

Estimulação mecânica *in vivo* no movimento dentário ortodôntico

Revisão sistemática

Maria Cardona

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária
(Ciclo Integrado)

Gandra, 15 de junho de 2022



CESPU

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Maria Cardona

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Estimulação mecânica *in vivo* no movimento dentário ortodôntico

Revisão Sistemática

Trabalho realizado sob a Orientação de Mestre Selma Pascoal

Declaração de Integridade

Eu, acima identificado, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer a minha orientadora, Mestre Selma Pascoal, por toda a ajuda prestada, a sua atenção e paciência para comigo, sem a qual este trabalho não teria sido possível.

Agradeço também aos meus pais e á minha irmã por sempre me apoiarem. Por ter estado comigo em todos os momentos da minha vida, especialmente deste meu percurso académico. Obrigada por terem tornado um sonho realidade.

Ao meu namorado por tudo o carinho, por estar sempre a apoiar-me e dar-me os melhores momentos.

À minha binómia, Ana, por ser um apoio tão grande nestes 5 anos, sem dúvida que é uma amiga que fica para a vida.

Aos meus colegas Alex e Arturo por ter feito passar grandes momentos nesta faculdade.

As minhas amigas de Espanha, por estarem sempre comigo.

Obrigada Portugal, terás sempre um lugar no meu coração.

Resumo

Um dos objetivos principais na Ortodontia para além da estética e do restabelecimento da função, é a redução do tempo de tratamento. A estimulação mecânica, utilizada para a aceleração do movimento ortodôntico, por ser um método não invasivo em comparação com as técnicas cirúrgicas, tem tido cada vez mais aceitação por parte dos profissionais na Medicina Dentária e dos pacientes. Através da estimulação mecânica, como por exemplo dispositivos de vibração, ultrassom pulsado de baixa intensidade (LIPUS), aceleração de alta frequência (HFA), terapia extracorpórea por ondas de choque (ESWT), vibração mecânica de baixa frequência (LFMV) e forças cíclicas, procura-se acelerar a velocidade do movimento dentário ortodôntico, minimizar o tempo de tratamento e aumentar a precisão do mesmo.

O objetivo desta revisão é determinar qual o efeito do estímulo mecânico *in vivo* no movimento dentário ortodôntico.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica na base de dados PubMed, da qual resultou uma seleção de 15 artigos tendo em conta os critérios de inclusão e de exclusão.

O LIPUS parece ter os melhores resultados, no entanto, existem estudos que não tiveram resultados positivos com a vibração como coadjuvante do movimento dentário, como é o caso de estimulação LFMV e das forças cíclicas vibratórias. Apesar de comprovar efeitos benéficos da estimulação mecânica, a literatura expõe disparidades entre os estudos, são necessários mais estudos com amostras mais significativas para obter resultados mais consistentes.

Palavras-chave:

"Células ósseas", "remodelação óssea", "movimento ortodôntico", "vibração", "ultrassom", "ligamento periodontal".

Abstract

One of the main objectives in Orthodontics, besides aesthetics and restoring function, is to reduce treatment time. Mechanical stimulation, used for the acceleration of orthodontic movement, as it is a non-invasive method in comparison with surgical techniques, has been increasingly accepted by dental professionals and patients. Through mechanical stimulation, such as vibration devices, low intensity pulsed ultrasound (LIPUS), high frequency acceleration (HFA), extracorporeal shock wave therapy (ESWT), low frequency mechanical vibration (LFMV) and cyclic forces, an attempt is made to accelerate the speed of orthodontic tooth movement, minimize treatment time and increase treatment accuracy.

The aim of this review is to determine what is the effect of in vivo mechanical stimulation on orthodontic tooth movement.

A literature search was conducted in the PubMed database, from which resulted a selection of 15 articles taking into account the inclusion and exclusion criteria.

LIPUS seems to have the best results. On the other hand, there are studies that did not have positive results with vibration as an adjunct to tooth movement, as is the case with LMFV stimulation and cyclic vibratory forces. Despite proving beneficial effects of mechanical stimulation, the literature exposes disparities between studies, more studies with more significant samples are needed to obtain more consistent results.

Key words:

"Bone cells", "bone remodeling", "vibration", "orthodontic movement", "ultrasound", "periodontal ligament".

Índice Geral

Resumo	v
Abstract.....	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3.1 Protocolo e registo.....	4
3.2 Formulação da Questão de Pesquisa	4
3.3 Estratégia de pesquisa	4
3.4 Seleção dos estudos	4
3.5 Recolha e extração de dados	5
4. RESULTADOS.....	6
5. DISCUSSÃO	19
6. CONCLUSÃO	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama de fluxo PRISMA

Figura 2 - Distribuição quanto ao ano de publicação dos artigos incluídos

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características dos estudos

Índice de abreviaturas

MDO - movimento dentário ortodôntico

RANK - recetor ativador do fator nuclear kappa Beta

RANKL - ligante do recetor ativador do fator nuclear kappa Beta

LFMV - vibração mecânica de baixa frequência

HFA - aceleração de alta frequência

LIPUS - ultrassom pulsado de baixa intensidade

ESWT - terapia extracorpórea por onda de choque

GC - grupo controlo

GE - grupo experimental

FVO - fração de volume ósseo

LPD - ligamento periodontal

NF- κ B = fator nuclear kappa Beta

HGF - fator de crescimento de hepatócitos

Runx2 - fator de transcrição específico para osteogénese

BMP-2 - proteína morfogenética óssea-2

OPG - osteoprotegerina

1. INTRODUÇÃO

A Ortodontia é um ramo da Medicina Dentária especializada na prevenção, diagnóstico e tratamento das desarmonias dentárias e faciais, com o objetivo de alcançar um equilíbrio estético e funcional entre essas estruturas. O movimento dentário ortodôntico (MDO) é o resultado da remodelação organizada dos tecidos periodontais causada pela aplicação de forças. A transdução de forças mecânicas nas células desencadeia uma resposta inflamatória, libertando mediadores inflamatórios tais como citocinas, quimiocinas e fatores de crescimento. (1) Estes mediadores ativam a remodelação dos tecidos que é caracterizada pela reabsorção óssea (processo catabólico) por osteoclastos do lado de pressão e formação óssea (processo anabólico) por osteoblastos do lado de tensão. (2) Quando a força ortodôntica é aplicada a um dente por um aparelho ortodôntico, o tecido periodontal recebe a força, a remodelação óssea é induzida, e o movimento dentário ocorre. (3)

