

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Estomatología

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

TESINA

“APLICACIONES DE LA FOTOBIMODULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE ORTODONCIA”

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN ORTODONCIA

PRESENTA:

DANIELA OROZCO JIMÉNEZ

220450003

DIRECTOR DE TESIS:

M.O. FARID ALFONSO DIP VELÁZQUEZ

ID: 1000408155

DIRECTOR DISCIPLINARIO:

M.O. LAURA MÓNICA LÓPEZ PÉREZ FRANCO

ID 100527897

DIRECTOR METODOLÓGICO:

D.C. BRENDA ERÉNDIDA CASTILLO SILVA

NSS526469

ASESOR EXTERNO:

DRA. ÁNGELA DOMÍNGUEZ CAMACHO

LECTOR:

D.C. MIGUEL ÁNGEL CASILLAS SANTANA

ID 100526485

JUNIO 2022

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Estomatología
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

TESINA

“APLICACIONES DE LA FOTOBIMODULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE ORTODONCIA”

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN ORTODONCIA

PRESENTA:

DANIELA OROZCO JIMÉNEZ
220450003

DIRECTOR DE TESIS:

M.O. FARID ALFONSO DIP VELÁZQUEZ
ID: 1000408155

DIRECTOR DISCIPLINARIO:

M.O. LAURA MÓNICA LÓPEZ PÉREZ FRANCO
ID 100527897

DIRECTOR METODOLÓGICO:

D.C. BRENDA ERÉNDIDA CASTILLO SILVA
NSS526469

ASESOR EXTERNO:

DRA. ÁNGELA DOMÍNGUEZ CAMACHO

LECTOR:

D.C. MIGUEL ÁNGEL CASILLAS SANTANA
ID 100526485

JUNIO 2022

DICTAMEN DE APROBACIÓN



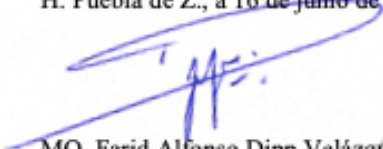
Oficio No. FESIEP/077/2022

C. Daniela Orozco Jiménez
Matrícula: 220450003
Alumno de la Maestría en Estomatología
Con opción Terminal en Ortodoncia
De la Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P R E S E N T E.

*El que suscribe, **MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez**, Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por este medio me permito informar a usted que esta Secretaria **aprueba la impresión de la Tesina titulada “Aplicaciones de la fotobiomodulación en el tratamiento de ortodoncia”**, misma que presentará para realizar su examen profesional y obtener el grado de **Maestra en Estomatología con Opción Terminal en Ortodoncia**.*

Sin más por el momento, deseándole lo mejor, le reitero mi distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z., a 16 de junio de 2022.


MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez
Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESINA RECEPCIONAL

Para obtener el Grado de: **Maestra en Estomatología con opción terminal en Ortodoncia**
Registro CIFE: **2022040** Fecha: **15 de junio 2022**

Título de la Tesina "**Aplicaciones De La Fotobiomodulación En El Tratamiento De Ortodoncia**"

Nombre del alumno: **Daniela Orozco Jiménez** Matrícula: **220450003**

Domicilio: **Del Árbol #278 Fracc. La Fuente, C.P 23088, La Paz, Baja California Sur.**

Tel: **6862211070** Fecha de ingreso a la Facultad: **Enero 2020**

Firma: 

Director de tesis: **MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez** Grado académico: **Maestro en Ortodoncia**

Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **10000048475** TEL: **04488759632**

Firma: 

Director disciplinario: **Laura Mónica López Pérez Franco** Grado académico: **Maestría en Ortodoncia**

Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **100527897** Tel: **2225180320**

Firma: 

Director metodológico: **Brenda Eréndida Castillo Silva** Grado académico: **Doctor en Ciencias Odontológicas** Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **NSS526469** Tel: **4442426077**

Firma: 

Lector: **Miguel Angel Casillas Santana** Grado académico: **Doctor en Ciencias Odontológicas**

Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **100526485** Tel: **4448467645**

Firma: 

Nombre y firma de aprobación Responsable de la Maestría en Estomatología con Opción terminal en Ortodoncia

M.O. **Laura Mónica López Pérez Franco**

Firma: 

La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología, autoriza la impresión de la Tesis

MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez



Fecha: **15 de junio 2022**

Sello: _____

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por permitirme llegar a donde estoy y ser lo que soy. Por brindarme sabiduría, fortaleza, salud y rodearme de personas maravillosas en este largo camino que apenas comienza.

Gracias a mis profesores que han sido parte de este proceso de formación integral, por su vocación, paciencia y sabiduría para brindarme sus conocimientos y experiencias. Gracias Dr. Farid Dipp Velásquez, Dra. Mónica López Pérez Franco, Dra. Alejandra Castro, Dra. Brenda Castillo Silva, así como el resto de mis profesores.

Dirijo con todo mi corazón mi trabajo a mi padre, madre y hermano, por ser la motivación, orgullo y los pilares de mi vida. Por siempre impulsarme a volar alto y recordarme lo que puedo lograr cuando llego a olvidarlo. Gracias por nunca soltar mi mano y caminar junto a mí, por ayudarme a lograr mis metas y más que eso. Por qué este logro es tan mío como suyo.

Gracias a mi pareja por ser parte de mi crecimiento personal y profesional, por siempre apoyarme en mis sueños y metas, festejar mis logros como si fueran suyos.

Agradezco a mis amigas y amigos por hacer más divertido este andar, escucharme cuando era necesario y estar en la banca dándome porras en todo momento. Sin dejar a un lado al resto de mi familia, gracias por ser parte de mi vida y estar en cada paso, a cada uno de ustedes los abrazo con el corazón.

Gracias a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla que de ahora en adelante se convierte en mi Alma Mater.

“Nunca consideres el estudio una obligación, sino como la oportunidad de penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.” -Albert Einstein

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL.	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	8
MOVIMIENTO DENTAL ORTODÓNCICO	8
MÉTODOS PARA ACELERACIÓN DEL TRATAMIENTO DE ORTODONCIA	9
LÁSER EN ORTODONCIA.....	10
CAPÍTULO III. MARCO REFERENCIAL.....	15
ACELERACIÓN DE TRATAMIENTO DE ORTODONCIA CON FOTOBIMODULACIÓN.....	15
FOTOBIMODULACIÓN EN CONTROL DE DOLOR EN ORTODONCIA	17
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS.	20
FIGURA 1.	21
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	22
DISCUSIÓN	22
TABLA 1. COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE IRRADIACIÓN PARA LA ACELERACIÓN DE MOVIMIENTO DENTAL ORTODÓNCICO.	26
TABLA 2. COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE IRRADIACIÓN PARA CONTROL DE DOLOR DURANTE EL TRATAMIENTO ORTODÓNCICO.....	27
CONCLUSIÓN	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29



RESUMEN

Propósito Se estudió el impacto de la fotobiomodulación durante la etapa inicial, cierre de espacios durante el tratamiento de ortodoncia, al igual que los efectos en el dolor durante el movimiento ortodóncico.

Métodos La recolección bibliográfica se efectuó a través de las bases de datos PubMed, Medline y Springer en el periodo de enero a agosto de 2020. Se incluyeron artículos publicados de 2004 a 2021. Se utilizó la combinación de las palabras claves: *Orthodontic tooth movement AND photobiomodulation OR control pain OR low level laser therapy OR orthodontic.*

Resultados Existen estudios que aluden a la fotobiomodulación un efecto acelerador del movimiento dental al emplear una longitud de onda alrededor de los 800 nm, por el contrario, los estudios con niveles altos de potencia (200 mW) y dosis de energía (>8 J) coinciden que no hay diferencias significativas con respecto a los controles, por lo cual podemos sugerirle al clínico que la fotobiomodulación será efectiva al utilizar protocolos conservadores (100 mW, 800 nm, 5 J/cm²).

Conclusiones el uso del láser logra disminuir hasta en un 30% la duración total del tratamiento ortodóncico. Su efectividad aumenta en los primeros 3 meses del tratamiento (alineación y nivelación), además, disminuye la percepción del dolor por parte del paciente y esto ayuda a mejorar su cooperación. El hueso neoformado es más estable, con mayor densidad y volumen. Los resultados con mayor efectividad se obtienen al utilizar un equipo láser con una longitud de onda alrededor de los 800nm y dosis de energía bajas.

Palabras clave: *Orthodontic, control pain, low level laser therapy, photomodulation, orthodontic tooth movement.*

INTRODUCCIÓN

Es importante encontrar un método que ayude acelerar el tratamiento de ortodoncia, debido a que una larga duración de este conlleva a la formación de problemas dentales como lo es la enfermedad periodontal, caries dental, reabsorción radicular, así como la pérdida de interés y cooperación por parte del paciente por su larga duración (1,2).

Para reducir el tiempo del tratamiento de ortodoncia se requiere la aceleración, o bien, aumento del movimiento dental, para llevar a cabo esto es necesario iniciar esta aceleración desde nivel celular. El empleo de fotobiomodulación ha sido aceptado como un método seguro y eficaz en pro a la aceleración del tratamiento de ortodoncia, así como, para la disminución del dolor a lo largo de este, en el cierre de espacios, ajuste, en trastornos en la articulación temporomandibular (ATM) y etapa final del tratamiento ortodóncico. Dichos beneficios se obtienen sin someter al paciente a estrés debido a que no es necesario un procedimiento quirúrgico como en otros tratamientos, además de no causar efectos sistémicos negativos en el paciente, también se ha demostrado los efectos bioestimuladores sobre las células involucradas en el movimiento dental sin causar citotoxicidad (3,4).

La terapia de láser de baja intensidad, o fotobiomodulación, fue introducida en los años 70's-80's. El láser de baja intensidad es una herramienta eficaz que se caracteriza por tener un efecto bioestimulante y ayuda a promover la reparación celular (5). Se han sumado una gran cantidad de dentistas al uso de láser como un coadyuvante en la relajación muscular, disminución del dolor, para favorecer el proceso de cicatrización, proliferación de fibroblastos, modulador en el sistema inmunológico y regeneración nerviosa (6,7). La fotobiomodulación que produce la aplicación de láser suscita una serie de eventos celulares como movimiento, cambios metabólicos celulares, una división celular rápida, así como una producción rápida de matriz (8,9), para que se lleven a cabo dichos efectos sobre las células va depender directamente de la dosis aplicada (10).

