

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

IMPACTO DOS ALINHADORES TRANSPARENTES NA SENSIBILIDADE MUSCULAR MASTIGATÓRIA E NA DOR ORTODÔNTICA: REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA

Trabalho submetido por
Evandra Solange de Almeida Figueiredo Piecho
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

julho de 2025

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

IMPACTO DOS ALINHADORES TRANSPARENTES NA SENSIBILIDADE MUSCULAR MASTIGATÓRIA E NA DOR ORTODÔNTICA: REVISÃO NARRATIVA DA LITERATURA

Trabalho submetido por
Evandra Solange de Almeida Figueiredo Piecho
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutora Teresa Sobral Costa

julho de 2025

DEDICATÓRIA

*Happiness can be found, even in the darkest of times,
if one only remembers to turn on the light.
-Albus Dumbledore in Harry Potter and the Prisoner of Azkaban*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus, se eu consegui terminar esta tese, foi graças a uma boa dose de fé, algumas preces desesperadas e talvez um pequeno milagre (ou dois).

Ao meu marido, João Piecho, e à minha filha, Niara Piecho, que são o meu maior suporte na vida. Vocês foram a minha fonte de força, paciência e alegria.

Aos meus pais, Júlio Figueiredo e Viviana Almeida, e à minha irmã, Daisy Figueiredo, que nunca mediram esforços por mim, muitas vezes deixando-se de lado para que eu realizasse o meu grande sonho. Agradeço por acreditarem em mim, mesmo quando nem eu sabia no que estava a acreditar.

À minha querida avó, Filomena Teles, que nunca me deixou desamparada. O teu carinho, sabedoria e ensinamentos foram um norte na minha vida.

A minha orientadora, Prof. Teresa Sobral Costa, cuja orientação, paciência e conhecimento foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Ao nosso G20, com quem entrei na universidade, ao vosso lado enfrentei desafios, celebrei conquistas e criei memórias que levarei para sempre comigo. Em especial à minha dupla, Mirelly Freitas, que partilhou comigo cada passo desta conquista e ficou tão louca quanto eu.

À Universidade Egas Moniz e a todos os trabalhadores que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

À minha melhor amiga, Mirian Pimenta, e às nossas enormes sessões de conversa que mais pareciam terapias, ajudando-me a superar cada obstáculo.

Aos demais familiares – sobrinho, irmã, madrinha, cunhado, primos, tios e amigos (sem citar cada um para não correr o risco de ser injusta) e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade. Esta conquista não é apenas minha, mas de todos aqueles que caminharam ao meu lado. Muito obrigada a todos, sou grata por ter-vos na minha vida!

RESUMO

Os Alinhadores Transparentes (AT) são amplamente utilizados como alternativa aos Aparelhos Fixos (AF), oferecendo vantagens estéticas e maior conforto. No entanto, o seu impacto na Sensibilidade Muscular Mastigatória (SMM) e na dor ortodôntica ainda é tema de investigação. A literatura sugere que os AT estão associados a menor intensidade de SMM e dor ortodôntica em comparação com os AF, devido à aplicação gradual e controlada de forças nos dentes (Sasaki et al., 2017; Ferreira et al., 2019). A dor tende a atingir o pico entre 24 e 48 horas após a inserção do alinhador, reduzindo-se progressivamente (Ali et al., 2023; Cengiz & Goymen, 2025). Além disso, os AT permitem aos pacientes manter suas atividades diárias sem limitações funcionais significativas, favorecendo a adesão ao tratamento (Gameiro et al., 2015; Kaklamanos et al., 2023).

Fatores como a espessura dos AT, padrões de movimentação dentária e hábitos parafuncionais, como bruxismo, podem influenciar a SMM. Alterações na atividade dos músculos mastigatórios, especialmente no masséter, foram observadas por eletromiografia, sugerindo uma adaptação neuromuscular ao longo do tratamento (Lou et al., 2021; Tepedino et al., 2023). Estratégias farmacológicas, como anti-inflamatórios não esteroides, e não farmacológicas, como terapia com laser de baixa intensidade (LILT), mostraram eficácia na gestão desses sintomas (Gao et al., 2024; Tran et al., 2020).

Esta revisão narrativa baseou-se na análise qualitativa de estudos obtidos nas bases PubMed, Scopus, Google Scholar, Cochrane Library e LILACS, usando operadores booleanos para combinar termos como "clear aligners" OR "removable orthodontic appliances;" AND "toothache" AND "masticatory muscles". Foram incluídos artigos publicados nos últimos 10 anos que abordassem o uso de AT, excluindo-se os não disponíveis em português, inglês ou espanhol, ou sem dados relevantes. Referências mais antigas foram pontualmente integradas para contextualização histórica. Embora os resultados apontem benefícios evidentes, destaca-se a necessidade de mais estudos que avaliem os efeitos a longo prazo dos AT nas estruturas orofaciais e na saúde geral.

Palavras-chave: Clear aligners; Masticatory Muscles; Orthodontic Pain; Removable Orthodontic Appliances.

ABSTRACT

Clear aligners (CA) are widely used as an alternative to fixed appliances (FA), offering aesthetic advantages and greater comfort. However, their impact on masticatory muscle sensitivity (MMS) and orthodontic pain remains a subject of ongoing investigation. The literature suggests that CAs are associated with lower levels of MMS and orthodontic pain compared to FAs, due to the gradual and controlled application of forces on the teeth (Sasaki et al., 2017; Ferreira et al., 2019). Pain typically peaks within 24 to 48 hours following aligner insertion and gradually subsides thereafter (Ali et al., 2023; Cengiz & Goymen, 2025). Furthermore, CAs allow patients to maintain their daily activities without significant functional limitations, thereby enhancing treatment adherence (Gameiro et al., 2015; Kaklamanos et al., 2023).

Factors such as aligner thickness, patterns of tooth movement, and parafunctional habits like bruxism may influence MMS. Changes in masticatory muscle activity—particularly in the masseter—have been observed via electromyography, suggesting neuromuscular adaptation throughout the course of treatment (Lou et al., 2021; Tepedino et al., 2023). Both pharmacological strategies, such as non-steroidal anti-inflammatory drugs, and non-pharmacological approaches, such as low-intensity laser therapy (LILT), have shown effectiveness in managing these symptoms (Gao et al., 2024; Tran et al., 2020).

This narrative review was based on a qualitative analysis of studies retrieved from PubMed, Scopus, Google Scholar, Cochrane Library, and LILACS, using Boolean operators to combine terms such as “clear aligners” OR “removable orthodontic appliances;” AND “toothache” AND “masticatory muscles.” Articles published in the last ten years focusing on the use of CAs were included, while studies unavailable in English, Portuguese, or Spanish, or those lacking relevant data, were excluded. Older references were occasionally incorporated for historical context. Although current findings highlight several advantages of CAs, further research is required to fully understand their long-term effects on orofacial structures and overall patient health.

Keywords: Clear aligners; Masticatory muscles; Orthodontic pain; Removable orthodontic appliances.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Contextualização.....	13
1.2. Objetivos.....	15
1.3. Metodologia.....	15
1.4. Organização	16
2. DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1. Definição de ortodontia	17
2.2. Perspectiva histórica.....	17
2.2.1. História da ortodontia	17
2.2.2. História dos AT	18
2.3. Materiais utilizados para a confecção de AT	20
2.4. Mecanismo de ação e biomecânica dos AT	21
2.4.1. Forças aplicadas.....	22
2.4.2. Movimentos aplicados.....	23
2.4.3. Espessura	27
2.5. Dor ortodôntica.....	28
2.5.1. Fisiologia da dor	28
2.5.2. Fisiologia da dor ortodôntica.....	29
2.5.3. Avaliação da dor ortodôntica.....	30
2.5.4. Dor ortodôntica associada a AT	32
2.6. Dor muscular mastigatória	33
2.6.1. Anatomia e fisiologia dos músculos mastigatórios	33
2.6.2. Fisiologia da SMM	36
2.6.3. Avaliação da SMM.....	37
2.6.4. SMM associada aos AT	38
2.7. Efeito dos AT a longo prazo na SMM e na dor ortodôntica.....	41
2.8. Impacto da SMM e da dor ortodôntica para o paciente.....	42

2.9.	Comparação entre AT e AF.....	44
2.10.	Prevenção e Métodos de controlo da SMM e dor ortodôntica associada aos AT	46
2.11.	Análise Crítica das Limitações dos Estudos Revistos.....	48
3.	<i>CONCLUSÃO</i>	51
4.	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Setup & Positioner (Esquerda), Tooth Positioning Appliance (Direita).....	18
Figura 2. Essix retainer que cobre todos os dentes da maxila e de canino a canino na mandíbula	19
Figura 3. AT Invisalign®	20
Figura 4. A- Inclinação não controlada (Uncontrolled tipping); B- Inclinação controlada (Controlled tipping)	24
Figura 5. Movimento de Translação (Translation).....	24
Figura 6. Movimento de Torque.....	25
Figura 7. Movimento de Rotação (Rotation).....	25
Figura 8. A-Movimento de Intrusão (Intrusion); B- Movimento de Extrusão (Extrusion)	26
Figura 9. Fluxograma da sequência de transmissão e modulação da dor.....	29
Figura 10. Fluxograma da sequência mecanismos de dor induzidos por forças ortodônticas.	30
Figura 11. Músculo Masséter.	34
Figura 12. Músculo Temporal.	34
Figura 13. Músculos Pterigoides A- Lateral (Externo) e B- Medial (Interno).....	35
Figura 14. Músculo Bucinador	36
Figura 15. Ilustração esquemática da posição dos eléctrodos de superfície nos músculos masséter superficial e temporal anterior.	38
Figura 16. Percentagem de Pacientes que Utilizaram Analgésicos Durante o Tratamento com AT e AF..	45

LISTA DE ABREVIATURAS

AO | Aparelhos Ortodônticos

AF | Aparelhos Fixos

AT | Alinhadores Transparentes

SMM | Sensibilidade Muscular Mastigatória

DTM | Disfunção temporomandibular

TPU | Poliuretanos Termoplásticos

PETG | Polietileno Tereftalato Glicol-modificado

EVA | Etileno-Vinil-Acetato

ATM | Articulação Temporomandibular

VAS | Escala Visual Analógica

NRS | Escala de Classificação Numérica

VRS | Escala de Classificação Verbal

MPQ | Questionário de Dor de McGill

sEMG | Eletromiografia de Superfície

OHRQoL | Qualidade de Vida Relacionada à Saúde Oral

QST | Testes Sensoriais Quantitativos

EMG | Eletromiografia

PPTs | Limiares de Dor à Pressão

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Nesta era moderna, o mundo digital tornou-se uma parte indispensável das nossas vidas. A Internet, graças à globalização e aos avanços tecnológicos, integrou-se perfeitamente nas nossas rotinas diárias, enquanto as plataformas de redes sociais tornaram a socialização e a partilha de conhecimento mais fáceis do que nunca.

Esta tendência é também perceptível no campo da ortodontia. Os alinhadores transparentes (AT) transformaram o panorama da ortodontia ao proporcionarem uma alternativa estética e confortável aos aparelhos fixos (AF). Os AF são o método tradicional de tratamento ortodôntico que consiste no uso de peças pré-ajustadas, também conhecidas como "*brackets*" (Kaklamanos et al., 2023). Em contrapartida, os AT para além da sua aparência discreta, têm demonstrado impactos significativos na experiência de uso do paciente.

Os pacientes nos dias de hoje procuram ativamente estar envolvidos em vários aspectos do seu tratamento, tendo conhecimento do impacto que os aparelhos ortodônticos (AO) podem ter na sua aparência geral. A demanda por AT tem testemunhado um aumento significativo neste contexto específico, principalmente devido ao seu maior apelo estético, facilidade de manutenção da higiene oral, conforto superior com contínuas melhorias em materiais e precisão de tratamento. Tornando-os uma boa alternativa na ortodontia moderna (Phan & Ling, 2007) em comparação aos (AF) (Chenin et al., 2003; Li et al., 2015).

Apesar das vantagens estéticas e do conforto proporcionado pelos AT, os pacientes frequentemente relatam efeitos colaterais relacionados à sensibilidade muscular mastigatória (SMM) e à dor ortodôntica durante o tratamento.

Goteiras utilizadas para tratar o bruxismo e as disfunções temporomandibulares (DTM) apresentam um efeito mio-relaxante sobre a actividade muscular mastigatória (Jokubauskas et al., 2018). No entanto, os AT ortodônticos não devem ser comparados com esses dispositivos, apesar da sua semelhança no design, pois os AT geralmente não

são ajustados para promover um contacto oclusal estável durante a prática clínica (Paes-Souza et al., 2023).

A estabilidade oclusal está ligada à função neuromuscular (Zhan et al., 2023). Estudos indicam que uma interferência oclusal mínima, de apenas 0,25 mm, pode resultar em uma actividade muscular assimétrica nos músculos elevadores mandibulares. Sendo que, cada AT tem uma espessura de 0,77mm e a combinação dos AT superior e inferior resulta em uma espessura aproximada de 1,5 mm (Lekavičiūtė et al., 2024; Liu et al., 2017).

A qualidade de vida pode ser prejudicada por problemas mastigatórios, que podem complicar a mastigação, deglutição e fala. Problemas na articulação temporomandibular (ATM), atrofia muscular, questões dentárias e anomalias neurológicas estão entre as causas mais comuns de uma função mastigatória reduzida (Levrini et al., 2024).

Para além disso, o receio da dor é uma das razões com maior influência das quais os pacientes optam por não realizar o tratamento ortodôntico. A dor ortodôntica, associada a respostas nociceptivas e inflamatórias resultantes do movimento dentário, pode afectar negativamente a adesão dos pacientes ao tratamento, o que acarreta em um aumento da frequência de consultas perdidas e comprometendo assim os resultados do tratamento e a satisfação do paciente, e, até a desistência do tratamento (Tran et al., 2020; Chow & Cioffi, 2018).

Assim, a funcionalidade e a estética são os principais fatores a serem considerados no tratamento ortodôntico com AT. O ortodontista deve abordar os problemas funcionais, ao mesmo tempo em que foca na estética para garantir a satisfação do paciente (Levrini et al., 2023).

Enquanto a literatura existente aborda amplamente os benefícios dos AT, a compreensão dos efeitos adversos, como a SMM e a dor ortodôntica, ainda é limitada.

