



FACULDADE
ILAPEO

Daniela Magalhães de Brito Kalluf

Alinhadores Ortodônticos: a Ortodontia do século XXI

CURITIBA
2023

Daniela Magalhães de Brito Kalluf

Alinhadores Ortodônticos: a Ortodontia do século XXI

Tese apresentada a Faculdade ILAPEO como parte dos requisitos para obtenção de título de Doutor em Odontologia, área de concentração Ortodontia

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia M. Melo Toyofuku

Co-orientador: Prof. Dr. José Mauro Granjeiro

CURITIBA
2023

Daniela Magalhães de Brito Kalluf

Alinhadores Ortodônticos: A Ortodontia do século XXI

Presidente da Banca Orientadora: Profª. Dra. Ana Cláudia Moreira Melo Toyofuku

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Paula Oltramari
Prof. Dr. Vinícius Laranjeira
Prof. Dr. José Mauro Granjeiro
Prof. Dr. Roberto Hideo Shimizu

Aprovada em: 27/07/2023

Dedicatória

Dedico esta tese e toda a minha jornada ao meu marido Gabriel, pelo amor, pela presença constante, incentivo e paciência, me fazendo acreditar que posso mais do que imagino.

Dedico a minha filha Marina, de quem retirei muita atenção e paciência. Que você saiba que existe muito amor e muitas responsabilidades e que eu seja um grande exemplo para você.

Dedico aos meus Pais, pelo amor incondicional, pelo apoio e coragem que sempre me transmitiram. Ao meu irmão e a minha irmã, não importa a que distância, vocês sempre estão comigo.

Dedico a minha sogra Ivanir e ao meu sogro Rames (in memoriam) por serem sempre apoio e inspiração.

Dedico aos meus cunhados Carla, Flávio e Vanessa por sempre dividirem cada vitória na minha jornada.

Seguramente vocês são os que mais compartilham da minha alegria!

Agradecimentos

Finalizada uma etapa particularmente importante da minha vida, não poderia deixar de expressar o mais profundo agradecimento a todos aqueles que me apoiaram nesta longa caminhada e contribuíram para a realização deste trabalho e a concretização de um grande sonho.

Agradeço a Professora Doutora Ana Claudia Moreira de Melo Toyofuku, minha orientadora, pelo apoio e disponibilidade, pela compreensão por algumas falhas, pelo aconselhamento assertivo e pelo estímulo permanente. Jamais serei capaz de agradecê-la como você merece.

Agradeço de igual forma, ao meu co-orientador Professor Doutor José Mauro Granjeiro, a sua sempre inteira disponibilidade, por suas valiosas contribuições durante todo o processo e por ter acreditado em mim e nas minhas capacidades. Sua dedicação e conhecimento foram fundamentais para a conclusão deste projeto.

Agradeço a ClearCorrect pelo apoio e incentivo para a realização deste projeto.

Agradeço aos professores da Faculdade Ilapeo pelo conhecimento transmitido ao longo do curso de doutorado. Seus ensinamentos foram muitos e certamente contribuíram positivamente para a minha formação.

Agradeço aos funcionários da biblioteca da Faculdade Ilapeo, que foram sempre prestativos, e em especial a Andrea por todo apoio.

Agradeço a Faculdade Ilapeo, uma instituição de extrema confiança que me concedeu todo o suporte para que eu chegasse aqui.

Agradeço aos membros da banca examinadora, pelo interesse e disponibilidade.

Agradeço a DEUS por todas as oportunidades concedidas a mim, pela força e tranquilidade nos momentos de fraqueza e dificuldades e por colocar esperança, amor e fé no meu coração.

Sumário

1. Formulário 1	7
2. Formulário 2	8
3.E-Book	10
4. Artigo Científico	134

1. Formulário 1

Proposta de Parceria Científica

1. Dados do Demandante

1. Nome:	ClearCorrect
2. CNPJ ou CPF:	00.489.050/0001-84
3. Endereço completo:	Av. Juscelino Kubitschek De Oliveira - Ld, 3715
4. Pessoa de contato:	Gabriela Casimiro
5. Telefone de contato:	41 99273 6137
6. E-mail de contato:	gabriela.casimiro@straumann.com

2. Demanda da Empresa

Produto	Material bibliográfico informativo
Estágio de desenvolvimento	<input type="checkbox"/> Sem Registro <input checked="" type="checkbox"/> Pós Venda
Objetivo	Melhorar a comunicação com o cliente por meio de produto bibliográfico que apresente evidências científicas
Impacto para a Empresa	() Novo processo () Mudança de processo (X) Reforço de marketing () Lançamento de Produto e Educação
Confidencial (restringir disponibilidade na CAPES e site da Ilapeo?)	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO

3. Deliberação (Faculdade Ilapeo)

1. Proposta:	<input checked="" type="checkbox"/> APROVADA <input type="checkbox"/> REJEITADA
2. Responsável pela análise	Ana Cláudia M. Melo Toyofuku

4. Equipe (Faculdade Ilapeo)

1. Professor Coordenador:	José Mauro Granjeiro
2. Equipe Científica do Ilapeo (profissionais):	Ana Cláudia M. Melo Toyofuku Augusto Ricardo Andrighetto
3. Equipe Científica do Ilapeo (discentes):	Daniela Kalluf

Ao aceitar a presente proposta, a Ilapeo se compromete a obter dos participantes (profissionais e discentes) as respectivas autorizações de uso de nome, imagens e voz e participação em obra audiovisual, fotográfica e/ou fonográfica e cessão de direitos autorais e conexos pelo Demandante (Anexo I).