Se deben diferenciar dos grupos de láseres: los de alta potencia, también llamados quirúrgicos, y los de baja potencia, también nombrados, terapéuticos (*Low Level Laser Therapy* o *LLLT*). Existen diversos tipos de láser de baja intensidad; uno de estos es el láser de baja intensidad de espectro infrarrojo el cual presenta un bajo coeficiente de absorción en hemoglobina y agua, como consecuencia se logra una mayor inclusión en la zona expuesta a la irradiación, como, un equipo láser de luz infrarroja con una longitud de onda de 750 nm gana una inclusión superior a diferencia de un equipo láser de luz visible con longitud de onda de 650 nm (11,12). Dentro de la ortodoncia, el láser de luz infrarroja es utilizado principalmente para la reducción del dolor ocasionado por las fuerzas aplicada, así como disminuir la duración total del tratamiento al precipitar el movimiento dental, a fin de alcanzar esto es necesario que la fotobiomodulación llegue a las células óseas para estimularlas, al encontrarse dichas células por debajo de los tejidos blandos del periodonto, es preciso el uso de equipo láser de baja potencia de luz infrarroja (13,14). Sin embargo, en la bibliografía los estudios que comparan los efectos del láser al usar longitudes de onda visibles y de infrarrojo cercano mostraron discrepancias, la mayoría de ellas mencionan que los mejores resultados se obtuvieron al utilizar láser con longitud de onda visible (15–17).

Se ha evidenciado que fotobiomodulación, presenta efectos positivos en remodelación ósea, por consecuencia se reduce el tiempo del tratamiento ortodóncico, a su vez logra una disminución representativa de dolor (18,19).

Con base a lo anterior, la fotobiomodulación promete como beneficio acelerar el movimiento ortodóncico exento de molestia, así como, reacciones o efectos adversos, además, ser de fácil aplicación y acceso para los pacientes (20), este método logra disminuir la duración total del tratamiento (la duración promedio oscila entre los 24 a 36 meses), la larga duración de este se considera la causa principal para que el paciente desista de su tratamiento, además que la fotobiomodulación es de bajo costo (21). Según la bibliografía, existen escasos estudios que reporten efectos adversos que puede producir la aplicación del láser de baja potencia (22). Alguno de estos efectos secundarios es: somnolencia, vértigo, daño en los tejidos o la piel por exposiciones inadvertidas (con láser quirúrgico), daño respiratorio por

inhalar los gases tóxicos producidos por el contacto de tejido y láser quirúrgico, náuseas. Cabe destacar que efectos adversos muy rara vez se hacen presentes; la excepción para su aplicación son pacientes con cáncer, marcapasos, epilépticos y mujeres embarazadas (23,24).

De acuerdo con la revisión actualizada de estudios confiables, parece existir pruebas sólidas que sustentan el uso del láser de baja intensidad como un medio terapéutico eficaz en los tratamientos de ortodoncia, sin causar citotoxicidad a nivel celular y clínicamente eficiente. En general los ensayos detectados en la bibliografía han sido implementados con protocolos no homogenizados (25,26).

Son incontables las longitudes de onda que han sido planteadas a lo largo de la bibliografía para lograr resultados favorables en las circunstancias anteriormente mencionadas (27). Los resultados que se obtienen por la aplicación de láser terapia de baja intensidad pueden variar, debido a que dependen de acuerdo con el parámetro de irradiación empleado: técnica de aplicación, número de aplicaciones, zona a irradiar, longitud de onda, potencia de emisión, así como, el tiempo y cantidad de energía total. Además, se han utilizado diferentes equipos emisores de luz láser, incluidos láser Helio-Neón (He-Ne) y Diodos de Arseniuro de Galio y Aluminio, Arseniuro de Galio, y Fosforo de Indio-Galio-Arseniuro (Ga-As-Al, Ga-As, In-Ga-AsP), con diferentes longitudes de onda. Los láseres tipo diodo han demostrado ser más efectivos, debido a que tienen una penetración mayor en tejidos profundos. No obstante las aplicaciones y la dosis exacta bioestimulante de fotobiomodulación aún no se ha establecido o estandarizado (28–30).

La presente revisión se basó en la suma de artículos en los cuales se estudie el impacto de la fotobiomodulación durante la etapa inicial, cierre de espacios durante el tratamiento de ortodoncia, al igual que los efectos en el dolor durante el movimiento ortodóncico.

CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL.

Se puede explicar el movimiento dental suscitado por una fuerza ortodóncica como un evento biológico y coordinado que incluye tejido óseo, ligamento periodontal adyacente, así como, cambios químicos que consisten en un aumento de mediadores celulares, cambios macroscópicos que comprenden reabsorción y formación ósea, así como, cambios en el periodonto (31–34). Para que se lleve a cabo el movimiento dental es necesario ejercer fuerzas mecánicas, lo cual produce un remodelado óseo considerable, al estimular a las células encargadas (fibroblastos, osteoblastos, osteoclastos) en el lado de reabsorción como en el lado de aposición, a nivel radicular (12). Hoy en día se investigan múltiples sistemas para maximizar la eficiencia, calidad y aceleración del tratamiento ortodóncico, además de, optimizar la estabilidad, magnitud y la tasa del movimiento desencadenado (35–37) por consiguiente, lograr ofrecerle al paciente y al clínico un tratamiento con menos efectos indeseados ocasionados por la prolongación del mismo (37,38). Algunos ejemplos de estos métodos incluyen inyecciones de vitamina D3, hormona paratiroidea, prostaglandina E, y la osteocalcina, también, existen métodos quirúrgicos (distracción ósea y corticotomías) (39). Dentro de estos métodos para la aceleración, se encuentra la terapia láser de baja intensidad, hoy en día conocida como fotobiomodulación. Esencialmente el principio de ser aplicado es acelerar la regeneración tisular, la cicatrización de heridas, disminuir la inflamación y el dolor posterior a la activación del tratamiento, esto se sustenta por dar origen a una cascada de procesos físicos y biológicos, que dependen de múltiples factores (número de aplicaciones, longitud de onda, emisión de potencia, etc.) (34,40). Dentro de los beneficios que provee la fotobiomodulación se encuentra un incremento en la multiplicación y división celular, cambios metabólicos celulares, una mayor producción de matriz, aumento en la formación de fibras colágenas y elásticas, regeneración de vasos, mejora en la cicatrización de tejido óseo, así como, la re epitelización de tejido, proliferación de fibroblastos, y una intensificación en la producción de biomarcadores (2,6,10,41,42); un ejemplo de estos

biomarcadores es la metaloproteinasa de la matriz extracelular 9 (MMP-9) el cual se puede encontrar en el fluido crevicular gingival (43).

El principal motivo de la búsqueda exhaustiva por encontrar un método que acelere el tratamiento de ortodoncia es por los múltiples beneficios que puede ofrecer al paciente como al operador; esto implica menor duración del tratamiento (algunos autores han afirmado disminución de 3 a 6 meses aproximadamente), disminución de efectos indeseados, reducción del dolor posterior al ajuste de la aparatología, movimiento dental más eficiente, así como, estabilidad a largo plazo post tratamiento. Los elementos tisulares que experimentan cambios a lo largo del movimiento dentario son primordialmente el ligamento periodontal, esto implica sus células, fibras de colágeno, nervios y hueso alveolar (13,44). La bibliografía es muy extensa con respecto a los efectos y aplicaciones de la fotobiomodulación, sobre todo se ha enfocado en aceleración en la etapa de alineación y nivelación, así como, en el cierre de espacios y control del dolor durante el tratamiento ortodóncico.

La aplicación de fotobiomodulación actúa a nivel mitocondrial al acrecentar los niveles de Adenosín Trifosfato (ATP), así como modular y producir Especies Reactivas de Oxígeno (ROS). Los fotones del láser son asimilados por los cromóforos que se encuentran dentro de la mitocondria de las células irradiadas y los electrones en los cromóforos pasan de un orbital de baja energía a una de mayor energía; esto inicia un incremento en la actividad mitocondrial lo cual genera un aumento en la producción de ATP, Nicotinamida Adenina Dinucleótido (NADH), Ácido Ribonucleico (ARN), proteínas, del mismo modo una regulación positiva en la respiración celular. Algunos autores han postulado que este efecto emana de la absorción de la luz láser por la enzima citocromo C oxidasa, localizada en la mitocondria de las células, la cual participa en la cascada de la respiración oxidativa (41,45).

Se ha afirmado que el láser actúa sobre la célula esencialmente a tres niveles:

- Nivel mitocondrial: actúa al estimular la producción de energía, primeramente, se da lugar a un aumento de energía por estímulo en el ciclo de Krebs y a través de captación en grupos P la mitocondria almacenará el

mayor número reenlaces de alta energía de adenosín trifosfato (ATP), ocurre una separación entre la unión de óxido nítrico (NO) y el citocromo C oxidasa, esto concede que la mitocondria aumente la producción de ATP y de especies reactivas de oxígeno (ROS).

- Núcleo: Existe un estímulo en la señalización celular y en la transcripción de genes, activa y optimiza la duplicación de los ácidos nucleicos, del mismo modo, el proceso transducción y transcripción de los mismos.
- Membrana celular: la regulariza para la interacción iónica de calcio (Ca), potasio (K) y sodio (Na) e incrementa el transporte de electrones (46,47).

Los principales cromóforos con los que tiene mayor afinidad la luz láser es la hemoglobina y melanina (48).