Existem várias razões para estudar os efeitos dos AT na SMM e na dor ortodôntica. Primeiro, compreender esses efeitos adversos é fundamental para melhorar a experiência do paciente e a eficácia do tratamento ortodôntico. Além disso, há uma lacuna significativa na literatura sobre como esses aparelhos afectam especificamente a SMM e

a dor em comparação com os AO tradicionais. Minorar esta lacuna permite uma melhor prática clínica, o desenvolvimento de novos materiais e tratamentos e maior conforto para os pacientes.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste estudo foi avaliar o impacto do tratamento com AT na SMM e na dor ortodôntica baseado em uma revisão narrativa da literatura existente.

Os objetivos específicos incluem: rever a literatura sobre a SMM associada ao uso de AT; analisar os estudos que investigam a dor ortodôntica em pacientes tratados com AT; comparar os resultados encontrados com os dados relativos a pacientes que utilizam AF; e identificar possíveis recomendações para melhorar a gestão da SMM e da dor durante o tratamento com AT; por fim, sintetizar as evidências mais recentes e relevantes, para proporcionar uma compreensão mais clara dos benefícios e limitações dos AT no contexto da dor ortodôntica e SMM.

1.3. Metodologia

Este estudo trata-se de uma revisão narrativa da literatura, focada no impacto dos AT na SMM e na dor ortodôntica. A pesquisa foi realizada nas bases de dados científicas, incluindo PubMed, Scopus, Google Scholar, Cochrane Library e LILACS, com busca de artigos publicados nos últimos 10 anos. Foram combinados termos através de operadores booleanos "AND" e "OR", como "clear aligners" OR "removable orthodontic appliances;" AND "toothache" AND "masticatory muscles". Os critérios de inclusão para os estudos foram a publicação nos últimos 10 anos e a abordagem da utilização de AT. No entanto, para efeitos de contextualização histórica, foram incluídas pontualmente referências mais antigas. Estes estudos anteriores permitiram explorar a evolução dos AT ao longo do tempo e fornecer uma base histórica ao tema. A inclusão destas fontes históricas não interfere na análise dos dados actuais e tem como único propósito enriquecer a compreensão sobre o desenvolvimento dos AO, sem comprometer a relevância temporal das evidências analisadas. Como critério de exclusão, foram trabalhos que não estavam disponíveis em inglês, português ou espanhol e aqueles que não apresentavam dados relevantes sobre o tema. A análise centrou-se na revisão

qualitativa dos artigos quanto aos seus objetivos, metodologias, resultados e conclusões, visando assim identificar padrões e lacunas na literatura. (Palavras-chave: Clear aligners; Masticatory Muscles; Orthodontic Pain; Removable Orthodontic Appliances).

1.4. Organização

Esta tese está estruturada da seguinte forma: inicia-se com uma Introdução que fornece a contextualização necessária sobre o tema, delineando os objetivos da pesquisa e a metodologia utilizada.

O corpo principal do trabalho é composto pelo Desenvolvimento, que inclui a definição de ortodontia uma perspectiva histórica e uma revisão da literatura sobre os AT, abordando a SMM e a dor ortodôntica associada ao seu uso, e uma conclusão,

Por fim, a tese inclui uma seção de Referências, onde estão listadas todas as fontes citadas ao longo do trabalho.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Definição de ortodontia

A ortodontia é a especialidade da medicina dentária dedicada ao diagnóstico, prevenção e tratamento da maloclusão, que envolve dentes desalinhados e discrepâncias na maxila e na mandíbula. Estas abordam também o crescimento da face, o desenvolvimento da dentição e a correção de anomalias oclusais para melhorar a função oral e a estética (Abreu, 2018; Longridge et al., 2019).

2.2. Perspectiva histórica

2.2.1. História da ortodontia

Opto por dar início à história da ortodontia com a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, um progresso que revolucionou radicalmente o diagnóstico e o planeamento de tratamentos na área. O trabalho de Roentgen, que lhe garantiu o Prémio Nobel da Física em 1901, permitiu às diversas áreas da medicina dentária, incluindo a ortodontia, visualizar estruturas internas de forma não invasiva. (Nobel Prizes and Laureates, 2025).

Calvin Suveril Case (1847-1923) emerge como uma figura chave no início do século XX. Este, defendeu a correção protética da fenda palatina e desafiou as práticas de extração padrão, nomeadamente durante o “grande debate sobre extração” com Edward H. Angle. (Baker, 1957).

Edward Angle considerado o “pai da ortodontia moderna”, contribuiu de forma essencial para a ortodontia. Angle, fundou a primeira escola centrada na ortodontia e criou ideias e ferramentas inovadoras que ainda hoje têm impacto na área. A sua dedicação a padrões académicos rigorosos e abordagens terapêuticas de ponta estabeleceram um padrão para os ortodontistas (South African Dental Association, 2020).

A evolução do “bonding” representou um avanço tecnológico significativo. Inicialmente, os *brackets* eram soldados a bandas metálicas, o que os tornava

desconfortáveis e incômodos. No meio da década de 1960, o Dr. George Newman e o Professor Fujio Miura introduziram a colagem de *brackets* diretamente no esmalte. Esta inovação levou ao desenvolvimento de novos adesivos e materiais de *brackets*, melhorando assim a eficácia e o conforto dos tratamentos ortodônticos (Gange, 2015).

Segundo o American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics (2015), no artigo "*A Century of Influence: Part I. Orthodontic Pioneers*" pioneiros como George Bernard Crozat, que desenvolveu o aparelho de Crozat, e George Walter Hahn, que expandiu o ensino da ortodontia, moldaram ainda mais a especialidade. As inovações nos AF e "*bonding*" no século XX prepararam o terreno para a introdução de AT, como o *Invisalign*, que oferecem uma alternativa menos visível e mais confortável aos AF. Estes avanços evidenciam a constante evolução do campo em direção a cuidados centrados no paciente.

2.2.2. História dos AT

A história dos AT tem uma evolução de várias décadas, apesar de se ter tornado mais popular nas últimas décadas. Esta, começou em 1945 com o Dr. Harold D. Kesling, que desenvolveu o "*Tooth Positioner Appliance*" (Figura 1), um dispositivo de borracha que podia realizar movimentos limitados dos dentes após a remoção dos AF (Kesling, 1945; Ke et al., 2019; AlMogbel, 2023).

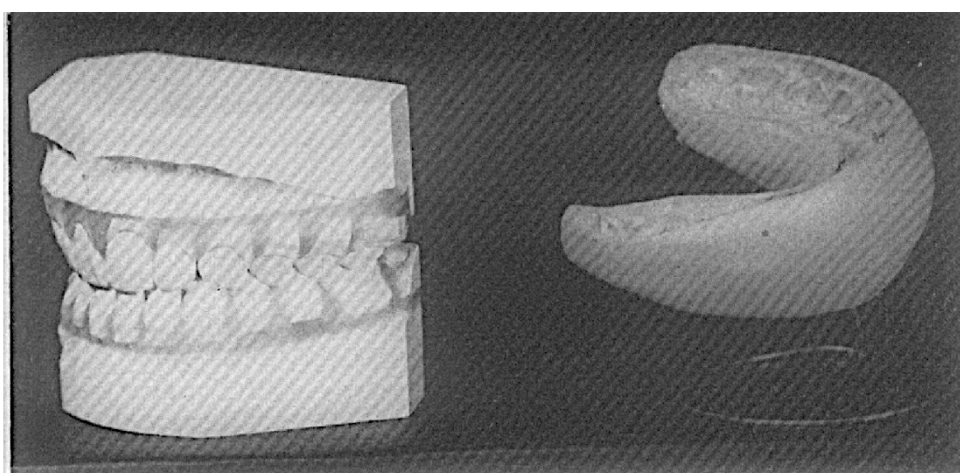


Figura 1. *Setup & Positioner (Esquerda), Tooth Positioning Appliance (Direita)*
(Adaptado de KESLING, 1945).

Na década de 1970, o Dr. Robert Ponitz conduziu testes iniciais com alinhadores termoplásticos, inspirando-se na pesquisa de Kesling realizada na década de 1940. Embora esses experimentos não tenham produzido avanços científicos imediatos, Ponitz mais tarde revisitou o conceito e introduziu os "Retentores Invisíveis" com um design transparente esteticamente agradável (Ponitz, 1971).

Nos anos 1990, Dr. John Sheridan introduziu os "*Essix Retainers*" (Figura 2), feitos de plástico transparente para servir como retentores e para movimentação dentária menor (Sheridan, 1993).

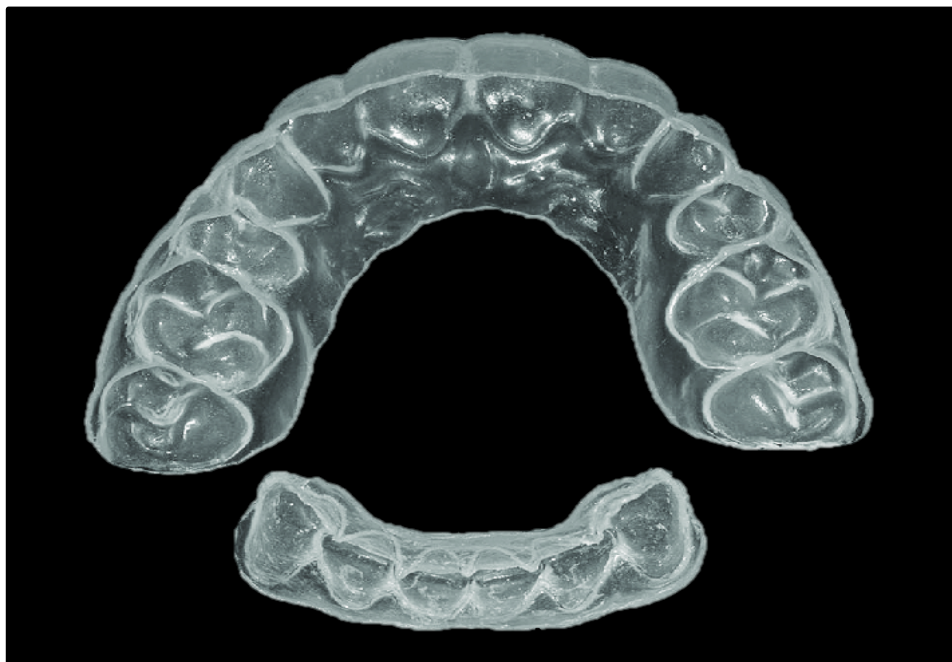


Figura 2. *Essix retainer que cobre todos os dentes da maxila e de canino a canino na mandíbula (Adaptado de Jäderberg et al., 2011).*

A grande revolução veio em 1997 com a fundação da *Align Technology, Inc.* por Zia Chishti e Kelsey Wirth, que lançaram o sistema *Invisalign* em 1999 (Figura 3). Usando tecnologia de imagem 3D, o *Invisalign* criou alinhadores personalizados, ganhando rápida aceitação (Hennessy & Al-Awadhi, 2016; Ke et al., 2019; AlMogbel, 2023).

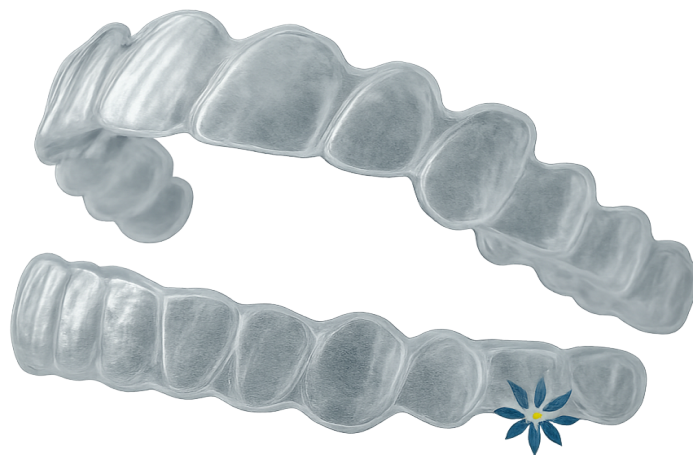


Figura 3. AT Invisalign® (Inspirada de Align Technology, n.d.)

2.3. Materiais utilizados para a confecção de AT

A escolha do material utilizado para a confecção dos AT é crucial para a sua eficácia, biocompatibilidade, bem como para a estética. sendo estes, atributos essenciais para o êxito clínico e a aceitação dos AT pelos pacientes.

Os principais materiais utilizados incluem polímeros termoplásticos, como derivados de cloreto de polivinila, poliuretanos termoplásticos (TPU) e polietileno tereftalato glicol (PETG). Estes materiais são escolhidos com base nas suas propriedades mecânicas, físicas, químicas e ópticas, que garantem o desempenho adequado dos AT (Cenzato et al., 2024; Ravuri et al., 2024). Com o avanço tecnológico, as resinas fotopolimerizáveis biocompatíveis, como a *Dental LT Clear*, começaram a ser exploradas na produção de AT através da impressão 3D. Esta estratégia oferece maior precisão e domínio sobre a espessura e os contornos dos AT (Jindal et al., 2020; Niu et al., 2024).

Materiais que têm como base TPU, como o *SmartTrack*, destacam-se pela sua durabilidade e elasticidade, ao passo que os materiais à base de PETG oferecem maior transparência e flexibilidade (Cenzato et al., 2024; Ravuri et al., 2024). Materiais como PETG, Polipropileno, Policarbonato, TPU e Etileno-Vinil-Acetato (EVA) são biocompatíveis, sendo que PETG e EVA apresentaram menor potencial de irritação tecidual (Ravuri et al., 2024) A biocompatibilidade destes materiais, de acordo com Yu et al. (2022), é comprovada por testes de citotoxicidade e hemólise.

Pesquisas apontam que compostos termoformados, como Duran, Biolon e Zendura, demonstraram níveis mais elevados de citotoxicidade em relação às suas versões não termoformadas (Martina et al., 2019).

É imprescindível realizar pesquisas contínuas, especialmente no desenvolvimento de resinas biocompatíveis que aliem propriedades mecânicas aprimoradas e aplicabilidade clínica, principalmente no âmbito da impressão 3D (Niu et al., 2024). A evolução destes materiais será crucial para elevar o desempenho clínico e aumentar a aceitação dos AT pelos pacientes.

2.4. Mecanismo de ação e biomecânica dos AT

Tal como o aparelho posicionador de Kesling recorria a modelos em gesso para planejar, de forma sequencial, os movimentos dentários, os alinhadores transparentes modernos mantêm o mesmo princípio biomecânico. Estes promovem movimentações dentárias incrementais através de dispositivos removíveis. A diferença fundamental reside na tecnologia utilizada, pois os alinhadores actuais baseiam-se em planeamento digital tridimensional, escaneamento intraoral e impressão 3D, substituindo assim os modelos físicos por modelos digitais tridimensionais, mais precisos e ajustáveis.

