a una tendencia a un movimiento dental ortodóncico más rápido en los grupos que reciben tratamiento LLLT durante el primer (OR de 0.28; IC 95% (0.07 a 0.48)), segundo (OR de 0.52; IC 95% (0.31 a 0.73)) y tercer mes (OR de 0.41; IC 95% (0.03 a 0.79)) mes de seguimiento. Longitudes de onda ≤ 810 nm y valores de densidad de energía $\leq 5,3$ J/cm² se asociaron con un movimiento dental ortodóncico más rápido.

Palabras clave: Terapia con láser de baja densidad de potencia, Fotobiomodulación, Movimiento ortodóncico, Metaanálisis.

**EFFECTIVENESS OF PHOTOBIMODULATION WITH LOW-LEVEL
LASERS ON THE ACCELERATION OF ORTHODONTIC TOOTH
MOVEMENT: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS OF SPLIT-
MOUTH RANDOMISED CLINICAL TRIALS**

ABSTRACT

Although several studies have evaluated the effect of low-level laser therapy (LLLT) on orthodontic movement acceleration, results are still inconsistent. Such inconsistencies may be attributed to the differences in the LLLT application protocols, especially in terms of wavelength ranges. **Objective:** (i) to assess the clinical effects of LLLT on the acceleration of orthodontic movement and (ii) to establish the most effective LLLT wavelength to accelerate tooth movement during orthodontic treatments. **METHODOLOGY:** MEDLINE (PubMed), Scopus, ScienceDirect, and LILACS were searched from inception to October 2022. Inclusion criteria: Split-mouth randomised clinical trials (RCTs) on systemically healthy patients reporting the effect of LLLT in accelerating orthodontic movements, specifically retraction of canines. The risk of bias was assessed using RoB-2. A random effect model was applied. **RESULTS:** Nineteen RCTs met the inclusion criteria for qualitative synthesis, and eighteen RCTs were included in the quantitative synthesis. Seventeen studies were rated as at some concerns of bias and two studies were classified as having a low risk of bias. In general terms, this systematic review and meta-analysis presents a moderate risk of bias. **CONCLUSIONS:** Findings of this systematic review and meta-analysis point to a tendency for faster orthodontic dental movement in the groups receiving

LLLT treatment during the first (OR of 0.28 95% CI (0.07 to 0.48)), second (OR of 0.52 95% CI (0.31 to 0.73)), and third (OR of 0.41 95% CI (0.03 to 0.79)) month follow-up. Wavelengths ≤ 810 nm and energy density values ≤ 5.3 J/cm² were associated with faster orthodontic tooth movement.

Keywords: Low-level laser therapy, Photobiomodulation, Orthodontic movement, Meta-analysis.

INTRODUCCIÓN

El movimiento dental ortodóntico desencadena un proceso inflamatorio en el ligamento periodontal (PDL), favoreciendo la remodelación ósea (1). Estas reacciones inflamatorias se caracterizan por la liberación local de mediadores químicos como la prostaglandina E2 (PGE2), citocinas, óxido nítrico y neuropéptidos como el péptido relacionado con el gen de la calcitonina (CGRP) y la sustancia P (SP) (2,3). Este fenómeno inflamatorio no solo resulta en el movimiento dental sino que también se manifiesta en dolor y discomfort, lo que muchas veces hace que los pacientes abandonen el tratamiento o simplemente descarten la ortodoncia como una alternativa para resolver sus necesidades funcionales y estéticas. Además, el tratamiento de ortodoncia prolongado podría perjudicar o complicar la higiene oral de los pacientes, aumentando el riesgo de caries, reabsorción radicular externa y enfermedad periodontal (4).

Hasta la fecha se han propuesto diferentes estrategias para acelerar el movimiento dental y la remodelación ósea alveolar, incluyendo corticotomía quirúrgica, distracción osteogénica, vibración mecánica, campos electromagnéticos pulsados, corrientes eléctricas e inyecciones locales de sustancias químicas como prostaglandinas, osteocalcina y vitamina D3 alrededor del hueso alveolar (4). Sin embargo, algunos de estos métodos se han asociado con efectos secundarios adversos como reabsorción radicular y dolor intenso (4-8). Recientemente, la fotobiomodulación (PBM) con terapia láser de baja intensidad (LLLT) se ha propuesto como una estrategia no invasiva y fácil de usar para acelerar el movimiento dental (8).

PBM describe las modificaciones de la fisiología celular en respuesta a la irradiación de luz en condiciones específicas (9). Los láseres de bajo nivel (LLL) afectan los sistemas biológicos a través de medios no térmicos (9). Los LLL se caracterizan por: (i) Potencia de salida: 0.001-0.5 Watts, (ii) Longitud de onda: 500-1200 nm (iii) Naturaleza del trabajo: Onda pulsada o continua (iv) Densidad de potencia: 5-5000 mW/cm² y densidad de energía: 0.05-50 J/cm² (10). Para lograr los resultados previstos de LLLT, se debe considerar una amplia gama de parámetros en términos de propiedades y dosis del láser. Una dosis más baja da como resultado una respuesta celular deficiente, mientras que una sobredosis inhibe la proliferación celular o puede provocar apoptosis (9,10).

LLLT afecta la liberación de mediadores inflamatorios en los tejidos periodontales, acelera la síntesis de colágeno y estimula la proliferación de osteoblastos y osteoclastos, promoviendo así la remodelación ósea mediada por el ligando de receptor activador para el factor nuclear κ B (RANKL)/RANK/sistema de osteoprotegerina, acelerando así el movimiento dental ortodóntico (7,11-14).

Aunque varios estudios han evaluado el efecto de LLLT en la aceleración del movimiento ortodóntico, los resultados de estos estudios aún son inconsistentes (15-19). Estas inconsistencias pueden atribuirse a las diferencias en los protocolos de aplicación de LLLT, especialmente en términos de rangos de longitud de onda (nm) y densidad de energía (J/cm²). La mayoría de los artículos que evalúan la aceleración del movimiento ortodóntico con LLLT han utilizado rangos de longitud de onda que oscilan entre 808 y 830 nm. Sin embargo, estudios recientes han utilizado equipos con longitudes de onda entre 940 y 980

nm para lograr el mismo objetivo (20,21). Se ha observado que valores de densidad de energía que oscilan entre 1 y 10 J/cm² estimulan adecuadamente la actividad metabólica (10). Este rango, sin embargo, sigue siendo amplio para acelerar el movimiento ortodóntico.

En vista de lo anterior, esta revisión sistemática y metaanálisis busca estimar el efecto de LLLT sobre la aceleración del movimiento ortodóntico, con un triple enfoque: evaluar los efectos clínicos de LLLT sobre la aceleración del movimiento ortodóntico y establecer la longitud de onda y densidad de energía de LLLT más efectiva para acelerar el movimiento dental durante el tratamiento de ortodoncia.

METODOLOGÍA

Se desarrolló y registró un protocolo detallado (CRD42022332585) en el registro internacional prospectivo de revisiones sistemáticas (PROSPERO). Esta revisión sistemática de la literatura se desarrolló siguiendo las recomendaciones del manual Cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones y la Declaración PRISMA (22).

Pregunta PICO

Utilizando la pregunta PICO, se enmarcaron las preguntas específicas y los criterios de inclusión:

- **Población:** Pacientes que buscaban tratamiento de ortodoncia, en los cuales estaba indicada la extracción de los primeros premolares superiores y se buscó la retracción de los caninos superiores.
- **Intervención:** Aplicación de LLLT.
- **Comparación:** No se aplicó LLLT ni ninguna otra estrategia para acelerar el movimiento ortodóncico.
- **Resultado:** Aceleración del movimiento dental ortodóncico.

Preguntas de investigación

- (I) ¿Cuál es el efecto de LLLT en pacientes de ortodoncia (en términos de aceleración del movimiento dental ortodóncico) en los que se indicó la extracción del primer premolar superior y se buscó la retracción de los caninos?.
- (II) ¿Cuál es la longitud de onda y densidad de energía más efectiva del LLLT para acelerar el movimiento dental ortodóncico?.

Criterios de inclusión

Ensayos clínicos aleatorizados de boca dividida (RCTs) en pacientes sistémicamente sanos que reportaron el efecto del LLLT en la aceleración de los movimientos ortodóncicos, específicamente la retracción de caninos (independientemente del tipo de ligadura o la técnica mecánica utilizada para la retracción) en donde la extracción de los primeros premolares estaba indicada por motivos de ortodoncia. Estudios que describen claramente el procedimiento de ortodoncia y el protocolo de aplicación láser.

Criterios de exclusión:

Estudios en los que se realizaron estrategias adicionales como corticotomía, distracción osteogénica, vibración mecánica, campos electromagnéticos pulsados, corrientes eléctricas e inyecciones de sustancias química, entre otras, para acelerar el movimiento ortodóncico, y se excluyeron estudios clínicos que evaluaron la efectividad de la PBM con diodo emisor de luz (LED) o láseres de alta potencia.

Fuentes de información

La búsqueda bibliográfica se realizó siguiendo las recomendaciones de la Colaboración Cochrane. Se utilizaron encabezamientos de materia médicos (MeSH), lenguaje Emtree, descriptores en ciencias de la salud (Decs) y palabras de texto relacionadas con una estrategia de búsqueda completa. Se realizaron búsquedas en MEDLINE (PubMed), Scopus, ScienceDirect y LILACS desde el

inicio hasta octubre de 2022. Para asegurar la saturación de la literatura, se escanearon referencias de artículos relevantes identificados a través de la búsqueda, conferencias, bases de datos de tesis, Open Grey, Google Scholar, y ClinicalTrials.gov, entre otros. No hubo limitación de idioma ([Appendix 1](#)).