El operador del equipo láser debe garantizar la seguridad, tanto de el mismo, como del paciente y personal involucrado, por lo tanto, es indispensable saber que los equipos láser se pueden clasificar según el riesgo que representan:

- Clase I: son aquellos equipos que son seguros en cualquier situación.
- Clase IM: equipo láser con una longitud de onda entre 302.5 nm-400 nm, resultan peligrosos si se utiliza instrumentos para visión directa.
- Clase II: equipo láser con emisión de longitud de onda entre 400 nm-700 nm.
- Clase IIM: láser con una longitud de onda entre 400 nm-700 nm, pero puede causar daño con un haz de luz amplificado.
- Clase IIIR: láser con una potencia entre 5.0 y 2.0 mW, puede ocasionar daño ocular al entrar en visión directa por operador y paciente.
- Clase IIIB: equipo láser con una potencia de 0.5 watts, existe riesgo de daño ocular y quemaduras en piel no objetivo.
- Clase IV: equipo láser con una potencia mayor a 0.5 watts, riesgo de daño ocular y de piel no objetivo, incendio en superficies de inmobiliario y peligro al entrar en contacto con la punta de laser, este tipo de láser suelen ser quirúrgicos (24,49).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

Movimiento Dental Ortodóncico

Para que el movimiento dental bajo fuerzas mecánicas ortodóncicas ocurra se requiere de la remodelación ósea del tejido periapical, es decir, en hueso alveolar y ligamento periodontal, este proceso consiste en la resorción (lado de presión) y de aposición-formación (lado de tensión) que dará como resultado un cambio de la superficie ósea con un reemplazo de hueso viejo por hueso nuevo (50). Se ha observado que el modelado óseo no altera el tamaño y forma de la mandíbula y maxilar en condiciones fisiológicas (51).

Durante el remodelado óseo participan células especializadas organizadas encargadas de regular y controlarlo, como son los osteoclastos, osteoblastos, osteocitos y fibroblastos. A los fibroblastos gingivales y periodontales se les atribuye que participan en la producción de elastina, colágeno y proteoglucanos los cuales son considerados elementos importantes en la estructura del tejido conectivo en periodonto, su primordial función es sostener y preservar los órganos dentales, así como las estructuras circundantes (29). Los osteoblastos son las células encargadas de llevar a cabo la aposición ósea en el lado de tensión causada por el sistema de *brackets*, mientras, los osteoclastos son los causantes de la resorción ósea en el lado de presión. Los factores de crecimiento (IGF-I) ayudan a la proliferación de las células osteoblásticas durante las primeras fases, además de reducir el ligando del activador del factor nuclear kappa B (RANKL) y aumentar los niveles de osteoprotegerina (OPG); esto favorece la formación ósea. La principal función de los osteocitos consiste en mediar la producción y funcionalidad de los osteoclastos, además de la expresión de mediadores químicos como RANKL/OPG, factor de crecimiento de fibroblasto, esclerostina y factor estimulante de colonias de Macrófagos (M-CSF); dichos mediadores se encargan de aumentar la producción de osteoclastos y la diferenciación de osteoblastos (1). Resultante del movimiento dental ortodóncico, también ocurre un proceso inflamatorio, el cual es fundamental para que se lleve con éxito el movimiento, por lo antes mencionado es

importante hacerle saber al paciente de no ingerir antiinflamatorios para no restarle fuerza al movimiento (36).

Se cree que la velocidad y cantidad del movimiento dental por fuerzas ortodóncicas es limitada por el proceso de reabsorción ósea en el lado de comprensión, así como la interacción de ligamento periodontal (PDL) y hueso alveolar, por otro lado, el recambio óseo y el movimiento puede verse influenciado por la ingesta de medicamentos, enfermedades metabólicas, por pérdida ósea previa ocasionada por enfermedad periodontal y edad del individuo, incluso perjudicar el tipo de movimiento dental (51).

La ortodoncia ha evolucionado, desde nuevos programas como ayudantes diagnósticos y en la planeación del tratamiento, creación de nuevos sistemas de aparatos ortodóncicos, modificaciones en los arcos o en los *brackets* convencionales, sin embargo, no han sido suficiente para lograr una reducción en la duración total del tratamiento. La larga duración del tratamiento es uno de los principales factores por el cual los pacientes rechazan el tratamiento o deciden abandonarlo, además que una larga duración aumenta el riesgo de efectos no deseados como la formación de caries, recesiones gingivales, problemas endodónticos, movilidad dental, reabsorción ósea y radicular (14), es por eso que hoy en día se busca un método para acelerar el movimiento dental durante el tratamiento de ortodoncia.

Métodos Para Aceleración Del Tratamiento De Ortodoncia

Para la aceleración del movimiento se han investigado métodos químicos, físicos y quirúrgicos, algunos de estos métodos:

- *Corticotomía.*
- *Cirugía alveolar interseptal.*
- *Osteotomía.*
- *Técnica de piezocisión.*
- *Inyección de hormona paratiroidea.*
- *Inyección de colecalciferol (vitamina D3).*

- *Vibración de resonancia.*
- *Campo electromagnético pulsado.*
- *Láser de baja intensidad (14).*

La terapia con láser de baja intensidad, o como es conocida hoy en día, fotobiomodulación es el enfoque más prometedor debido al efecto positivo en células relacionadas al movimiento dental ortodóncico, ser de fácil acceso para el paciente, así como, simple de aplicar. Principalmente ha sido empleada para la disminución del dolor en la articulación temporomandibular, regeneración de tejidos, aceleración del tratamiento de ortodoncia sobre todo en las etapas de alineación y nivelación, cierre de espacios, así como control del dolor post activación (52).

Láser en Ortodoncia

Alrededor de hace 50 años, fueron introducidos por primera vez los equipos láser dentro del área de la salud, fue descubierto en la Universidad Médica Semmelweis por *Endre Mester*, posteriormente el doctor *Paul McGuff* realizó un experimento en el cual implantó tumores malignos en ratas y aplicó láser de rubí, descubrió que el láser no curaba el tumor pero si observó un crecimiento rápido del pelo y una óptima cicatrización de las heridas, esto se consideró el primer atisbo del efecto beneficioso (53). La palabra Láser proviene del acrónimo por sus siglas en inglés “*Light Amplification by Stimulates Emision o Radiation*” (24).

De acuerdo al tipo de medio, el láser puede ser clasificado en: láser de estado sólido (Rubí y Granate de Aluminio e Itrio), de gas (Helio y Helio Neón), de excímeros (emplean gases reactivos como cloro y flúor combinados con gases inertes como Argón y Xenón), de colorante (usan tintes orgánicos) y finalmente, semiconductores (Diodo, comúnmente combinado con Galio, Arsenio y Aluminio) (7).

Conforme a la capacidad de potencia del láser, este puede ser clasificado en dos extensos grupos: *láser de alta potencia*, también conocido como quirúrgico por tener capacidad de corte, coagulación y vaporización, por otra parte, está el *láser de baja potencia* o terapéutico (*Low Level Laser Therapy*) que posee efecto bioestimulador

celular, como consecuencia acelera la división celular, mejora la cicatrización y disminuye el dolor e inflamación (34). En el campo ortodóncico el equipo láser más utilizado es del tipo terapéutico, se ha empleado para fases específicas del tratamiento como cierre de espacios, disminución del dolor post activación del ajuste y de particular interés para esta revisión para acelerar la etapa de alineación y nivelación (54).

La fotobiomodulación no ha manifestado capacidad de potencial nocivo, en contraste se ha encontrado en múltiples estudios que estimula la proliferación de osteoclastos, osteoblastos y fibroblastos al optimizar y acelerar la expresión del complejo RANK y RANKL. El acrecentamiento de la actividad de dichas células origina estimulación del metabolismo óseo *in situ*, que instaura circunstancias ideales para el movimiento de los dientes (14,15), el citocromo C oxidasa localizado en la mitocondria de las células irradiadas son fundamentalmente los fotoreceptores que absorben las longitudes de onda emitidas por el equipo láser, la absorción de la luz láser estimula la producción de energía, aumenta el ciclo de Krebs y la síntesis de ATP (47).

Uno de los grandes beneficios que se obtiene con la fotobiomodulación es el hueso nuevo que se forma posee mayor densidad y volumen óseo, conjuntamente disminuye significativamente de reabsorción radicular causada por el movimiento ortodóncico, esto ocurre como producto al disminuir la hialinización en el ligamento periodontal, frecuentemente relacionada con la reabsorción radicular (19).

Es una alternativa no invasiva, novedosa y de bajo costo. A través de los años de investigación se han realizado múltiples estudios *in vivo* e *in vitro* para reportar e identificar los efectos que puede proporcionar la fotobiomodulación, no obstante, subsiste controversia con respecto a su aplicación, uso, la longitud de onda y potencia ideal para generar aceleración en el movimiento dental.

Se le denomina fotobiomodulación, previamente denominada terapia láser de baja intensidad, al efecto de luz monocromática de baja intensidad o radiación láser a una organización biológica la cual no causa un daño irreversible en el mismo, esto reside en aplicar luz roja o infrarroja, con una longitud de onda entre 635 nm y 1064

nm; dicha luz debe de cumplir con 3 características básicas: ser cromática, colimada y coherente. Múltiples estudios realizados de manera *in vitro* aluden que la aplicación de la luz láser, al ser absorbidos los fotones por fotorreceptores genera proliferación celular, síntesis de colágeno, estimula la diferenciación de fibroblastos, osteoblastos y osteoclastos, inhibición de la liberación de ácido araquidónico, baja los niveles de prostaglandina E2, liberación de β -endorfinas (produce una reacción de analgesia), disminuye los niveles del gen COXII, aumento en la producción de ATP; es decir su efecto es multifactorial (3,4,55). El aumento en la proliferación de las células relacionadas en el movimiento dental se genera al penetrar la luz láser la pared celular y multiplica la función RANK/RANKL y OPG, la profundidad de la penetración de la luz láser va a depender de la longitud de onda, la cual determina el efecto sobre la célula; la respuesta celular depende si el estímulo es excesivo (puede resultar dañada) o bien si es tenue no será lo suficientemente fuerte para generar una respuesta biológica favorable. Para la selección de la longitud de onda debe considerarse el tejido objetivo a irradiar, una longitud de onda entre 600-700 nm es ideal para tejidos superficiales (por ejemplo, para tratamiento de aftas o lesiones en mucosa bucal) y una longitud de onda entre 700-950 para tejidos con mayor profundidad (idóneo para tratar parestesia, aceleración del movimiento dental). Como se ha mencionado anteriormente son múltiples los parámetros involucrados, por eso es importante identificar un protocolo que potencie dichos efectos (48,56,57).