Os AT foram projetados para mover os dentes para posições estética e funcionalmente adequadas através de força aplicadas de maneira controlada. A eficácia dos AT está intrinsecamente ligada a vários fatores, incluindo a anatomia dentária, o design do AT e a configuração do movimento desejado. Elementos como a adaptação da força ao centro de resistência do dente, a distribuição de forças sobre os dentes adjacentes e a interacção entre diferentes tipos de movimentos, tais como: translações, rotações e intrusões são cruciais para o sucesso do tratamento. (Traversa, Chavanne, & Mah, 2024).

Originalmente, o sistema de AT foi desenvolvido para o tratamento de pequenos desalinhamentos dentários. Enquanto alguns sistemas permanecem estritamente limitados a essa finalidade, outros afirmam abranger também a correção de más oclusões complexas (Weir, 2017).

Assim sendo, o entendimento profundo da biomecânica envolvida na atuação dos AT não apenas proporciona o desenvolvimento de estratégias de tratamento mais precisas, mas também fornece melhorias contínuas na experiência do paciente ao longo do processo de correção ortodôntica (Kaur et al., 2021).

2.4.1. Forças aplicadas

O princípio por detrás da terapia com AT é a aplicação sequencial destes dispositivos, que são feitos à medida e concebidos para mover gradualmente os dentes para a posição desejada (Costa et al., 2020).

Cada AT é concebido para movimentar os dentes em aproximadamente 0,25 mm durante o seu tempo de uso, que pode ser variável. Normalmente, os AT são substituídos a cada 7 ou 14 dias, e, estes exercem uma nova pressão sobre os dentes e promovem uma nova movimentação gradual. As forças aplicadas podem variar em direção, magnitude e duração, dependendo do tipo de movimento planeado (Kaur et al., 2023).

Segundo Upadhyay & Arqub (2022), a precisão e a previsibilidade do tratamento são significativamente melhores com AF. Essa discrepância pode ser atribuída a diversos fatores, incluindo a falta de pontos específicos de aplicação de força, variações na anatomia dentária, as propriedades do material dos AT, a incompatibilidade entre o AT e as geometrias da dentição, os movimentos de deslizamento entre as superfícies de contacto e outros fatores biomecânicos. A terapia com AT depende de três fatores críticos: cooperação, ancoragem e eficiência dos movimentos.

O movimento dentário apenas com AT e sem outras alterações (por exemplo, *Attachments*) tem um controlo insuficiente da inclinação do dente (Gomez et al., 2015). Uma revisão sistemática realizada por Nucera et al. (2022) indica que os acessórios melhoram significativamente a eficácia dos aparelhos de alinhamento dentário, particularmente no que se refere à rotação da raiz (torque) e aos movimentos mesio-distais. Os acessórios também contribuem para a ancoragem posterior, embora a evidência do seu impacto na intrusão e extrusão seja menos conclusiva.

O design dos *attachments*, incluindo o seu tamanho e forma, influencia as propriedades biomecânicas dos alinhadores. Estudos demonstram que *attachments* maiores geram forças e momentos ortodônticos superiores, o que resulta numa melhoria na direção dos movimentos dentários, enquanto a sua posição e formato são fundamentais para otimizar tanto a movimentação dentária como a retenção dos AT (Ahmad et al., 2023; Jedliński et al., 2023).

Os elásticos intermaxilares têm um papel essencial na terapia com AT, potencializando a eficácia da movimentação dentária, sobretudo na correção de maloclusões de Classe II e Classe III. Ao exercerem forças adicionais que complementam a ação dos AT (Liu et al., 2023). Estes, permitem para além disso, a realização de movimentos ortodônticos mais complexos, que, de forma isolada, os AT poderiam não conseguir executar com a mesma eficácia. (Liu et al., 2021).

Liu et al. (2021) destaca também que outros auxiliares biomecânicos, como mini-implantes, têm sido utilizados para fornecer ancoragem adicional em tratamentos com AT, fornecendo uma maior liberdade no planeamento dos movimentos dentários

2.4.2. Movimentos aplicados

Os AT realizam uma vasta variedade de diferentes tipos de movimentos dentários. No entanto, a eficácia desses movimentos pode variar conforme a sua complexidade e a biomecânica envolvida.

Os principais tipos de movimentos possíveis com AT incluem:

2.4.2.1. Inclinação pura (*pure tipping*): Movimento onde a coroa do dente se inclina sem deslocamento significativo da raiz. Sendo este um dos movimentos mais previsíveis, com uma eficácia estimada de 72,48% (Jiang et al., 2021).

2.4.2.2. Inclinação controlada (*controlled tipping*) (Figura 4B): Envolve o movimento tanto da coroa quanto da raiz, sendo que a coroa se move mais do que a raiz. A previsibilidade deste movimento é moderada

(Jiang et al., 2021).

2.4.2.3. Inclinação não controlada (*uncontrolled tipping*) (Figura 4A):

Refere-se à falta de controle sobre a inclinação radicular. A relação momento/força (M/F) desempenha um papel crucial nesse controle, sendo que uma relação de 5:1 tende a resultar em inclinação descontrolada, enquanto 7:1 promove inclinação controlada e 10:1 permite um movimento corporal completo (Chacko et al., 2018).

Contudo, os AT frequentemente não exercem forças suficientes para gerar o momento necessário, o que resulta predominantemente em movimentos de inclinação (Cheng et al., 2022; Iliadi et al., 2019).

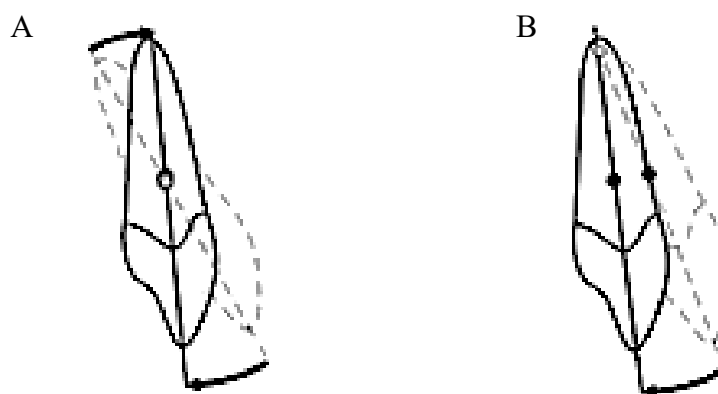


Figura 4. A- Inclinação não controlada (*Uncontrolled tipping*); B- Inclinação controlada (*Controlled tipping*) (Adaptado de Sivaraj, 2013)

2.4.2.4. Translação (*translation*) (Figura 5): Movimento no qual tanto a coroa quanto a raiz se deslocam na mesma direção. A previsibilidade é moderada, com uma eficácia de 55,58% (Jiang et al., 2021).



Figura 5. Movimento de Translação (*Translation*) (Adaptado de Sivaraj, 2013)

- 2.4.2.5. Torque (Figura 6): Refere-se à rotação da raiz em relação à coroa. Este é um dos movimentos mais difíceis de controlar, com uma eficácia estimada de 35,21% (Jiang et al., 2021).

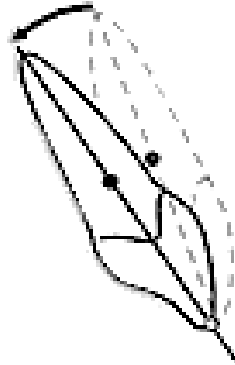


Figura 6. Movimento de Torque (Adaptado de Sivaraj, 2013)

- 2.4.2.6. Rotação (*rotation*) (Figura 7): Movimento no qual o dente gira em torno do seu próprio eixo. A eficácia deste movimento varia conforme a morfologia dentária, sendo mais difícil em dentes arredondados, como os caninos e pré-molares, com uma eficácia média de 46% (Rossini et al., 2015; Haouili et al., 2020).

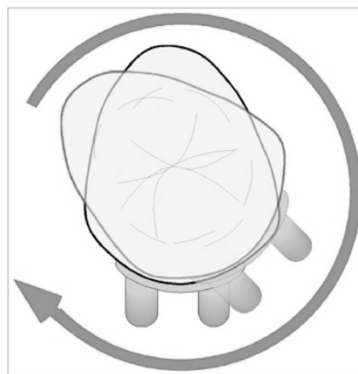


Figura 7. Movimento de Rotação (*Rotation*) (Adaptado de Nanda, 2005)

- 2.4.2.7. Intrusão (*intrusion*) (Figura 8B): Movimento que desloca o dente para dentro do osso alveolar. Este movimento é geralmente bem

controlado, com um deslocamento médio de 0,72 mm (Rossini et al., 2015).

2.4.2.8. Extrusão (*extrusion*) (Figura 8A): Refere-se ao deslocamento do dente para fora do osso alveolar. É um dos movimentos mais difíceis de realizar com AT, com uma precisão de apenas 30% (Rossini et al., 2015; Harandi et al., 2023).

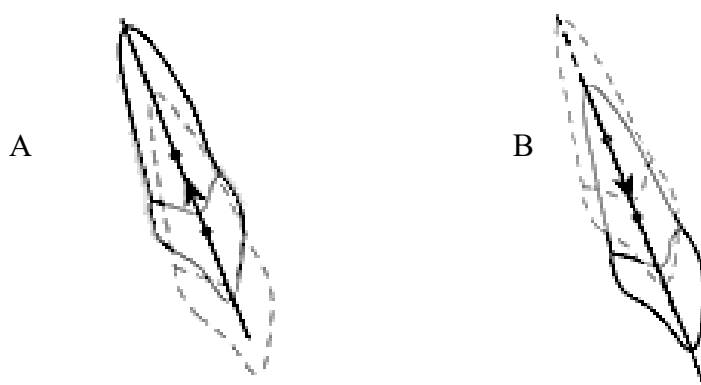


Figura 8. A-Movimento de Intrusão (*Intrusion*); B- Movimento de Extrusão (*Extrusion*) (Adaptado de Sivaraj, 2013)

2.4.2.9. Expansão (*expansion*): Movimento que aumenta a largura da arcada dentária. A eficácia é elevada, especialmente para os pré-molares mandibulares, variando entre 91-98% (Keilig et al., 2024).

2.4.2.10. Distalização (*distalization*): Movimento do dente em direção posterior na arcada. A eficácia para molares superiores é de aproximadamente 88% (Rossini et al., 2015).

2.4.2.11. Mesialização (*mesialization*): Movimento do dente em direção anterior na arcada. A eficácia é considerada moderada (Yang et al., 2023).

2.4.2.12. Proclinação (*proclination*): Movimento no qual a coroa do dente se inclina para fora da arcada. A eficácia é alta para incisivos (Jiang et al., 2021).

2.4.2.13. Lingualização (*lingualization*): Movimento onde a coroa do dente se inclina para dentro da arcada. A previsibilidade é moderada (Jiang et al., 2021).

Embora os AT sejam eficazes na realização de uma ampla gama de movimentos ortodônticos, a sua precisão pode ser afectada por diversos factores, incluindo a biomecânica aplicada, a elasticidade do material, a ancoragem disponível e o uso de acessórios como *attachments* (Nucera et al., 2022).

Um dos pontos mais cruciais no tratamento com AT é garantir a padronização adequada no uso dos alinhadores, pois ela é essencial para otimizar o tratamento ortodôntico, assegurando que cada aparelho exerça as forças desejadas na sequência planeada e promovendo uma adaptação eficaz entre o alinhador e os attachments (Linjawi & Abushal, 2022).

2.4.3. Espessura

A espessura dos AT influencia significativamente a sua biomecânica, determinando a força gerada, o controlo dos movimentos dentários e o conforto do paciente.

Os AT mais espessos (0,75 mm) exercem forças superiores, o que favorece movimentos complexos, como o torque e a translação (Elshazly et al., 2024). Além disso, proporcionam um melhor controlo dos movimentos dentários, devido à sua maior rigidez e ao aumento da tensão no ligamento periodontal, o que é essencial para deslocamentos eficazes (Lyu et al., 2023).

Por outro lado, os AT mais finos (0,5 mm) são mais confortáveis para o paciente, uma vez que aplicam forças menores, reduzindo a dor e o desconforto durante o tratamento, embora possam comprometer a eficácia em movimentos mais complexos.

Segundo Cengiz & Goymen, (2025), estudos indicam que os pacientes tratados com AT de 0,5 mm relatam uma maior satisfação em comparação com os pacientes que utilizam AT de 0,75 mm. Assim, enquanto os AT mais espessos oferecem maior

eficiência biomecânica, os mais finos privilegiam o conforto, exigindo uma avaliação cuidadosa na escolha do material.

A eficiência da movimentação dentária é um dos principais pontos de comparação entre AT e AF. Apenas 50% dos movimentos planejados digitalmente são clinicamente obtidos com os AT (Haouili et al., 2020; Upadhyay & Arqub, 2022). A espessura destes, influencia significativamente a sua biomecânica, determinando a força gerada, o controle dos movimentos dentários e o conforto do paciente.

2.5. Dor ortodôntica

2.5.1. Fisiologia da dor

A dor é um fenómeno fisiológico de natureza complexa, associada a danos reais ou potenciais nos tecidos. Esta, envolve a comunicação entre o sistema nervoso periférico e o sistema nervoso central, e vice-versa. Este processo é mediado por diversas vias e neurotransmissores, o que resulta na percepção de um estado físico e psicológico de dor.

A transmissão da dor ocorre por intermédio de vias neurais específicas, iniciando-se nos nociceptores, que são recetores sensíveis a estímulos nocivos, e culminando no sistema nervoso central. Os nociceptores respondem a estímulos mecânicos, térmicos e químicos intensos, originando a transdução da dor (Lee & Neumeister, 2020; Nwonu, 2022).

Os impulsos elétricos que resultam desta transdução são conduzidos por fibras nervosas até ao córtex somatossensorial, onde a experiência da dor é percebida (Nwonu, 2022). A regulação da dor envolve diversos neurotransmissores, tais como o glutamato, o aspartato e a serotonina, que facilitam a transmissão dos impulsos dolorosos. Neuropeptídeos, como a substância P e o peptídeo ligado ao gene da calcitonina, também desempenham papéis importantes (Shimoji & Kurokawa, 2020). Adicionalmente, as vias descendentes de controlo da dor, que incluem sistemas inibitórios e facilitadores, modulam a experiência da dor (Nwonu, 2022).

Ademais, células não neuronais, tais como células imunitárias e gliais, contribuem de forma ativa para a patogênese e resolução da dor, sobretudo em contextos de dor crônica associada à neuroinflamação. Estas células estabelecem interações com neurónios nociceptivos, secretando moléculas sinalizadoras que modulam a dor (Ji, Chameasian & Zhang, 2016)

A Figura 9 apresenta uma representação esquemática dos principais mecanismos envolvidos na fisiologia da dor, desde a ativação dos nociceptores até à percepção cortical e modulação.