Atualmente, o tratamento ortodôntico requer aproximadamente 24 a 30 meses de intervenção para completar o tratamento. (4) A redução do tempo de tratamento, é um objetivo por parte dos Médicos Dentistas. Quanto maior a duração do tratamento, maior é o risco de desenvolver cárie dentária, reabsorção radicular, diminuição da adesão ao tratamento e satisfação do paciente. (5)

São vários os métodos presentes para tentar encurtar o tempo de tratamento, e podem ser divididos em 3 categorias: biológica, através da administração de fármacos; técnicas cirúrgicas, como corticotomia, piezoincisão e técnicas não cirúrgicas como a estimulação mecânica e o laser. (6)

A estimulação mecânica tem como propósito estimular a resposta biológica dos tecidos, ou seja, o aumento do metabolismo e aceleração da remodelação óssea. Estimula atividades de remodelação óssea alveolar com aumento do número e funções dos osteoclastos e osteoblastos, bem como marcadores moleculares como o sistema recetor ativador do fator nuclear kappa Beta (RANK)/ ligante do recetor ativador do fator nuclear kappa Beta (RANKL). (7)

As vibrações são consideradas uma subcategoria de sinais mecânicos, e podem ser usadas em medicina dentária como um método acelerador do movimento dentário. (8) A aplicação de estímulos complementares ao tratamento ortodôntico como o uso de feixes de laser ou

estímulos vibratórios, tais como vibração mecânica de baixa frequência (LFMV) (9); aceleração de alta frequência (HFA) (14); ultrassom pulsado de baixa intensidade (LIPUS) (15) e a terapia extracorpórea por ondas de choque (ESWT) (20), diferenciam-se na frequência de vibração aplicada.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é fazer uma revisão da literatura e determinar qual o efeito do estímulo mecânico *in vivo* no movimento dentário ortodôntico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Protocolo e registo

Este protocolo de revisão seguiu a metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses).

3.2 Formulação da Questão de Pesquisa

Para a formulação da pergunta de investigação recorreu-se à estratégia PICO (Paciente, Intervenção, Comparação, Resultados). "A estimulação mecânica (I) influencia o movimento dentário ortodôntico (O) *in vivo* (P) quando comparado com movimento ortodôntico sem estímulo mecânico co-adjuvante (C)?"

3.3 Estratégia de pesquisa

Foi realizada uma pesquisa na base de dados PubMed, utilizando a seguinte chave de pesquisa: (osteoblast OR bone OR "bone cells" OR "bone growth" OR "bone remodeling" OR "bone modeling" OR "bone differentiation" OR osseodensification OR osteogenesis OR ossification OR "Bone Tissue" OR "Bone Apophyses" OR "Bone Apophysis" OR "periodontal ligament" OR "periodontal fiber" OR "bone resorption" OR biomechanical OR "RANK Ligand" OR osteoclast OR hypoxia OR mechanobiology or Mechanotransduction or mechano-cell) AND (ultrasound OR sonication OR ultrasonic OR vibroacoustic OR vibration OR acoustic OR wave OR vibrotactile OR physioacoustic OR "Cyclic loading") AND (orthodontic OR "orthodontic movement" OR "Tooth Movement").

3.4 Seleção dos estudos

Foram selecionados 5737 artigos utilizando a chave de pesquisa; os artigos duplicados foram removidos, selecionando depois os artigos considerados mais relevantes através da leitura do título e resumo. Foram aplicados os seguintes critérios de inclusão: parte *in vivo* de artigos *in vitro*, estimulação mecânica em associação com tratamento ortodôntico, células com estimulação mecânica e estimulação óssea *in vivo*. Os critérios de exclusão foram: artigos de revisão ou meta-análise, estudos de casos,

procedimentos de conferência, artigos que não foram publicados em inglês, combinação de estimulação mecânica com técnicas cirúrgicas ou outros métodos de estimulação, artigos que não faziam uso de estimulação mecânica para o movimento dentário, artigos clínicos *in vitro*. Foram selecionados 50 artigos para leitura completa, sendo a seleção final composta por 15 artigos para a realização desta dissertação.

3.5 Recolha e extração de dados

Todos os dados relacionados com os artigos incluídos foram extraídos para uma folha do Excel, organizando-os em características dos estudos: Autor/ Ano; Grupos experimentais; Animal/Raça; Peso/Idade/Gênero; Objetivo; Tipo de estímulo; Movimento dentário; Parâmetros/Tempo de estimulação; Técnica de aplicação e Resultados.

4. RESULTADOS

A pesquisa bibliográfica realizada na base de dados PubMed permitiu uma seleção total de 5737 artigos. Foram excluídos 860 artigos duplicados, ficando 4877 artigos, dos quais 4655 foram excluídos pela leitura de título e resumo. Aos 222 artigos remanescentes foram aplicados os critérios de exclusão, ficando assim, 50 artigos elegíveis para leitura completa. A seleção final consiste em 15 artigos que foram considerados relevantes para a elaboração desta dissertação.