Para establecer un protocolo de irradiación se debe tomar en cuenta 4 parámetros:

- Longitud de onda:
 - No puede ser modificada en el equipo.
 - Existen 3 tipos de onda de acuerdo a la duración de la emisión; de onda continua (es bombeada de manera continua, tiene una potencia de haz estable), pulsada (emite luz en manera de pulsos con patrones de repetición) o super pulsada (la duración del pulso es de milisegundos).
- Jules:
 - Medición de la energía total

- Watts:
 - Hace referencia a la cantidad de energía emitida de J/seg
- Densidad de energía:
 - Cantidad de energía aplicada por unidad de superficie J/cm² (57)

Cruz et al., llevo a cabo el primer estudio in vivo en humanos en el año 2004 en São Paulo, Brasil; en el análisis de los resultados observaron una diferencia estadísticamente significativa (34%) en el movimiento dental en el grupo experimental (46). El estudio realizado por *Cruz et al.* impulsó a otros investigadores a realizar más estudios como es el caso de *Fernandes et al.*, quienes evaluaron la aceleración de la intrusión dental (58) y *Qamruddin et al.* que llevó a cabo un estudio para evaluar la aceleración de tratamiento ortodóncico y control de dolor, en los resultados obtenidos hubo una diferencia estadísticamente significativa en la aceleración del movimiento dental (50%) y disminución del dolor (40%) (59).

Durante los últimos 25 años el uso del láser de baja intensidad ha aumentado de manera considerable, hoy en día, la fotobiomodulación se considera uno de los principales coadyuvantes en la medicina y odontología. Dentro del área odontológica ha resultado beneficioso para la cicatrización de heridas y lesiones en mucosa bucal, alivio de neuralgia del trigémino, como coadyuvante en el blanqueamiento dental y control de sensibilidad dental. Ha sido bien recibida por parte de los ortodoncistas por sus efectos analgésicos durante el tratamiento de ortodóncico o para el control de dolor en la articulación temporomandibular, mejorar la estabilidad de mini-implantes, coadyuvante en la cirugía para tracción de dientes retenidos, además de acelerar el movimiento dental durante el tratamiento (60,61).

Al efectuar una revisión de la bibliografía existente actualizada se encontraron reportes de los efectos de fotobiomodulación en las diferentes células participes en el movimiento dental ortodóncico (fibroblastos, osteoblastos, osteoclastos), sin embargo, no se ha establecido un protocolo estandarizado con respecto a las

distancias, longitud de onda, tiempo de irradiación, técnicas manuales, así como la fuente de emisión de láser de baja intensidad utilizado.

Son diversas las variables que deben tenerse en cuenta para poder establecer un protocolo de irradiación idóneo, si no hay un control de los parámetros de dosimetría se puede ver afectado el éxito de la fotobiomodulación. Las variables que deben tenerse en cuenta son la densidad de energía, longitud de onda, tiempo de exposición, potencia, la emisión del pulso (continuo, pulsado o super pulsado), densidad de energía, intervalos entre cada irradiación y finalmente las características del tejido a irradiar. Al realizar fotobiomodulación a niveles bajos de irradiación se logra llegar a nivel del citocromo C oxidasa, donde los fotones son absorbidos por los cromóforos para desencadenar la cadena respiratoria mitocondrial, aumento en la producción de ATP, por otro lado, si estas variables son administradas en niveles muy altos no se obtendrán los resultados deseados, es decir, pueden causar inhibición celular, así como daño celular al aumentar el metabolismo celular, aumento excesivo de fotones, disminución en reservas de ATP, aumento excesivo de especies reactivas de oxígeno (ROS). Ahí radica la importancia de encontrar los parámetros de fotobiomodulación adecuados para obtener los efectos bioestimulantes del láser de baja intensidad (62).

CAPÍTULO III. MARCO REFERENCIAL.

Aceleración De Tratamiento De Ortodoncia Con Fotobiomodulación

Los estudios experimentales de la aplicación de esta técnica han sido realizados *in vivo* en diferentes etapas y movimientos del tratamiento ortodóncico, un ejemplo de ello es el estudio realizado por *Cruz et al.* que llevo a cabo el primer estudio *in vivo* en humanos en el año 2004 en São Paulo, Brasil, el estudio fue conformado por 11 pacientes con una edad promedio de 12 a 18 años de ambos géneros, los cuales se habian realizado extracción de los primeros maxilares superiores por motivo de tratamiento ortodóncico; la muestra fue dividida en 2 grupos: grupo control y grupo experimental, a ambos grupos se le realizó mecánica de cierre, al grupo control 1 vez cada 30 días y al grupo experimental 4 veces al mes; el experimento tuvo una duración de 2 meses. El protocolo empleado fue con una longitud de onda de 780 nm con una potencia de 20 mW y 5 J/cm² con un equipo láser de diodo, en el análisis de los resultados observaron una diferencia estadísticamente significativa (34%) en el movimiento dental en el grupo experimental (46).

Cepera et al., quienes ponderaron el impacto que este puede proveer respecto a la regeneración ósea durante la expansión maxilar, su estudio fue llevado a la practica en 27 niños, entre 8 y 12 años, quienes fueron divididos en 2 grupos: (G1) se aplicó fotobiomodulación simultáneo con expansión rápida, (G2) fue el grupo control y solo se realizó expansión rápida. Observaron un efecto favorecedor en la ruptura de la sutura media palatina a la par de un proceso de regeneración ósea acelerada al utilizar una longitud de onda de 780 nm con potencia de 40 mW y 10 j/cm² (63).

Kansal et al. realizaron un estudio en 10 pacientes para evaluar el efecto de aceleración con fotobiomodulación en cierre de espacios. El equipo utilizado fue láser semiconductor de diodo Ga-As, con una longitud de onda 904 nm, densidad de potencia 12 mW, dosis de 4.2 J/cm² en 5 puntos a lo largo de la raíz del órgano dentario por 10 segundos en cada uno, sin embargo, no hubo diferencia estadísticamente significativa en el movimiento dental (64).

Por otra parte, *Moaffak et al.*, efectuaron un estudio en 26 pacientes con apiñamiento moderado en la zona anterior de la arcada maxilar y con una discrepancia de 3 a 5 mm en la misma arcada, al aplicar un protocolo de 830 nm de longitud de onda con una energía total de 2J con láser Ga-Al-As encontraron una disminución, considerable, en el tiempo de duración de la fase de alineación y nivelación, concluyeron que reduce el tiempo total del tratamiento un 26% (65).

De la misma manera *Mistry et al.*, en el 2020, llevaron a cabo un estudio experimental *in vivo*, la muestra de estudio estaba conformada por 22 pacientes adolescentes y adultos jóvenes. En el plan de tratamiento estaba indicado extracciones de primeros premolares superiores (derecho e izquierdo), al llegar a la etapa de cierre de espacios, se utilizó coil cerrado de níquel-titanio con una fuerza de 150 g en conjunto con fotobiomodulación con una longitud de onda de 808 nm, 0.20 W y 13.87 J, se aplicó en torno a la raíz del canino por 10 segundos por punto (8 puntos en total) en el día 0, 28 y 56. Al medir de forma digital, se determinó que no hubo diferencia significativa en la aceleración del movimiento dental durante el cierre, por lo que proponen realizar más estudios para apreciar un incremento en la tasa de movimiento dental, así como de anclaje (66).

Fernandes et al., quienes evaluaron la aceleración de la intrusión dental en el grupo experimental con un protocolo de irradiación de 808 nm con una potencia de 100 mW y densidad de energía 25 J/cm² en el día 0, 3 y 7 después de activar la mecánica de intrusión durante 3 meses. Al comparar los resultados con el grupo control observaron que hubo un aumento en el movimiento dental del 34% (grupo control 0.17 mm/mes y grupo experimental 0.26 mm/mes) (58).

Isola et al., en 2019 evaluaron los efectos de la fotobiomodulación en aceleración del tratamiento ortodóncico en un estudio compuesto por 41 pacientes, emplearon durante el día 3, 7, 14 y cada 15 días hasta completar el movimiento una longitud de onda de 810 nm en modo continuo, potencia de 1 W, dosis 66.7 J/cm² y densidad de energía de 8 J en 3 puntos en bucal y palatino para mecánica de distalización de caninos. Los resultados fueron positivos con respecto a la aceleración del

movimiento en el grupo experimental (84.35 días) comparado con el grupo control (97.49 días) (67).

Perignon et al., llevaron a cabo un estudio prospectivo y aleatorizado en 42 pacientes para evaluar el efecto de la fotobiomodulación con láser de diodo con una longitud de onda de 970 nm, potencia 0.5 W y una dosis de energía de 30 J/cm², el protocolo fue aplicado en canino, primer y segundo premolar, primer molar que requerían movimiento de distalización. Al evaluar los resultados concluyeron que la fotobiomodulación aumento la tasa del movimiento dental ortodóncico, así como un mejor control de este (tabla 1) (54).

Fotobiomodulación En Control De Dolor En Ortodoncia

El dolor originado por fuerzas ortodóncicas experimenta un comportamiento inconstante durante el tratamiento, este dolor comienza a las 4 o 6 horas después de la activación de la aparatología y expresa su pico máximo a las 24 horas, el cual decrece a las 48 horas (33,59,68).

Dicho dolor es resultante de la compresión que sufre el ligamento periodontal, donde se liberan mediadores bioquímicos de la inflamación que beneficia al proceso de remodelado óseo y al movimiento dental(23,69). El aumento del dolor es proporcional a la magnitud y cantidad de fuerza aplicada sobre los dientes, y el sistema de *brackets* utilizado(18,70), para que la fotobiomodulación surja efecto es necesario que penetre los tejidos blandos, llegue a las células óseas y células de ligamento periodontal. Los efectos de láser son analgesia, efecto antiinflamatorio, angiogénesis y mitogénesis, esto ha sido comprobado en numerosos estudios *in vitro* e *in vivo* (23,28,71,72).