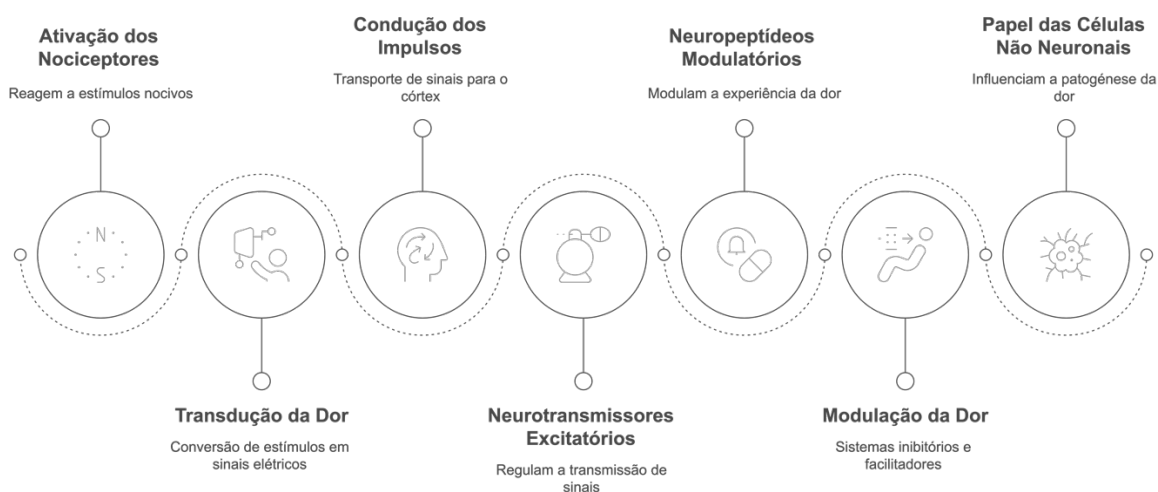


Figura 9. Fluxograma da sequência de transmissão e modulação da dor. Fonte: Elaborado pelo autor (2025) baseado na informação retirada das referências anteriormente (Lee & Neumeister, 2020; Nwonu, 2022, Shimoji & Kurokawa, 2020, Ji, Chameasian & Zhang, 2016).

2.5.2. Fisiologia da dor ortodôntica

A dor ortodôntica é uma queixa comum por parte dos pacientes que utilizam aparelhos dentários, resultante das forças exercidas para mover os dentes. Esta dor apresenta, fundamentalmente, uma natureza inflamatória e está correlacionada com alterações fisiológicas e psicológicas que decorrem durante o tratamento ortodôntico.

A dor ortodôntica é desencadeada pela oclusão vascular induzida pela força ortodôntica, que desencadeia uma cascata de respostas inflamatórias, incluindo mudanças vasculares, recrutamento de células inflamatórias e imunes, e liberação de mediadores neurogênicos e pró-inflamatórios (Long et al., 2016; Javed et al., 2024).

Os nociceptores periodontais, em particular aqueles que expressam o receptor TRPV1, desempenham um papel primordial na transdução de sinais nociceptivos. Outros canais iônicos, como o TRPA1, também estão envolvidos na sensibilização e ativação das fibras nociceptivas. (Wang & Chung, 2024)

Os sinais de dor ortodôntica são transmitidos por neurónios de três ordens, iniciando-se no gânglio trigeminal e culminando no tálamo, onde ocorre a percepção da dor (Long et al., 2016).

A fisiologia da dor ortodôntica e as suas principais etapas podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 10, que ilustra a sequência de eventos desencadeada pela aplicação de forças ortodônticas, desde a oclusão vascular até à percepção da dor no tálamo.

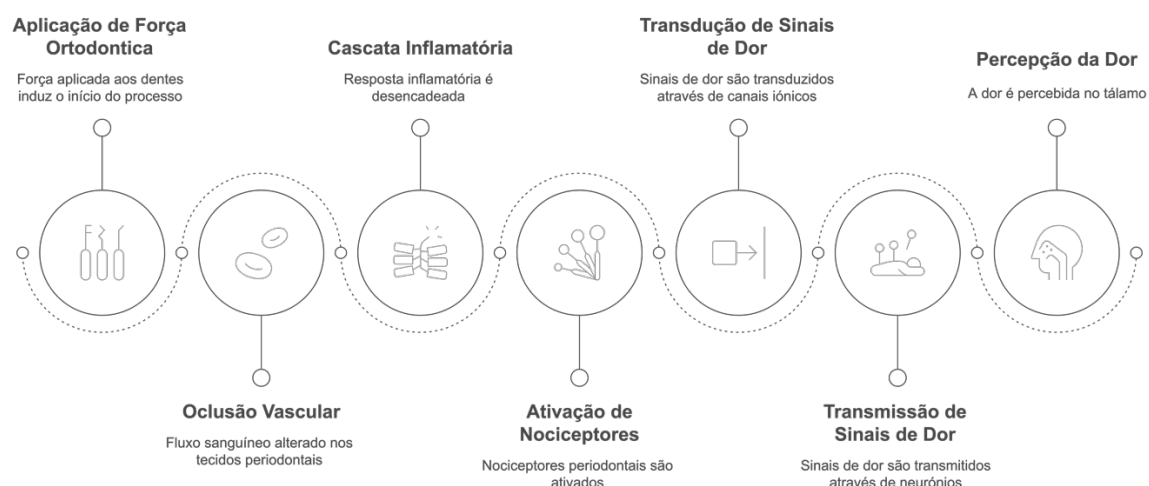


Figura 10. Fluxograma da sequência mecanismos de dor induzidos por forças ortodônticas. Fonte: Elaborado pelo autor (2025) baseado na informação retirada das referências anteriormente (Long et al., 2016; Javed et al., 2024; Wang & Chung, 2024; Long et al., 2016)

2.5.3. Avaliação da dor ortodôntica

Para compreender e quantificar a dor ortodôntica e a sensibilidade muscular mastigatória, diversas escalas têm sido amplamente utilizadas, permitindo uma abordagem mais precisa e personalizada na gestão da dor.

A Escala Visual Analógica (VAS) é uma das ferramentas mais frequentemente empregues para medir a intensidade da dor. Consiste em uma linha reta de 10 cm, com as extremidades representando os extremos da experiência dolorosa: "0" para ausência de dor e "10" para a pior dor possível. O paciente marca um ponto ao longo da linha que melhor representa a sua percepção da dor no momento. A simplicidade da VAS e a facilidade de aplicação tornam-na uma opção versátil, especialmente em estudos clínicos e avaliações subjetivas da dor (Euasobhon et al., 2022).

Outra escala amplamente utilizada é a Escala de Classificação Numérica (NRS), que consiste numa numeração de 0 a 10, onde "0" indica ausência de dor e "10" representa a dor mais intensa que possa imaginar. O paciente seleciona um número que melhor descreve a intensidade da sua dor. A NRS destaca-se pela sua alta sensibilidade e estabilidade, sendo particularmente útil em contextos clínicos onde a precisão da avaliação da dor é crucial (Bhat, Revankar & Naik, 2023).

Já a Escala de Classificação Verbal (VRS) utiliza descritores qualitativos para classificar a dor em diferentes níveis, como "sem dor", "dor leve", "dor moderada" e "dor intensa". Esta escala é especialmente valiosa para pacientes que podem ter dificuldades na interpretação de escalas numéricas, facilitando assim a comunicação e interação entre o profissional de saúde e o paciente. A VRS é frequentemente utilizada em situações em que uma descrição verbal da experiência dolorosa se torna mais prática e intuitiva (Euasobhon et al., 2022).

Por fim, o Questionário de Dor de McGill (MPQ) é uma ferramenta mais abrangente para a avaliação da dor, permitindo uma análise detalhada não apenas da intensidade, mas também da qualidade da experiência dolorosa. O MPQ inclui descritores sensoriais, afetivos e avaliativos da dor, além de uma escala de intensidade, proporcionando uma visão mais holística do impacto da dor na vida do paciente. A sua aplicabilidade é particularmente relevante em estudos que buscam correlacionar a dor com factores emocionais e neurobiológicos (Bhat, Revankar & Naik, 2023; Euasobhon et al., 2022).

A escolha da escala mais adequada depende do contexto clínico, das características do paciente e dos objectivos da avaliação. No caso da dor ortodôntica, a VAS e a NRS são frequentemente preferidas pela sua aplicabilidade prática e precisão na

medição da intensidade da dor ao longo do tempo. Já a VRS pode ser mais indicada para pacientes com dificuldades de interpretação numérica, enquanto o MPQ se destaca quando se pretende uma análise mais completa da experiência dolorosa. Independentemente da escala utilizada, a avaliação sistemática e rigorosa da dor é essencial para garantir uma abordagem terapêutica adequada, minimizando o desconforto do paciente e promovendo uma melhor adesão ao tratamento ortodôntico.

2.5.4. Dor ortodôntica associada a AT

Um estudo conduzido por Ali et al. (2023) investigou a intensidade e a gestão da dor ortodôntica associada ao uso de AT, com o foco na dor autoavaliada pelos pacientes e na análise dos níveis de alfa-amilase e cortisol, sendo estes biomarcadores de stress e dor, durante as fases iniciais da terapia com AT através da escala visual analógica (VAS), indicou que a dor ortodôntica foi mais intensa nas primeiras 24 horas após a ativação dos AT.

Cengiz e Goymen (2025) investigaram a eficácia, a dor e os níveis de satisfação de pacientes tratados AT de diferentes espessuras, com foco na dor dentária ortodôntica associada a esses AT. Os resultados mostraram que a dor atingiu seu pico no segundo dia após a inserção dos AT, diminuindo gradualmente ao longo do tempo. A dor foi medida em múltiplos pontos temporais usando a VAS. O que também corrobora com o estudo clínico prospectivo de Antonio-Zancajo et al. (2020) onde foi comparada a dor e o impacto na qualidade de vida relacionada à saúde oral (OHRQoL) entre pacientes que utilizam diferentes tipos de AO, inclusivamente os AT. Este, também revelou que o pico máximo de dor ocorreu entre 24 e 48 horas após o início do tratamento.

Segundo Meazzini et al. (2020), em um estudo sobre a dor ortodôntica e o seu impacto em pacientes com anomalias craniofaciais, como fissura labial e palatina, em tratamento com AT, pacientes que utilizam AT experimentam dor de intensidade leve a moderada, com maior intensidade nos primeiros dias após a inserção dos novos AT. Destacando assim a importância do período de adaptação inicial, onde estratégias de controlo da dor podem ter um efeito positivo na adesão ao tratamento e na satisfação do paciente.

2.6. Dor muscular mastigatória

2.6.1. Anatomia e fisiologia dos músculos mastigatórios

Os músculos mastigatórios são fulcrais para a função oral, eles desempenham um papel importante em funções orofaciais, como mastigação, deglutição, sucção e fala. Estes englobam um grupo de quatro músculos principais: o masséter, o temporal, o pterigoide medial e o pterigoide lateral. Estes músculos são enervados pelo nervo mandibular, que é um ramo do nervo trigêmeo (V par craniano) (Akita et al., 2019).

Basit et al. (2019) acrescenta ainda aos anteriores os músculos acessórios da mastigação nomeadamente o bucinador, os músculos supra-hióideos (músculo digástrico, músculo milo-hióideo e músculo genio-hióideo) e os músculos infra-hióideos (os músculos esterno-hióideo, esternotireóideo, tireo-hióideo e omo-hióideo).

2.6.1.1. Masséter (Figura 11): tem um formato retangular e é constituído por três camadas (superficial, profunda e intermediária). A origem do músculo masséter é na face inferior do arco zigomático e na superfície posterior do osso zigomático. As fibras musculares descem obliquamente para se inserir na face lateral do ramo mandibular, particularmente ao nível do ângulo da mandíbula. A sua principal função é elevar a mandíbula, contribuindo para o fechamento da boca e a aproximação dos dentes. As fibras superficiais podem participar na protrusão mandibular, enquanto as fibras profundas podem auxiliar ligeiramente na retração. A sua arquitetura penniforme permite-lhe aplicar forças elevadas, sendo um dos principais responsáveis pela potência da mordida. (Basit et al., 2019; Akita et al., 2019).



Figura 11. Músculo Masséter (Adaptado de Gray, 1918). Em domínio público.

2.6.1.2. Temporal (Figura 12): origina-se, superiormente, na fossa e na fáscia temporal e insere-se na apófise coronoide da mandíbula e no bordo anterior do ramo da mandíbula. Apresenta uma forma de leque, com fibras organizadas de maneira distinta: as fibras anteriores possuem uma orientação vertical, as médias dispõem-se obliquamente e as posteriores apresentam uma disposição mais horizontal. As fibras anteriores e médias são responsáveis pela elevação da mandíbula, enquanto as fibras posteriores desempenham um papel na retração do côndilo (Basit et al., 2019).

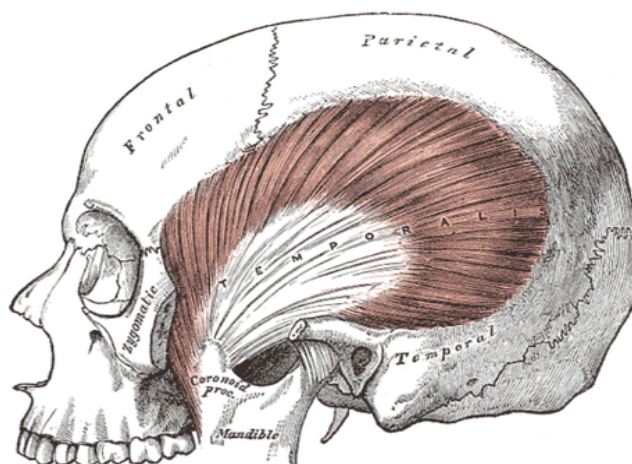


Figura 12. Músculo Temporal (Adaptado de Gray, 1918). Em domínio público.

2.6.1.3. Pterigoide medial (interno) (Figura 13B): Akita et al. (2019) descreve-o como um músculo que se origina do osso palatino e da fossa pterigoide e se insere na superfície medial do ângulo da mandíbula. Este músculo exerce uma influência sobre parâmetros craniofaciais comuns, o que sugere uma atuação coordenada com outros músculos da mastigação, de modo a garantir a funcionalidade e estabilidade da mandíbula (Agrawal, Kumar, & Pillai, 2023).