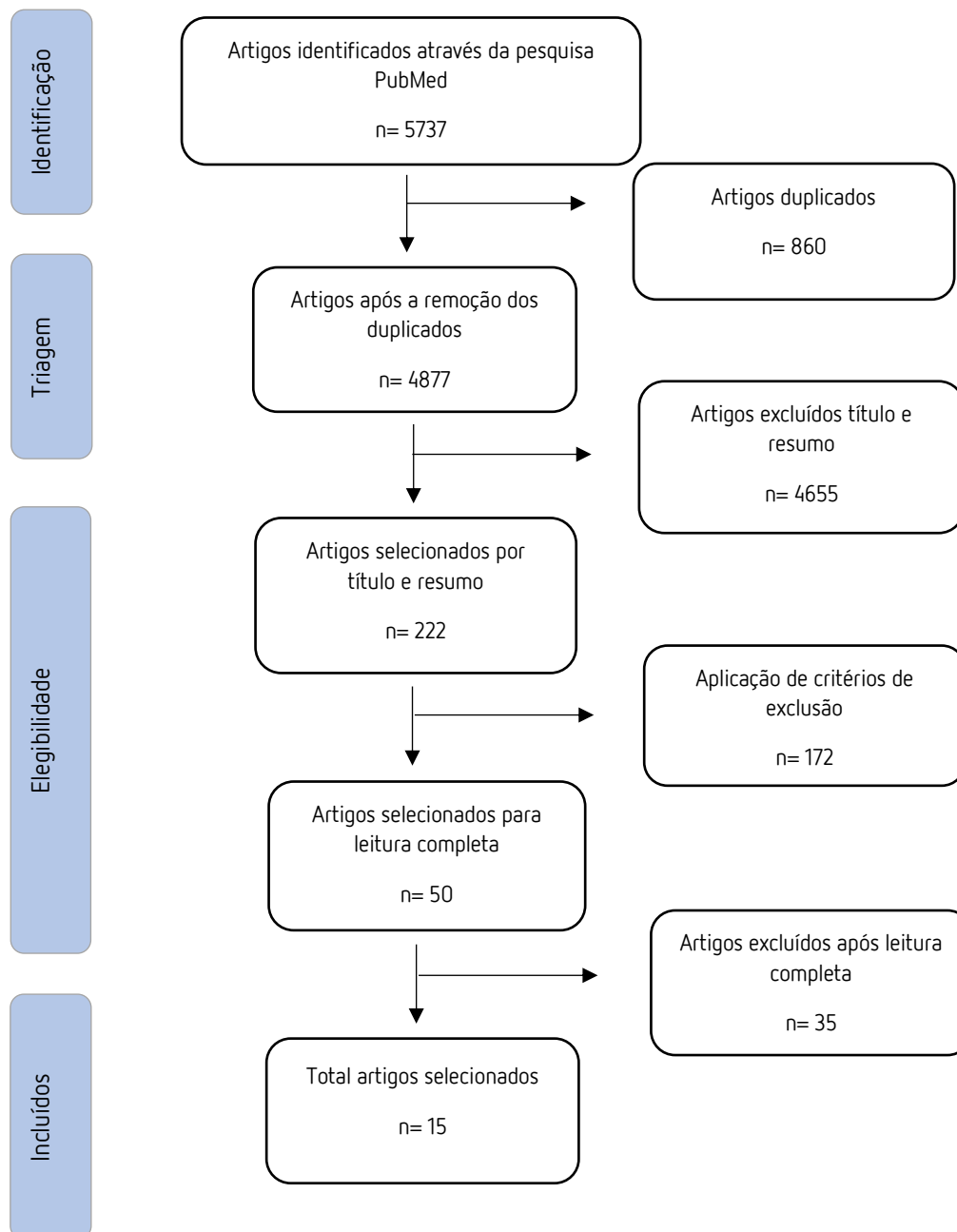


Figura 1 - Diagrama de fluxo PRISMA

Dos 15 (100%) estudos selecionados que utilizaram estimulação mecânica, 1 (6,66%) utiliza dispositivo de vibração dinâmica; 1 (6,66%) aceleração de alta frequência (HFA); 5 (33,3%) ultrassom pulsado de baixa intensidade (LIPUS); 4 (26,64%) terapia extracorpórea por onda de choque (ESWT); 2 (13,32%) vibração mecânica de baixa frequência (LFMV); 1 (6,66%) forças cíclicas; 1 (6,66%) vibração de ressonância.

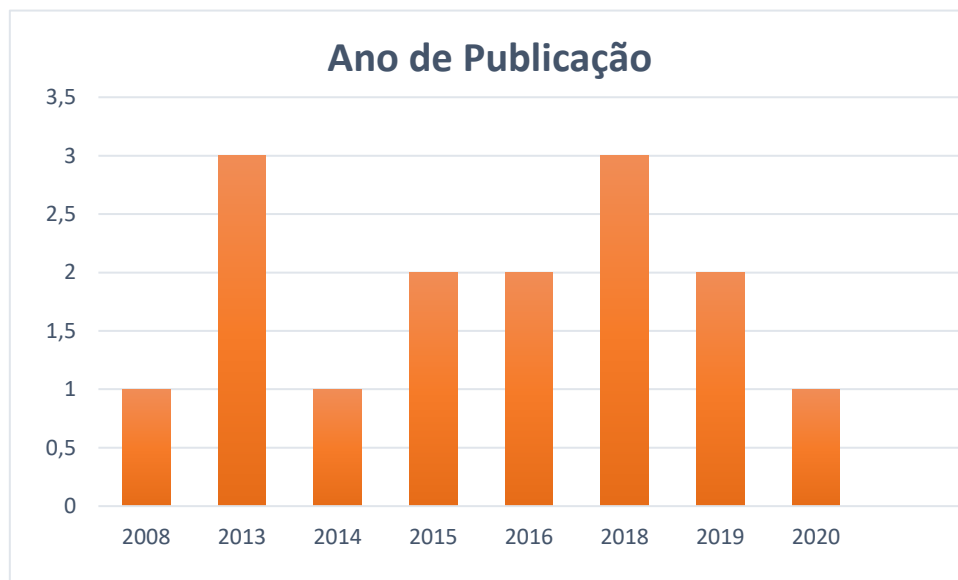


Figura 2 - Distribuição quanto ao ano de publicação dos artigos incluídos

TABELAS

Tabela 1 – Características dos estudos selecionados.

Autor/ Ano	Grupos experimentais	Animal / Raça	Peso/ Idade/ Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/ Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Sakamoto, M <i>et al.</i> (2019) - parte <i>in vivo</i>	N= 18 Grupo 1: o primeiro molar superior direito foi usado como controlo (grupo C), e o primeiro molar superior esquerdo foi submetido à movimentação dentária (grupo MD). Grupo 2: o primeiro molar superior direito foi submetido à vibração (grupo V) e o primeiro molar superior esquerdo foi submetido à movimentação e vibração dentária (grupo MD + V).	Ratos/ Wistar	NR/ 25 semanas/ Machos	Aplicar vibração a um modelo experimental de movimento dentário em ratos e investigar a ativação de NF-κB e a expressão de RANKL em osteócitos nos lados de compressão e tensão do osso alveolar <i>in vivo</i> .	Vibração dinâmica	Um módulo elástico ortodôntico foi inserido interproximal entre os primeiros e segundos molares superiores do lado esquerdo.	3gF 70Hz (F)/ 3 min	Colocação de um motor de vibração no palato do rato, prendendo-o aos primeiros molares com uma ligadura metálica.	A vibração pode aumentar a osteoclastogénese no lado de compressão do osso alveolar durante o MDO, aumentando o número de pré-osteoclastos e aumentando a expressão de RANKL via ativação de NF-κB em osteócitos.