Recolección de datos

Inicialmente, dos investigadores revisaron los títulos y resúmenes. Luego revisaron los textos completos para aplicar los criterios de inclusión y exclusión especificados previamente. Los desacuerdos se resolvieron por consenso y cuando no se pudo resolver, lo decidió un tercer revisor. Los datos relevantes se recopilaron por duplicado mediante el uso de una hoja de extracción de datos estandarizada que contenía la siguiente información: nombres de los autores, año de publicación, título, diseño de estudio, ubicación geográfica, objetivos, criterios de inclusión y exclusión, número de pacientes incluidos, pérdidas de seguimiento, tiempo, definición de resultados, resultados, medidas de asociación, tipo de láser, longitud de onda de LLLT; densidad de energía (J/cm²), ubicación anatómica de la aplicación de LLLT, frecuencia de aplicación, técnica mecánica utilizada para la retracción de caninos o apiñamiento, velocidad del movimiento dental en los grupos experimental y de control (milímetros/tiempo), resultados clínicos (específicos del movimiento dental), efectos secundarios (pérdida de inserción clínica, caries, reabsorción radicular, dolor) y fuente de financiación.

Riesgo de sesgo

Dos evaluadores realizaron la evaluación del riesgo de sesgo de forma independiente utilizando la herramienta Cochrane Risk of Bias (Rob-2) para ensayos clínicos.

Análisis de datos / Síntesis de resultados

Se realizó el análisis estadístico en Review Manager. Se reportó la información sobre la diferencia de medidas (MD) con sus correspondientes intervalos de confianza del 95%. La información se combinó con un metaanálisis de efectos aleatorios de acuerdo con la heterogeneidad esperada. Para la interpretación de acuerdo con la prueba I^2 , valores $< 50\%$ y $>50\%$ corresponden a niveles bajos y altos de heterogeneidad respectivamente.

Análisis de subgrupos

Se realizaron dos análisis de subgrupos basados en la longitud de onda (nm) y la densidad de energía (J/cm^2) con un punto de corte de 810 nm y $5.3 \text{ J}/\text{cm}^2$ respectivamente, para categorizar, con base a los datos de la mediana.

RESULTADOS

Selección de estudios: Se encoraron 460 registros basado en la estrategia de búsqueda. Se evaluó la elegibilidad de 23 artículos de texto completo. Después de la selección de artículos de texto completo, se excluyeron cuatro referencias por motivos (23–26). Finalmente, 19 RCTs cumplieron los criterios de inclusión para la síntesis cualitativa (5–7, 27-42). Se incluyeron 18 RCTs en la síntesis cuantitativa (5–7,27,28,30-42) [*\(Figure 1\)*](#).

Características de los estudios incluidos: Se incluyeron 19 estudios publicados entre 2004 y 2021. Los estudios se llevaron a cabo en Irán (5,36), India (6,29,31-33,37,40), Tailandia (7) China (27) Italia (28), Australia (30), Pakistán(34), Turquía (35), Brasil (38,39,41,42). Todos los estudios fueron RCTs con un período de seguimiento de 3 meses (5–7,27-32,34,35,37-39,41,42) o 4 meses hasta la retracción canina completa (33,36,40). La edad de los participantes osciló de 10 a 28 años.

Se realizó la extracción del primer premolar superior con fines ortodóncicos, seguido de la retracción canina, una vez que se completó la fase de alineación y nivelación inicial, utilizando diferentes mecánicas. Todos los estudios incluidos utilizaron láseres de diodo (GaAlAs) con longitudes de onda que oscilaban entre 658 a 980 nm, siendo 780 nm (38,39,41,42) y 810 nm (27,31-33,40) utilizados con mayor frecuencia. La densidades de energía empleadas en cada sitio oscilaron entre cada sitio entre 4.2 y 25 J/cm². Los sitios anatómicos de la aplicación láser variaron entre los estudios y se distribuyeron en todo el tercio

cervical, medio y apical en el área vestibular y palatino. La duración de la aplicación del láser por ubicación varió entre 3 y 23 segundos. La mecánica empleada en los estudios incluyó ansas de cierre seccional (5,32), laceback(28), tie-back (29), cadeneta (37), resorte helicoidal cerrado de Ni-Ti (6,7,31,34,41), resorte helicoidal cerrado de Ni-Ti y barra transpalatina (27,36,38-40), resorte helicoidal cerrado de Ni-Ti y botón de Nance(30,33), resorte helicoidal cerrado de Ni-Ti y mini-implante (35), resorte helicoidal cerrado de Ni-Ti, barra transpalatina y botón de Nance modificado (42).

El análisis de los estudios seleccionados sugiere que LLLT puede mejorar el movimiento dental ortodóncico durante la retracción canina. La mayoría de los grupos experimentales mostraron una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en comparación con los grupos de control (6,27-29,31-35,40-42). Sin embargo algunos estudios (5,7,30,36-39) sugieren que LLT no acelera el movimiento dental ortodóncico de manera eficiente. Aunque puede aumentar ligeramente la velocidad del movimiento dental, las diferencias observadas entre los grupos no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$) ([*Table 1*](#)).

Evaluación del riesgo de sesgo: La mayoría de los estudios (5–7,27,28,31-42) mostraron algunas preocupaciones sobre el riesgo de sesgo. Sólo dos estudios (29,30) recibieron un grado de bajo riesgo de sesgo.

Selección de resultado informado: dieciséis estudios (5–7,28,31-42) no informaron la publicación del protocolo de investigación con su plan de análisis

de datos. Por lo tanto, fue difícil acceder a él y compararlo con el que finalmente se informó en el artículo, y como resultado, este dominio de sesgo se evaluó como “alguna preocupación” para estos estudios.

Desviaciones de las intervenciones previstas: doce estudios (5,7,27,28,31,33,35,37-39,41,42) no informaron si se había realizado un análisis para estimar el efecto de la asignación a la intervención o al menos una estimación de la muestra a estudiar. Por lo tanto, estos estudios se calificaron como “alguna preocupación” para este dominio de sesgo.

Proceso de aleatorización: siete estudios (31-33,36,37,41,42) no informaron cómo se realizó el proceso de ocultación de la secuencia de asignación de los participantes a cada grupo. Esto es particularmente importante en este caso, que se refiere a la asignación de cada cuadrante del maxilar al grupo experimental y de control. Se consideró que estos estudios tenían “alguna preocupación” en este dominio de sesgo.

Resultado faltante: aunque la mayoría de los estudios (5–7,27,28,30-33, 35,37,38,40-42) no presentaron un diagrama de flujo que cumplieran con las pautas CONSORT, todos los estudios incluidos en esta revisión sistemática se calificaron como “bajo riesgo de sesgo” en este dominio, ya que no hay evidencia que sugiera que faltaran datos de resultados, y parece que se obtuvieron resultados para todos los participantes sin pérdidas de pacientes ni resultados faltantes.

Medición de resultado: aunque sólo seis estudios (5,30,32,37-39) ocultaron la asignación de los grupos responsables de los datos de resultado, todos los estudios incluidos en esta revisión sistemática fueron calificados como “bajo riesgo de sesgo”, ya que los métodos de medición e instrumentos utilizados fueron adecuados y validados correctamente, y el diseño de boca dividida eliminó la influencia de las variables biológicas ([Figura 2A-2B](#)).

Efecto de LLLT en la aceleración de la retracción canina: En este metaanálisis se incluyeron dieciocho RCTs (5–7,27,28,30-42). Doce estudios evaluaron el grado de retracción en el mes 1. La estimación agrupada mostró un mayor movimiento dental en el grupo LLLT (OR 0.28 IC 95% (0.07 a 0.48)) (I^2 : 88%) ([Figure 3A](#)).

Trece estudios evaluaron el grado de retracción en el mes 2. La estimación agrupada mostró un mayor movimiento dental en el grupo LLLT (OR 0.52 IC 95% (0.31 a 0.73)) (I^2 : 94%) ([Figure 3B](#)).

Diez estudios evaluaron el grado de retracción en el mes 3. La estimación agrupada mostró un mayor movimiento dental en el grupo LLLT (OR 0.41 IC 95% (0.03 a 0.79)) (I^2 : 94%) ([Figure 3C](#)).

Finalmente, solo tres estudios evaluaron el grado de retracción en el mes 4. La estimación agrupada no mostró diferencias significativas entre los grupos (OR 0.41 IC 95% (-0.11 a 0.94)) (I^2 : 98%) ([Figure 3D](#)).

Efecto de longitud de onda en la aceleración del movimiento dental ortodóncico: Se realizó un análisis de subgrupos basados en la longitud de onda con un punto de corte de 810 nm para categorizar, basados en los datos de la mediana. Se encontró que las longitudes de onda ≤ 810 nm se asociaron con un movimiento dental ortodóncico más rápido durante el segundo, tercer y cuarto mes de la retracción del canino superior ([Table 2](#)).

Efecto de la densidad de energía en la aceleración del movimiento dental ortodóncico: Se realizó un análisis de subgrupos basados en la densidad de energía con un punto de corte de 5.3 J/cm² para categorizar, basado en los datos de la mediana. Se encontró que una densidad de energía ≤ 5.3 J/cm² se asoció con un movimiento dental ortodóncico más rápido durante el primer, segundo y cuarto mes de retracción del canino superior ([Table 3](#)).

DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta revisión sistemática y metaanálisis apuntan a una tendencia a un movimiento dental ortodóncico más rápido en los grupos que reciben tratamiento de LLLT. Sin embargo, los resultados estuvieron ampliamente dispersos, lo que permitió evidencia de una alta heterogeneidad en los ensayos incluidos, discernible en el análisis de efectos aleatorios. Incluso después de categorizar los datos según el momento de evaluación de los efectos (1 a 4 meses), la heterogeneidad siguió siendo evidente. Sin embargo, el resultado obtenido en la estimación de la efectividad del movimiento dental tiende a ser mejor para el grupo experimental (LLLT).

Como resultado de la evaluación del riesgo de sesgo, diecisiete estudios (5–7,27,28,31-42) fueron calificados con algunas preocupaciones de sesgo y dos estudios (29,30) fueron clasificados con bajo riesgo de sesgo. Con la excepción del estudio de Mistry et al. (30) y Lahnunpuu et al. (29), la mayoría de los RCTs incluidos en esta revisión sistemática y metaanálisis no presentaron o no permitieron el acceso público a los protocolos de investigación con el análisis respectivo para estimar el efecto de la asignación de la intervención o al menos una estimación de la muestra a estudiar, impidiendo que los lectores identifiquen e interpreten cambios no planificados en los métodos de estudio. En términos generales, esta revisión sistemática y metaanálisis presenta un moderado riesgo de sesgo. Los resultados de este estudio son consistentes con hallazgos recientes de Zheng et al. (27), quienes concluyeron que LLLT puede inducir

cambios en el metabolismo óseo, lo que lleva a una aceleración del movimiento dental ortodóncico.

PBM, combinado con LLT, estimula la remodelación ósea al desencadenar una respuesta fotoquímica a nivel celular (28,43). Las mitocondrias absorben los fotones liberados por LLL, aumentando la actividad enzimática de la citocromo C oxidasa (cCo). Como fotorreceptor y transductor de señales luminosas en las regiones visibles e infrarroja del espectro electromagnético, cCo (complejo IV de la cadena respiratoria mitocondrial) mejora la producción de ATP y activa varias vías de señalización a través de especie reactivas de oxígeno y óxido nítrico, lo que da como resultado la activación de varios factores de transcripción (34,42,44). Los factores de transcripción activados pueden conducir una mayor expresión de genes al acelerar la replicación del ADN y ARN, estimulando así el metabolismo de las células celular y promoviendo la vasodilatación, proliferación y diferenciación celular de las células del tejido periodontal (28,36,41).

Los fotones emitidos por LLL son absorbidos por varios cromóforos presentes en los tejidos blandos intraorales como la melanina, hemoglobina y agua, así como en los tejidos duro como los dientes y el hueso (43,42). Esta propiedad confiere a LLLT un alto grado de penetración en las células óseas (28,42,45). Cuando se aplica LLLT combinando con fuerzas ortodóncicas, se activa la vía RANKL/RANK/osteoprotegerina. Esta vía promueve la proliferación de osteoblastos y permite la sobreexpresión de RANKL y la regulación negativa de OPG (6,27,45). Un aumento en el número de osteoblastos está directamente

relacionado con mayores cantidades de RANKL circulante en el ligamento periodontal y el fluido crevicular, lo que a su vez aumenta la probabilidad de iniciar la osteoclastogénesis, y por lo tanto, resulta en efectos favorables y no citotóxicos sobre la remodelación ósea, acelerando en última instancia el movimiento dental ortodóncico (6,27,45).

Por otro lado, se ha demostrado que la aplicación de LLLT a un diente que se encuentra bajo estrés ortodóncico provoca un aumento en la producción del factor de crecimiento de fibroblastos básico (bFGF). El bFGF se ha relacionado con varios procesos, incluida la angiogénesis y remodelación de tejidos (45,46). Además, LLLT promueve la proliferación y diferenciación de fibroblastos al aumentar la síntesis de fibronectina y aumenta la cantidad de fibras de colágeno tipo I (constantemente reemplazadas), lo que a su vez permite una aceleración en el movimiento dental ortodóncico (45,46). Adicionalmente, también se ha demostrado que LLLT aumenta los niveles de citocinas como IL-1 β , IL-6 y TNF- α en el fluido crevicular. Estas citocinas desempeñan un papel importante en la aceleración del movimiento dental ortodóncico (6,36,47).

La longitud de onda se refiere a la distancia, generalmente medida en nanómetros, entre dos puntos de una onda en el eje horizontal. Este factor es crucial para determinar cómo se emite la luz hacia el tejido y cómo interactúa con él (48). Todas las longitudes de onda tienen algún grado de estimulación a nivel celular, y a su vez, una sola longitud de onda puede provocar diferentes efectos bajo diferentes parámetros de aplicación (49).

Los hallazgos de este estudio sugieren que las longitudes de onda ≤ 810 nm están asociadas con un aumento significativo en la velocidad del movimiento dental ortodóncico durante el segundo, tercer y cuarto mes de retracción del canino superior. Los resultados son consistentes con los reportados por Domínguez et al. (43), quienes sugirieron que las longitudes de onda en el rango de 780 a 809 nm son las más eficientes para acelerar el movimiento dental ortodóncico. Así mismo, Karu (44), informó que dado a que la melanina y la hemoglobina tienen una fuerte atracción por los diodo del láser por encima de 900 nm, la mayor parte de la energía es absorbida superficialmente por la encía, mientras que el hueso alveolar apenas absorbe energía difusa. Además, el mayor pico de absorción a nivel de cCo se produce en longitudes de onda de alrededor de 800 nm. Se ha demostrado que una mayor absorción de longitud de onda a nivel de cCo, que se encuentra dentro del rango de 810 nm, ejerce el efecto más significativo en términos de osteoclastogénesis, que puede conducir a un aumento en la proliferación celular, necesaria para la aceleración del movimiento dental (43,51). En particular, las longitudes de onda ≤ 810 nm incluyen longitudes de onda del espectro rojo visible y del infrarrojo cercano; por lo tanto, futuras investigaciones deberían investigar su efecto específico sobre la aceleración del movimiento dental ortodóncico.

La densidad de energía en PBM se refiere a la distribución de energía a través de la superficie de un tejido y se mide en J/cm². Un valor de densidad de energía adecuado empleado para acelerar los movimientos ortodóncicos promueve la

síntesis y liberación de neurotransmisores, citocinas y factores de crecimiento involucrados en el metabolismo óseo y periodontal (52,53).

Los resultados de la presente revisión sistemática y metaanálisis sugieren que los valores de densidad de energía $\leq 5.3 \text{ J/cm}^2$ se asocian con un aumento significativo en la velocidad del movimiento dental ortodóncico durante el primer, segundo y cuarto mes de retracción del canino superior. Aunque pocos estudios informan la densidad de energía más efectiva en LLLT, estos hallazgos son consistentes con los informados en un metaanálisis previo de Ge et al. (54), en el que densidades de energía entre 5 y 8 J/cm^2 parecen ser las más efectivas para acelerar el movimiento dental ortodóncico. Sousa et al. (41) y Pereira et al. (38) obtuvieron resultados contradictorios en sus respectivos estudios, a pesar de que utilizaron la misma longitud de onda (780 nm); sin embargo, cada uno de sus experimentos utilizó una densidad de energía diferente por punto de aplicación (38,41). Por lo tanto, cada parámetro de aplicación de LLLT debe estandarizarse individualmente para proporcionar resultados óptimos en términos de aceleración del movimiento ortodóncico.

Los resultados de este estudio sugieren que las longitudes de onda $\leq 810 \text{ nm}$ y los valores de densidad de energía $\leq 5.3 \text{ J/cm}^2$ se asocian con un aumento significativo en la aceleración del movimiento dental ortodóncico. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que la longitud de onda y la densidad de energía son solo dos de los otros parámetros de aplicación que afectan el impacto de LLLT en la aceleración del movimiento dental ortodóncico.

Otros parámetros como la densidad de potencia, el modo de emisión (onda pulsada o continua), el tiempo de aplicación de LLLT, la frecuencia de las aplicaciones y las propiedades ópticas del tejido, desempeñan un papel en la eficacia de LLLT en la aceleración del movimiento dental ortodóncico, ya que influyen significativamente en la respuesta celular (17). Para lograr un impacto biológico significativo de LLLT en los tejidos, se debe utilizar una combinación adecuada de parámetros de aplicación. Por ejemplo, Limpanichkul et al. (7), aplicaron una densidad de energía de 25 J/cm² y un tiempo de aplicación de 23 segundos por punto, lo que se considera una dosis de aplicación alta que puede causar inhibición la estimulación del movimiento dental, lo que lleva a resultados no significativos en la aceleración del movimiento ortodóncico. Además, al calcular los periodos de aplicación, es fundamental tener en cuenta que la irradiación láser tiene un efecto acumulativo (17). Por ello, es aconsejable no exceder la dosis recomendada, ya que puede tener un efecto inhibidor. Dosis más pequeñas con intervalos de tiempo de aplicación adecuados son más efectivas que dosis más grandes con intervalos de aplicación más cortos (17).