Ana Cláudia M. Melo Toyofuku

Responsável pela análise

2. Formulário 2

Projeto de Pesquisa Científica

Nº DO PROJETO	CURSO RESPONSÁVEL (MPI; MPO; DP)
05/2019	DP

Dados do Projeto

1. Título do Projeto:	Alinhadores Ortodônticos: A Ortodontia do século XXI
2. Objetivo Geral do Projeto:	Melhorar a comunicação com o cliente por meio de produto bibliográfico que apresente evidências científicas
3. Tipo de pesquisa:	<input type="checkbox"/> In vitro <input type="checkbox"/> In vivo <input type="checkbox"/> Clínica - <input type="checkbox"/> Unicentro <input type="checkbox"/> Multicentro Obs.: Se multicentro, informar quais as outras instituições participantes. <input checked="" type="checkbox"/> Documental
4. Nível da Pesquisa:	<input type="checkbox"/> Mestrado Profissional <input checked="" type="checkbox"/> Doutorado Profissional <input type="checkbox"/> Pós-doutorado
5. Patrocinador do Estudo (se clínico):	ClearCorrect
6. Envolve Propriedade Intelectual Partilhada (Ilapeo/Demandante)	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
7. Prazo de Execução:	36 meses
8. Resumo do Projeto de Pesquisa:	<p>A última década presenciou grandes transformações sociais impulsionadas pela tecnologia e a interação constante via internet. Em 2018, mais de 3,6 bilhões de pessoas tinham acesso à internet via celular. Essa revolução digital, aliada à "indústria 4.0", tem permitido uma produção industrial mais eficiente, flexível e sustentável. Essas mudanças também se refletiram na área de saúde, com a Odontologia vivenciando uma evolução significativa, aprimorando a experiência do paciente através de novos métodos de diagnóstico, materiais, eficiência e precisão nos tratamentos. A incorporação da tecnologia digital na Ortodontia tem permitido o acompanhamento mais eficaz do tratamento ortodôntico, bem como a transição dos aparelhos fixos para os alinhadores transparentes. Os alinhadores transparentes estão entre essas transformações com grande impacto e aceitação por parte dos profissionais e pacientes para tratamento de má oclusões leves a moderadas. Contudo, existem poucos estudos clínicos randomizados e cegos com períodos de acompanhamento curtos. Elaboramos esse e-book visando</p>

	<p>proporcionar aos profissionais da área uma visão ampla do estado atual da literatura, com ênfase nas bases mecânicas, biológicas e clínicas que sustentam o uso de alinhadores transparentes. O e-book foi organizado em oito capítulos que abordam os seguintes temas: 1. A Ortodontia no Século XXI; 2. Análises das propriedades mecânicas de alinhadores ortodônticos; 3. Aspectos biológicos da movimentação ortodôntica com Alinhadores Transparentes; 4. Eficiência e eficácia da movimentação com alinhadores; 5. Relação saúde periodontal x movimentação ortodôntica; 6. Reabsorção radicular relacionada a tratamento ortodôntico; 7. DTM e alinhadores; e, 8. Perspectivas Futuras. Esperamos que esse conteúdo possa auxiliar os profissionais na decisão sobre a indicação segura dos alinhadores transparentes e estimular novas investigações básicas e clínicas sobre a eficácia destes.</p>
--	--

3- E-book

Alinhadores ortodônticos – A ortodontia do século XXI

José Mauro Granjeiro

Mestrado e Doutorado em Ciências – UNICAMP

Pós-Doutor em Biologia Celular e Molecular – USP

Professor da Faculdade Ilapeo

Ana Cláudia M. Melo Toyofuku

Mestrado, Doutorado e Pós-Doc em Ortodontia pela Unesp/Araraquara

Professora da Faculdade Ilapeo

Daniela Kalluf Brito

Mestranda em Odontologia, área de concentração Ortodontia pela Faculdade Ilapeo

Esther Takamori

Mestrado em Ciências – UNICAMP, Doutorado em Odontologia, USP

Professora na Faculdade de Medicina de Petrópolis (FMP)Roberto Hideo Shimizu

Mestrado, Doutorado e Pós-Doc em Ortodontia pela Unesp/Araraquara

Professor da Faculdade Ilapeo

Professor da Universidade Tuiuti do Paraná

Roberto Hideo Shimizu

Mestrado, Doutorado e Pós-Doc em Ortodontia pela Unesp/Araraquara

Professor da Faculdade Ilapeo

Sumário:

1. A Ortodontia no Século XXI	11
2. Análises das propriedades mecânicas de alinhadores ortodônticos	17
3. Aspectos biológicos da movimentação ortodôntica com Alinhadores Transparentes .	32
4. Eficiência e eficácia da movimentação com alinhadores	65
5. Relação saúde periodontal x movimentação ortodôntica	89
6. Reabsorção radicular relacionada a tratamento ortodôntico	101
7. DTM e alinhadores	115
8. Perspectivas Futuras	124

Capítulo 1 - A Ortodontia no Século XXI

José Mauro Granjeiro

Ana Cláudia Moreira Melo Toyofuku

Caroline Aranalde

Augusto Ricardo Andrighetto

Roberto Hideo Shimizu

Introdução

Nos últimos 40 anos, o avanço da tecnologia associado à contínua interação por meio da rede mundial de computadores resultou em grande transformação social. Está muito claro para todos que o mundo mudou, o acesso às informações, a facilidade na comunicação, a globalização, e a forma de consumo sofreram significativa evolução (1). Dados da GSMA (*Group Special Mobile*)(2) estimam que no ano de 2018 mais de 3,6 bilhões de pessoas já tinham celulares com acesso à internet (2).