Autor/ Ano	Grupos experimentais	Animal/ Raça	Peso/ Idade/ Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/ Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Hazan-Molina <i>et al.</i> (2013)	N= 20 Grupo 1 - sem aparelho ortodôntico ou ESWT Grupo 2 - ESWT sem aparelho ortodôntico Grupo 3 - com aparelho ortodôntico e sem ESWT Grupo 4 - com aparelho ortodôntico e ESWT	Ratos/ Sprague-Dawley	260-280 g/ 3-4 meses/ Fêmeas	Investigar a expressão de interleucina (IL)-1 β e VEGF nos tecidos periodontais após a indução de força ortodôntica com e sem ESWT, durante os primeiros três dias, ou seja, o estágio de iniciação da resposta biológica à força mecânica.	ESWT	Fios de ligadura de aço inoxidável foram dobrados e inseridos sob o ponto de contato do segundo e terceiro molar superior, foi fixada ao fio uma mola de bobina e apertada aos dentes, e o fio remanescente inserido nos incisivos superiores através de um furo.	1000 impulsos (5 impulsos por segundo) 0,1 mJ/mm ² (D.E)/ 3 dias	Aplicação na região dos 3 molares superiores.	A aplicação de ESWT durante a indução de uma força ortodôntica influencia a concentração de diferentes citocinas inflamatórias. Este efeito pode resultar em atenuação em remodelação periodontal reforçada, levando ao encurtamento do processo inflamatório do LPD induzido pelo tratamento ortodôntico, que pode finalmente levar a um MDO mais rápido do que o esperado.

Autor/ Ano	Grupos experimentais	Animal/ Raça	Peso/ Idade/ Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/ Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Yadav <i>et al.</i> (2015)	N = 64 Grupo 1: controlo (n=5) (1) sem mola e sem vibração mecânica; (2) sem mola ortodôntica, mas vibração de 5 Hz (3) sem mola ortodôntica, mas vibração de 10 Hz (4) sem mola ortodôntica, mas vibração de 20 Hz Grupo2: grupo experimental (n=11) (1) apenas mola ortodôntica, mas sem vibração; (2) mola ortodôntica e vibração de 5 Hz (3) mola ortodôntica e vibração de 10 Hz (4) mola ortodôntica e vibração de 20 Hz.	Ratos/ CD1	24-30 g/ 12 semanas/ Machos	Investigar o efeito do LFMV sobre a taxa de MDO, fração de volume ósseo, densidade do tecido, e a integridade do LPD.	LFMV	Os primeiros molares foram mesializados por mola helicoidal de níquel-titânio (Ni-Ti).	1 cN de força 5, 10 ou 20 Hz (F)/ 15 min 3 vezes / semana durante 2 semanas	Um atuador eletromecânico foi usado para aplicar unilateralmente LFMV à superfície oclusal do primeiro molar superior direito ao longo do seu longo eixo.	Não houve diferença na taxa de movimentação dos dentes entre os diferentes grupos experimentais. LFMV ajudou na manutenção da espessura e integridade do LPD após a aplicação da carga ortodôntica.

Autor/ Ano	Grupos experimentais	Animal/ Raça	Peso/ Idade/ Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/ Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Alazzawi et al. (2018)	N = 80 Grupo 1: LLLT Grupo 2: LIPUS Grupo 3: grupos combinados Grupo 4: Controlo	Ratos/ Sprague Dawley	180±10g/ 6 semanas/ Machos	Estudar in vivo o efeito da LLLT, LIPUS e a combinação de ambas as técnicas na remodelação óssea durante o MDO.	LIPUS e LLLT	O primeiro molar superior foi mesializado por uma mola helicoidal fechada ligada aos incisivos superiores.	1,5 MHz (F) 30 W/cm ² (D.P)/ 20 min Diariamente / 21 dias	A extremidade da ponta do transdutor LIPUS foi colocada em contato com a face vestibular da gengiva, localizada na área do MDO	O uso de LLLT e LIPUS pode acelerar o MDO, regular as expressões de genes teciduais e promover a remodelação óssea durante o MDO especialmente quando os dois métodos de estimulação são combinados.
Kalajzic et al. (2014)	N = 26 Grupo Controlo; Grupo sem mola mas com estímulo vibratório oclusal; Grupo com mola ortodôntica e Grupo com mola + estímulo vibratório adicional.	Ratos/ Sprague Dawley	NR/ 7 semanas/ Fêmeas	Investigar o efeito de forças cíclicas (vibratórias) aplicadas externamente na velocidade do MDO, integridade estrutural do LPD e remodelação óssea alveolar.	Forças cíclicas	Os primeiros molares superiores foram mesializados utilizando uma mola helicoidal de Ni-Ti.	0.4N 30 Hz (F)/ 10 min Duas vezes / semana durante 5 sessões	Um atuador eletromecânico foi usado para aplicar forças cíclicas unilaterais na superfície oclusal do primeiro molar superior esquerdo.	Forças cíclicas inibem o MDO. Os efeitos das forças cíclicas no MDO podem causar efeitos opostos dependendo da magnitude da força, frequência ou ponto de aplicação.

Autor/Ano	Grupos Experimentais	Animal/Raça	Peso/Idade/Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Atsawasuwan <i>et al.</i> (2018)	N= 72 Grupo 1- não tratados com ondas de choque. Grupo 2- grupo tratado por ondas de choque.	Ratos/ Sprague-Dawley	300-350 g/ 10 semanas/ Machos	Avaliar se a ESWT afeta o MDO para obter uma melhor visão dos mecanismos subjacentes.	ESWT	Um fio de ligadura de aço inoxidável foi usado para ligar uma mola de bobine ao primeiro molar superior direito e por outro lado aos incisivos superiores.	10 cN 500 impulsos (5 pulsos por segundo) 0.1 mJ/mm ² (D.E)/ NR	Aplicação de ondas de choque nas maxilas dos ratos.	O MDO foi reduzido após um único tratamento de ESWT, devido a atividades desequilibradas de osteoblastos e osteoclastos durante o MDO.
Cesur <i>et al.</i> (2019)	N=40 Grupo 1: controlo. Grupo 2: movimentação dentária ortodôntica; Grupo3 e Grupo4: tratamento ortodôntico + LIPUS.	Ratos/ Wistar	NR/ 12 semanas/ Machos	Investigar os efeitos de duas densidades de energia de LIPUS na remodelação óssea alveolar durante o MDO.	LIPUS	Foi usada uma mola helicoidal para movimentação do dente.	1 MHz (F) 20 % (C.T) G3: 16 J/cm ² (D.E) G4: 48 J/cm ² (D.E)/ 32 s Diariamente / 14 dias	Um dispositivo de ultrassom foi aplicado no incisivo superior direito.	A aplicação de LIPUS aumentou o MDO, aumentou a liberação de RANKL e encurtou o período de tratamento ortodôntico. O uso desta técnica também aumentou o número de células ósseas.