Tortamano et al., realizaron un estudio para evaluar el alcance de la fotobiomodulación con respecto a la disminución del dolor ocasionado en la etapa inicial del tratamiento ortodóncico, el estudio estuvo compuesto por 60 pacientes de entre 12 y 18 años, los cuales se dividieron en 3 grupos (grupo control, grupo placebo y grupo experimental). El grupo control y placebo (escuchaba un sonido cada 10 segundos) no fueron expuestos a fotobiomodulación, mientras el grupo experimental fue expuesto a una longitud de onda de 830 nm, 30 mW y 2.5 J por 16

segundos en 5 puntos diferentes. En el grupo experimental encontraron que la aplicación de este método disminuye significativamente el dolor hasta un 45-50%, así como, la duración del mismo (73).

Matarese et al., investigaron los efectos de la fotobiomodulación con respecto al control de dolor durante el tratamiento ortodóncico en etapa de cierre de espacio a una longitud de onda de 810 nm con un equipo láser de diodo en modo continuo, potencia 1 W, dosis de energía de 66.7 J/cm², el protocolo fue aplicado durante el día 0, 3, 7, 14, después fue aplicado al 28 día con el mismo intervalo. Los resultados obtenidos fueron positivos en la reducción del dolor hasta un 60% comparado al grupo control (74).

Algunos autores han evaluado el efecto de la fotobiomodulación sobre la disminución del dolor después de haber colocado elásticos separadores a nivel de molares, como fue el caso de *Amallah et al.*, quienes realizaron un estudio que fue conformado por un grupo experimental al cual se le realizó una sola aplicación de láser, y un segundo grupo experimental al cual se le realizó dos aplicaciones. Se evaluó el dolor con la escala visual análoga del dolor (EVA) a 1, 6, 24, 48, y 96 horas, después de colocar el separador, al realizar el análisis de resultados observaron que hubo disminución del dolor en ambos grupos (75). Esto fue comprobado por *Holmberg et al.*, quienes aseveran que la aplicación de láser de baja intensidad favorece a la disminución del dolor posterior a la aplicación de separadores elásticos, llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado donde evaluaron el grado de dolor a las 3, 12, 24 horas y a los días 2, 3, 4, 5 y 7 después de haber sido administrada la fotobiomodulación. Para medir el nivel de dolor utilizaron un cuestionario estándar de la escala visual análoga del dolor (EVA), como resultado obtuvieron que el 61.6% de los pacientes del grupo de control presentaron algún grado de dolor en contraste al grupo experimental en el cual solo el 38.64% de los pacientes presentaron dolor (70).

Qamruddin et al., llevaron a cabo un estudio para evaluar la aceleración de tratamiento ortodóncico y control de dolor, la muestra estaba constituida por 10 mujeres y 10 hombres, durante la mecánica de cierre aplicaron un protocolo de irradiación con un equipo láser de diodo una longitud de onda de 940 nm con una potencia de 100 mW y 7.5 J/ J/cm² por 30 segundos 1 vez cada 3 semanas durante 9 semanas. Los resultados obtenidos fue una disminución relevante del dolor asociado de acuerdo a la escala de calificación numérica, la puntuación más alta en el grupo experimental fue de 1.5, mientras en el grupo placebo fue de 4.5 (tabla 2) (76).

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS.

La recolección bibliográfica se efectuó a través de la base de datos PubMed, Medline y Springer en agosto del año 2020, se utilizó la combinación de las palabras claves: *Orthodontic tooth movement AND photobiomodulation OR control pain OR low level laser therapy OR orthodontic.*

- *Criterios de inclusión:* Artículos en idioma inglés y español dentro de un periodo que abarca del año 2004 a 2021, ensayos controlados aleatorizados y ensayos clínicos controlados, estudios que evalúen la eficacia del láser de baja intensidad en movimiento dental y dolor ortodóncico.
- *Criterios de exclusión:* Estudios de cohorte, estudios animales, reporte de caso, series de casos, casos control, artículos que solo tuvieran el resumen, estudios de simulación, estudios revisión, artículos que no especificaran el protocolo de irradiación empleado.

Las palabras claves identificaron 450 artículos en total pertinentes al tema. Al tener en consideración los criterios de inclusión y exclusión, los artículos duplicados, se excluyeron 429 que no cumplieron con los criterios establecidos, de tal manera el estudio se basa en 21 artículos, de los cuales 13 artículos investigaron la aceleración del tratamiento y 8 sobre control del dolor (figura 1).

Figura 1.

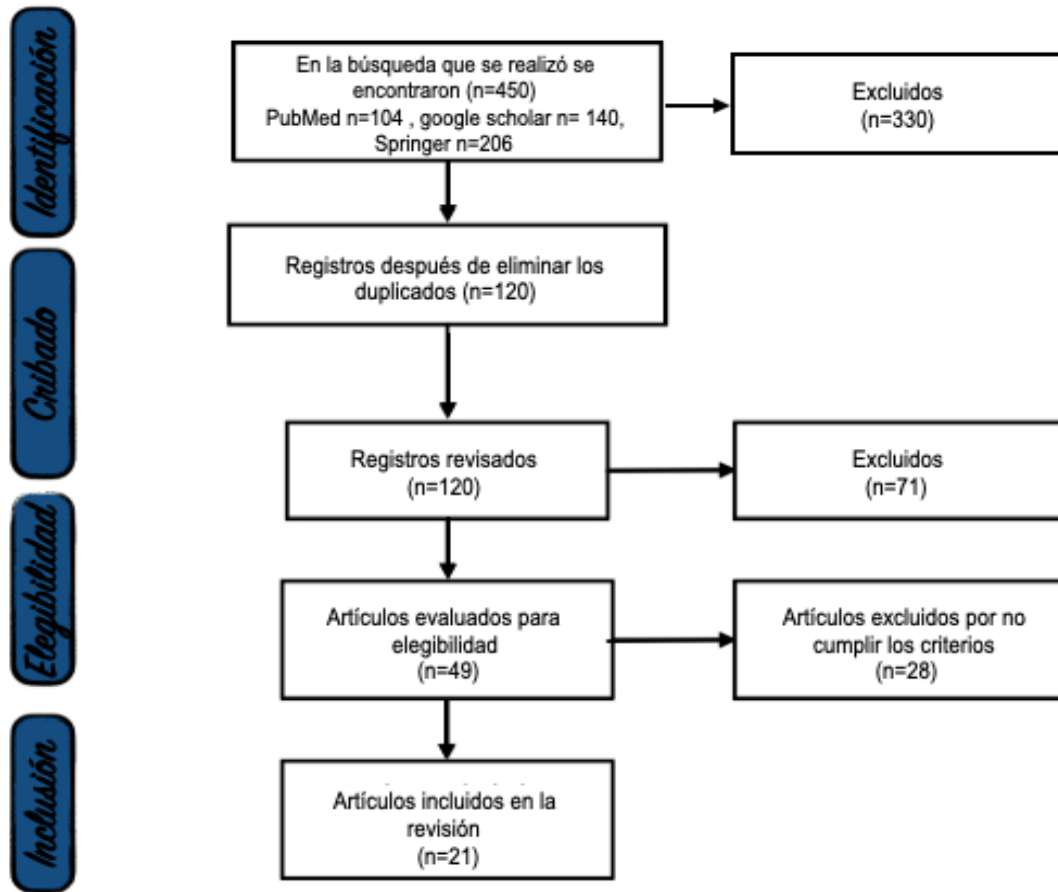


Diagrama de flujo del proceso de búsqueda para la obtención de estudios.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.

DISCUSIÓN

Existen estudios realizados *in vitro* que demuestran un aumento de fibroblastos, osteoblastos, osteoclastos, metaloproteinasas, interleucinas y activación en el complejo RANK/RANKL/OPG (15,48,72). Estudios experimentales preliminares reportan que al aplicar densidades de energía menor a 5 J/cm² con láser de baja intensidad con una longitud de onda \approx 800 nm y una potencia de 20-150 mW las células presentan un estímulo positivo en proliferación que repercute en la aceleración durante la retracción de caninos, sin embargo, algunos estudios han reportado que al utilizar esta longitud de onda, pero niveles altos de la densidad de energía, se observa una inhibición de proliferación (20,22,46).

De la misma manera, existe un vasto compendio de estudios realizados *in vivo* en el campo de la fotobiomodulación, a pesar de ello no se ha establecido un protocolo de irradiación, por lo que persiste la polémica con respecto a los efectos que este provee, asimismo, si la aplicación de este método produce una diferencia en el tratamiento de ortodoncia. En la bibliografía existe un sinnúmero de estudios que atribuyen a la fotobiomodulación la reducción de dolor post activación, aceleración del movimiento dental por tratamiento de ortodoncia (2,30,59).

Existen estudios que aluden a la fotobiomodulación un efecto acelerador del movimiento dental, en consecuencia, origina una disminución en la duración del tratamiento ortodóncico, lo cual se logra a partir de los 3 meses de tratamiento (65,77), esto se debe a la activación y mejora del complejo RANK/RANKL/OPG, incremento en la multiplicación celular y optimización de la viabilidad celular, además, se observa un acrecentamiento en la expresión de metaloproteinasas, catepsina K e integrinas alfa y beta (15,78,79). A pesar de ello, *Dipika Mistry et al.* difieren al respecto, esto puede deberse a una muestra pequeña de estudio y una cantidad alta de puntos a irradiar (8 puntos a largo de eje longitudinal de la raíz por bucal y palatino), concluyen que idealmente se deben llevar a cabo más estudios

para instaurar protocolos y rectificar lo anteriormente mencionado (80). Por otro lado, esto fue sustentado por *Shaughnessy et al.*, quienes realizaron un estudio con el objetivo de evaluar la aceleración del movimiento durante la etapa de alineación en pacientes con apiñamiento moderado, emplearon una longitud de onda de 850 nm, densidad de energía de 9.3 J/cm² con intervalos de 3 semanas hasta completar la fase de alineación, los resultados obtenidos fueron un aumento en la aceleración del movimiento, en el grupo experimental se logró 1.27mm/semana de movimiento, mientras en el grupo control 0.44mm/semana (81). Esto fue sustentado por *Qamrrudin et al.*, 2021 al obtener resultados positivos en la aceleración del tratamiento de ortodoncia en su estudio para evaluar el efecto de fotobiomodulación al realizar 3 aplicaciones con un intervalo de 3 semanas entre cada una con longitud de onda de 940 nm, potencia de 100 mW, energía de 7.5 J/cm² por 30 segundos (59). Los resultados contradictorios pueden deberse a un nivel alto de potencia, así como, un mayor tiempo en cada irradiación.