Junto a essa revolução na forma de comunicação no mundo surgiu o termo “quarta revolução industrial” ou “indústria 4.0” caracterizada pela automação e informatização, computação em nuvem, alto poder de processamento, manufatura aditiva, internet das coisas, entre outras, visando tornar a produção industrial mais eficiente, flexível, sustentável e com maior qualidade (3).

Tal revolução também pode ser facilmente observada nas abordagens clínicas na área de saúde (4). Inovações digitais mudaram significativamente os rumos da Odontologia tendo efeito positivo principalmente na experiência do paciente ao tratamento. Novas opções de meios de diagnóstico, novos materiais, maior eficiência e precisão nos tratamentos representam o momento atual em nossa área de atuação (5). A evolução dos escâneres intraorais, aliados à tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) e a computação de alto desempenho vem transformando a reabilitação oral e já atinge resultados similares ao processo convencional, porém em menor tempo e maior conforto para o paciente (6).

Especialmente desde os anos 2000 temos vivido essa nova era digital também na Ortodontia com impacto tanto no acompanhamento do tratamento ortodôntico (7),

bem como na evolução do sistema fixo para o de alinhadores transparentes (8). A tecnologia envolvida no desenvolvimento dos tratamentos com alinhadores transparentes, por exemplo, pode ser realizada de forma totalmente digital, com escaneamentos intraorais, softwares para planejamento e controle dos movimentos dentários (Figura 1) e fabricação controlada por robôs (9,10). Essa tecnologia que começou nos EUA atualmente está difundida por todo o mundo (10).

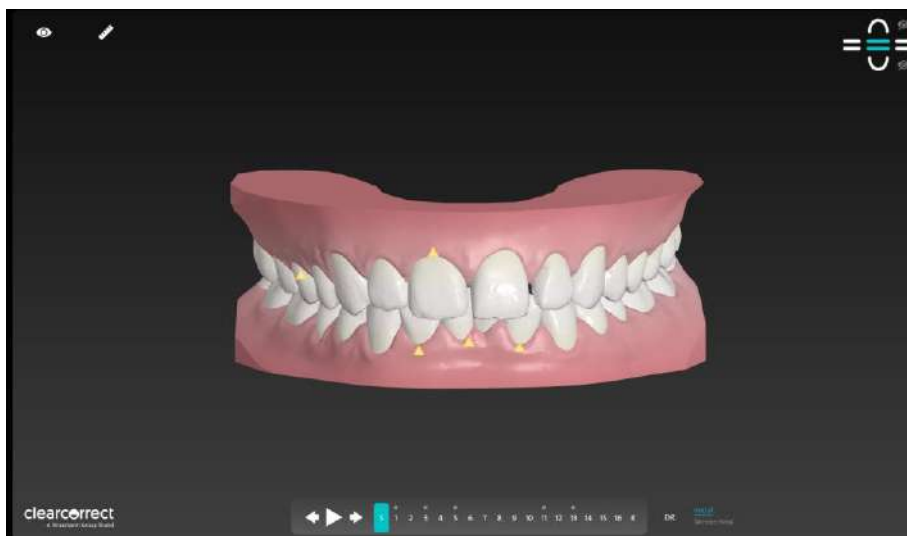


Figura 1 – Set up digital mostrando sequência de movimentos planejados para tratamento ortodôntico de paciente com alinhadores transparentes (ClearPilot, ClearCorrect).

Apesar dos alinhadores transparentes terem sua indicação relacionada a tratamentos de más oclusões leves a moderadas (8), o nível de evidência está associado a poucos estudos clínicos randomizados e cegos com tempos de acompanhamento curtos (11). Por isso, acredita-se que com o aumento dos estudos controlados a indicação de uso se consolidará como mais abrangente.

Temos, por exemplo, na fronteira do conhecimento estudos muito recentes associando a TCFC para o acompanhamento do tratamento ortodôntico, em particular avaliando o alinhador transparente no movimento de intrusão de incisivos e caninos (12), bem como avaliação de defeitos alveolares após a movimentação (13) ou reabsorção radicular (14). Uma oportunidade de melhoria nessa área é o desenvolvimento de softwares capazes de detectar as mínimas alterações nas estruturas óssea, dentárias e dos tecidos moles dos pacientes, potencialmente muito beneficiadas pelas técnicas de renderização cinematográfica (15,16).

Estima-se que este cenário se transformará em breve. Uma rápida e simples busca no Pubmed utilizando as palavras-chave ("clear aligner*" [All Fields]) recuperou 449 artigos (04/07/2023), 374 dos quais publicados nos últimos 5 anos. Dentre os 449 publicados, 10 são estudos clínicos controlados. Contudo, na base www.clinicaltrials.gov, encontram-se 23 estudos registrados, dos quais 12 de 14 estão concluídos e, destes, cinco possuem resultados. Outros cinco estudos estão recrutando participantes e outros três ainda não iniciaram o recrutamento. Importante destacar que existiam até 04/07/2023 31 revisões sistemáticas, das quais cinco foram publicadas nos primeiros meses de 2023 e abordaram a capacidade dos alinhadores proporcionar movimentos de expansão (17,18), o risco de liberação de bisfenol A (19), o impacto dos alinhadores na qualidade de vida comparado ao convencional (20) e o impacto dos alinhadores da saúde periodontal e recessão gengival (21). Nos próximos capítulos estes estudos serão comentados mais profundamente.