Autor/Ano	Grupos Experimentais	Animal/Raça	Peso/Idade/Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Xue <i>et al.</i> (2013) - Parte in vivo	N= 48 Grupo1: movimento dentário. Grupo 2: LIPUS + movimento dentário.	Ratos/Wistar	300 ±20 g/12-13 semanas/Machos	Investigar os efeitos da estimulação do LIPUS na sinalização HGF/Runx2/BMP-2 e RANKL também se esses efeitos são responsáveis pela remodelação óssea alveolar acelerada observada após tal intervenção.	LIPUS	O primeiro molar superior foi mesializado por mola helicoidal fechada.	1,5 MHz (F) 30 W/cm ² (D.P)/ 20 min Diariamente por 14 dias	Gel de acoplamento ultrassônico foi colocado na pele que cobre os primeiros molares, e aplicação de LIPUS.	Estimulação LIPUS promove a remodelação óssea alveolar, via sinalização HGF/Runx2/BMP-2 e a expressão RANKL durante o MDO.
Arai <i>et al.</i> (2020)	N= 26 Grupo 1: movimento dentário Grupo 2: LIPUS + movimento dentário	Ratos/Wistar	320-350 g/12 semanas/Machos	Investigar os efeitos da estimulação LIPUS na taxa de MDO e remodelação óssea durante a movimentação dentária lateral.	LIPUS	Primeiros molares superiores direitos movidos com aparelhos fixos.	10 g 1,5 MHz (F) Pulsado 1:4 (2 ms ligado e 8 ms desligado) 30 W/cm ² (D.P)/ 20 min Diariamente / 3 dias	Um transdutor de ultrassom foi colocado em contato com um lado da face, na região correspondente ao primeiro molar superior direito.	O presente estudo fornece evidências dos efeitos benéficos do LIPUS no MDO. LIPUS acelerou não apenas o movimento dentário, mas também a formação óssea compensatória.

Autor/Ano	Grupos Experimentais	Animal/Raça	Peso/Idade/Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Hazan-Molina <i>et al.</i> (2015)	N= 51 Grupo 1 - sem aparelho ortodôntico ou ESWT Grupo 2 - ESWT sem aparelho ortodôntico Grupo 3 - com aparelho ortodôntico e sem ESWT Grupo 4 - com aparelho ortodôntico e ESWT.	Ratos/Wistar	260-280 g/ 3-4 meses/ Machos	Investigar a expressão de citocinas inflamatórias em tecidos periodontais após indução de força ortodôntica, com e sem terapia por ondas de choque.	ESWT	Fios de ligadura de aço inoxidável dobrados e inseridos sob o ponto de contato do segundo e terceiro molar superior, foi fixada ao fio uma mola de bobina e apertada aos dentes, e o restante fio inserido nos incisivos superiores através de um furo.	1000 impulsos (5 pulsos por segundo) 0.1 mJ/mm ² (D.E)/ Diariamente / 3 dias	Aplicação na região dos 3 molares superiores.	A ESWT pode ser implementada para reduzir o processo inflamatório periodontal e inibir a osteoclastogênese.
Nishimura <i>et al.</i> (2008)	N= 42 Grupo 1: experimental. Grupo 2: controlo.	Ratos/Wistar	150 g/ 6 semanas/ Machos	Avaliar os efeitos da estimulação mecânica por vibração de ressonância no movimento dentário e mostrar os mecanismos celulares e moleculares das respostas do LPD.	Vibração de ressonância.	Os primeiros molares superiores foram movidos para vestibular usando uma mola expansiva.	60 Hz (F.)/ 8 min Diariamente / 21 dias	A parte superior do vibrador foi fixada nos primeiros molares com um adesivo.	A aplicação de vibração de ressonância pode acelerar o MDO via expressão RANKL no LPD sem danos aos tecidos periodontais, como a reabsorção radicular.

Autor/Ano	Grupos Experimentais	Animal/Raça	Peso/Idade/Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Hazan-Molina <i>et al.</i> (2016)	N = 21 Grupo 1: sem aparelho ortodôntico ou ESWT; Grupo 2: ESWT sem aparelho ortodôntico Grupo 3: com aparelho ortodôntico e sem ESWT; Grupo 4: com aparelho ortodôntico e ESWT.	Ratos/Wistar	260-280 g/ 3-4 meses/ Machos	Avaliar flutuações de diferentes citocinas inflamatórias após indução de força ortodôntica com e sem terapia por ondas de choque.	ESWT	Fios de ligadura de aço inoxidável dobrados e inseridos sob o ponto de contato do segundo e terceiro molar superior, foi fixada ao fio uma mola espiral e apertada aos dentes, e o restante fio inserido nos incisivos superiores através de um furo.	1000 impulsos desfocados (5 pulsos por segundo) 0.1 mJ/mm ² (D.E)/ 3 dias	Aplicação na região dos 3 molares superiores.	O ESWT durante a indução do MDO influencia a expressão de citocinas inflamatórias, devido à capacidade do ESWT de reduzir o processo inflamatório e inibir osteoclastogênese.
Inubushi <i>et al.</i> (2013) - parte <i>in vivo</i>	N= 24 Grupo 1: controlo Grupo 2: LIPUS	Ratos/Wistar	300-350 g/ 12 semanas/ Machos	Avaliar os efeitos do LIPUS sobre a reabsorção radicular durante o movimento experimental dos dentes.	LIPUS	Mola helicoidal de NiTi foi usada para mover mesialmente o primeiro molar superior.	1MHz (F) Pulsado 1: 4 (2 ms ligado e 8 ms desligado). 150 W/cm ² / 15 min Diariamente / 1, 2 e 3 semanas	Transdutor de ultrassom foi colocado em contato com a face lateral do primeiro molar superior. Foi constantemente colocado gel para otimizar a penetração das ondas nos tecidos.	A exposição ao LIPUS reduz significativamente a reabsorção radicular pela supressão da cementoclastogênese, alterando a relação OPG/RANKL durante o MDO sem interferir no movimento dentário.