En esta revisión sistemática y metaanálisis se siguió rigurosamente la Colaboración Cochrane y la declaración PRISMA. No obstante, la considerable heterogeneidad de los resultados hace que la interpretación sea problemática. La heterogeneidad de los resultados observados en esta revisión sistemática y metaanálisis puede se puede atribuir a varias variables, entre ellas:

Tamaño de muestra: Todos los estudios se llevaron a cabo con un número limitado de participantes (entre 6 y 20 pacientes), lo que puede haber dado lugar a limitaciones e imprecisiones. Cuando el tamaño de la muestra es pequeño, las diferencias entre los individuos como las características óseas y la posición de la raíz del canino en relación con la cortical ósea, se vuelven más evidentes, lo que puede disminuir si se adquiere una muestra más grande de pacientes (37).

Edad de los pacientes: La edad osciló entre 10.5 y 35 años. Este rango de edad es muy amplio, teniendo en cuenta que el movimiento dental ortodóncico se comporta de manera diferente en adolescentes (en crecimiento) y pacientes adultos, incluso cuando se utilizan los mismo brackets, mecánicas de retracción y anclajes (55,56).

Mecánica de retracción canina: Aunque en la mayoría de los ensayos se emplearon resortes cerrados de Ni-Ti, también se utilizaron diferentes mecánicas para realizar la retracción canina. Guram et al. (32) y Dalaie et al. (5), por ejemplo, emplearon ansas cerradas para la retracción, mientras que Kansal et al. (37) utilizaron cadena elastomérica para el movimiento del canino. Sin embargo, se ha observado que cuando se utilizan resortes helicoidales cerrados de Ni-Ti, la eficiencia del movimiento de retracción canina es mayor que cuando se utilizan otras técnicas (57).

Finalmente, debido a los numerosos parámetros de aplicación empleados en LLLT, no se puede establecer patrones de comportamiento específicos. Es

evidente que la heterogeneidad de los estudios seleccionados limita claramente una evaluación más precisa de LLLT en la aceleración del movimiento dental ortodóncico. Es necesario realizar más investigaciones donde se utilicen parámetros consensuados y criterios más unificados. Se requieren más estudios con estándares acordados y criterios más consistentes.

CONCLUSIÓN

Los estudios seleccionados en esta revisión sistemática y metaanálisis presentan una heterogeneidad sustancial debido al tamaño de las muestras, el rango de edad de los pacientes participantes y los variados entornos de irradiación que impiden la extrapolación de estos resultados. Por otro lado, la fotobiomodulación con LLLT tiende a ser efectiva para acelerar la retracción canina durante el tratamiento de ortodoncia en donde longitudes de onda ≤ 810 nm y los valores de densidad de energía ≤ 5.3 J/cm² se asocian con un aumento significativo en la aceleración del movimiento dental ortodóncico.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme estar aquí hoy y por regalarme la salud, la sabiduría y el entendimiento para culminar esta etapa profesional y personal. A mi madre, que es mi motor de vida y principal apoyo para la realización de este posgrado. Sin ustedes no hubiese sido posible este logro profesional.

A la Institución Universitaria Colegios de Colombia (UNICOC) por darme la oportunidad de formarme como especialista y por brindarme las herramientas para la realización de esta tesis. A mis asesores, el doctor Néstor Ríos Osorio y la doctora Luz Andrea Velandia Palacios, por haberme ayudado a enfocarme en mi investigación y clarificar el objetivo en la realización de esta. Quiero agradecer también a la doctora Marggie Grajales Ramírez, por su amabilidad y disposición para explicarme acerca de la efectividad de la fotobiomodulación con láser de baja densidad de potencia en la aceleración del movimiento dental ortodóncico, conocimiento que utilicé para la realización de esta tesis.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Esta investigación no recibió financiación externa.

RECOMENDACIONES

Las futuras investigaciones sobre la influencia de la LLLT en la aceleración del movimiento ortodóncico deberían centrarse en mejorar la calidad metodológica del estudio para reducir el riesgo de sesgo y mejorar la solidez de los resultados, así como en estandarizar los diferentes parámetros de aplicación del láser para crear protocolos de aplicación más uniformes y predecibles.

Debido a los numerosos parámetros de aplicación empleados en LLLT, no se puede establecer patrones de comportamiento específicos. Es evidente que la heterogeneidad de los estudios seleccionados limita claramente una evaluación más precisa de LLLT en la aceleración del movimiento dental ortodóncico. Es necesario realizar más investigaciones donde se utilicen parámetros consensuados y criterios más unificados. Se requieren más estudios con estándares acordados y criterios más consistentes.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Gkantidis N, Mistakidis I, Kouskoura T, Pandis N. Effectiveness of non-conventional methods for accelerated orthodontic tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2014 Oct 1;42(10):1300–19.
2. Patil A, Shetty A, Setty S, Thakur S. Understanding the advances in biology of orthodontic tooth movement for improved ortho-perio interdisciplinary approach. Vol. 17, *Journal of Indian Society of Periodontology*. 2013. p. 309–18.
3. Liu Y, Yang Z jin, Zhou J, Xiong P, Wang Q, Yang Y, et al. Comparison of Anchorage Efficiency of Orthodontic Mini-implant and Conventional Anchorage Reinforcement in Patients Requiring Maximum Orthodontic Anchorage: A Systematic Review and Meta-analysis. Vol. 20, *Journal of Evidence-Based Dental Practice*. Mosby Inc.; 2020.
4. Long H, Pyakurel U, Wang Y, Liao L, Zhou Y, Lai W. Interventions for accelerating orthodontic tooth movement: A systematic review. Vol. 83, *Angle Orthodontist*. 2013. p. 164–71.
5. Dalaie K, Hamed R, Kharazifard MJ, Mahdian M, Bayat M, Hamed R. Effect of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement: A Clinical Investigation [Internet]. Vol. 12, *Journal of Dentistry*. 2015. Available from: www.jdt.tums.ac.ir
6. Varella AM, Revankar A V., Patil AK. Low-level laser therapy increases interleukin-1 β in gingival crevicular fluid and enhances the rate of orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018 Oct 1;154(4):535-544.e5.

7. Limpanichkul Godfrey N Srisuk C Rattanayatikul WK, Limpanichkul W, Limpanichkul W, -Limpanichkul AW. Effects of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement Structured Abstract.
8. Yassaei S, Fekrazad R, Shahraki N, Shahraki N. Effect of Low Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement: A Review Article [Internet]. Vol. 10, Journal of Dentistry. 2013. Available from: www.jdt.tums.ac.ir
9. Tam SY, Tam VCW, Ramkumar S, Khaw ML, Law HKW, Lee SWY. Review on the Cellular Mechanisms of Low-Level Laser Therapy Use in Oncology. Vol. 10, Frontiers in Oncology. Frontiers Media S.A.; 2020.
10. Rola P, Włodarczak S, Lesiak M, Doroszko A, Włodarczak A. Changes in Cell Biology under the Influence of Low-Level Laser Therapy. Vol. 9, Photonics. MDPI; 2022.
11. Yoshida Yamaguchi T Utsunomiya M Kato Y Arai T Kaneda H Yamamoto K Kasai Authors TM, Yoshida T, Yamaguchi M, Kasai K, Kato M, Kaneda T, et al. Low-energy laser irradiation accelerates the velocity of tooth movement via stimulation of the alveolar bone remodeling Structured Abstract.
12. Gama SKC, Habib FAL, De Carvalho Monteiro JS, Paraguassú GM, Araújo TM, Cangussú MCT, et al. Tooth movement after infrared laser phototherapy: Clinical study in rodents. Photomed Laser Surg. 2010 Oct 1;28(SUPPL. 2).
13. Salehi P, Heidari S, Tanideh N, Torkan S. Effect of low-level laser irradiation on the rate and short-term stability of rotational tooth movement in dogs. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2015 May 1;147(5):578–86.

14. Fujita Yamaguchi T Utsunomiya H Yamamoto K Kasai SM, Fujita S, Yamaguchi M, Kasai K, Utsunomiya T, Yamamoto H, et al. Low-energy laser stimulates tooth movement velocity via expression of RANK and RANKL Structured Abstract.
15. De Almeida VL, De Andrade Gois VL, Andrade RNM, Cesar CPHAR, De Albuquerque-Junior RLC, De Mello Rode S, et al. Efficiency of low-level laser therapy within induced dental movement: A systematic review and meta-analysis. *J Photochem Photobiol B*. 2016 May 1;158:258–66.
16. Sonesson M, De Geer E, Subraian J, Petrén S. Efficacy of low-level laser therapy in accelerating tooth movement, preventing relapse and managing acute pain during orthodontic treatment in humans: A systematic review. *BMC Oral Health*. 2016 Jul 7;17(1).
17. Carvalho-Lobato P, Garcia VJ, Kasem K, Ustrell-Torrent JM, Tallón-Walton V, Manzanares-Céspedes MC. Tooth movement in orthodontic treatment with low-level laser therapy: A systematic review of human and animal studies. Vol. 32, *Photomedicine and Laser Surgery*. Mary Ann Liebert Inc.; 2014. p. 302–9.
18. Sousa MVS, Pinzan A, Consolaro A, Henriques JFC, De Freitas MR. Systematic literature review: Influence of low-level laser on orthodontic movement and pain control in humans. Vol. 32, *Photomedicine and Laser Surgery*. Mary Ann Liebert Inc.; 2014. p. 592–9.
19. Nimeri G, Kau CH, Abou-Kheir NS, Corona R. Acceleration of tooth movement during orthodontic treatment-a frontier in Orthodontics [Internet]. 2013. Available from: <http://www.progressinorthodontics.com/content/14/1/42>