2.6.1.4. Pterigoide lateral (externo) (Figura 13A): Bae et al. (2024) parte da grande asa do esfenóide (cabeça superior) e apófise pterigoide (cabeça inferior), realçando que a superior fixa-se na cápsula da do disco articular e no disco articular da ATM e a cabeça inferior no colo da mandíbula. Efetua a elevação e protração da mandíbula.

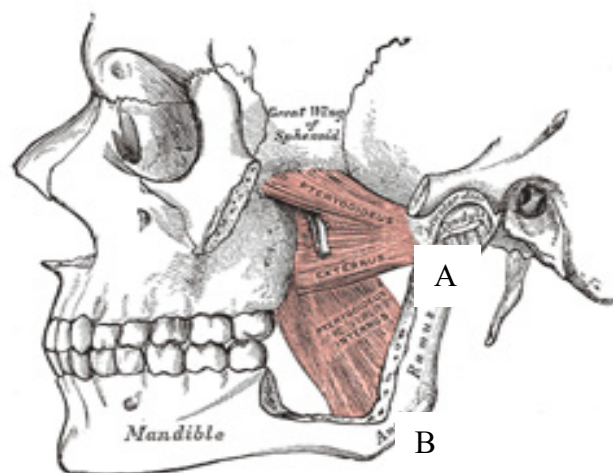


Figura 13. Músculos Pterigóides A- Lateral (Externo) e B- Medial (Interno) (Adaptado de Gray, 1918). Em domínio público.

2.6.1.5. Músculos supra-hióideos e infra-hióideos, localizados na região ântero-lateral do pescoço, apresentam uma função predominante na elevação e abaixamento do osso hióide e da laringe. Adicionalmente, estes músculos auxiliam na depressão da mandíbula durante a abertura da boca contra uma força oposta.

2.6.1.6. Bucinador (Figura 14): este por sua vez, é um músculo de expressão facial que auxilia na mastigação, mantendo o alimento dentro da cavidade oral “empurrando-o” (Mohanty et al., 2025).

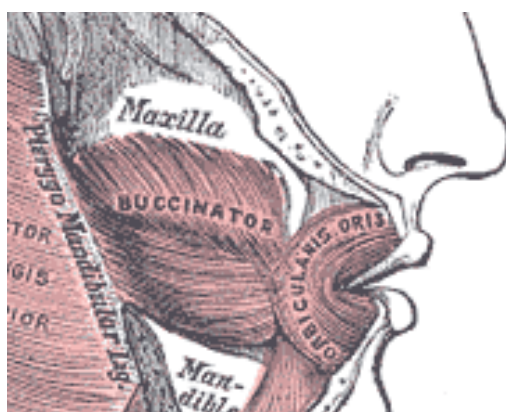


Figura 14. Músculo Bucinador. (Adaptado de Gray, 1918). Em domínio público.

2.6.2. Fisiologia da SMM

A SMM é uma característica importante que influencia a mastigação, fala, deglutição e a percepção de dor. A compreensão dos mecanismos que regulam essa sensibilidade é essencial para abordar condições dolorosas como as DTM.

Os músculos mastigatórios apresentam uma rica inervação por fibras sensoriais, predominantemente dos tipos A e C. As fibras A são responsáveis pela condução rápida de estímulos, enquanto as fibras C conduzem estímulos de forma mais lenta e estão associadas à dor crônica.

Hovhannisyan et al. (2023) afirmam que estudos demonstram que os músculos masséter, temporal e pterigoide lateral apresentam uma alta proporção de fibras A, com o pterigoide lateral a exibir a maior proporção de fibras C.

A ativação dos recetores adrenérgicos, nomeadamente os α e β , desempenha igualmente um papel crucial na modulação da SMM. A activação dos receptores α adrenérgicos pode aumentar a sensibilidade à dor, enquanto a activação dos receptores β_2 adrenérgicos tende a diminuir a sensibilidade mecânica das fibras aferentes dos músculos mastigatórios (Benbow, Ekbatan e Cairns, 2020).

Adicionalmente, a SMM pode ser modulada por reflexos mastigatórios, que são ajustados durante o processo de mastigação, de modo a garantir movimentos suaves e

coordenados. Estes reflexos são influenciados por mecanorreceptores periodontais e fusos musculares, que contribuem para a regulação da actividade muscular em resposta a estímulos mecânicos (Grigoriadis, Kumar, Åberg, & Trulsson, 2019).

2.6.3. Avaliação da SMM

A avaliação da SMM pode ser realizada através de métodos manuais, eletromiografia de superfície (sEMG), testes sensoriais quantitativos (QST) e elastografia.

A palpação manual, que consiste na aplicação de pressão digital sobre os músculos, como o masséter e o temporal, permite identificar a dor e a SMM. O recurso a palpômetros e feedback visual pode otimizar a precisão desta técnica (Iwata et al., 2024).

A sEMG (Figura 15) consiste na aplicação de eletrodos na pele sobre os músculos mastigatórios para registar a atividade elétrica durante tarefas, repouso, oclusão intercuspidal e contracção máxima voluntária. Esta técnica é útil para avaliar a função muscular e identificar disfunções (Szyszka-Sommerfeld et al., 2023).

Os QST quantificam a função sensorial e a regulação da dor através de parâmetros como limiares de deteção e dor mecânica, razão de wind-up e limiar de dor à pressão (Costa et al., 2018).

A elastografia por onda de cisalhamento avalia a rigidez dos músculos mastigatórios, permitindo identificar alterações associadas à dor miofascial (Chen et al., 2023).

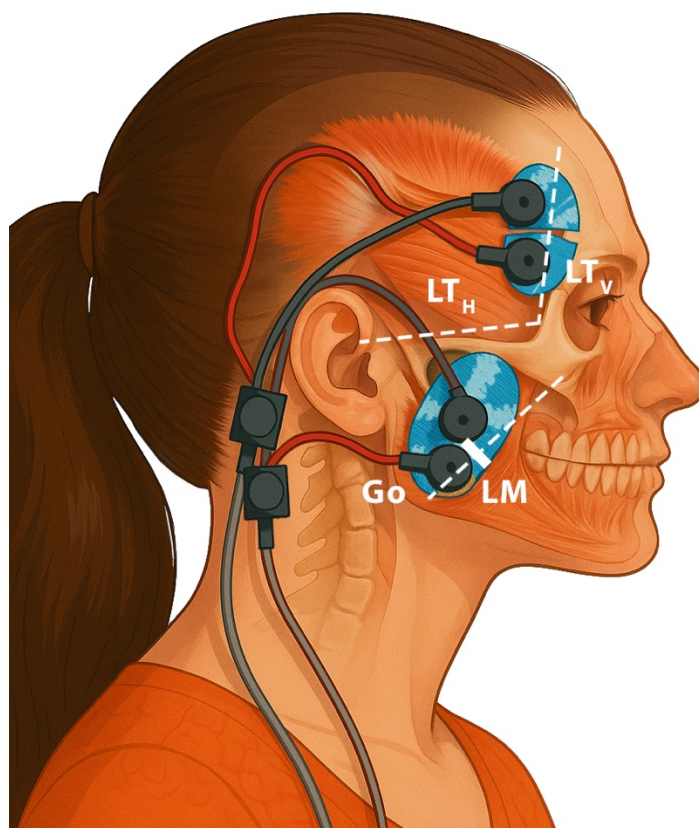


Figura 15. “Ilustração esquemática baseada em fotografia clínica e tomografia computadorizada de feixe cônico, representando o complexo craniofacial na vista lateral. As linhas de referência (LTV: Linha vertical do músculo temporal anterior; LTH: (Linha horizontal do músculo temporal anterior e LM: Linha do masseter) são utilizadas para posicionar os eléctrodos de superfície nos músculos masseter superficial e temporal anterior. A linha branca contínua grossa representa o ponto localizado a 40% do comprimento da LM, a partir do ponto goniaco. Observar a direção das fibras musculares e a área do tendão do músculo masseter superficial” (Feita e cedida gentilmente por João Piecho e Inspirada em Paes-Souza et al., 2023).

2.6.4. SMM associada aos AT

A SMM pode ser originada por diversos fatores, designadamente condições como a DTM, o bruxismo, o stress e a ansiedade. A utilização de AT pode ter um impacto na SMM.

As DTM constituem uma etiologia frequente da dor nos músculos mastigatórios, podendo resultar de disfunções articulares, problemas musculares ou de uma combinação destes fatores (Nickel et al., 2022). O stress psicológico por sua vez, pode potencializar a SMM, através da ativação dos recetores adrenérgicos α , que sensibilizam os nociceptores musculares (Benbow, Ekbatan e Cairns, 2020).

Por outro lado, Nickel et al. (2022) afirma que disfunções neuromusculares podem levar a alterações na carga motora dos músculos da mandíbula e no processamento sensorial o que pode contribuir para a dor crônica associada às DTMs.

Em termos ortodônticos, a ação de forças aplicadas na movimentação dentária pode ter um impacto direto na atividade muscular mastigatória e na articulação temporomandibular (ATM). Estudos demonstram que essas alterações podem resultar num aumento transitório da atividade muscular, sensibilidade e até desconforto em alguns pacientes. A adaptação ao uso dos AT é progressiva, contudo, fatores como a espessura, a posição da mandíbula e comportamentos orais parafuncionais podem afetar a intensidade e duração desses efeitos (Paes-Souza et al., 2020; Lou et al., 2021; Lekavičiūtė et al., 2024).

2.6.4.1. Força Exercida nos Músculos e na ATM

A força ortodôntica aplicada através de AT não se limita aos dentes, estendendo-se aos músculos mastigatórios e à ATM. Estudos com base em eletromiografia (EMG) comprovam um aumento substancial da atividade do músculo masséter durante a fase inicial de utilização dos AT, particularmente durante a contração voluntária máxima. Este efeito pode ser justificado pela resposta neuromuscular ao novo estímulo mecânico e pelo aumento de atividades parafuncionais, como o apertamento dos dentes ao longo do dia (Lou et al., 2021; Tran et al., 2020).

De forma análoga, Lekavičiūtė et al. (2024), numa revisão sistemática e meta-análise para avaliar o impacto do tratamento com AT na atividade dos músculos mastigatórios, utilizando sEMG detetaram um aumento inicial substancial na atividade do músculo masséter durante apertamento máximo, seguido de redução ao longo do tempo, enquanto no apertamento submáximo houve uma diminuição consistente.

Outro fator a ter em consideração é o impacto do tratamento ortodôntico na distribuição da força oclusal e no equilíbrio da musculatura mastigatória. Tepedino et al. (2023) realizaram um estudo de coorte para analisar os efeitos a curto prazo dos AT na atividade dos músculos mastigatórios e nos contatos oclusais, incluindo 26 mulheres adultas. Utilizando o dispositivo T-Scan II, os pesquisadores identificaram que os AT

podem alterar temporariamente a posição do centro de força oclusal no plano sagital, mas não no plano transversal, sugerindo que os AT influenciam a dimensão vertical e a distribuição dos contatos oclusais. Levando assim a uma redistribuição do esforço mastigatório e a mudanças na coordenação neuromuscular. Este fenômeno pode contribuir para um período inicial de desconforto e adaptação da musculatura envolvida.

Duarte et al. (2022) realizaram uma revisão de 15 estudos onde avaliaram o impacto da instalação e ativação de diferentes AO na mastigação e constataram que, os resultados indicaram que a força de mordida e o desempenho mastigatório diminuem significativamente nas primeiras 24 a 48 horas após a instalação dos AO. Esta observação suscita a hipótese de que a modificação da oclusão e a necessidade de adaptação neuromuscular podem afetar a dinâmica funcional da musculatura mastigatória independentemente da aparatologia utilizada.

Além, a periodicidade da substituição dos AT, habitualmente efetuada a cada 7-14 dias, pode prolongar o período de SMM, uma vez que os músculos necessitam de se readaptar a cada novo AT. A cada substituição corresponde uma nova configuração de forças e ajustes oclusais, o que pode reiniciar o ciclo de adaptação muscular.

2.6.4.2. Espessura e Posição dos AT:

A espessura e o ajuste dos AT podem produzir uma alteração na posição da mandíbula e na distribuição das forças mastigatórias, com uma consequente modificação temporária da dimensão vertical da oclusão. Estudos demonstram que tais alterações podem resultar num aumento transitório da atividade muscular dos músculos mastigatórios, particularmente durante as primeiras semanas de uso (Lou et al., 2021; Lekavičiūtė et al., 2024).

Estudos demonstram que a espessura dos AT influenciou a SMM, com AT mais espessos (0,75 mm) causando mais desconforto do que os mais finos (0,5 mm). (Duarte et al., 2022).

Adicionalmente, Wang et al. (2024) realizaram uma análise de elementos finitos para avaliar os efeitos biomecânicos dos movimentos mandibulares e das compensações

de torque durante o avanço mandibular com AT. Os autores concluíram que a magnitude do avanço mandibular deve ser controlada, uma vez que deslocamentos excessivos podem gerar um aumento do estresse no ligamento periodontal posterior e uma inclinação labial excessiva dos dentes anteriores, o que pode impactar indiretamente a atividade dos músculos mastigatórios.

2.6.4.3. Comportamentos Orais:

O impacto dos AT na atividade muscular mastigatória não se deve apenas às forças mecânicas aplicadas, mas também a fatores de natureza comportamental e psicológica. Comportamentos como o apertamento e o ranger dos dentes são amplamente relatados por pacientes em tratamento ortodôntico e têm o potencial de aumentar SMM e a dor (Tran et al., 2020).

Pittar et al. (2023) salientaram que os indivíduos com hábitos parafuncionais mais pronunciados experienciam um maior desconforto muscular, o que sugere que esses comportamentos intensificam a resposta muscular ao uso dos AT. Adicionalmente, a literatura científica destaca que a ansiedade e o stress podem exercer um papel determinante na modulação da dor e da SMM.

Conforme observado por Lou et al. (2021) e Tran et al. (2020), indivíduos com níveis mais elevados de ansiedade exibem maior atividade muscular e SMM ao uso dos AT, o que reforça a interação entre fatores psicológicos e a resposta muscular ao tratamento ortodôntico.

2.7. Efeito dos AT a longo prazo na SMM e na dor ortodôntica

A SMM e a dor ortodôntica são dois aspectos fundamentais a considerar no uso de AT, sobretudo no que diz respeito aos seus efeitos a longo prazo. Embora a SMM possa estar presente nas primeiras semanas de utilização dos AT, a sua prevalência a longo prazo é geralmente baixa. Da mesma forma, a dor ortodôntica tende a atingir um pico inicial, seguido de uma redução progressiva ao longo do tratamento.