Autor/Ano	Grupos Experimentais	Animal/Raça	Peso/Idade/Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Yadav et al. (2016)	N= 30 Grupo 1: controlo Grupo 2: grupo recidiva (a força ortodôntica foi removida após 7 dias, permitindo 7 dias de recidiva do primeiro molar superior direito) Grupo 3: recidiva + vibração.	Ratos/ CD1	24-30 g/ 12 semanas/ Machos	Investigar o efeito do LFMV na prevenção de recidiva após movimentação ortodôntica, FVO, densidade do tecido e integridade do LPD.	LFMV	Primeiro molar superior direito mesializado com mola helicoidal de Ni-Ti.	1 cN de força 30 Hz (F)/ 15 min Diariamente / 7 dia	Um atuador eletromecânico foi usado para aplicação de LFMV unilateral na superfície oclusal do primeiro molar superior direito ao longo do eixo do dente.	Não houve diferença estatisticamente significativa na quantidade de recidiva entre os grupos de recidiva e recidiva + vibração de 30 Hz. No entanto, houve uma tendência de diminuição da recidiva com vibração mecânica de 30 Hz. Não houve diferença significativa na FVO entre os diferentes grupos experimentais. No entanto, a densidade do tecido aumentou significativamente com a vibração de 30 Hz. O LFMV ajudou na manutenção da espessura e integridade do LPD.

Autor/Ano	Grupos Experimentais	Animal/Raça	Peso/Idade/Gênero	Objetivo	Tipo de estímulo	Movimento dentário	Parâmetros/Tempo de estimulação	Técnica de aplicação	Resultados
Alikhani <i>et al.</i> (2018)	N= 206 Controlo, MDO e vários grupos experimentais	Ratos/ Sprague Dawley	400 g/ 120 dias/ Machos	1) Examinar o efeito do HFA na taxa de MDO, 2) Examinar as alterações na densidade óssea após o tratamento com HFA e 3) Identificar o mecanismo pelo qual o HFA afeta o MDO.	HFA	Força ortodôntica no primeiro molar superior direito usando mola bobina fechada.	Magnitude de aceleração: 0,01g, 0,05g, 0,1g 30, 60 e 120 Hz (F)/ 5 ou 10 min Diariamente / 28 dias	A vibração foi aplicada no osso alveolar vestibular ao redor do primeiro molar.	O tratamento com HFA produziu mudanças significativas na taxa de MDO e o efeito foi dependente do LPD. Aumentaram os mediadores inflamatórios e osteoclastogênese, e a densidade óssea alveolar diminuiu durante o MDO.

F = frequência(Hz); **NF- κ B** = fator nuclear kappa Beta; **RANKL** =ligante do recetor ativador do fator nuclear kappa Beta ; **HFA** = aceleração de alta frequência; **LIPUS** = ultrassom pulsado de baixa intensidade; **D.E** = densidade de energia (J/cm²); **D.P** = densidade de potência (W/cm²); **ESWT** = terapia extracorpórea por onda de choque; **LFMV** = vibração mecânica de baixa frequência; **IL-1 β** = interleucina 1 Beta; **VEGF** = fator de crescimento endotelial vascular; **LLLT** = terapia de laser de baixa intensidade; **FVO** = fração de volume ósseo; **Ni-Ti** = níquel-titânio; **LPD** = ligamento periodontal; **MDO** = movimento dentário ortodôntico; **C.T** = ciclo de trabalho (%); **P** = potência (W); **HGF** = fator de crescimento de hepatócitos; **Runx2** = fator de transcrição específico para osteogênese ;**BMP-2** = proteína morfogenética óssea-2; **OPG** = osteoprotegerina; **NR** = Não Reportado.

5. DISCUSSÃO

De acordo com a literatura, os ensaios clínicos incluídos optaram por modelos animais como ratos, organizando-os em grupos controlo (GC) sem estímulo mecânico e grupos experimentais (GE) com estimulação mecânica no MDO.

No estudo realizado por Yadav *et al.* (2015), após estudar o efeito de LFMV no MDO em ratos, os autores concluíram que não houve diferença na taxa de movimento dos dentes entre os diferentes GE, sendo a hipótese nula aceite. Contudo, o movimento dentário máximo foi observado no grupo de mola e vibração de 10 Hz e o menor foi no grupo de mola e vibração de 20 Hz. O MDO depende principalmente do volume e densidade óssea (quantidade e qualidade do osso). Neste estudo, verificou-se uma tendência para um aumento da densidade dos tecidos com LFMV, tanto nos GC como nos GE. Além disso, observou-se uma tendência semelhante para um aumento de fração de volume ósseo (FVO) no GE, após a aplicação de LFMV. A carga ortodôntica diminuiu a FVO, que foi recuperada pela vibração. Na verdade, o LFMV ajudou a manter a espessura e integridade das fibras de colagénio do ligamento periodontal (LPD), após a aplicação da força ortodôntica. (9)

Isto é confirmado num outro estudo realizado pelo mesmo autor, Yadav *et al.* (2016). Os resultados obtidos foram similares ao estudo anterior e chegaram à mesma conclusão, de que LFMV não teve qualquer efeito na prevenção de recidiva após o MDO. Contudo, houve uma tendência de diminuição das recidivas com vibração mecânica de 30 Hz. Não houve diferença significativa na FVO entre os diferentes GE. No entanto, a densidade do tecido foi significativamente aumentada com a vibração de 30 Hz. O LFMV a 30 Hz não teve um efeito deletério sobre a integridade do LPD. (10)

Da mesma forma, os resultados relativos à FVO foram mostrados por Kalajzic *et al.* (2014). Demonstraram que forças cíclicas mais elevadas inibem o MDO, e provavelmente a razão poderia ser a inibição da osteoclastogénese, que normalmente ocorre durante o movimento dentário, o que foi indicado por um aumento da FVO alveolar e uma diminuição do número e superfície de osteoclastos no grupo com mola ortodôntica + vibração cíclica. (11)

Os resultados de MDO com LFMV de Yadav *et al.* (2015) foram contrários aos de e Nishimura *et al.* (2008) pois os resultados mostraram que a aplicação de vibração de ressonância em

ratos aumentara a taxa de MDO. O movimento dentário no GE foi significativamente maior do que no GC. Uma razão plausível na diferença de resultados é um modelo diferente de movimento dentário. Este parece ser o principal inconveniente do estudo. A utilização de uma mola de expansão pode levar a possíveis efeitos esqueléticos (expansão sutural) que podem sobrestimar a quantidade real de movimento dentário. Contudo, os autores concluíram que a aplicação da vibração por ressonância pode acelerar o MDO através da expressão RANKL melhorada no ligamento periodontal sem danos adicionais aos tecidos periodontais, tais como a reabsorção radicular. (12)