20. P S. Efficacy of Diode Laser Therapy in Acceleration of Orthodontic Space Closure: A Split-Mouth Randomized Clinical Trial. *Int J Dent Oral Health*. 2017;3(2).
21. Caccianiga G, Paiusco A, Perillo L, Nucera R, Pinsino A, Maddalone M, et al. Does Low-Level Laser Therapy Enhance the Efficiency of Orthodontic Dental Alignment? Results from a Randomized Pilot Study. *Photomed Laser Surg*. 2017 Aug 1;35(8):421–6.
22. Urrútia G, Bonfill X. PRISMA declaration: A proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses. *Med Clin (Barc)*. 2010 Oct 9;135(11):507–11.
23. Eid FY, El-Kenany WA, Mowafy MI, El-Kalza AR, Guindi MA. A randomized controlled trial evaluating the effect of two low-level laser irradiation protocols on the rate of canine retraction. *Sci Rep*. 2022 Dec 1;12(1).
24. Farhadian N, Miresmaeili A, Borjali M, Salehisaheb H, Farhadian M, Rezaei-Soufi L, et al. The effect of intra-oral LED device and low-level laser therapy on orthodontic tooth movement in young adults: A randomized controlled trial. *Int Orthod*. 2021 Dec 1;19(4):612–21.
25. Türker G, Yavuz İ, Gönen ZB. Which method is more effective for accelerating canine distalization short term, low-level laser therapy or piezocision? A split-mouth study. *Journal of Orofacial Orthopedics*. 2021 Jul 1;82(4):236–45.
26. AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Low-level laser therapy effectiveness in accelerating orthodontic tooth movement: A randomized controlled clinical trial. *Angle Orthodontist*. 2017 Jul 1;87(4):499–504.

27. Zheng J, Yang K. Clinical research: low-level laser therapy in accelerating orthodontic tooth movement. *BMC Oral Health*. 2021 Dec 1;21(1).
28. Impellizzeri A, Horodyski M, Fusco R, Palaia G, Polimeni A, Romeo U, et al. Photobiomodulation therapy on orthodontic movement: Analysis of preliminary studies with a new protocol. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 May 2;17(10).
29. Lalnunpuii H, Batra P, Sharma K, Srivastava A, Raghavan S. Comparison of rate of orthodontic tooth movement in adolescent patients undergoing treatment by first bicuspid extraction and en-mass retraction, associated with low level laser therapy in passive self-ligating and conventional brackets: A randomized controlled trial. *Int Orthod*. 2020 Sep 1;18(3):412–23.
30. Mistry D, Dalci O, Papageorgiou SN, Darendeliler MA, Papadopoulou AK. The effects of a clinically feasible application of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement: A triple-blind, split-mouth, randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020 Apr 1;157(4):444–53.
31. Arumughan S, Somaiah S, Muddaiah S, Shetty B, Reddy G, Roopa S. A comparison of the rate of retraction with low-level laser therapy and conventional retraction technique. *Contemp Clin Dent*. 2018;9(2):260–6.
32. Guram G, Reddy R, Dharamsi A, Syed Ismail P, Mishra S, Prakashkumar M. Evaluation of Low-Level Laser Therapy on Orthodontic Tooth Movement: A Randomized Control Study. *Contemp Clin Dent*. 2018 Jan 1;9(1):105–9.
33. Kochar G, Londhe S, Varghese B, Jayan B, Kohli S, Kohli S. The effect of low level laser therapy on orthodontic tooth movement. *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*. 2017;51(2):81–6.

34. Qamruddin I, Alam MK, Mahroof V, Fida M, Khamis MF, Husein A. Effects of low-level laser irradiation on the rate of orthodontic tooth movement and associated pain with self-ligating brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017 Nov 1;152(5):622–30.
35. Üretürk SE, Saraç M, Fıratlı S, Can ŞB, Güven Y, Fıratlı E. The effect of low-level laser therapy on tooth movement during canine distalization. *Lasers Med Sci*. 2017 May 1;32(4):757–64.
36. Yassaei S, Aghili H, Afshari JT, Bagherpour A, Eslami F. Effects of diode laser (980 nm) on orthodontic tooth movement and interleukin 6 levels in gingival crevicular fluid in female subjects. *Lasers Med Sci*. 2016 Dec 1;31(9):1751–9.
37. Kansal A, Kittur N, Kumbhojkar V, Keluskar KM, Dahiya P. Effects of low-intensity laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement: A clinical trial. Vol. 11, *Dental Research Journal* 481 *Dental Research Journal*. 2014.
38. Cristina S, Pereira C. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU.
39. Vieira M, Sousa S. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU Avaliação da influência do laser de baixa intensidade como recurso de ancoragem Ortodôntica e na supressão da dor BAURU 2013.
40. Doshi-Mehta G, Bhad-Patil WA. Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: A clinical investigation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2012 Mar;141(3):289–97.

41. Da Silva Sousa MV, Scanavini MA, Sannomiya EK, Velasco LG, Angelieri F. Influence of low-level laser on the speed of orthodontic movement. *Photomed Laser Surg.* 2011 Mar 1;29(3):191–6.
42. Cruz DR, Kohara EK, Ribeiro MS, Wetter NU. Effects of low-intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: A preliminary study. *Lasers Surg Med.* 2004;35(2):117–20.
43. Camacho AD, Montoya Guzmán D, Velásquez Cujar SA. Effective Wavelength Range in Photobiomodulation for Tooth Movement Acceleration in Orthodontics: A Systematic Review. Vol. 38, *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*. Mary Ann Liebert Inc.; 2020. p. 581–90.
44. Yamaguchi M, Hayashi M, Fujita S, Yoshida T, Utsunomiya T, Yamamoto H, et al. Low-energy laser irradiation facilitates the velocity of tooth movement and the expressions of matrix metalloproteinase-9, cathepsin K, and $\alpha(v)$ $\beta(3)$ integrin in rats. *Eur J Orthod.* 2010 Apr;32(2):131–9.
45. Domínguez A, Velásquez SA. Acceleration of Dental Movement by Photobiomodulation: How Does It Happen? Vol. 39, *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*. Mary Ann Liebert Inc.; 2021. p. 379–80.
46. Saygun I, Karacay S, Serdar M, Ural AU, Sencimen M, Kurtis B. Effects of laser irradiation on the release of basic fibroblast growth factor (bFGF), insulin like growth factor-1 (IGF-1), and receptor of IGF-1 (IGFBP3) from gingival fibroblasts. *Lasers Med Sci.* 2008 Apr;23(2):211–5.
47. Jose JA, Somaiah S, Muddaiah S, Shetty B, Reddy G, Roopa S. A comparative evaluation of interleukin 1 beta and prostaglandin E2 with and without low-level laser therapy during en masse retraction. *Contemp Clin Dent.* 2018;9(2):267–75.

48. Smith KC. The photobiological basis of low level laser radiation therapy. *Laser Ther* 3(1):19-24. 1991.
49. Hadis MA, Zainal SA, Holder MJ, Carroll JD, Cooper PR, Milward MR, et al. The dark art of light measurement: accurate radiometry for low-level light therapy. Vol. 31, *Lasers in Medical Science*. Springer London; 2016. p. 789–809.
50. Karu TI. Multiple roles of cytochrome c oxidase in mammalian cells under action of red and IR-A radiation. Vol. 62, *IUBMB Life*. 2010. p. 607–10.
51. Dominguez A. Quintessence Journals [Internet]. 2009. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/216622273>
52. Olmedo-Hernández OL, Mota-Rodríguez AN, Torres-Rosas R, Argueta-Figueroa L. Effect of the photobiomodulation for acceleration of the orthodontic tooth movement: a systematic review and meta-analysis. Vol. 37, *Lasers in Medical Science*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2022. p. 2323–41.
53. Liu Y, Yang Z jin, Zhou J, Xiong P, Wang Q, Yang Y, et al. Comparison of Anchorage Efficiency of Orthodontic Mini-implant and Conventional Anchorage Reinforcement in Patients Requiring Maximum Orthodontic Anchorage: A Systematic Review and Meta-analysis. Vol. 20, *Journal of Evidence-Based Dental Practice*. Mosby Inc.; 2020.
54. Ge MK, He WL, Chen J, Wen C, Yin X, Hu ZA, et al. Efficacy of low-level laser therapy for accelerating tooth movement during orthodontic treatment: a systematic review and meta-analysis. Vol. 30, *Lasers in Medical Science*. Springer London; 2015. p. 1609–18.

55. Ruan MJ, Chen G, Xu TM. Comparison of orthodontic tooth movement between adolescents and adults based on implant superimposition. *PLoS One*. 2018 May 1;13(5).
56. Iwasaki LR, Liu Y, Liu H, Nickel JC. Speed of human tooth movement in growers and non-growers: Selection of applied stress matters. *Orthod Craniofac Res*. 2017 Jun 1;20:63–7.
57. Khalid Z, Bangash AA, Anwar A, Pasha H, Amin E. Canine retraction using a closed nickel titanium coil spring and an elastic module. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*. 2018 Sep 1;28(9):695–8.

ANEXOS

APÉNDICE

Appendix 1. Search strategy translated for each database.

Electronic databases	Search strategy
PubMed https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/	"llt" OR "laser therapy" OR "photobiomodulation" AND "tooth movement" AND "orthodontics"
ScienceDirect https://www.sciencedirect.com/	"llt" AND "low-level laser therapy" AND "tooth movement" AND "orthodontics"
Scopus https://www.scopus.com/	<i>"low-level" AND "laser" AND "therapy" AND "orthodontic" AND "movement" OR "photobiomodulation" AND "tooth" AND "movement"</i>
LILACS http://lilacs.bvsalud.org/	"low-level laser therapy" OR "photobiomodulation" AND "tooth movement"

TABLAS

Table 1. Characteristics and main results of the included studies.