Los objetivos principales para el uso del láser de baja intensidad han sido acelerar el tratamiento ortodóncico y modular el dolor relacionado a este. Los resultados más prometedores están relacionados a este último, sin embargo, algunos estudios refieren que los resultados obtenidos no son francos ni significativos en virtud a que el dolor es subjetivo. Por otro lado, *Siao et al.*, llevaron a efecto un estudio semejante al de *Tortamano et al.*, afirmaron que la fotobiomodulación tiene un efecto favorable en la disminución de dolor en la etapa de alineación y nivelación en el tratamiento de ortodoncia (76,82). Del mismo modo *Amallah et al.*, confirmaron que se obtiene una disminución del dolor relacionado con el uso elásticos separadores, discrepante con los resultados obtenidos en el estudio realizado por *López et al.* en donde el objetivo fundamental era evaluar el efecto de láser de baja intensidad sobre la longitud de ligamento periodontal y la apreciación del dolor en la etapa inicial del tratamiento. Concluyeron que la fotobiomodulación tenía un estímulo positivo sobre el ligamento periodontal, disminuye su longitud, pero no encontraron inhibición total del dolor (77). Esto fue sustentado por *Heravi et al.*, quienes investigaron los efectos de la

fotobiomodulación con respecto al control de dolor durante el tratamiento ortodóncico a una longitud de onda de 810 nm con un equipo láser Ga-Al-As, potencia 200 mW, dosis de energía de 21.4 J/cm². El protocolo fue aplicado durante el día 1, 3, 7, 11 y 15 durante el primer mes, después fue aplicado al 28 día con el mismo intervalo. Los resultados demostraron que no hubo una reducción significativa del dolor, al igual que no hubo un aumento en la velocidad del movimiento dental originado por fuerzas ortodóncicas (69). Discrepante con los resultados obtenidos por *Mirhashemi et al.*, que obtuvieron una disminución significativa en la percepción de dolor durante la colocación de elásticos separadores con fotobiomodulación de 808 nm en modo continuo con dosis de energía 15.60 J/cm² durante 11 segundos.

La mayoría de los estudios realizados para evaluar el control del dolor con fotobiomodulación han obtenido resultados positivos, además, coinciden en los niveles de potencia (100 mW), donde han utilizado longitudes de onda alrededor de los 800 nm con láser de baja potencia (GaAlAs) y por lo general coincide su aplicación en la etapa de alineación/nivelación y cierre de espacios (75). Un punto interesante de destacar es que los estudios con resultados negativos coinciden en el uso de niveles altos de potencia (200mW) y dosis de energía (>8 J) por lo cual podemos sugerirle al clínico que la fotobiomodulación será efectiva al utilizar protocolos conservadores (20-100 mW, 800 nm, 5-15 J/cm²) (83–85).

La bibliografía hace mención de la existencia de un incremento en la aceleración del tratamiento ortodóncico en la etapa inicial, así como, reducción del dolor en el tratamiento.

La discrepancia de los resultados obtenidos entre los diversos estudios *in vitro* e *in vivo* puede estar relacionada a que no se consideran factores como el diámetro de superficie del tejido objetivo (se ha observado que la mayoría de estudios omiten esto), es decir que el haz de luz es más pequeño a la superficie a irradiar o bien, pierde potencia al intensificar el haz, otro motivo puede ser que el equipo láser no este calibrado y por lo tanto no emita la longitud de onda y potencia que especifica, y la cantidad de puntos a irradiar sobre el objetivo, además, se ha demostrado que

para que la fotobiomodulación que tenga un efecto bioestimulador debe sobrepasar un umbral de dosis que sea suficientemente alta para lograr llegar a las células encargadas del movimiento dental ortodóncico, pero si la potencia es excesiva puede inhibir la estimulación celular y no lograr el efecto deseado. Se considera que los parámetros fundamentales para establecer un protocolo idóneo son la densidad de potencia y densidad de energía, se ha observado que, al aplicar una misma longitud de onda, pero con niveles altos de potencia (>200 mW) y por un tiempo prolongado no ocurre un efecto positivo. Otro cofactor importante que se debe considerar es la afinidad con los cromóforos, como se mencionó anteriormente, los cromóforos con mayor afinidad a la luz láser son la hemoglobina y melanina, por lo tanto la penetración de la luz láser en las células puede ser muy variable (62).

La bibliografía es diversa y por lo tanto no existe un consenso sobre la metodología utilizada o los parámetros para aplicar la fotobiomodulación en aceleración del movimiento ortodóncico o control del dolor, la mayor parte de los artículos omiten información relevante de cómo se obtuvo, o estableció, el protocolo de irradiación por lo tanto la falta de comunicación origine resultados contradictorios, por lo que se sugiere realizar más estudios experimentales para establecer parámetros definitivos para su aplicación.

TABLA 1. COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE IRRADIACIÓN PARA LA ACELERACIÓN DE MOVIMIENTO DENTAL ORTODÓNCICO.

AUTOR	PROTOCOLO	TRATAMIENTO	RESULTADOS
Cruz (2004)	780 nm, 20 mW, 5 J/Cm ² 23 segundos. Día 0, 3, 7, 14.	Distalización.	Aumento en la velocidad del movimiento dental 34%.
Limpanichkul (2006)	860 nm, 100 mW, 25 J/Cm ² , 10 segundos. Día 1- 3.	Distalización.	No hubo diferencia significativa.
Youssef (2008)	809 nm, 100 mW, 8 J, 40 segundos. Día 0, 3, 7, 11, 14 y 21.	Distalización.	Aumento en la velocidad del movimiento dental 50%.
Da Silva Sousa (2011)	780 nm, 20 mW, 5 J/Cm ² , 10 segundos. Día 0, 3 y 7.	Distalización.	Aumento en la velocidad del movimiento dental grupo experimental 3.09 mm comparado al grupo control (1.60 mm).
Doshi-Meta (2012)	800 nm, 0.25 mW, 8 J, 10 segundos. Día 0, 3, 7, 14, hasta completar la distalización.	Distalización.	Aumento en la velocidad del movimiento dental 30%.
Kansal (2014)	800 nm, 12 mW, 4.2 J/Cm ² , 10 segundos. Día 1, 3, 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 56.	Distalización.	No hubo diferencia significativa.
Heravi (2014)	810 nm, 200 mW, 21.4 J/Cm ² , 10 segundos. Día 0, 3, 7, 11 y 15.	Distalización.	No hubo diferencia significativa.
Üretürk (2017)	810 nm, 20 mW, 5 J/Cm ² , 10 segundos. Día 0, 3, 7, 14, 21, 30, 33, 37, 60, 63 y 67.	Distalización.	Aumento en la velocidad del movimiento dental 40%.
Alsayed (2017)	830 nm, 150 mW, 2.25 J/Cm ² , 15 seg. Día 0, 3, 7, 14, hasta completar la alineación.	Alineación y nivelación.	Aumento en la velocidad del movimiento dental, grupo experimental 81 días comparado al grupo control (109 días).
Isola (2019)	810 nm, 1 W, 66.7 J/cm ² , 15 segundos. Día 0, 3, 7, 14 y cada 15 días hasta completar la alineación.	Alineación y nivelación.	Aumento en la velocidad del movimiento dental, grupo experimental 84 días comparado al grupo control (97 días).
Mistry (2020)	808 nm, 0.20 W, 13.87 J, 10 segundos. Día 0, 28, 56.	Distalización.	No hubo diferencia significativa.
Perignon (2021)	970 nm, 0.5 W, 30 J/cm ² , 2 segundos. Mes 1er – 6to.	Elásticos intermaxilares.	Aumento en la velocidad del movimiento dental. Grupo experimental 2.27 mm mayor comparado al grupo control (1.64 mm).
Qamruddin (2021)	940 nm, 100 mW, 7.5 J/cm ² , 3 seg. Semana 1, 3, 6 y 9.	Distalización.	Aumento en la velocidad del movimiento dental. Grupo experimental 4.67 mm mayor comparado al grupo control (2.87 mm).

Comparación de los protocolos de irradiación para la aceleración de movimiento dental ortodóncico, así como, los resultados obtenidos.

TABLA 2. COMPARATIVA DE PROTOCOLOS DE IRRADIACIÓN PARA CONTROL DE DOLOR DURANTE EL TRATAMIENTO ORTODÓNICO.

AUTOR	PROTOCOLO	TRATAMIENTO	RESULTADOS
<i>Turhani (2006)</i>	670 nm, 75 mW, 30 segundos. 6, 30, 54 horas.	Alineación.	Reducción significativa del dolor hasta un 30%.
<i>Youssef (2008)</i>	809 nm, 100 mW, 8 J, 40 segundos. Día 0,3, 7, 11, 14 y 21.	Distalización.	Reducción significativa del dolor hasta un 50%.
<i>Tortamano (2009)</i>	830 nm, 30 mW, 2.5 J, 16 segundos. Día 0.	Alineación.	Reducción significativa del dolor hasta un 30%.
<i>Heravi (2014)</i>	810 nm, 200 mW, 21,4 J/cm ² , 30 segundos. Día 0, 3, 7, 11 y 15.	Distalización.	No hubo diferencia significativa.
<i>Qamruddin (2018)</i>	940 nm, 100 mW, 7.5 J/cm ² , 3 segundos. Día1-7.	Alineación y nivelación.	Reducción significativa del dolor, p < 0.05.
<i>Isola (2019)</i>	810 nm, 1 W, 66.7 J/cm ² , 15 segundos. Día 0, 3, 7, 14 y cada 15 días hasta completar la alineación.	Alineación y nivelación.	Reducción significativa del dolor, p < 0.001.
<i>Almallah (2020)</i>	830 nm, 100 mW, 4 J/cm ² , 28 segundos. 1, 6, 24, 48 y 96 horas.	Elásticos separadores.	Reducción significativa del dolor, p < 0.05.
<i>Qamruddin (2021)</i>	940 nm, 100 mW, 7.5 J/cm ² , 3 segundos. Semana 1, 3, 6 y 9.	Distalización.	Reducción significativa del dolor, p < 0.05.