O MDO depende da taxa de reabsorção óssea, que por sua vez está dependente da atividade osteoclástica. Os osteoclastos não são células próprias do LPD nem do osso alveolar. Em vez disso, a força ortodôntica estimula a libertação de citocinas inflamatórias e quimiocinas no periodonto, que vão recrutar células precursoras de osteoclastos que vão por sua vez diferenciar-se através de vias de sinalização, especialmente ativação de RANK-RANKL - resultando numa região específica de atividade catabólica (reabsorção óssea) e consequente movimento dentário. (13) Alikhani *et al.* (2018) no seu estudo, concluíram que o HFA aumentou a taxa de MDO através da estimulação do processo catabólico durante o tratamento (aumentaram os mediadores inflamatórios e a osteoclastogénese e diminuiu a densidade óssea alveolar). As implicações clínicas do estudo são altamente significativas, pois o HFA pode ser utilizado para aumentar a taxa de movimento ortodôntico durante a fase catabólica do tratamento e, posteriormente ser utilizado para aumentar a contenção durante a fase de remodelação anabólica, após a remoção das forças ortodônticas. (14)

As mesmas conclusões foram obtidas por Sakamoto *et al.* (2019) que estudaram os efeitos da vibração sobre osteoclastogénese *in vivo*. A vibração pode aumentar a osteoclastogénese no lado de pressão do osso alveolar durante o MDO, aumentando o número de pré-osteoclastos e aumentando a expressão de RANKL via ativação de fator nuclear kappa Beta (NF- κ B) em osteócitos. (13)

Xue *et al.* (2013) optaram pelo uso de LIPUS e avaliaram os seus efeitos no MDO através da ativação da via de sinalização fator de crescimento de hepatócitos (HGF) / fator de transcrição específico para osteogénese (Runx2) / proteína morfogenética óssea-2 (BMP-2) e RANKL obtendo resultados positivos, a estimulação LIPUS acelerou o processo de remodelação do osso alveolar e, conseqüentemente, acelerou a taxa de movimento dentário

através do aumento do número de osteoclastos e da melhoria da expressão da via de sinalização BMP -2, e da expressão RANKL no lado da pressão. Portanto, a promoção da remodelação óssea alveolar tem um importante significado clínico. (15)

Cesur *et al.* (2019) tiraram as mesmas conclusões através da estimulação LIPUS nos seus ensaios com ratos. Observaram uma aceleração de 25% do movimento dentário no 14º dia, enquanto (16) Xue *et al.* (2013) relataram um aumento da taxa de 45%. (15) Esta diferença poderá ser devida ao tempo de estimulação LIPUS, no estudo de Xue *et al.* (2013) a duração do tratamento LIPUS foi de 20 minutos por dia (15) enquanto que no estudo de Cesur *et al.* (2019) o tratamento durou 32 segundos por dia. (16)

No entanto, estes resultados foram encontrados num modelo de MDO mesial. Arai *et al.* (2020) estudaram os efeitos do LIPUS na taxa de movimento dentário e remodelação óssea durante a movimentação dentária lateral. Os seus resultados foram semelhantes aos reportados anteriormente por Cesur *et al.* (2019) (17)

O LIPUS tem várias vantagens clínicas, incluindo o facto de ser um estímulo fácil de usar e não invasivo, é também capaz de minimizar a reabsorção radicular, que é uma complicação associada ao tratamento ortodôntico. Num estudo realizado por Inubushi *et al.* (2013) concluíram que a exposição LIPUS reduz a reabsorção radicular pela supressão da cementoclastogénese durante o MDO, alterando sugestivamente a relação de expressão RANKL/ osteoprotegerina (OPG), sem interferir com o movimento dentário. (18) (Nishimura *et al.* (2008) foram de encontro a estes resultados, indicando uma tendência para uma menor reabsorção radicular no tratamento com vibração por ressonância. (12) O mecanismo pelo qual a vibração por ressonância reduz a reabsorção radicular ainda não está claro e por tanto existe necessidade de mais investigação neste sentido.

Os resultados obtidos no estudo realizado por Alazzawi *et al.* (2018) demonstraram que houve efetivamente aceleração do MDO pela aplicação de LIPUS. Por tanto, este estudo também confirma o efeito acelerador do LIPUS no MDO. (19)

A ESWT tem sido utilizada na medicina devido à sua capacidade de estimular processos de cura em estados agudos e crónicos. A aplicação de força ortodôntica desencadeia uma reação inflamatória no tecido periodontal, resultando em movimento dentário. Vários autores estudam a aplicação de ESWT na medicina dentária no geral, e especificamente no

campo da ortodontia. (20) Atsawasuwan *et al.* (2018) no seu estudo determinaram uma redução de MDO após um único tratamento de ESWT na altura em que o movimento dentário foi iniciado devido a atividades desequilibradas de osteoclastos e osteoblastos durante o MDO. Estes efeitos negativos que indicam a ausência do efeito acelerador de ESWT no MDO podem ser devidos ao facto de utilizarem uma única aplicação de 500 impulsos. (21) Pois no estudo realizado por Hazan-Molina *et al.* (2013), Hazan-Molina *et al.* (2015) e Hazan-Molina *et al.* (2016) obtiveram resultados contrários aos de Atsawasuwan *et al.* (2018), isto pode ser devido a que os ratos, nestes estudos, foram tratados com um único episódio de 1000 ondas de choque, em vez de 500 impulsos. (20,22,23) Ainda que estes resultados tenham tido o efeito acelerador das vibrações, têm uma limitação em relação ao tempo de aplicação das ondas de choque. Estes estudos centram-se nos primeiros 3 dias da reação inflamatória. Durante este período de tempo o dente está apenas minimamente deslocado e por isso mais estudos deverão ser conduzidos através de um período de tempo mais longo, comparando a quantidade de MDO com e sem o efeito de ESWT a fim de determinar se o efeito anti-inflamatório do ESWT pode ter um potencial clínico a ser implementado na melhoria do MDO. (23)

6. CONCLUSÃO

Os métodos de estimulação mecânica co-adjuvantes no MDO representam um grupo emergente devido à sua segurança e relativa facilidade de aplicação. O LIPUS parece ter os melhores resultados mostrando eficácia na aceleração do movimento ortodôntico e na redução do tratamento. A aplicação de dispositivos vibratórios como HFA, vibração de ressonância e vibração dinâmica obtiveram também bons resultados. Foi observado que a terapia por ondas de choque foi uma das técnicas não invasivas mais comuns, com resultados positivos, enquanto que um estudo com ESWT não mostrou benefício para aceleração do movimento ortodôntico.