Tran et al. (2020) observaram que a SMM foi leve e clinicamente irrelevante durante o uso de AT, sendo mais pronunciada com alinhadores passivos do que com alinhadores ativos. No entanto, os sintomas diminuíram significativamente após quatro semanas de utilização contínua. Da mesma forma, Lou et al. (2021) constataram um aumento transitório na atividade eletromiográfica do músculo masséter durante as primeiras duas semanas de utilização dos AT, especialmente com alinhadores passivos e o primeiro alinhador ativo, seguido de uma normalização para níveis próximos ao basal.

Pittar et al. (2023) relataram que o uso de alinhadores passivos estava associado a uma diminuição na amplitude dos episódios de contração muscular, embora o desconforto oclusal tenha aumentado e se mantido elevado após a inserção dos AT. Apesar disso, a adaptação muscular parece ocorrer de forma gradual, o que reforça a baixa prevalência de SMM a longo prazo entre os utilizadores AT.

No que diz respeito à dor ortodôntica, Cengiz e Goymen (2025) demonstraram que esta atinge o seu pico no segundo dia após a inserção dos AT, diminuindo progressivamente com o tempo. Ali et al. (2023) destacaram um padrão temporal semelhante, no qual tanto a dor como os marcadores de stress atingiram os seus níveis mais elevados nas primeiras 24 horas, reduzindo-se significativamente ao longo de 30 dias. Estes achados são corroborados por Gao et al. (2024), que verificaram que a dor ortodôntica diminui progressivamente após o dia de instalação dos AT.

Deste modo, a literatura sugere que tanto a SMM como a dor ortodôntica associada ao uso de AT são fenómenos temporários, mais evidentes nas primeiras semanas de tratamento, mas com uma tendência clara para a redução ao longo do tempo. Essa adaptação progressiva pode ser um fator relevante na orientação dos pacientes, ajudando-os a compreender e gerir as alterações iniciais na SMM e na dor durante o tratamento ortodôntico.

2.8. Impacto da SMM e da dor ortodôntica para o paciente

A SMM e a dor ortodôntica são fatores que podem afectar de forma significativa a qualidade de vida dos pacientes em tratamento ortodôntico, interferindo no desempenho

mastigatório e no bem-estar geral. Ferreira et al. (2019) afirmam que essas condições podem causar limitações funcionais, como dificuldades na mastigação de alimentos com diferentes texturas e aumento da frequência mastigatória, o que pode comprometer a alimentação e gerar desconforto no dia a dia.

Durante o tratamento ortodôntico, a aplicação de forças sobre os dentes pode provocar alterações temporárias na excitabilidade dos reflexos motores orofaciais, como o reflexo de abertura da mandíbula, desencadeando dor e SMM (Sasaki et al., 2017). Essas mudanças impactam a função mastigatória, reduzindo a eficiência da mastigação e a força de mordida, sobretudo nos primeiros dias após a ativação dos AO (Gameiro et al., 2015). Como consequência, essa redução pode afetar a ingestão alimentar e, indiretamente, influenciar a nutrição e a saúde geral do paciente.

Pacientes com condições crônicas, como a DTM, podem enfrentar dificuldades adicionais, incluindo redução da força da língua e comprometimento das funções mastigatórias e de deglutição, uma vez que estas estão diretamente relacionadas ao estado funcional dos músculos orofaciais (Marim, Machado & Trawitzki, 2019). Além disso, o tratamento ortodôntico pode induzir alterações na neuroplasticidade do controle motor cortical dos músculos mastigatórios, como o masséter, influenciando a resposta adaptativa dos pacientes às mudanças no ambiente oral (Liu et al., 2023).

No caso dos AT, a utilização inadequada por menos de 18 horas diárias, pode prolongar significativamente a duração do tratamento e comprometer os resultados finais, o que pode resultar numa correção insatisfatória da má oclusão e aumentar a necessidade de intervenções adicionais no futuro. (Timm et al., 2021). Assim, a gestão da dor e o controle da atividade muscular tornam-se essenciais para assegurar que o paciente siga adequadamente o tratamento e preserve o seu bem-estar.

Xie et al. (2024) investigaram a relação entre dor somática, desconforto mental e OHRQoL em pacientes ortodônticos, concluindo que aqueles que apresentavam sintomas de dor somática também registavam uma pior OHRQoL, mediada por ansiedade e depressão. Este achado reforça a necessidade de considerar não apenas a dor física, mas também o bem-estar psicológico dos pacientes durante as intervenções ortodônticas.

Estudos indicam que os AT geram menor impacto na OHRQoL em comparação com os AF (Gao et al., 2021; Antonio-Zancajo et al., 2020). Esse efeito positivo deve-se a um menor desconforto físico e a menos distúrbios alimentares associados ao uso dos AT (Kaklamanos et al., 2023). Além disso, a menor intensidade da dor e o menor impacto na qualidade de vida contribuem para uma maior adesão ao tratamento com AT, uma vez que os pacientes tendem a manter o uso devido ao maior conforto e conveniência proporcionados por esse tipo de aparelho (Pereira et al., 2020).

Dessa forma, tanto a SMM quanto a dor ortodôntica influenciam a experiência do paciente durante o tratamento, afetando não apenas a função mastigatória, mas também a adesão ao protocolo ortodôntico. No entanto, os AT parecem oferecer uma alternativa mais confortável em comparação com os AF reduzindo o impacto negativo dessas sensações e favorecendo o sucesso do tratamento.

2.9. Comparação entre AT e AF

A SMM e a dor ortodôntica variam entre os pacientes submetidos a tratamentos com AT e AF, sendo, de um modo geral, menos intensas nos primeiros.

White et al. (2017) observaram que os pacientes com AF relataram maior desconforto, especialmente durante a primeira semana de tratamento e após os ajustes mensais. De forma geral, a literatura científica sugere que os AF tendem a causar mais dor e desconforto muscular mastigatório, sobretudo nos primeiros dias de tratamento. Vários fatores, como a frequência de ajustes, o histórico de tratamento e os hábitos orais, influenciam a percepção da dor. Pacientes com histórico de cirurgias ou anomalias craniofaciais, por exemplo, apresentam maior sensibilidade com AF (Meazzini et al., 2020). Adicionalmente, o bruxismo e níveis elevados de stress podem agravar a dor muscular, especialmente em pacientes que utilizam alinhadores passivos (Tran et al., 2020).

Por outro lado, Duarte et al. (2022) observaram que pacientes que utilizavam AT relataram menos dificuldades mastigatórias em comparação com outros aparelhos. A atividade muscular, embora temporariamente afetada, recuperou-se rapidamente durante

o tratamento com AT. Estes resultados reforçam a ideia de que os AT causam menor SMM do que os AF, uma tendência que parece ser consistente na literatura.

Gao et al. (2021), White et al. (2017) e Chan et al. (2024) também notaram que a dor e o uso de analgésicos foram consideravelmente mais altos no grupo de pacientes com AF, especialmente nos primeiros dias após a ativação ou ajustes ortodônticos, como a substituição de arcos. O que sugere que, o desconforto gerado por esses dispositivos é mais intenso e menos tolerável pelos pacientes (Figura 16).

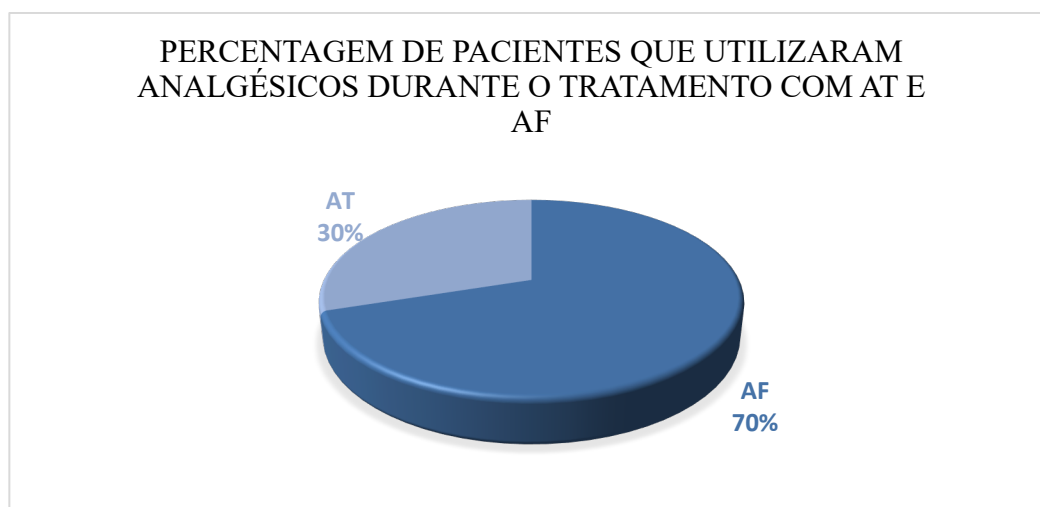


Figura 16. Percentagem de Pacientes que Utilizaram Analgésicos Durante o Tratamento com AT e AF. Com base nos estudos analisados, White et al. (2017), Gao et al. (2021) e Chan et al. (2024) indicam que aproximadamente 70% dos pacientes com AF recorreram a analgésicos nos primeiros dias de tratamento, enquanto apenas 30% dos pacientes com AT relataram a necessidade de analgésicos. (Elaborado pelo Autor).

Embora a dor associada aos tratamentos ortodônticos possa afetar a OHRQoL, o impacto foi consideravelmente menor em pacientes que utilizaram AT, indicando que estes aparelhos são uma opção mais confortável.

Meazzini et al. (2020) também confirmam que o impacto dos AT na qualidade de vida é inferior ao de outros AO. Em concordância, Antonio-Zancajo et al. (2020) relatam que os pacientes que usaram AT apresentaram níveis de dor mais baixos em comparação com os que usaram brackets convencionais ou de baixo atrito, com um impacto também mais reduzido na OHRQoL.

Os dados sugerem que, em comparação com os AF, os AT não só causam menos dor, mas também promovem um melhor bem-estar geral, afetando menos negativamente a vida diária dos pacientes. Assim, a literatura atual reforça a tendência de que os AT causam menor dor ortodôntica e menor desconforto muscular mastigatório, além de um impacto mais reduzido na OHRQoL, quando comparados aos AF.

2.10. Prevenção e Métodos de controle da SMM e dor ortodôntica associada aos AT

Com o intuito de prevenir e aliviar a SMM associada à utilização de AT, é aconselhável a adoção de diversas estratégias, tanto farmacológicas quanto não farmacológicas, podem ser adotadas. A combinação de abordagens pode ajudar a reduzir a intensidade da dor e a sensação de desconforto muscular, melhorando a adesão ao tratamento e o bem-estar do paciente.

No que diz respeito à SMM, uma das estratégias eficazes é a introdução gradual dos AT, o que facilita a adaptação dos músculos mastigatórios, uma vez que a atividade muscular tende a estabilizar após duas semanas de uso contínuo (Lou et al., 2021). A escolha de AT com a espessura adequada também pode reduzir a força excessiva aplicada aos dentes, minimizando o desconforto, visto que AT mais finos exercem uma pressão menor. Além disso, técnicas de relaxamento muscular, como massagem, aplicação de calor e exercícios de alongamento, podem ser úteis para aliviar a tensão muscular (Tran et al., 2020).

Caso a dor seja significativa, a utilização de analgésicos de venda livre, como o ibuprofeno, pode ser uma opção eficaz para reduzir o desconforto. O acompanhamento contínuo da resposta muscular e a adaptação do tratamento, como a alteração da espessura ou da frequência de troca dos AT, também são estratégias importantes para o controle da SMM (Lou et al., 2021).

Para a dor ortodôntica, diferentes abordagens farmacológicas e não farmacológicas têm mostrado eficácia. Entre os métodos farmacológicos, a utilização de acetaminofeno (paracetamol) tem se mostrado eficaz na redução da dor, especialmente em pacientes com altos níveis de ansiedade (Gao et al., 2024).

O uso de anti-inflamatórios não esteroides, como o ibuprofeno, pode proporcionar alívio imediato quando administrado antes da ativação dos AT (Monk et al., 2017).

Já entre os métodos não farmacológicos, a terapia com laser de baixa intensidade tem sido eficaz na redução da dor ortodôntica, com efeitos persistentes por até sete dias após o tratamento (Fleming et al., 2016).

Dispositivos vibratórios, apesar de terem evidências limitadas, também podem ser benéficos para alguns pacientes (Fleming et al., 2016). Além disso, a acupuntura tem demonstrado ser eficaz na redução da dor, especialmente após 48 horas de uso, com efeitos duradouros (Li et al., 2024).

Além das abordagens convencionais, a modificação de comportamentos orais, como evitar o ranger ou apertar os dentes, pode ser uma estratégia importante, pois esses comportamentos frequentemente exacerbam a SMM e a dor durante o uso dos AT (Tran et al.).

O monitoramento contínuo da dor e da ansiedade também é fundamental para ajustar o tratamento e melhorar o conforto do paciente, uma vez que esses sintomas tendem a diminuir após os primeiros dias de uso dos AT (Gao et al., 2024; Tran et al.).

A análise de biomarcadores, como os níveis de alfa amilase e cortisol na saliva, também tem mostrado que a dor e o stress associados ao tratamento com AT podem ser avaliados a partir dessas substâncias, fornecendo informações adicionais sobre a resposta fisiológica do paciente (Ali et al., 2023). A correlação entre a dor ortodôntica e esses biomarcadores sugere que a gestão do stress e da ansiedade desempenha um papel crucial no controle da dor percebida durante o tratamento.

Por fim, a combinação dessas estratégias – tanto farmacológicas quanto não farmacológicas, pode não só aliviar a SMM e a dor ortodôntica, mas também otimizar a adesão ao tratamento e maximizar o bem-estar do paciente. A implementação de abordagens personalizadas para cada caso é essencial para garantir a eficácia do tratamento ortodôntico com AT.

2.11. Análise Crítica das Limitações dos Estudos Revistos

Embora os estudos revistos forneçam informações valiosas sobre o impacto dos AT na SMM e na dor ortodôntica, é fundamental reconhecer as suas limitações metodológicas.

Muitos dos estudos analisados apresentam tamanhos de amostra reduzidos, o que pode comprometer a generalização dos resultados. Por exemplo, Lou et al. (2021) incluiu apenas 17 participantes, enquanto Tran et al. (2020) trabalhou com uma amostra de 27 indivíduos. Esses números limitados reduzem a representatividade dos achados para a população em geral e podem influenciar a reprodutibilidade dos resultados.