Similar às outras áreas da saúde, a Odontologia está passando por uma revolução devido à inteligência artificial (IA) e ao chatbot GPT-3. A IA tem o potencial de melhorar a individualização do tratamento, a precisão do diagnóstico, a redução do erro humano e a acessibilidade do tratamento (22). Os chatbots têm o potencial de aumentar a produtividade e diminuir o tempo de espera dos pacientes. Essas inovações prometem melhorar significativamente a saúde bucal e a qualidade de vida dos pacientes, sem comentar o grande impacto na formação dos profissionais de saúde (23). Contudo, essas vantagens não estão livres de riscos, pois a IA e os chatbots impõem desafios que incluem garantir a privacidade do paciente, evitar vieses algorítmicos, manter a confidencialidade dos dados e garantir a segurança cibernética (24,25).

A velocidade com que as inovações tecnológicas e informações são disponibilizadas é enorme e precisamos estar dispostos a deixar de ser apenas um receptor passivo. Devemos investir no conceito de *long life learning*, a formação contínua. Tecnologias e materiais inovadores ampliaram o cenário de possibilidades clínicas, entretanto os profissionais devem buscar atualização constante e ter conhecimento minucioso dos aspectos biológicos, técnicos e clínicos que afetam os resultados (26). Do contrário, a obsolescência do profissional pode ocorrer muito rapidamente.

Referências

1. Lins BFE. A evolução da Internet: uma perspectiva histórica. *Cadernos AsLegis* v. 2013 Jan;48:11–45.
2. <https://www.gsma.com/mobileeconomy> .
3. Leso V, Fontana L, Iavicoli I. The occupational health and safety dimension of Industry 4.0. *Med Lav*. 2018 Oct 29;110(5):327–38.
4. Spagnuolo G, Sorrentino R. The Role of Digital Devices in Dentistry: Clinical Trends and Scientific Evidences. *J Clin Med*. 2020 Jun 2;9(6).
5. Rekow ED. Digital dentistry: The new state of the art — Is it disruptive or destructive? *Dental Materials*. 2020 Jan;36(1):9–24.
6. Tallarico M, Xhanari E, Kim YJ, Cocchi F, Martinolli M, Alushi A, et al. Accuracy of computer-assisted template-based implant placement using conventional impression and scan model or intraoral digital impression: A randomised controlled trial with 1 year of follow-up. *Int J Oral Implantol (Berl)*. 2019;12(2):197–206.
7. Impellizzeri A, Horodyski M, De Stefano A, Palaia G, Polimeni A, Romeo U, et al. CBCT and Intra-Oral Scanner: The Advantages of 3D Technologies in Orthodontic Treatment. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Dec 16;17(24):9428.
8. Robertson L, Kaur H, Fagundes NCF, Romanyk D, Major P, Flores Mir C. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2020 May;23(2):133–42.
9. Groth C, Kravitz ND, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Three-dimensional printing technology. *Journal of clinical orthodontics*. 2014 Aug;48(8):475–85.
10. Schupp W. Digital orthodontics in the digital age. *Journal of Aligner Orthodontics*. 2017;1:3–4.
11. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2017 Aug;20(3):127–33.
12. Al-Balaa M, Li H, Ma Mohamed A, Xia L, Liu W, Chen Y, et al. Predicted and actual outcome of anterior intrusion with Invisalign assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021 Mar;159(3):e275–80.
13. Jiang T, Wang JK, Jiang YY, Hu Z, Tang GH. How well do integrated 3D models predict alveolar defects after treatment with clear aligners? *Angle Orthod*. 2021 May 1;91(3):313–9.
14. Aman C, Azevedo B, Bednar E, Chandiramami S, German D, Nicholson E, et al. Apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners: A

- retrospective study using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018 Jun;153(6):842–51.
15. Stadlinger B, Valdec S, Wacht L, Essig H, Winklhofer S. 3D-cinematic rendering for dental and maxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol.* 2020 Jan;49(1):20190249.
 16. Bueno MR, Estrela C, Granjeiro JM, Estrela MR de A, Azevedo BC, Diogenes A. Cone-beam computed tomography cinematic rendering: clinical, teaching and research applications. *Braz Oral Res.* 2021;35:e024.
 17. Gonçalves A, Ayache S, Monteiro F, Silva FS, Pinho T. Efficiency of Invisalign First® to promote expansion movement in mixed dentition: a retrospective study and systematic review. *Eur J Paediatr Dent.* 2023 Mar 21;
 18. Bouchant M, Saade A, El Helou M. Is maxillary arch expansion with Invisalign® efficient and predictable? A systematic review. *Int Orthod.* 2023 Jun;21(2):100750.
 19. Peter E, J M, George SA. Bisphenol-A release from thermoplastic clear aligner materials: A systematic review. *J Orthod.* 2023 Mar 15;14653125231160570.
 20. Kaklamanos EG, Makrygiannakis MA, Athanasiou AE. Oral Health-Related Quality of Life throughout Treatment with Clear Aligners in Comparison to Conventional Metal Fixed Orthodontic Appliances: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2023 Feb 17;20(4).
 21. Crego-Ruiz M, Jorba-García A. Assessment of the periodontal health status and gingival recession during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: A systematic review and meta-analysis. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2023 Jul 1;28(4):e330–40.
 22. Briggs LG, Labban M, Alkhatib K, Nguyen DD, Cole AP, Trinh QD. Digital technologies in cancer care: a review from the clinician's perspective. *J Comp Eff Res.* 2022 May;11(7):533–44.
 23. Moldt JA, Festl-Wietek T, Madany Mamlouk A, Nieselt K, Fuhl W, Herrmann-Werner A. Chatbots for future docs: exploring medical students' attitudes and knowledge towards artificial intelligence and medical chatbots. *Med Educ Online.* 2023 Dec;28(1):2182659.
 24. Santoro E. [Artificial intelligence in medicine: are we ready?]. *Recenti Prog Med.* 2023 Mar;114(3):142–4.
 25. Ciecierski-Holmes T, Singh R, Axt M, Brenner S, Barteit S. Artificial intelligence for strengthening healthcare systems in low- and middle-income countries: a systematic scoping review. *NPJ Digit Med.* 2022 Oct 28;5(1):162.