Por outro lado, existem estudos que não encontraram diferenças significativas usando a vibração como coadjuvante do movimento dentário, como é o caso de estimulação LMFV e das forças cíclicas vibratórias.

Apesar de comprovar efeitos benéficos da estimulação mecânica, acelerando o MDO e consequentemente encurtando a duração do tratamento, a literatura expõe disparidades entre os estudos.

Contudo, devido a algumas limitações presentes nestes estudos *in vivo* são necessárias mais investigações e estudos controlados randomizados com amostras mais significativas para obter resultados mais consistentes. Existe também a necessidade de se estabelecer os mecanismos pelos quais a estimulação mecânica interage biologicamente, pois ainda não são completamente compreendidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Huang H, Williams RC, Kyrkanides S. Accelerated orthodontic tooth movement: molecular mechanisms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014 Nov;146(5):620-32.
2. Elmotaleb MAA, Elnamrawy MM, Sharaby F, Elbeialy AR, ElDakroury A. Effectiveness of using a Vibrating Device in Accelerating Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2019 Jan-Feb;9(1):5-12.
3. Krishnan V, Davidovitch Z. On a path to unfolding the biological mechanisms of orthodontic tooth movement. *J Dent Res.* 2009 Jul;88(7):597-608.
4. Kacprzak A, Strzecki A. Methods of accelerating orthodontic tooth movement: A review of contemporary literature. *Dent Med Probl.* 2018 Apr-Jun;55(2):197-206.
5. Jing D, Xiao J, Li X, Li Y, Zhao Z. The effectiveness of vibrational stimulus to accelerate orthodontic tooth movement: a systematic review. *BMC Oral Health.* 2017 Dec 1;17(1):143.
6. Eltimamy A, El-Sharaby FA, Eid FH, El-Dakrory AE. The Effect of Local Pharmacological Agents in Acceleration of Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Review. *Open Access Maced J Med Sci.* 2019 Mar 14;7(5):882-886.
7. Nimeri G, Kau CH, Abou-Kheir NS, Corona R. Acceleration of tooth movement during orthodontic treatment--a frontier in orthodontics. *Prog Orthod.* 2013 Oct 29;14:42.
8. Aljabaa A, Almoammar K, Aldrees A, Huang G. Effects of vibrational devices on orthodontic tooth movement: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018 Dec;154(6):768-779.
9. Yadav S, Dobie T, Assefnia A, Gupta H, Kalajzic Z, Nanda R. Effect of low-frequency mechanical vibration on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 Sep;148(3):440-9.
10. Yadav S, Assefnia A, Gupta H, Vishwanath M, Kalajzic Z, Allareddy V, Nanda R. The effect of low-frequency mechanical vibration on retention in an orthodontic relapse model. *Eur J Orthod.* 2016 Feb;38(1):44-50.
11. Kalajzic Z, Peluso EB, Utreja A, et al. Effect of cyclical forces on the periodontal ligament and alveolar bone remodeling during orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 2014;84(2):297-303.

12. Nishimura M, Chiba M, Ohashi T, Sato M, Shimizu Y, Igarashi K, Mitani H. Periodontal tissue activation by vibration: intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Apr;133(4):572-83.
13. Sakamoto M, Fukunaga T, Sasaki K, Seiryu M, Yoshizawa M, Takeshita N, Takano-Yamamoto T. Vibration enhances osteoclastogenesis by inducing RANKL expression via NF- κ B signaling in osteocytes. *Bone.* 2019 Jun;123:56-66.
14. Alikhani M, Alansari S, Hamidaddin MA, Sangsuwon C, Alyami B, Thirumoorthy SN, Oliveira SM, Nervina JM, Teixeira CC. Vibration paradox in orthodontics: Anabolic and catabolic effects. *PLoS One.* 2018 May 7;13(5):e0196540.
15. Xue H, Zheng J, Cui Z, Bai X, Li G, Zhang C, He S, Li W, Lajud SA, Duan Y, Zhou H. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates tooth movement via activation of the BMP-2 signaling pathway. *PLoS One.* 2013 Jul 23;8(7):e68926.
16. Geçgelen cesur M, Onal T, Bilgin MD, Sirin FB, Inan S, Koken EC, et al. Histological and biochemical investigation of the effects of low intensity pulsed ultrasound on orthodontic tooth movement. 2019;11(1):119–25.
17. Arai C, Kawai N, Nomura Y, Tsuge A, Nakamura Y, Tanaka E. Low-intensity pulsed ultrasound enhances the rate of lateral tooth movement and compensatory bone formation in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020 Jan;157(1):59-66.
18. Inubushi T, Tanaka E, Rego EB, Ohtani J, Kawazoe A, Tanne K, Miyauchi M, Takata T. Ultrasound stimulation attenuates resorption of tooth root induced by experimental force application. *Bone.* 2013 Apr;53(2):497-506.
19. Alazzawi MMJ, Husein A, Alam MK, Hassan R, Shaari R, Azlina A, Salzihan MS. Effect of low level laser and low intensity pulsed ultrasound therapy on bone remodeling during orthodontic tooth movement in rats. *Prog Orthod.* 2018 Apr 16;19(1):10.
20. Hazan-Molina H, Reznick AZ, Kaufman H, Aizenbud D. Assessment of IL-1 β and VEGF concentration in a rat model during orthodontic tooth movement and extracorporeal shock wave therapy. *Arch Oral Biol.* 2013 Feb;58(2):142-50.
21. Atsawasuwan P, Chen Y, Ganjawalla K, Kelling AL, Evans CA. Extracorporeal shockwave treatment impedes tooth movement in rats. *Head Face Med.* 2018 Nov 12;14(1):24.

22. Hazan-Molina H, Reznick AZ, Kaufman H, Aizenbud D. Periodontal cytokines profile under orthodontic force and extracorporeal shock wave stimuli in a rat model. *J Periodontal Res.* 2015 Jun;50(3):389-96.
23. Hazan-Molina H, Aizenbud I, Kaufman H, Teich S, Aizenbud D. The Influence of Shockwave Therapy on Orthodontic Tooth Movement Induced in the Rat. *Adv Exp Med Biol.* 2016;878:57-65.