Comparación de los protocolos utilizados para el control del dolor durante el tratamiento de ortodoncia, así como, los resultados obtenidos.

CONCLUSIÓN

Basándose en la revisión de la bibliografía, podemos concluir que efectivamente existen numerosos beneficios en el empleo de la fotobiomodulación:

- Se logra disminuir hasta en un 30% la duración total del tratamiento ortodóncico.
- Su efectividad aumenta en los primeros 3 meses del tratamiento (alineación y nivelación).
- Disminuye la percepción del dolor por parte del paciente hasta un 50%, esto ayuda a mejorar su cooperación.
- El hueso neoformado es más estable, con mayor densidad y volumen.
- Los artículos con resultados positivos con respecto a la aceleración del movimiento dental ortodóncico y disminución del dolor coinciden con el uso de una longitud de onda 780 nm a 810 nm, energía de 3 a 10 J/cm², niveles de potencia dentro del rango 20-150 mW en modo continuo.
- La percepción del dolor y la velocidad del movimiento dental ortodóncico son influenciadas por el umbral de dolor de cada individuo, el sexo, edad y la diversidad anatómica del tejido o zona a irradiar.

BIBLIOGRAFÍA

1. León P, Domínguez A. Laser therapy and biochemical markers in the acceleration of orthodontic dental movement: a review of the literature. *Rev Estomatol.* 2017;21(2):26–31.
2. 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;32(4):757–64.
3. Mirhashemi A, Rasouli S, Shahi S, Chiniforush N. Efficacy of Photobiomodulation Therapy for Orthodontic Pain Control Following the Placement of Elastomeric Separators: A Randomized Clinical Trial. *J lasers Med Sci.* 2021;12:e8.
4. Caccianiga G, Caccianiga P, Baldoni M, Lo Giudice A, Perillo L, Moretti N, et al. Pain Reduction during Rapid Palatal Expansion Due to LED Photobiomodulation Irradiation: A Randomized Clinical Trial. *Life (Basel, Switzerland).* 2021 Dec;12(1).
5. 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* [Internet]. 2016;31(9):1751–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10103-016-2045-1>
6. 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. *Lasers Med Sci.* 2015;30(5):1609–18.
7. Coluzzi DJ, Parker SPA. *Textbooks in Contemporary Dentistry Lasers in Dentistry– Current Concepts.* 2017. 397 p.
8. 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;23(2):211–5.
9. Aras MH, Erkilic S, Demir T, Demirkol M, Kaplan DS, Yolcu U. Effects of low-level laser therapy on osteoblastic bone formation and relapse in an

- experimental rapid maxillary expansion model. *Niger J Clin Pract.* 2015;18(5):607–11.
10. Dominguez A. Cellular Effects related to the clinical uses of Cellular Effects Related to the Clinical Uses. 2014;(January 2009).
 11. Hawkins D, Abrahamse H. Effect of multiple exposures of low-level laser therapy on the cellular responses of wounded human skin fibroblasts. *Photomed Laser Surg.* 2006;24(6):705–14.
 12. Esper MALR, Nicolau RA, Arisawa EALS. The effect of two phototherapy protocols on pain control in orthodontic procedure--a preliminary clinical study. *Lasers Med Sci.* 2011 Sep;26(5):657–63.
 13. Miles P. Accelerated orthodontic treatment - what's the evidence? *Aust Dent J.* 2017;62:63–70.
 14. Nimeri, Ghada. H Kau C. Acceleration of tooth movement during orthodontic treatment-A frontier in orthodontics. *J Pharm Sci Res.* 2017;9(5):741–4.
 15. Ozawa Y, Shimizu N, Kariya G, Abiko Y. Low-energy laser irradiation stimulates bone nodule formation at early stages of cell culture in rat calvarial cells. *Bone.* 1998;22(4):347–54.
 16. Jedliński M, Romeo U, Del Vecchio A, Palaia G, Galluccio G. Comparison of the Effects of Photobiomodulation with Different Lasers on Orthodontic Movement and Reduction of the Treatment Time with Fixed Appliances in Novel Scientific Reports: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Photobiomodulation, photomedicine, laser Surg.* 2020 Aug;38(8):455–65.
 17. Karoussis IK, Kyriakou K, Psarros C, Afouxenes P, Vrotsos IA. Dosage Effects of an 810 nm Diode Laser on the Proliferation and Growth Factor Expression of Human Gingival Fibroblasts. *J Lasers Med Sci [Internet].* 2021;12(1):1–9. Available from: <https://doi.org/10.34172/jlms.2021.25>
 18. Youssef M, Ashkar S, Hamade E, Gutknecht N, Lampert F, Mir M. The effect of low-level laser therapy during orthodontic movement: A preliminary study. *Lasers Med Sci.* 2008;23(1):27–33.
 19. B Cotler H. The Use of Low Level Laser Therapy (LLLT) For Musculoskeletal Pain. *MOJ Orthop Rheumatol.* 2015;2(5).

20. Long H, Zhou Y, Xue J, Liao L, Ye N, Jian F, et al. The effectiveness of low-level laser therapy in accelerating orthodontic tooth movement: a meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2015;30(3):1161–70.
21. Okada N, Kobayashi M, Mugikura K, Okamatsu Y, Hanazawa S KS. Interleukin-6 production in human fibroblasts derived from periodontal tissues is differentially regulated by cytokines and a glucocorticoid. *J Periodontol Res.* 1997;32:559–69.
22. Young S, Bolton P, Dyson M, Harvey W, Diamantopoulos C. Macrophage responsiveness to light therapy. *Lasers Surg Med.* 1989;9(5):497–505.
23. Holmberg F, Zaror Sánchez C, Fabres R, Sandoval P. Use of laser therapy in pain control in orthodontics. *Rev clín periodoncia Implant Rehabil Oral.* 2011;4(3):114–6.
24. Parker S. Laser regulation and safety in general dental practice. *Br Dent J.* 2007 May;202(9):523–32.
25. Loevschall H, Arenholt-Bindslev D. Effect of low level diode laser irradiation of human oral mucosa fibroblasts in vitro. *Lasers Surg Med.* 1994;14(4):347–54.
26. Timberlake GT, Enwemeka CS. An inexpensive, automated instrument for laser irradiation of cultured cells. *Photomed Laser Surg.* 2004;22(3):233–9.
27. Genovese MD, Olivi G. Use of laser technology in orthodontics: Hard and soft tissue laser treatments. *Eur J Paediatr Dent.* 2010;11(1):44–8.
28. Eroglu CN, Keskin Tunc S. Effectiveness of single session of low-level laser therapy with a 940 nm wavelength diode laser on pain, swelling, and trismus after impacted third molar surgery. *Photomed Laser Surg.* 2016;34(9):406–10.
29. Atasoy KT, Korkmaz YT, Odaci E, Hanci H. The efficacy of low-level 940 nm laser therapy with different energy intensities on bone healing. *Braz Oral Res.* 2017;31:1–9.
30. AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Low-level laser therapy effectiveness in accelerating orthodontic tooth movement: A randomized controlled clinical trial. *Angle Orthod.* 2017;87(4):499–504.
31. Li Y, Jacox LA, Little SH, Ko CC. Orthodontic tooth movement: The biology and clinical implications. *Kaohsiung J Med Sci [Internet].* 2018;34(4):207–14.

Available from: <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2018.01.007>

32. Sousa MV da S, Scanavini MA, Sannomiya EK, Velasco LG, Angelieri F. Influence of low-level laser on the speed of orthodontic movement. *Photomed Laser Surg.* 2011 Mar;29(3):191–6.
33. 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. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2020;157(4):444–53.
34. Krukemeyer AM, Arruda AO, Inglehart MR. Pain and orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2009;79(6):1175–81.
35. Bildt MM, Bloemen M, Kuijpers-Jagtman AM, Von Den Hoff JW. Matrix metalloproteinases and tissue inhibitors of metalloproteinases in gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement. *Eur J Orthod.* 2009;31(5):529–35.
36. Huang H, Williams RC, Kyrkanides S. Accelerated orthodontic tooth movement: Molecular mechanisms. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2014;146(5):620–32.
37. Milligan M, Arudchelvan Y, Gong SG. Effects of two wattages of low-level laser therapy on orthodontic tooth movement. *Arch Oral Biol.* 2017;80:62–8.
38. Doshi-Mehta G, Bhad-Patil WA. Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: A clinical investigation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2012;141(3):289–97. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.09.009>
39. Yavagal CM, Matondkar SP, Yavagal PC. Efficacy of Laser Photobiomodulation in Accelerating Orthodontic Tooth Movement in Children: A Systematic Review with Meta-analysis. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2021;14(Suppl 1):S94–100.
40. Oltra-Arimon D, España-Tost AJ, Berini-Aytés L, Gay-Escoda C. Aplicaciones del láser de baja potencia en Odontología. *Rcoe.* 2004;9(5):517–24.
41. Garrigo Andreu MI, Valiente Zaldivar C. Efectos biológicos de la radiación láser de baja potencia en la reparación histológica. *Rev Cuba estomatol* [Internet].