Study ID	Sample size and characteristics	Age range (years)	Canine retraction mechanics	Laser type and λ (nm)	Energy density (J/cm ²)	Anatomical application points on canine/ Application time
Zheng et al., 2021 China	8 female 4 male	18-28	NiTi closed spring Transpalatal arch	GaAlS 810nm	6.3	Buccal-medial Buccal-distal Palatal-medial Palatal-distal *40 seconds each point
Impellizzeri et al., 2020 Italy	8 canines studied; no gender specified.	14-18	Laceback	GaAlAs 910/650	2	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical 1/3 middle 1/3 apical *10 seconds each point
Lalnunpuii et al., 2020 India	41 female 24 male	13-20	Tieback (mass retraction)	GaAlAs 658	2.3	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle: Central 1/3 apical: Central *10 seconds each point
Mistry et al., 2020 Australia	14 female 7 male	13-23	NiTi closed spring Nance appliance	GaAlAs 808	Not reported	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
Varella et al., 2018 India	6 female 4 male	14-25	NiTi closed spring	GaAlAs 940	8	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal

						1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
Arumug han et al., 2018 India	12 patients, no gender specified.	17-35	NiTi closed spring (mass retraction)	GaAlA s 810	10	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
Guram et al., 2018 India	12 female 8 male	17-24	Sectional closure loops.	GaAlA s 810	5	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical 1/3 middle 1/3 apical *10 seconds each point
Kochar et al., 2017 India	8 female 12 male	16-24	NiTi closed spring Nance button	GaAlA s 810	5	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
Qamrud din et al., 2017 Pakista n	11 female 11 male	12-25	NiTi closed spring	GaAlA s 940	7.5	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: mesial and distal 1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *3 seconds each point
Üretürk et al., 2017 Turkey	8 female 7 male	12-19	NiTi closed spring Mini- screws	GaAlA s 820	5	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal

						1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *3 seconds each point
Yassaei et al., 2016 Iran	11 female	14-25	NiTi closed spring Transpalat al arch	GaAlIA s 980	5.6	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical 1/3 middle *10 seconds each point 1/3 apical *8 seconds each point
Dalaie et al., 2015 Iran	9 female 3 male	20.1 Averag e	Sectional closure loops	GaAlIA s 880	5	Distal-buccal and distal-palatal surfaces: 1/3 cervical 1/3 middle 1/3 apical *10 seconds each point
Kansal et al., 2014 India	10 patients, no gender specified.	No mentio ned	Elastomeri c chain	GaAS 904	4.2	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
Pereira et al., 2014 Brazil	7 male 4 female	12-17	NiTi closed spring Transpalat al arch	GaAlIA s 780	10	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle 1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
De soouza , 2014 Brazil	11 patients, no gender specified.	No mentio ned	NiTi closed spring Transpalat al arch	GaAlIA s 780	10	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle: Central

						1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
Doshi-Mehta et al., 2012 India	12 female 8 male	12-23	NiTi closed spring Transpalatal arch	GaAlAs 810	5	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical: Medial and distal 1/3 middle: Central 1/3 apical: Medial and distal *10 seconds each point
Sousa et al., 2011 Brazil	6 female 4 male	10.5-20.2	NiTi closed spring	GaAlAs 780	5	Buccal and palatal surfaces: 10 points *10 seconds each point
Limpanichkul et al., 2006 Thailand	8 female 4 male	20.11 ± 3.4 Average	NiTi closed spring	GaAlAs 860	25	Buccal and palatal surfaces: 1/3 cervical 1/3 middle 1/3 apical Two points on distal canine *23 seconds each point
Cruz et al., 2004 Brazil	11 patients	12-18	NiTi closed spring Transpalatal arch Modified Nance appliance	GaAlAs 780	5	1/3 Cervical: Mesial and distal 1/3 Middle: central 1/3 apical: Mesial and distal * Buccal and palatine surfaces, 10s each point

λ = wavelength, expressed in nm.

Table 1. Continued.

Study ID	Application frequency	Canine retraction speed (average $\pm$ SD mm)		Clinical results
		Control	Laser	
Zheng et al., 2021 China	Days 0, 7, 14, 21	Month 1: 0.85 $\pm$ 0.23	Month 1: 1.15 $\pm$ 0.29	LLLT could have clinical utility in accelerating orthodontic tooth movement due to biostimulant effects.
Impellizzeri et al., 2020 Italy	Days 0, 3, 7, 14	Month 1: 1.35 $\pm$ 0.18	Month 1: 1.98 $\pm$ 0.33	LLLT accelerates the distal movement of the canines in a statistically significant way, 32% during Month 1 of follow-up.
Lalnunpuii et al., 2020 India	Days 0, 3, 7, 14 first month, and every 15 days until retraction is completed.	Month 1 Right: 0.25 $\pm$ 0.48 Left: 0.5 $\pm$ 0.04	Month1 Self-ligating Right: 0.60 $\pm$ 0.4 Self-ligating Left: 0.61 $\pm$ 0.9 Conventional Right: 0.66 $\pm$ 0.17 Conventional Left: 0.68 $\pm$ 0.23	LLLT accelerates orthodontic movement during mass retraction, regardless of bracket type.
Mistry et al., 2020 Australia	Days 0, 28, 56	Month 1: 0.76 $\pm$ 0.41 Month 2: 1.55 $\pm$ 0.66 Month 3: 2.30 $\pm$ 0.86	Month 1: 0.79 $\pm$ 0.41 Month 2: 1.71 $\pm$ 0.56 Month 3: 2.55 $\pm$ 0.73	There is no significant difference on tooth movement rate by applying laser every 4 weeks.
Varella et al., 2018 India	3 consecutive days. Weeks 1, 4, 8	Month 1: 0.75 $\pm$ 0.31 Month 2: 1.275 $\pm$ 0.27 Total: 2.025 $\pm$ 0.558	Month 1: 1.55 $\pm$ 0.258 Month 2: 2.90 $\pm$ 0.376 Total: 4.45 $\pm$ 0.574	Laser therapy accelerated orthodontic movement almost twice and increased the level of IL- 1 β .
Arumughan et al., 2018 India	Days 0, 21, 42, 63	Month 3: 4.43 $\pm$ 1.022 Rate: 0.5 $\pm$ 0.242	Month 3: 3.31 $\pm$ 1.013 Rate: 0.694 $\pm$ 0.243	Laser therapy accelerates orthodontic movement by 12.55% compared to a conventional

				retraction technique.
Guram et al., 2018 India	Weekly for 21 days	Month 2: 0.78 ± 0.013 Month 3: 0.87 ± 0.014 Final: 0.97 ± 0.011	Month 2: 1.17 ± 0.15 Month 3: 1.78 ± 0.28 Final: 1.97 ± 0.21	Laser therapy can increase the speed of orthodontic movement and reduce pain.
Kochar et al., 2017 India	Days 0, 3, 7 each month	Month 2: 0.86 ± 0.017 Month 4: 0.92 ± 0.023 Final: 0.94 ± 0.014	Month 2: 1.13 ± 0.13 Month 4: 1.86 ± 0.86 Final: 1.92 ± 0.16	A significant difference was observed between the irradiated group and the control group.
Qamruddin et al., 2017 Pakistan	Days 0, 21, 42	Month 2: 0.79 ± 0.35	Month 2: 1.60 ± 0.38	Laser therapy is beneficial, it can double the speed of orthodontic tooth movement and reduce pain at 3-week intervals.
Üretürk et al., 2017 Turkey	Dias 0, 3, 7, 14, 21, 30, 33, 37, 44, 51, 60, 63, 67, 74, 81, 84, 90	Month 1: 0.94 ± 0.49 Month 3: 2.77 ± 1.49	Month 1: 1.32 ± 0.5 Month 3: 3.9 ± 1.41	There was a significant difference between the amount of distalization of the canine of the experimental group and the control group. The speed of tooth movement increased by average of 40%.
Yassaei et al., 2016 Iran	Days 0, 7, 14, 21, 28 each Month until retraction is completed.	Start: 2.21 ± 0.09 Month 1: 1.99 ± 0.17 Month 2: 1.82 ± 0.27 Month 3: 1.73 ± 0.17 Month 4: 1.59 ± 0.15	Start: 2.22 ± 0.12 Month 1: 1.98 ± 0.19 Month 2: 1.77 ± 0.31 Month 3: 1.68 ± 0.20 Month 4: 1.57 ± 0.14	The efficacy of the diode laser in accelerating orthodontic tooth movement has not been demonstrated, it only increases it slightly.
Dalaie et al., 2015 Iran	Days 3, 7, 30, 33, 37, 60, 63, 67	Day 3: 0.83 ± 1.23	Day 3: 0.75 ± 1.32	There was no significant difference between