Além disso, o período de acompanhamento curto é uma limitação recorrente. Estudos como Pittar et al. (2023) avaliaram os efeitos dos alinhadores em apenas nove dias, enquanto Duarte et al. (2022) analisaram os impactos por quatro semanas. Essa limitação impede uma compreensão aprofundada dos efeitos a longo prazo dos alinhadores transparentes na atividade muscular mastigatória e na dor ortodôntica.

Outra questão relevante é a variabilidade individual na percepção da dor e da sensibilidade muscular. Fatores como stress, ansiedade e hábitos parafuncionais, como bruxismo e apertamento dentário, podem afetar significativamente os resultados (Benbow, Ekbatan & Cairns, 2020; Xie et al., 2024). No entanto, muitos estudos não controlam adequadamente esses fatores, introduzindo vieses que podem influenciar as conclusões.

Além disso, algumas investigações focam-se em apenas um músculo específico, como o masséter (Lou et al., 2021), sem considerar outros músculos mastigatórios que também desempenham um papel fundamental no processo mastigatório. Essa abordagem limitada pode não refletir de forma abrangente as alterações neuromusculares associadas ao uso dos alinhadores.

Por fim, revisões sistemáticas como White et al. (2017) e meta-análises como Lekavičiūtė et al. (2024) podem apresentar heterogeneidade dos estudos incluídos, combinando metodologias diversas, o que pode comprometer a robustez das conclusões. Além disso, Gao et al. (2021) destacam que a diferença socioeconômica entre grupos de

pacientes pode introduzir um viés financeiro, uma vez que os alinhadores transparentes geralmente estão associados a um custo mais elevado.

Estas limitações evidenciam a necessidade de estudos futuros mais robustos, com amostras maiores, períodos de acompanhamento mais longos e melhor controlo de variáveis psicológicas e comportamentais. Apenas com investigações mais aprofundadas será possível compreender plenamente o impacto dos alinhadores transparentes na função mastigatória e na experiência do paciente.

3. CONCLUSÃO

Os alinhadores transparentes (AT) consolidaram-se como uma alternativa inovadora na ortodontia, proporcionando benefícios estéticos e funcionais superiores aos aparelhos fixos (AF). No entanto, além da eficiência no alinhamento dentário, o impacto dos AT na sensibilidade muscular mastigatória (SMM) e na dor ortodôntica tem sido alvo de crescente interesse científico.

A dor ortodôntica associada ao uso de AT resulta de uma resposta inflamatória desencadeada pela movimentação dentária e compressão do ligamento periodontal. A literatura demonstra que essa dor atinge seu pico entre 24 e 48 horas após a inserção do alinhador, reduzindo-se progressivamente. Esse padrão difere dos AF, nos quais a dor tende a ser mais intensa e persistente, devido ao caráter contínuo da força aplicada pelas ligaduras metálicas. A modulação dessa dor pode ser influenciada por fatores como a espessura do alinhador, os hábitos orais do paciente e a presença de comorbidades, como bruxismo ou disfunção temporomandibular.

A SMM, por sua vez, decorre da adaptação neuromuscular ao uso dos AT. Inicialmente, os músculos mastigatórios podem apresentar alterações na sua atividade eletromiográfica devido à redistribuição das forças mastigatórias e à modificação temporária da oclusão. Estudos apontam que essa adaptação ocorre de forma gradual, sem comprometer significativamente a função mastigatória. No entanto, variações na SMM podem ser observadas de acordo com a espessura do AT e a biomecânica do tratamento.

Apesar das vantagens relatadas, esta revisão identificou limitações importantes na literatura disponível. A maioria dos estudos analisados apresenta amostras reduzidas e períodos curtos de acompanhamento, dificultando a extrapolação dos achados para populações mais amplas. Além disso, fatores psicológicos, como stresse e ansiedade, muitas vezes não são devidamente controlados, o que pode influenciar a percepção da dor e da SMM pelos pacientes.

Outro ponto crítico é a heterogeneidade metodológica dos estudos disponíveis. Diferenças nos protocolos de pesquisa, na seleção de participantes e nos métodos de avaliação da dor e da SMM podem comprometer a comparabilidade dos resultados.

Assim, torna-se evidente a necessidade de estudos futuros mais robustos, com amostras maiores, seguimento prolongado e padronização dos critérios metodológicos.

Além disso, novas abordagens terapêuticas para o controle da dor ortodôntica e da SMM devem ser investigadas. Estratégias farmacológicas, como o uso de anti-inflamatórios não esteroides, e intervenções não farmacológicas, como terapia com laser de baixa intensidade e modificação de hábitos parafuncionais, têm demonstrado eficácia na redução desses sintomas. A individualização do tratamento, considerando as particularidades de cada paciente, pode contribuir para uma melhor adesão ao uso dos AT e para a otimização dos resultados ortodônticos.

Em suma, os AT apresentam no que se refere ao conforto do paciente e à menor intensidade da dor ortodôntica e da SMM melhores resultados do que AF. No entanto, para que esses dispositivos sejam plenamente compreendidos e utilizados da melhor forma, é essencial que mais pesquisas sejam conduzidas, com foco na análise longitudinal dos seus efeitos e no desenvolvimento de estratégias que minimizem os impactos negativos sobre a função mastigatória e a experiência do paciente.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, L. (2018). Orthodontics in children and impact of malocclusion on adolescents' quality of life. *Pediatric Clinics of North America*, 65(5), 995–1006. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2018.05.008>

Agrawal, A., Kumar, V., & Pillai, A. (2023). Contribution of masticatory muscle pattern to craniofacial morphology in normal adults: A cross-sectional MRI study. *National Journal of Maxillofacial Surgery*, 14, 213–220. https://doi.org/10.4103/njms.njms_473_21

Ahmad, W., Jiang, F., Xiong, J., & Xia, Z. (2023). The mechanical effect of geometric design of attachments in invisible orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 164(2), 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.11.019>

Akita, K., Sakaguchi-Kuma, T., Fukino, K., & Ono, T. (2019). Masticatory muscles and branches of mandibular nerve: Positional relationships between various muscle bundles and their innervating branches. *Anatomical Record*, 302(4), 609–619. <https://doi.org/10.1002/ar.23973>

Ali, D., Abdal, H., & Alsaeed, M. (2023). Comparison of self-rated pain and salivary alpha-amylase and cortisol levels during early stages of fixed orthodontic and clear aligner therapy. *Acta Odontologica Scandinavica*, 81(8), 627–632. <https://doi.org/10.1080/00016357.2023.2236214>

AlMogbel, A., Alshawy, E. S., & Alhusainy, A. (2024). Efficacy of clear aligner therapy over conventional fixed appliances in controlling orthodontic movement: A systematic review. *Journal of orthodontic science*, 13, 23. https://doi.org/10.4103/jos.jos_176_23

American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. (2015). A century of influence: Part 1. Orthodontic pioneers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 147(5 Suppl), S155–S160. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.03.002>

Antonio-Zancajo, L., Montero, J., Albaladejo, A., Oteo-Calatayud, M. D., & Alvarado-Lorenzo, A. (2020). Pain and oral-health-related quality of life in orthodontic patients

during initial therapy with conventional, low-friction, and lingual brackets and aligners (Invisalign): A prospective clinical study. *Journal of Clinical Medicine*, 9(2), 515. <https://doi.org/10.3390/jcm9020515>

Bae, H., Lee, Y. H., Kim, S. B., Hu, K. S., & Kim, H. J. (2024). Ultrasonographic assessment of the lateral pterygoid muscle for BoNT-A injection. *Clinical Anatomy*. <https://doi.org/10.1002/ca.24220>

Baker, C. R. (1957). Calvin Suveril Case. *American Journal of Orthodontics*, 43(3), 210–218. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(57\)90068-4](https://doi.org/10.1016/0002-9416(57)90068-4)

Basit, H., Eovaldi, B., & Siccardi, M. (2019). Anatomy, head and neck, mastication muscles. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541027/>

Bhat, S. S., Revankar, A. V., & Naik, R. D. (2023). Human salivary concentrations of brain-derived neurotrophic factor correlate with subjective pain intensity associated with initial orthodontic therapy. *Scientific Reports*, 13(1), 1752. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28466-7>

Benbow, T., Ranjbar Ekbatan, M., & Cairns, B. E. (2020). $\alpha\pm 1$ adrenergic receptor activation has a dynamic effect on masticatory muscle afferent fibers. *Neuropharmacology*, 175, 108197. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2020.108197>

Cengiz, S. M., & Goymen, M. (2025). The effectiveness of orthodontic treatment with clear aligners in different thicknesses. *Scientific Reports*, 15(1), 3958. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86345-9>

Cenzato, N., Di Iasio, G., Carreras-Presas, C., Caprioglio, A., & Del Fabbro, M. (2024). Materials for clear aligners—a comprehensive exploration of characteristics and innovations: A scoping review. *Applied Sciences*, 14(15), 6533. <https://doi.org/10.3390/app14156533>

Chacko, A., Tikku, T., Khanna, R., Maurya, R. P., & Srivastava, K. (2018). Comparative assessment of the efficacy of closed helical loop and t-loop for space closure in lingual orthodontics—a finite element study. *Progress in Orthodontics*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s40510-018-0210-8>

Chan, V., Shroff, B., Kravitz, N. D., Carrico, C., Hawkins, D., Tran, P., & Lindauer, S. (2024). Orthodontic pain with fixed appliances and clear aligners: A 6-month comparison. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 166(5), 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.07.002>

Chen, Y. J., Lin, H. Y., Chu, C. A., Wu, W. T., Chen, L. R., Özçakar, L., & Chang, K. V. (2023). Assessing thickness and stiffness of superficial/deep masticatory muscles in orofacial pain: An ultrasound and shear wave elastography study. *Annals of Medicine*, 55(2), 2261116. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2261116>

Cheng, H., et al. (2022). Forces exerted by clear aligners: A systematic review. *Angle Orthodontist*, 92(1), 89-98.

Chenin, D. A., Trosien, A. H., Fong, P. F., Miller, R. A., & Lee, R. S. (2003). Orthodontic treatment with a series of removable appliances. *Journal of the American Dental Association*, 134, 1232-1239.

Chow, J., & Cioffi, I. (2018). Pain and orthodontic patient compliance: A clinical perspective. *Seminars in Orthodontics*, 24(2), 242-247.

Costa, R., Calheiros, F., Ballester, R., & Gonçalves, F. (2020). Effect of three different attachment designs in the extrusive forces generated by thermoplastic aligners in the maxillary central incisor. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 25, 46-53. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.25.3.046-053.oar>

Costa, Y. M., Ariji, Y., Ferreira, D. M. A. O., Bonjardim, L. R., Conti, P. C. R., Ariji, E., & Svensson, P. (2018). Muscle hardness and masticatory myofascial pain: Assessment and clinical relevance. *Journal of Oral Rehabilitation*, 45(8), 640–646. <https://doi.org/10.1111/joor.12644>

Duarte, L., Bezerra, A. P., Flores-Mir, C., De Luca Canto, G., Pereira, L. J., & Vega Gonçalves, T. M. S. (2022). Activation and installation of orthodontic appliances temporarily impairs mastication. *The Angle Orthodontist*, 92(2), 275–286. <https://doi.org/10.2319/061221-469.1>

Elshazly, T. M., Bourauel, C., Ismail, A., et al. (2024). Effect of material composition and thickness of orthodontic aligners on the transmission and distribution of forces: An in vitro study. *Clinical Oral Investigations*, 28(5), 258. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05662-x>

Euasobhon, P., Atisook, R., Bumrungratudom, K., Chatchawan, U., Boonsinsukh, R., & Puntumetakul, R. (2022). Reliability and responsivity of pain intensity scales in individuals with chronic pain. *Pain*, 163(12), e1184–e1191. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002692>

Ferreira, C. L. P., Sforza, C., Rusconi, F. M. E., Castelo, P. M., & Bommarito, S. (2019). Masticatory behaviour and chewing difficulties in young adults with temporomandibular disorders. *Journal of Oral Rehabilitation*, 46(6), 533–540. <https://doi.org/10.1111/joor.12779>

Fleming, P. S., Strydom, H., Katsaros, C., MacDonald, L., Curatolo, M., Fudalej, P., & Pandis, N. (2016). Non-pharmacological interventions for alleviating pain during orthodontic treatment. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12(12), CD010263. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010263.pub2>

Gameiro, G. H., Schultz, C., Trein, M. P., Mundstock, K. S., Weidlich, P., & Goularte, J. F. (2015). Association among pain, masticatory performance, and proinflammatory cytokines in crevicular fluid during orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 148(6), 967–973. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.05.029>

Gange, P. (2015). The evolution of bonding in orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 147(4 Suppl), S56–63. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.01.011>

Gao, M., Yan, X., Zhao, R., Shan, Y., Chen, Y., Jian, F., Long, H., & Lai, W. (2021). Comparison of pain perception, anxiety, and impacts on oral health-related quality of life between patients receiving clear aligners and fixed appliances during the initial stage of orthodontic treatment. *European Journal of Orthodontics*, 43(3), 353–359. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjaa037>

Gomez, J. P., Peña, F. M., Martínez, V., Giraldo, D. C., & Cardona, C. I. (2015). Initial force systems during bodily tooth movement with plastic aligners and composite attachments: A three-dimensional finite element analysis. *Angle Orthodontist*, 85(3), 454-460. <https://doi.org/10.2319/050714-330.1>

Gray, H. (1918). *Anatomy of the human body* (20th ed., W. H. Lewis, Ed.). Lea & Febiger. Retrieved March 2, 2025, from www.bartleby.com/107

Grigoriadis, A., Kumar, A., Åberg, M. K., & Trulsson, M. (2019). Effect of sudden deprivation of sensory inputs from the periodontium on mastication. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 1316. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01316>

Haouili, N., Kravitz, N. D., Vaid, N. R., Ferguson, D. J., & Makki, L. (2020). Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 158(3), 420–425. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.12.015>

Harandi, M. T., et al. (2023). Assessment of clear aligner accuracy of 2 clear aligner systems. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 164(6), 793-804.

Hennessy, J., & Al-Awadhi, E. A. (2016). Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *Journal of Orthodontics*, 43(1), 68–76. <https://doi.org/10.1179/1465313315Y.0000000004>

Hovhannisyan, A. H., Lindquist, K. A., Belugin, S., et al. (2023). Sensory innervation of masseter, temporal, and lateral pterygoid muscles in common marmosets. *Scientific Reports*, 13, 23062. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49882-9>

Iliadi, A., et al. (2019). The effect of material properties on the performance of orthodontic aligners. *Journal of Clinical Orthodontics*, 53(2), 87-95.