- 1996;33(2):60–3. Available from: <http://es>
42. Choi EJ, Yim JY, Koo KT, Seol YJ, Lee YM, Ku Y, et al. Biological effects of a semiconductor diode laser on human periodontal ligament fibroblasts. *J Periodontal Implant Sci.* 2010;40(3):105–10.
 43. 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;32(2):131–9.
 44. Grant M, Wilson J, Rock P, Chapple I. Induction of cytokines, MMP9, TIMPs, RANKL and OPG during orthodontic tooth movement. *Eur J Orthod.* 2013 Oct;35(5):644–51.
 45. Shamir MH, Rochkind S, Sandbank J, Alon M. Double-blind randomized study evaluating regeneration of the rat transected sciatic nerve after suturing and postoperative low-power laser treatment. *J Reconstr Microsurg.* 2001;17(2):133–7.
 46. 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.
 47. Fujita S, Yamaguchi M, Utsunomiya T, Yamamoto H, Kasai K. Low-energy laser stimulates tooth movement velocity via expression of RANK and RANKL. *Orthod Craniofacial Res.* 2008;11(3):143–55.
 48. Migliario M, Sabbatini M, Mortellaro C, Renò F. Near infrared low-level laser therapy and cell proliferation: The emerging role of redox sensitive signal transduction pathways. *J Biophotonics.* 2018;11(11).
 49. Sweeney MC. Laser safety in dentistry: A position paper. ... *Laser Dent* [Internet]. 2009;54–64. Available from: http://www.laserdentistry.org/uploads/files/members/jld/JLD_17.1/JLD_17_1_2009.pdf#page=41
 50. Hadjidakis DJ, Androulakis II. Bone remodeling. *Ann N Y Acad Sci.* 2006;1092:385–96.
 51. Verna C, Dalstra M, Melsen B. Is Influenced By Bone Turnover in a Rat Model.

- 2000;22:343–52.
52. Huang H, Williams RC, Kyrkanides S. Accelerated orthodontic tooth movement: Molecular mechanisms. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2014;146(5):620–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.07.007>
 53. Hamblin MR. Photobiomodulation or low-level laser therapy. Vol. 9, *Journal of biophotonics*. 2016. p. 1122–4.
 54. Pérignon B, Bandiaky ON, Fromont-Colson C, Renaudin S, Peré M, Badran Z, et al. Effect of 970 nm low-level laser therapy on orthodontic tooth movement during Class II intermaxillary elastics treatment: a RCT. *Sci Rep*. 2021 Dec;11(1):23226.
 55. Wada Y, Suzuki A, Ishiguro H, Murakashi E, Numabe Y. Chronological gene expression of human gingival fibroblasts with low reactive level laser (LLL) irradiation. *J Clin Med*. 2021;10(9).
 56. Topaloglu N, Özdemir M, Çevik ZBY. Comparative analysis of the light parameters of red and near-infrared diode lasers to induce photobiomodulation on fibroblasts and keratinocytes: An in vitro study. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2021;37(3):253–62.
 57. Na S, TruongVo T, Jiang F, Joll JE, Guo Y, Utreja A. Dose analysis of photobiomodulation therapy on osteoblast, osteoclast, and osteocyte. *J Biomed Opt*. 2018;23(07):1.
 58. Gomes MF, da Graças Vilela Goulart M, Giannasi LC, Hiraoka CM, de Fátima Santana Melo G, de Sousa AGV, et al. Effects of the GaAlAs diode laser (780 nm) on the periodontal tissues during orthodontic tooth movement in diabetes rats: histomorphological and immunohistochemical analysis. *Lasers Med Sci*. 2017;32(7):1479–87.
 59. Qamruddin I, Alam MK, Mahroof V, Fida M, Khamis MF, Husein A. Photobiostimulatory Effect of a Single Dose of Low-Level Laser on Orthodontic Tooth Movement and Pain. *Pain Res Manag*. 2021;2021:6690542.
 60. 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. *J Orofac Orthop = Fortschritte der Kieferorthopadie Organ/official J Dtsch Gesellschaft fur Kieferorthopadie*. 2021 Jul;82(4):236–45.
61. Zhang B, Huang X, Huo S, Zhang C, Cen X, Zhao Z. Effect of photobiomodulation therapy on mini-implant stability: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*. 2021;36(8):1557–66.
 62. Zein R, Selting W, Hamblin MR. Review of light parameters and photobiomodulation efficacy: dive into complexity. *J Biomed Opt*. 2018;23(12):1.
 63. Cepera F, Torres FC, Scanavini MA, Paranhos LR, Capelozza Filho L, Cardoso MA, et al. Effect of a low-level laser on bone regeneration after rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod its Const Soc Am Board Orthod*. 2012 Apr;141(4):444–50.
 64. Manuela D, Reyes R, Raquel D, Comas B, Maira D, Martínez R, et al. Expansión rápida del maxilar con el tornillo Hyrax en un adolescente. *Medisan*. 2015;19(3):417–21.
 65. 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. *Dent Res J (Isfahan)* [Internet]. 2014;11(4):481–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25225562><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4163827>
 66. AlSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Low-level laser therapy effectiveness in accelerating orthodontic tooth movement: A randomized controlled clinical trial. *Angle Orthod*. 2017;87(4):499–504.
 67. Isola G, Matarese M, Briguglio F, Grassia V, Picciolo G, Fiorillo L, et al. Effectiveness of Low-Level Laser Therapy during Tooth Movement: A Randomized Clinical Trial. *Mater (Basel, Switzerland)*. 2019 Jul;12(13).
 68. Lucia O, Moreno M. Control del dolor en la primera fase del tratamiento de ortodoncia con programación neurolingüística. 2010;
 69. Heravi F, Moradi A, Ahrari F. The effect of low level laser therapy on the rate of tooth movement and pain perception during canine retraction. *Oral Health*

- Dent Manag [Internet]. 2014;13(2):183–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24984620>
70. Abdelrahman RS, Al-Nimri KS, Al Maaitah EF. Pain experience during initial alignment with three types of nickel-titanium archwires: A prospective clinical trial. *Angle Orthod*. 2015;85(6):1021–6.
 71. Bourouni I, Kyriakidou K, Fourmoussis I, Vrotsos IA, Karoussis IK. Low Level Laser Therapy With an 810-nm Diode Laser Affects the Proliferation and Differentiation of Premature Osteoblasts and Human Gingival Fibroblasts In Vitro. *J Lasers Med Sci*. 2021;12:1–6.
 72. Etemadi A, Sadatmansouri S, Sodeif F, Jalalishirazi F, Chiniforush N. Photobiomodulation Effect of Different Diode Wavelengths on the Proliferation of Human Gingival Fibroblast Cells. *Photochem Photobiol*. 2021;97(5):1123–8.
 73. Tortamano A, Lenzi DC, Haddad ACSS, Bottino MC, Dominguez GC, Vigorito JW. Low-level laser therapy for pain caused by placement of the first orthodontic archwire: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2009;136(5):662–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.06.028>
 74. Matarese G, Matarese M, Picciolo G, Fiorillo L, Isola G. Evaluation of Low-Level Laser Therapy with Diode Laser for the Enhancement of the Orthodontic Tooth Movement: a Split-Mouth Study. 2018;(September):1–7. Available from: https://www.preprints.org/manuscript/201809.0273/download/final_file
 75. Almallah MME, Hajeer MY, Almahdi WH, Burhan AS, Latifeh Y, Madkhaneh SK. Assessment of a single versus double application of low-level laser therapy in pain reduction following orthodontic elastomeric separation: A randomized controlled trial. *Dent Med Probl*. 2020;57(1):45–52.
 76. Qamruddin I, Alam MK, Abdullah H, Kamran MA, Jawaid N, Mahroof V. Effects of single-dose, low-level laser therapy on pain associated with the initial stage of fixed orthodontic treatment: A randomized clinical trial. *Korean J Orthod*. 2018;48(2):90–7.
 77. Farzanegan F, Zebarjad SM, Alizadeh S, Ahrari F. Pain reduction after initial

- archwire placement in orthodontic patients: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2012;141(2):169–73. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.06.042>
78. Kim SJ, Chou MY, Park YG. Effect of low-level laser on the rate of tooth movement. *Semin Orthod* [Internet]. 2015;21(3):210–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1053/j.sodo.2015.06.008>
 79. Fujiyama K, Deguchi T, Murakami T, Fujii A, Kushima K, Takano-Yamamoto T. Clinical effect of CO2 laser in reducing pain in orthodontics. *Angle Orthod*. 2008;78(2):299–303.
 80. Pereira Prado V, Asquino N, Apellaniz D, Bueno Rossi LA, Tapia G, Bologna Molina R. Metaloproteinasas de la matriz extracelular (mmps) en odontología TT - Metalloproteinases (MMPs) of the extracellular matrix in dentistry. *Odontoestomatol* [Internet]. 2016;18(28):20–9. Available from: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-93392016000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-93392016000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=en
 81. Shaughnessy T, Kantarci A, Kau CH, Skrenes D, Skrenes S, Ma D. Intraoral photobiomodulation-induced orthodontic tooth alignment: a preliminary study. *BMC Oral Health*. 2016 Jan;16:3.
 82. Frozanfar A, Ramezani M, Rahpeyma A, Khajehahmadi S, Arbab HR. The effects of low level laser therapy on the expression of collagen type I gene and proliferation of human gingival fibroblasts (HGF3-PI 53): In vitro study. *Iran J Basic Med Sci*. 2013;16(10):1071–4.
 83. 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. *Lasers Med Sci* [Internet]. 2022; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10103-022-03538-8>
 84. Sterczała B, Grzech-Lésniak K, Michel O, Trzeciakowski W, Dominiak M, Jurczyszyn K. Assessment of human gingival fibroblast proliferation after laser stimulation in vitro using different laser types and wavelengths (1064, 980,

- 635, 450, and 405 nm)—preliminary report. *J Pers Med.* 2021;11(2):1–17.
85. Lo Giudice A, Nucera R, Leonardi R, Paiusco A, Baldoni M, Caccianiga G. A Comparative Assessment of the Efficiency of Orthodontic Treatment With and Without Photobiomodulation During Mandibular Decrowding in Young Subjects: A Single-Center, Single-Blind Randomized Controlled Trial. *Photobiomodulation, photomedicine, laser Surg.* 2020 May;38(5):272–9.