		Day 30: 2.49 ± 0.98 Day 60: 4.5 ± 0.23 Day 67: 5.72 ± 0.12	Day 30: 2.61 ± 1.59 Day 60: 4.98 ± 0.78 Day 67: 5.79 ± 0.78	experimental and control groups.
Kansal et al., 2014 India	Days 1, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56	Day 1-35: 1.762 ± 1.584 Day 35-63: 1.533 ± 0.97 Day 1-63: 3.295 ± 2.364	Day 1-35: 1.689 ± 1.201 Day 35-63: 1.845 ± 1.203 Day 1-63: 3.534 ± 2.302	No significant difference in tooth movement speed during canine retraction between both groups. No evidence of pathological changes in radiographs.
Pereira et al., 2014 Brazil	Days 30, 60, 90	Month 1: 1.90 ± 0.71 Month 2: 2.75 ± 1.42 Month 3: 1.23 ± 1.35	Month 1: 2.27 ± 0.70 Month 2: 3.05 ± 1.25 Month 3: 1.35 ± 1.11	Laser therapy was not efficient in accelerating the induced tooth movement.
De souza ., 2014 Brazil	Dias 30, 60, 90	Month 1: 0.65 ± 0.24 Month 2: 1.52 ± 0.89 Month 3: 1.50 ± 0.55	Month 1: 0.53 ± 0.43 Month 2: 1.53 ± 0.70 Month 3: 2.08 ± 1.33	Laser therapy was not effective on tooth movement only during the first month.
Doshi-Mehta et al., 2012 India	Days 0, 3, 7, 14, and 15 days	Month 3: 0.66 ± 0.55 Month 4.5: 0.84 ± 0.21	Month 3: 1.43 ± 0.15 Month 4.5: 1.17 ± 0.22	Laser therapy can be used to accelerate tooth movement. There was statistical significance.
Sousa et al. 2011 Brazil	Days 0, 3, 7, 30, 33, 37, 60, 63, 67	Month 1: 0.42 ± 0.29 Month 2: 0.80 ± 0.49 Month 3: 1.60 ± 0.63	Month 1: 1.16 ± 0.51 Month 2: 2.05 ± 0.93 Month 3: 3.09 ± 1.06	The movement of laser-irradiated canines was statistically greater than control group.
Limpanichkul et al. 2006 Thailand	Days 0, 1, 2 Month 1, 2, 3	Month 1: 0.38 ± 0.08 Month 2: 0.74 ± 0.13 Month 3: 1.24 ± 0.21	Month 1: 0.32 ± 0.08 Month 2: 0.73 ± 0.13 Month 3: 1.29 ± 0.21	Laser therapy had no effect on the speed of orthodontic tooth movement during the 3-month period.

Cruz D et al. 2004 Brazil	Days 0, 3, 7, 14, 33, 37, 44	Day 60: 3.30 ± 0.24	Day 60: 4.39 $\pm$ 0.27	Canine retraction experimental group was 34% more effective than control group. Laser application accelerated orthodontic movement.
---------------------------------	------------------------------------	----------------------------	----------------------------	---

Table 2. Subgroup analysis based on laser wavelength. MDs, mean Differences.

Wavelength	Number of studies	MDs	IC95%	I²
First month (≤ 810 nm)	5	0.24	[-0.04 to 0.51]	75%
First month (>810 nm)	7	0.3	[0.00 to 0.6]	91%
Second month (≤ 810 nm)	7	0.5	[0.29 to 0.72]	91%
Second month (>810 nm)	7	0.54	[-0.01 to 1.09]	97%
Third month (≤ 810 nm)	7	0.51	[0.13 to 0.9]	83%
Third month (>810 nm)	3	0.05	[-0.18 to 0.28]	62%
Fourth month (≤ 810 nm)	2	0.63	[0.04 to 1.23]	97%
Fourth month (>810 nm)	1	(-0.02)	[-0.14 to 0.1]	NA

Table 3. Subgroup analysis based on laser energy density.

Energy density	Number of studies	MD	IC95%	I²
First month ($\leq 5,3$)	5	0,56	(0,39 a 0.74)	0%
First month ($> 5,3$)	7	0,17	(-0,05 a 0.38)	89%
Second month ($\leq 5,3$)	6	0,59	(0,36 a 0,81)	92%
Second month ($> 5,3$)	7	0,42	(-0,07 a 0,92)	96%
Third month ($\leq 5,3$)	4	0,9	(-0,75 a 1,05)	15%
Third month ($> 5,3$)	6	0	(-0,22 a 0,23)	54%
Fourth month ($\leq 5,3$)	2	0.63	(0,04 a 1,23)	97%
Fourth month ($> 5,3$)	1	(-0.02)	(-0.14 a 0.1)	NA

FIGURAS

Figure 1. Flow chart of included studies, based on PRISMA guidelines.

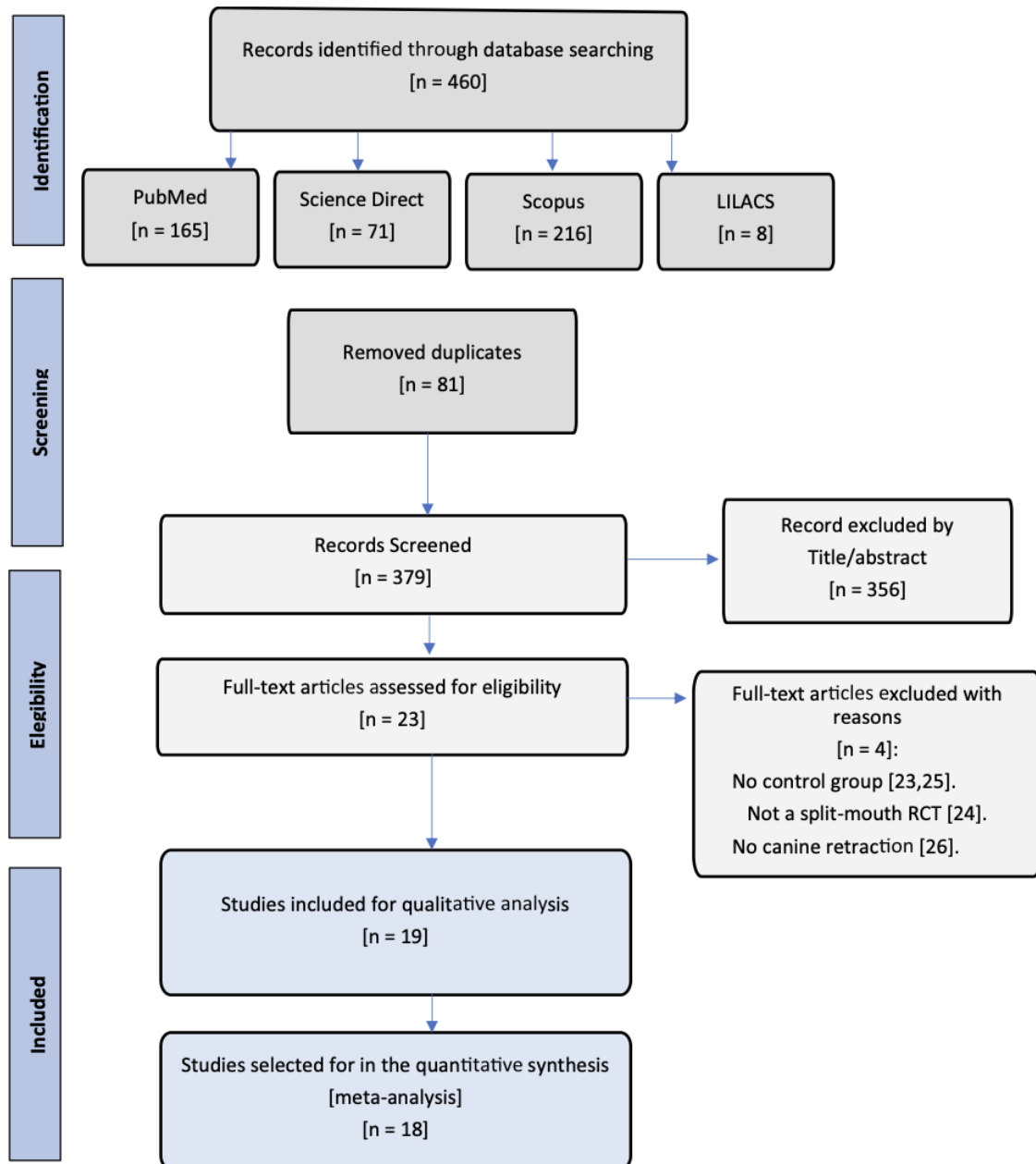


Figure 2A. Risk of bias assessment (RoB-2).

Unique ID	Study ID	Randomization process	Deviations from intended interventions	Missing outcome data	Measurement of the outcome	Selection of the reported result	Overall	
Study 1	Arumughan et al., 2018	?	?	+	+	?	!	+ Low risk
Study 2	Lalnunpuii et al., 2020	+	+	+	+	+	+	? Some concerns
Study 3	Dalaie et al., 2015	+	?	+	+	?	!	- High risk
Study 4	Kochar et al., 2017	?	?	+	+	?	!	
Study 5	Yassaei et al., 2016	?	+	+	+	?	!	
Study 6	Cruz et al., 2004	?	?	+	+	?	!	
Study 7	Kansal et al., 2014	?	?	+	+	?	!	
Study 8	Qamruddin et al., 2017	+	+	+	+	?	!	
Study 9	Limpanichkul et al., 2006	+	?	+	+	?	!	
Study 10	Doshi-Mehta et al., 2012	+	+	+	+	?	!	
Study 11	Guram et al., 2018	?	+	+	+	?	!	
Study 12	Pereira et al., 2014	+	?	+	+	?	!	
Study 13	De Souza et al., 2014	+	?	+	+	?	!	
Study 14	Sousa et al., 2011	?	?	+	+	?	!	
Study 15	Zheng et al., 2021	+	?	+	+	+	!	
Study 16	Varella et al., 2018	+	+	+	+	?	!	
Study 17	Impellizzeri et al., 2020	+	?	+	+	?	!	
Study 18	Üretürk et al., 2017	+	?	+	+	?	!	
Study 19	Mistry et al., 2020	+	+	+	+	+	+	

Figure 2B. Collective data for risk of bias, according to RoB-2 domains.