26. Spagnuolo G, Sorrentino R. The Role of Digital Devices in Dentistry: Clinical Trends and Scientific Evidences. *J Clin Med.* 2020 Jun 2;9(6):1692.

Capítulo 2 - Análises das propriedades mecânicas de alinhadores ortodônticos

ANDERSON BEATRICI

ESTHER TAKAMORI

GUSTAVO HOLDERBAUM

JOSÉ MAURO GRANJEIRO

Introdução

Os tratamentos com alinhadores são fortemente influenciados pelas características físicas e químicas das placas utilizadas na sua produção. Este capítulo trata dessas características e suas diferenças entre as diversas marcas e materiais utilizados para a produção das placas e dos alinhadores ortodônticos. Nele abordamos a influência das características químicas, físicas e mecânicas no controle de forças durante o tratamento ortodôntico com alinhadores, além da degradação das placas decorrente do uso, o que impacta diretamente na movimentação dentária.

Nos últimos dezesseis anos, o tratamento com alinhadores evoluiu de uma técnica para tratar apenas apinhamentos dentários leves ou pequenos diastemas anteriores (1,2) para uma solução que pode ser usada para todos os casos leves a moderados, incluindo também alguns casos de más oclusões graves (3). Essa evolução se deve, principalmente, ao desenvolvimento de novas tecnologias e à melhoria da qualidade das placas utilizadas para a produção dos alinhadores. No entanto, é importante entender os limites desse aparelho e pensar em alternativas e tratamentos combinados durante o planejamento (4). Atualmente, existem vários tipos de alinhadores e suas características são fortemente influenciadas pelo material de construção, linha de recorte e espessura das placas (5).

Os aparelhos removíveis termoplásticos transparentes são produzidos por meio da tecnologia CAD/CAM, que inclui o escaneamento da arcada dentária do paciente, planejamento através de softwares e produção dos alinhadores com uso de impressão 3D e plastificadora a vácuo (Figura 1). Dessa forma, é possível produzir os movimentos necessários para o tratamento ortodôntico e, ao mesmo tempo, criar um apelo mais estético do que o tradicional uso de bráquetes e fios de aço inoxidável (6).



Figura 1- Fluxograma do processo de confecção de alinhadores ortodônticos, com todas as fases da produção: escaneamento intraoral, planejamento virtual através de software e confecção dos alinhadores e alinhadores finalizados.

Essas novas tecnologias permitiram o avanço da técnica, o que exigiu também uma evolução nos estudos e o desenvolvimento de produtos com melhores características físicas e químicas. O tipo de material utilizado na produção das placas, que dão origem aos alinhadores, influencia diretamente no movimento aplicado a cada dente; além disso, a espessura e a linha de recorte ditam a força aplicada ao dente. De forma geral, na Ortodontia deve-se evitar forças excessivas, que podem resultar em reabsorção óssea e/ou radicular ou forças muito leves, que não são suficientes em gerar o movimento necessário.

Outro fator importante a ser considerado é a degradação das placas decorrente do uso pelo paciente. Usualmente, os alinhadores são trocados a cada quatorze dias e,

nesse tempo, eles sofrem com a ação, principalmente, de temperatura e saliva, o que altera suas características e, conseqüentemente, o torque resultante dos movimentos nos seus últimos dias de uso.

Composição química dos alinhadores

O poliuretano, um polímero termoplástico de engenharia versátil com excelentes propriedades, resistência química e à abrasão e facilidade de processo, foi o primeiro material usado para a produção de alinhadores transparentes. Ao longo do tempo, foi comprovado que o poliuretano não é um material inerte, sendo afetado pelo calor, umidade e pelo contato prolongado com enzimas salivares (7). O alinhador de poliuretano foi introduzido em 2013 e apresenta alta resistência e alta tenacidade que oferece (8).

Os primeiros alinhadores comercializados em larga escala foram produzidos pela multinacional Align Technology. Eles eram feitos de poliuretano rígido de camada única obtido a partir de diisocianato de metileno difenil e 1,6-hexanodiol. As placas posteriores foram formadas a partir de Exceed-30, um novo material desenvolvido pela mesma empresa. Ele foi projetado para obter flexibilidade aprimorada, resistência à quebra e transparência. Esta placa, também, foi substituída em 2012 pela SmartTrack, um poliuretano termoplástico multicamada que, segundo a empresa, é capaz de atender à necessidade de forças mais leves e constantes, apresenta maior elasticidade e torna os movimentos ortodônticos mais previsíveis (9).