Iwata, Y., Nishimori, H., Iida, T., Masuda, M., Yoshida, K., Ishii, Y., Yamakawa, Y., Hayakawa, H., Svensson, P., & Komiyama, O. (2024). Effect of clinical experience and training with visual feedback on standardized palpation outcomes—Potential

implications for assessment of jaw muscle sensitivity. *Journal of Oral Rehabilitation*, 51(3), 601–610. <https://doi.org/10.1111/joor.13629>

Jäderberg, S., Feldmann, I., & Engström, C. (2011). Removable thermoplastic appliances as orthodontic retainers: A prospective study of different wear regimens. *European Journal of Orthodontics*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjr040>

Javed, A., Hussain, S., Roy, A., Kale, A., Jadhao, S., Pathak, A., & Patil, K. (2024). Recent progress in alleviating orthodontic discomfort: Mechanism and management—the state of evidence. *International Journal of Oral Health Dentistry*. <https://doi.org/10.18231/j.ijohd.2024.001>

Jedliński, M., Mazur, M., Greco, M., et al. (2023). Attachments for the orthodontic aligner treatment—State of the art: A comprehensive systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4481. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054481>

Ji, R., Chameesian, A., & Zhang, Y. (2016). Pain regulation by non-neuronal cells and inflammation. *Science*, 354, 572–577. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8924>

Jiang, T., et al. (2021). A cone-beam computed tomographic study evaluating the efficacy of incisor movement with clear aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 159(5), 635-643.

Jindal, P., Worcester, F., Siena, F., Forbes, C., Juneja, M., & Breedon, P. (2020). Mechanical behaviour of 3D printed vs thermoformed clear dental aligner materials under non-linear compressive loading using FEM. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 112, 104045. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104045>

Jokubauskas, L., & Baltrušaitytė, A. (2018). Efficacy of biofeedback therapy on sleep bruxism: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral Rehabilitation*, 45(6), 485–495. <https://doi.org/10.1111/joor.12628>

Kaklamanos, E., Makrygiannakis, M., & Athanasiou, A. (2023). Oral health-related quality of life throughout treatment with clear aligners in comparison to conventional

metal fixed orthodontic appliances: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3537.

Kaur, H., Khurelbaatar, T., Mah, J., Heo, G., Major, P. W., & Romanyk, D. L. (2023). Investigating the role of aligner material and tooth position on orthodontic aligner biomechanics. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 111(1), 194–202. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.35145>

Kaur, H., Truong, J., Heo, G., Mah, J. K., Major, P. W., & Romanyk, D. L. (2021). An in vitro evaluation of orthodontic aligner biomechanics around the maxillary arch. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 160(3), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.04.038>

Ke, Y., Zhu, Y., & Zhu, M. (2019). A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC oral health*, 19(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0695-z>

Keilig, L., et al. (2024). Treatment efficiency of maxillary and mandibular orovestibular tooth expansion and compression movements with the Invisalign® system in adolescents and adults. *Journal of Clinical Medicine*, 13(5), 1267.

Kesling, H. D. (1945). The philosophy of the tooth positioning appliance. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*, 31(6), 297–304. [https://doi.org/10.1016/0096-6347\(45\)90101-3](https://doi.org/10.1016/0096-6347(45)90101-3)

Lee, G., & Neumeister, M. (2020). Pain: Pathways and Physiology. *Clinics in Plastic Surgery*, 47(2), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2019.11.001>

Lekavičiūtė, R., Paldauskaitė, S., Stučinskaitė, S., & Trakinienė, G. (2024). The effect of clear aligner treatment on masticatory muscles (masseter, temporalis) activity in adults: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*, 46(4), cjae030. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjae030>

Levrini, L., Bocchieri, S., Mauceri, F., Saran, S., Carganico, A., Zecca, P. A., & Segù, M. (2023). Chewing efficiency test in subjects with clear aligners. *Dentistry Journal*, 11(3), 68. <https://doi.org/10.3390/dj11030068>

- Li, J., Li, S., Chen, H., Feng, J., Qiu, Y., & Li, L. (2024). The effect of physical interventions on pain control after orthodontic treatment: A systematic review and network meta-analysis. *PLOS ONE*, 19(2), e0297783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297783>
- Li, W., Wang, S., & Zhang, Y. (2015). The effectiveness of the Invisalign appliance in extraction cases using the ABO model grading system: A multi-center randomized controlled trial. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 8, 8276-8280.
- Linjawwi, A. I., & Abushal, A. M. (2022). Adaptational changes in clear aligner fit with time. *The Angle orthodontist*, 92(2), 220–225. <https://doi.org/10.2319/042421-330.1>
- Liu, L., Zhan, Q., Zhou, J., Kuang, Q., Yan, X., Zhang, X., Shan, Y., Li, X., Lai, W., & Long, H. (2021). Effectiveness of an anterior mini-screw in achieving incisor intrusion and palatal root torque for anterior retraction with clear aligners. *The Angle Orthodontist*, 91(6), 794–803. <https://doi.org/10.2319/120420-982.1>
- Liu, P., Wu, G., Liu, J., Jiao, D., & Guo, J. (2017). Assessment of oral parafunctional behaviors and electromyographic activities of the masticatory muscles in young female patients with orthodontic Invisalign treatment. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 10(12), 15323-15328.
- Liu, X., Wang, W., Gao, J., et al. (2023). Actual contribution ratio of maxillary and mandibular molars for total molar relationship correction during maxillary molar sequential distalization using clear aligners with class II elastics: A finite element analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 164(4), e106–e120. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2023.07.007>
- Long, H., Wang, Y., Jian, F., Liao, L., Yang, X., & Lai, W. (2016). Current advances in orthodontic pain. *International Journal of Oral Science*, 8, 67–75. <https://doi.org/10.1038/ijos.2016.24>
- Longridge, N., Clarke, P., Aftab, R., & Ali, T. (2019). Orthodontics. *Oxford Assess and Progress: Clinical Dentistry*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198825173.003.0014>

Lou, T., & Mair, A. (2020). An historical overview of clear aligner therapy: The evolution of clear aligners. *Oral Health Group, 14*.

Lou, T., Tran, J., Castroflorio, T., Tassi, A., & Cioffi, I. (2021). Evaluation of masticatory muscle response to clear aligner therapy using ambulatory electromyographic recording. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 159*(1), e25–e33. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.08.012>

Lyu, X., Cao, X., Yan, J., Zeng, R., & Tan, J. (2023). Biomechanical effects of clear aligners with different thicknesses and gingival-margin morphology for appliance design optimization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 164*(2), 239-252. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.12.014>

Marim, G. C., Machado, B. C. Z., Trawitzki, L. V. V., & de Felício, C. M. (2019). Tongue strength, masticatory and swallowing dysfunction in patients with chronic temporomandibular disorder. *Physiology & Behavior, 210*, 112616. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112616>

Martina, S., Rongo, R., Bucci, R., Razonale, A., Valletta, R., & D'antò, V. (2019). In vitro cytotoxicity of different thermoplastic materials for clear aligners. *The Angle Orthodontist*. <https://doi.org/10.2319/091718-674.1>

Meazzini, M. C., Tortora, C., Mazzoleni, F., & Autelitano, L. (2020). Comparison of pain perception in patients affected by cleft and craniofacial anomalies treated with traditional fixed appliances or Invisalign. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal, 57*(1), 35–42. <https://doi.org/10.1177/1055665619861780>

Mohanty, A. J., van Rooij, J. A. F., Miseré, R. M. L., Lataster, A., Rozen, S. M., van der Hulst, R. R. W. J., & Tuinder, S. M. H. (2025). Anatomy and histology of sensorimotor connections between the facial and trigeminal nerve in the buccinator muscle. *Head & Neck, 47*(3), 928–935. <https://doi.org/10.1002/hed.27990>

Monk, A. B., Harrison, J. E., Worthington, H. V., & Teague, A. (2017). Pharmacological interventions for pain relief during orthodontic treatment. The Cochrane Database of Systematic Reviews, 11(11), CD003976. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003976.pub2>

- Nanda, R. (2005). *Biomechanics and esthetic strategies in clinical orthodontics*. Elsevier Health Sciences.
- Nickel, J. C., Gonzalez, Y. M., Wu, Y., Liu, Y., Liu, H., & Iwasaki, L. R. (2022). Chronic pain-related jaw muscle motor load and sensory processing. *Journal of Dental Research*, 101(10), 1165–1171. <https://doi.org/10.1177/00220345221099885>
- Niu, C., Li, D., Zhang, Y., Wang, Y., Ning, S., Zhao, G., Ye, Z., Kong, Y., & Yang, D. (2024). Prospects for 3D-printing of clear aligners—a narrative review. *Frontiers in Materials*. <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1438660>
- Nobel Prizes and Laureates. (2025). Wilhelm Conrad Roentgen – Facts. *The Nobel Prize*. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1901/. Accessed January 27, 2025.
- Nucera, R., Dolci, C., Bellocchio, A. M., et al. (2022). Effects of composite attachments on orthodontic clear aligners therapy: A systematic review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(2), 533. <https://doi.org/10.3390/ma15020533>
- Nwonu, C. (2022). Neuronal cell mechanisms of pain. *West African Journal of Medicine*, 39(10), 1075–1983.
- Paes-Souza, S. A., Garcia, M. A. C., Souza, V. H., Morais, L. S., Nojima, L. I., & Nojima, M. C. G. (2023). Response of masticatory muscles to treatment with orthodontic aligners: A preliminary prospective longitudinal study. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 28(1), e232198.
- Pereira, D., Machado, V., Botelho, J., Proença, L., Mendes, J., & Delgado, A. (2020). Comparison of pain perception between clear aligners and fixed appliances: A systematic review and meta-analysis. *Applied Sciences*, 10(12), 4276. <https://doi.org/10.3390/app10124276>
- Phan, X., & Ling, P. H. (2007). Clinical limitations of Invisalign. *Journal (Canadian Dental Association)*, 73(3), 263–266.

Pittar, N., Firth, F., Bennani, H., & Farella, M. (2023). The effect of passive clear aligners on masticatory muscle activity in adults with different levels of oral parafunction. *Journal of Oral Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1111/joor.13575>

Ponitz, R. J. (1971). Invisible retainers. *American Journal of Orthodontics*, 59(3), 266–272. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(71\)90099-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(71)90099-6)

Ravuri, P., Kubavat, A., Rathi, V., John, L., Varma, P., Mujoo, S., & Somaraj, V. (2024). Effectiveness and biocompatibility of tooth aligners made from polyethylene terephthalate glycol (PeT-G), polypropylene (PP), polycarbonate (PC), thermoplastic polyurethanes (TPUs), and ethylene-vinyl acetate (EVA): A systematic review. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 16, S93–S96. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_883_23

Rossini, G., et al. (2015). Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *The Angle Orthodontist*, 85(5), 881–889.

Sasaki, A., Hasegawa, N., Adachi, K., Sakagami, H., & Suda, N. (2017). Orthodontic treatment-induced temporal alteration of jaw-opening reflex excitability. *Journal of Neurophysiology*, 118(4), 2289–2295. <https://doi.org/10.1152/jn.00379.2017>

Sheridan, J. J., LeDoux, W., & McMinn, R. (1993). Essix retainers: Fabrication and supervision for permanent retention. *Journal of Clinical Orthodontics*, 27, 37–44.

Shimoji, K., & Kurokawa, S. (2020). Anatomical physiology of pain. In *Pain Management* (pp. 21–42). https://doi.org/10.1007/978-981-15-2933-7_3

Sivaraj, A. (2013). Essentials of orthodontics (Ilustrada ed.). Jaypee Brothers Medical Publishers. https://doi.org/10.5005/jp/books/12062_7

South African Dental Association. (2020). Edward Angle (1855 to 1930) ... the father of modern orthodontics. *South African Dental Journal*. <https://doi.org/10.17159/2519-0105/2020/v75no7a11249>

Szyszkas-Sommerfeld, L., Sycińska-Dziarnowska, M., Spagnuolo, G., & Woźniak, K. (2023). Surface electromyography in the assessment of masticatory muscle activity in

patients with pain-related temporomandibular disorders: A systematic review. *Frontiers in Neurology*, 14, 1184036. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1184036>

Tepedino, M., Colasante, P., Staderini, E., Masedu, F., & Ciavarella, D. (2023). Short-term effect of orthodontic clear aligners on muscular activity and occlusal contacts: A cohort study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 164(1), 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.10.025>

Timm, L. H., Farrag, G., Baxmann, M., & Schwendicke, F. (2021). Factors influencing patient compliance during clear aligner therapy: A retrospective cohort study. *Journal of Clinical Medicine*, 10(14), 3103. <https://doi.org/10.3390/jcm10143103>

Tran, J., Lou, T., Nebiolo, B., Castroflorio, T., Tassi, A., & Cioffi, I. (2020). Impact of clear aligner therapy on tooth pain and masticatory muscle soreness. *Journal of Oral Rehabilitation*, 47(12), 1521–1529. <https://doi.org/10.1111/joor.13088>

Traversa, F., Chavanne, P., & Mah, J. (2024). Biomechanics of clear aligner therapy: Assessing the influence of tooth position and flat trimline height in translational movements. *Orthodontics & Craniofacial Research*. <https://doi.org/10.1111/ocr.12796>

Upadhyay, M., & Arqub, S. A. (2022). Biomechanics of clear aligners: Hidden truths & first principles. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 11(1), 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2021.11.002>

Wang, Y., Daraqel, B., Wang, Y., Yang, D., Dong, Y., Hu, Y., & Zheng, L. (2024). Biomechanical effects of different mandibular movements and torque compensations during mandibular advancement with clear aligners: A finite element analysis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1496517. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1496517>

Weir, T. (2017). Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian Dental Journal*, 62(Suppl 1), 58–62. <https://doi.org/10.1111/adj.12480>

White, D. W., Julien, K. C., Jacob, H., Campbell, P. M., & Buschang, P. H. (2017). Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized,

prospective trial. *The Angle Orthodontist*, 87(6), 801–808.
<https://doi.org/10.2319/091416-687.1>

Xie, Y., Zheng, X., Li, Y., He, J., Wang, P., & Han, X. (2024). The effect of somatic pain and comorbid mental distress on oral health-related quality of life in orthodontic patients. *Clinical Oral Investigations*, 28(5), 296. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05666-7>

Yang, Y., et al. (2023). The effects of aligner anchorage preparation on mandibular first molars during premolar-extraction space closure. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 164(2), 226–238.

Zhan, Y., Yang, M., Bai, S., Zhang, S., Huang, Y., Gong, F., & Nong, X. (2023). Effects of orthodontic treatment on masticatory muscles activity: a meta-analysis. *Annals of human biology*, 50(1), 465–471. <https://doi.org/10.1080/03014460.2023.2271840>