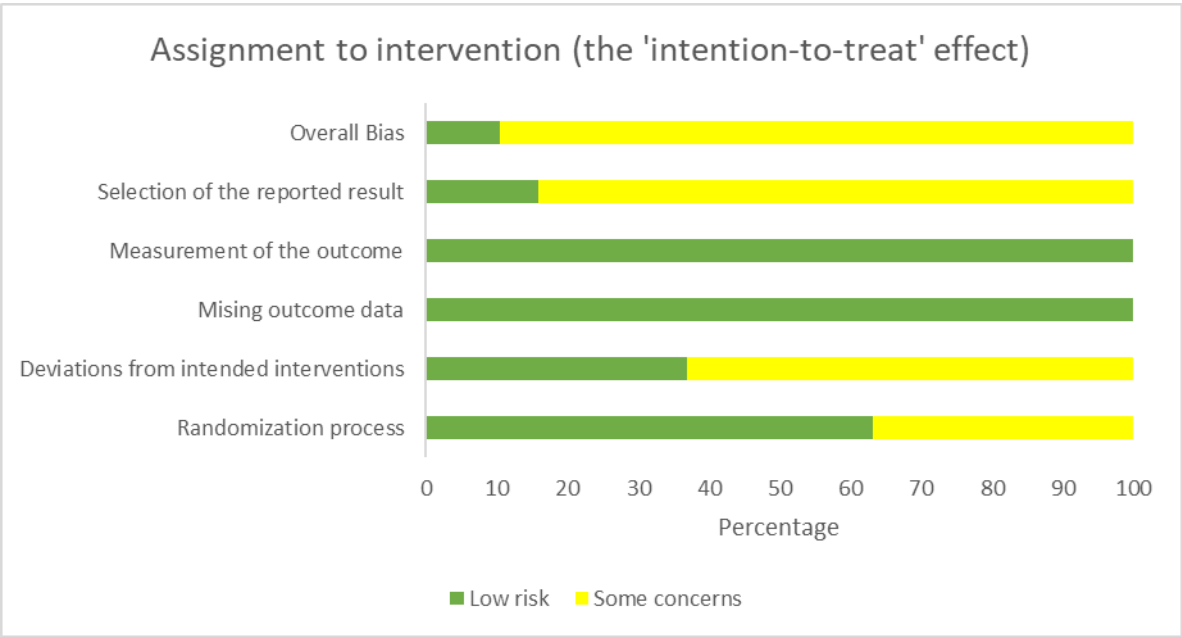


Figure 3A. Forest plot of the comparison between the LLLT and control groups at months 1. OR, odds ratio; CI, Confidence interval.

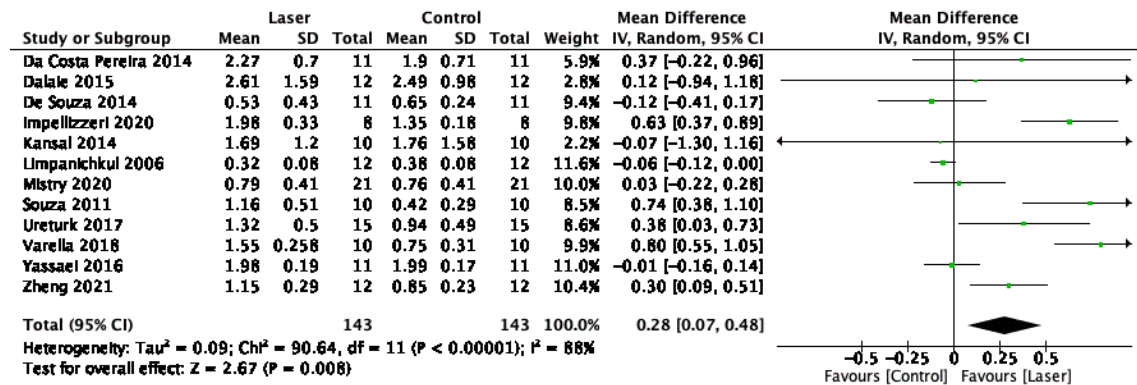


Figure 3B. Forest plot of the comparison between the LLLT and control groups at months 2. OR, odds ratio; CI, Confidence interval.

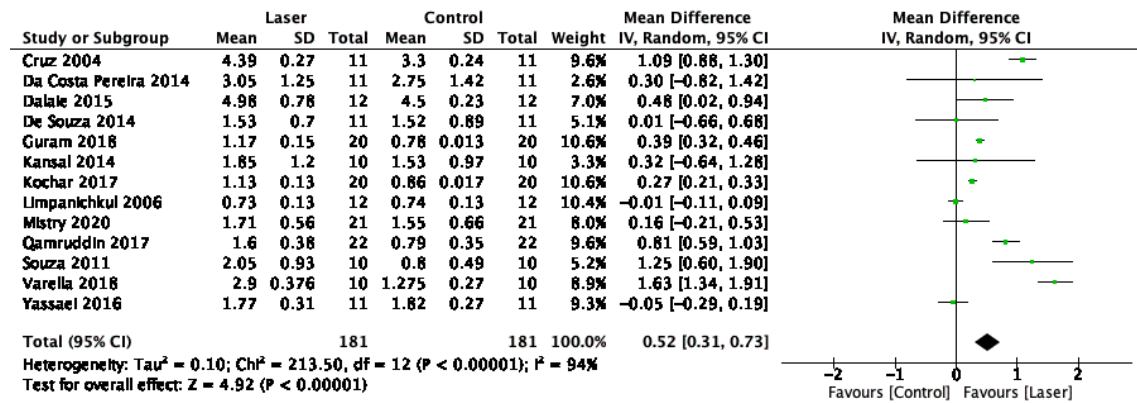


Figure 3C. Forest plot of the comparison between the LLLT and control groups at months 3. OR, odds ratio; CI, Confidence interval.

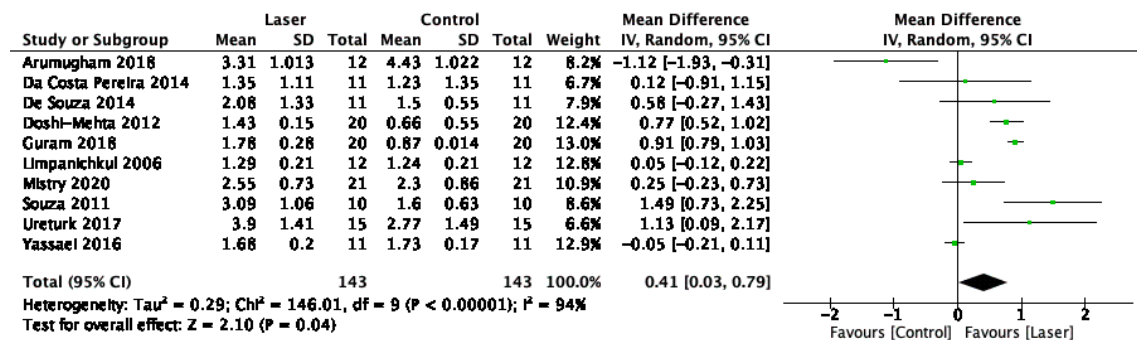
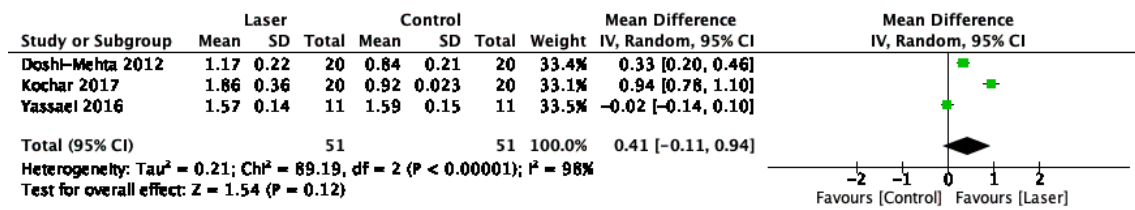


Figure 3D. Forest plot of the comparison between the LLLT and control groups at months 4. OR, odds ratio; CI, Confidence interval.



ABREVIATURAS

bFGF : Factor de crecimiento de fibroblastos básico.

CcO: Citocromo C oxidasa.

DeCS: Descriptores en ciencias de la salud.

GCRP: Péptido relacionado con el gen de la calcitonina.

GM-CSF: Factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos.

IL: Interleucina.

INF: Interferón.

LED: Diodo emisor de luz.

LLLT: Terapia láser de baja densidad de potencia.

MDO: Movimiento dental ortodóncico.

MeSH: Encabezamientos de materia médica.

NF-κB: Factor nuclear-κB.

NO: Óxido nítrico.

ODF: Factor de diferenciación de osteoclastos.

OPG: Osteoprotegerina.

PBM: Fotobiomodulación.

PDL: Ligamento periodontal.

PGE2: Prostaglandina E2.

RANKL: Ligando de receptor activador para el factor nuclear κB.

RCTs: Ensayos clínicos aleatorizados de boca dividida.

ROS: Especies reactivas de oxígeno.

SP: Sustancia P.

TNF-α: Factor de necrosis tumoral alfa.