A partir daí, outras empresas entraram no mercado de alinhadores e vários materiais para sua produção começaram a ser desenvolvidos. Atualmente, existem em torno de vinte e sete produtos diferentes para produção de alinhadores transparentes em oferta para tratamento ortodôntico (10). Alguns dos fabricantes de alinhadores utiliza o polietileno tereftalato glicol modificado (PET-G), mas alguns outros materiais também são usados, como polipropileno, policarbonato (PC), poliuretanos termoplásticos (TPU), etileno vinil acetato entre outros (5,11). A diferença entre a composição química dos materiais interfere nas suas propriedades antes e depois do desgaste decorrente do uso (10). Além dos materiais, a espessura das placas também

varia de 0,50 mm a 1,5 mm. Isso pode afetar suas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, seu desempenho (11).

Dessa forma, podemos afirmar que é fundamental entender a diversidade de alinhadores transparentes e como eles diferem em termos de material de construção, espessura e, conseqüentemente, quanto ao protocolo clínico planejado para obter os melhores resultados de tratamento (10). Para proporcionar o movimento fisiológico dos dentes, os alinhadores transparentes devem ser capazes de exercer força constante ao longo do seu uso, o que é difícil de se conseguir (9).

Alta elasticidade, tolerância ao ambiente oral, biocompatibilidade e baixa rugosidade da superfície são as características ideais dos materiais para um alinhador transparente. Esta é determinada pelas propriedades ópticas, menor dureza, elasticidade e resiliência melhoradas e resistência ao envelhecimento, que são qualidades desejáveis em materiais termoplásticos ortodônticos (10). Para exercer forças seguras e eficazes o material ideal deve ser bastante rígido com alta resistência ao escoamento e capaz de garantir que a força seja aplicada dentro do limite ideal para a movimentação ortodôntica (9).

A ClearCorrect, fundada em 2006, inicialmente também utilizou o poliuretano como material de confecção de seus alinhadores, mas a partir de 2020 o material utilizado tem o nome comercial de ClearQuartz, um material multicamadas cuja configuração são 2 camadas externas mais rígidas e uma camada interna com material elastomérico. Dessa forma há uma melhor distribuição das forças e conseqüentemente melhor previsibilidade no tratamento (Figura 2).

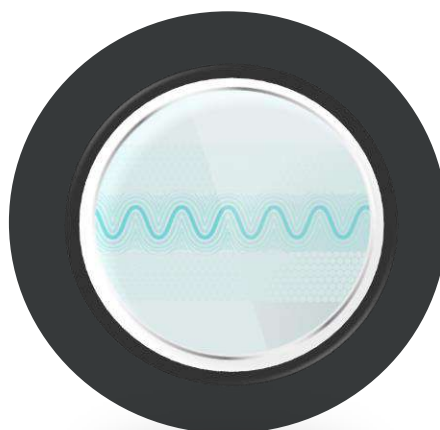


Figura 2 – Imagem representativa do material tricamada Clear Quartz. Camadas externas de poliuretano, para tenacidade e resistência a manchas; Camada interna de copoliéster, material elastomérico para aplicação de força suave, consistente e contínua.

O poliuretano, apresenta características como alta elasticidade, flexibilidade, resistência química, resistência à oxidação, resistência mecânica e facilidade de processamento (8). Tanto o poliuretano quanto o policarbonato apresentam maior resistência a rachaduras superficiais quando comparados a outros polímeros (10). O poliuretano foi o primeiro material usado para a produção de alinhadores transparentes. Ao longo do tempo, foi comprovado que o poliuretano não é um material inerte, sendo afetado pelo calor, umidade e pelo contato prolongado com enzimas salivares (7).

O PET-G demonstra alta resistência ao desgaste, transparência, alta força, alta estabilidade dimensional e resistência a solventes (8). O PET-G é um material leve, resistente ao tempo e ao desgaste e muito claro. Sua elasticidade permite um movimento gradual dos dentes. Ele normalmente tem uma espessura que muda ao longo das diferentes fases do tratamento: 0,75 mm no início do tratamento, 0,85 mm durante a fase intermediária e 1 mm na fase final do tratamento. Esse sistema requer um tempo de uso de 22 h diárias (12).

A figura 3 mostra alguns materiais comumente utilizados na produção de alinhadores e como eles se comportam em determinadas situações. Os mais utilizados

são o PET-G e o polietileno, não só pela transparência que fornecem, mas também pelo conjunto de características favoráveis.

	POLIURETANO	PET-G	POLIPROPILENO	POLIETILENO	POLICARBONATO
BIOCOMPATIBILIDADE	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
TRANSPARÊNCIA	EXCELENTE	EXCELENTE	BAIXA	EXCELENTE	BOA
RESISTÊNCIA QUÍMICA	BAIXA	BOA	BOA	BOA	BAIXA
QUALIDADE APÓS TERMOFORMAÇÃO	EXCELENTE	BOA	EXCELENTE	BOA	BOA
RESISTÊNCIA À RACHADURA	BOA	BOA	BOA	BOA	BOA
RESISTÊNCIA AO DESGASTE	BOA	EXCELENTE	BOA	BOA	BAIXA
RESISTÊNCIA MECÂNICA	EXCELENTE	BOA	BOA	REGULAR	BOA

Figura 3 - Propriedades de diferentes materiais utilizados na produção de alinhadores ortodônticos. Estão expostos na tabela os materiais mais comumente utilizados para a confecção de alinhadores e as qualificações vão de baixa a excelente.

Características físicas, químicas e mecânicas das placas utilizadas

Aparelhos ortodônticos, incluindo os alinhadores estéticos, devem ser capazes de exercer forças constantes durante todo seu uso, o que, geralmente, não é fácil de se conseguir (13). No caso dos alinhadores, os materiais termoplásticos devem ter características particulares, incluindo transparência, menor dureza, melhor elasticidade e resiliência e resistência ao envelhecimento (14). Além disso eles devem apresentar propriedades físicas, químicas e mecânicas adequadas: baixa rigidez, boa deformabilidade, biocompatibilidade e estabilidade dimensional (15).

Sob força constante o comportamento dos alinhadores varia consideravelmente ao longo do tempo, mesmo que os dentes ainda não tenham se movido. A deflexão (alteração de sua posição original) de um material viscoelástico aumenta ao longo do tempo. Já em deflexão constante a carga diminui. Portanto, fluência e relaxamento de tensão são propriedades dos alinhadores ortodônticos, enquanto o tempo e a quantidade de ativação afetam o sistema ortodôntico de força (13).

A frequência de remoção do aparelho também afeta as mudanças de força exercidas sobre os dentes. Pacientes tratados com alinhadores termoplásticos devem usar o aparelho durante, ao menos, 20 horas por dia e não devem removê-lo com frequência, pois isso afeta a eficácia do tratamento através da deformação do alinhador, o que poderia levar a um tempo maior de tratamento (13).

Além dos diferentes materiais disponíveis, o processo de fabricação desempenha um papel fundamental na entrega de força para a movimentação dos dentes (16). A principal razão para os alinhadores termoformados demonstrarem menor resistência à tração e deformação irreversível é, justamente, devido ao fato de as placas passarem pelo processo de termoformação (17), o que altera algumas de suas características.

Após a termoformação das placas, transparência, absorção de água, dureza superficial, forças de tração e flexão se alteram significativamente. Dessa maneira, sugere-se que as propriedades mecânicas dos materiais termoplásticos, utilizados na fabricação dos alinhadores, deva levar em conta o processo de termoformação. Por isso, estudos após esse processo devem avaliar se suas aplicações clínicas são satisfatórias (18).

Ou seja, as características mecânicas dos alinhadores, assim como a força de movimentação resultante estão diretamente ligadas, principalmente, mas não somente, à composição química das placas, como também ao processo de produção dos alinhadores e o correto uso pelo paciente (9,10). A seguir apresentamos um breve resumo das principais propriedades que se deve conhecer.

Biocompatibilidade:

Os polímeros não devem liberar quaisquer potenciais toxinas que possam produzir reações adversas locais ou sistêmicas, não devem ser cancerígenos ou produzir efeitos adversos em seu desenvolvimento (10). Eles também não podem sofrer alterações, pois isso pode resultar em uma movimentação dentária diferente da planejada (19).

Os alinhadores são viscoelásticos. Isso significa que sob carga seu comportamento pode variar consideravelmente ao longo do tempo, mesmo quando inserido pela primeira vez e antes de qualquer movimento dentário ser alcançado (9).

Propriedades Ópticas:

Do ponto de vista estético, a estabilidade da cor e a transparência dos alinhadores ortodônticos transparentes devem permanecer estáveis durante os períodos uso no tratamento ortodôntico de, geralmente, 2 semanas. No entanto, a estabilidade da cor dos materiais odontológicos é frequentemente influenciada por vários fatores, como radiação ultravioleta, bebidas corantes e enxaguatórios bucais (20).

As propriedades ópticas dos alinhadores variam dependendo da composição dos materiais usados na fabricação (9). Além disso, é a propriedade mais importante no desempenho da estética. Os materiais dos alinhadores devem apresentar boa transmitância de luz e serem capazes de transmitir 80% da luz visível (10).

Os polímeros amorfos exibem alta translucidez e são preferidos como materiais para a fabricação dos alinhadores em relação aos polímeros cristalinos, que são altamente opacos. Poliuretano, poliéster, cloreto de polivinil, polisulfona e policarbonato são alguns dos materiais poliméricos que apresentam propriedades ópticas adequadas para a fabricação de alinhadores (10).

Propriedades Químicas e Mecânicas:

Os alinhadores são constantemente expostos à saliva, a uma temperatura corporal constante, o que pode afetar a composição química dos polímeros. Certos poliésteres como policarbonato e poliamidas podem sofrer hidrólise irreversível, o que pode degradar a estrutura do polímero. O polímero usado para a fabricação do alinhador deve ser resistente à hidrólise e degradação da água (10).

A resistência à rachadura da superfície sob um ambiente oral quando submetido a estresse cíclico é de suma importância para um material alinhador, que deve ser durável em ambiente oral e possuir alta resistência ao desgaste para suportar as forças mastigatórias. Caso contrário, pode levar à distorção do material e, conseqüentemente, a efeitos deletérios para o paciente, com um movimento resultante inadequado (10).

Resistência a altas temperaturas:

Em sua produção, as placas são expostas a altas temperaturas para a termoformação dos alinhadores. Elas esquentam, as cadeias moleculares se desfazem,

a placa amolece e se solidifica em novas formas quando resfriada. Alguns materiais não sofrem alterações químicas em diferentes temperaturas, portanto, nesses casos o processo de amolecimento e endurecimento com aquecimento e resfriamento pode ser repetido. No estado sólido, os materiais termoplásticos usados para fazer alinhadores transparentes são semicristalinos com filamentos amorfos de polímeros dispersos entre eles (10).

A deformação elástica de todos os materiais diminui após a termoformação das placas na produção de alinhadores. Se os materiais termoplásticos forem submetidos a uma temperatura superior à temperatura de transição vítrea, eles podem se deformar e diminuir facilmente em espessura, o que explicaria a redução nos valores médios desta variável (21).

A capacidade do material de se adaptar ou conformar-se aos modelos durante o processo de termoformagem é um requisito importante de um material alinhador. A uma temperatura definida em torno de 110 °C, a textura da placa feita de poliuretano é superior à de outros materiais para a fidelidade da cópia do modelo no processo de termoformação (10).

Alinhadores camada única e multicamadas:

Diferentes materiais termoplásticos podem ser empregados na sua fabricação e suas características biomecânicas podem ser influenciadas por suas propriedades. Idealmente, um alinhador deve aplicar uma força leve que seja constante ao longo do tempo. Para exercer forças seguras e eficazes, o material ideal deve, portanto, ser bastante rígido, com alta resistência ao escoamento, capaz de garantir que a força seja aplicada dentro da faixa elástica. Em outras palavras, sua curva de relaxamento deve ser bastante plana, demonstrando sua capacidade de exercer forças constantes e contínuas ao longo do tempo (21).

O desempenho dos alinhadores ortodônticos é fortemente influenciado pelo material de sua construção. Em geral, a tensão inicial, exercida durante as primeiras 24 horas de uso do alinhador pode exceder em até 50 % do valor de tensão no restante de seu uso (22). Isso causa alterações significativas no comportamento dos polímeros nessas primeiras 24 horas a partir da aplicação de cargas ortodônticas, o que influencia

a movimentação dentária programada. A tensão se mostrou diretamente influenciada pela quantidade de camadas existentes nas placas (9).

As placas podem apresentar uma ou mais camadas de material em sua composição. Em um estudo com quatro polímeros, sendo dois de camada única e dois de camada dupla, todos sofreram uma quantidade significativa de tensão durante um período de 24 horas, mas essa tensão foi maior durante as primeiras oito horas, atingindo um platô que geralmente permaneceu constante. Isso demonstra que a força aplicada sobre os dentes nas horas seguintes às primeiras oito se mantiveram constantes pelo período de, pelo menos, mais 16 horas. Os materiais de camada única de poliuretano (F22 Aligner) e polietileno tereftalato glicol modificado (Duran) exibiram os maiores valores tanto para a tensão absoluta quanto para a velocidade de decaimento da tensão. Já os materiais de camada dupla (Erkoloc-Pro e Durasoft) liberaram a tensão de forma constante, mas em valores absolutos até quatro vezes menores do que as placas de camada única dentre as amostras testadas. Isso significa que os alinhadores monocamada apresentaram uma maior capacidade de movimentação ortodôntica inicial, mas que não se manteve por tempo o suficiente, enquanto os alinhadores multicamadas apresentaram uma capacidade menor de movimentação, mas de forma constante (9).

Controle de forças aplicadas aos dentes

É de extrema importância que as forças mecânicas, aplicadas aos dentes durante o tratamento com alinhadores, sejam controladas para que o osso e as raízes dos dentes não sofram efeitos colaterais, como por exemplo, a reabsorção. Os alinhadores são produzidos com placas de polímeros customizadas para cada etapa do tratamento do paciente. Caso não haja, por exemplo, o uso de forma adequada e pelo tempo indicado, e um dente ou grupo de dentes, não se movimentar completamente para o espaço planejado em uma etapa do tratamento, há o que é denominado “perda de tracking” e as etapas posteriores se tornam ineficientes para a movimentação ou causam força excessiva sobre este dente (Figura 4). Esta deformação resulta de uma discrepância entre o dente real e a posição pretendida, incorporada no aparelho (16). A magnitude

da força depende do material, de suas propriedades mecânicas, que afetam sua rigidez, espessura e realizam o deslocamento dentário planejado (1).



Figura 4 - É possível perceber na imagem uma discrepância entre o encaixe do alinhador e a posição dos dentes, principalmente nos dentes inferiores.

O desempenho mecânico do material termoplástico usado para os alinhadores demonstra um papel crítico na obtenção dos resultados desejados em movimentos ortodônticos difíceis. Juntam-se a isso aspectos como espessura do alinhador e seu formato, formam-se os pilares para a obtenção de um sistema alinhador adequado (23). Em um estudo de forças mecânicas de três marcas de alinhadores PET-G foi configurada a medição de força através de um sensor adaptado a um incisivo central superior de um modelo impresso. As análises mais discrepantes encontradas foram as relacionadas à rigidez entre as marcas estudadas, que variaram entre 0,01 mm e 0,15 mm (22).

Em outro estudo com 970 alinhadores de trinta pacientes tratados, a arcada impressa em resina e o dente com a má oclusão, determinada anteriormente, foram montados em um sistema de medição e simulação ortodôntica, onde sensores foram adaptados em uma mesa de posicionamento motorizada, o que permitia realizar movimentos tridimensionais completos. O dente seccionado também foi conectado a um sensor e as forças de movimentação, medidas. Os dados obtidos demonstraram que todo alinhador cria forças iniciais intensas, seguido por sua exponencial diminuição. Além disso, as forças entre alinhadores diferem, embora um movimento contínuo tenha sido planejado por meio do *software*. Com uso de *attachments*, as forças intrusivas

foram reduzidas nos pré-molares e o torque nos incisivos. Diferenças consideráveis nas forças medidas foram observadas também nos pré-molares. Com um *attachment*, o momento de força inicial foi de 8,8 Nmm com uma força vertical média de 0,2 N. Sem o uso do *attachment*, o momento de força inicial foi de apenas 1,2 Nmm, mas a força vertical média inicial aumentou para 0,5 N. Já no grupo de distalização, apenas 0,2 N de diferença nas forças com e sem uso dos *attachments* mostram que as diferenças não eram significativas (24).

O grau em que os movimentos ortodônticos planejados são alcançados depende de muitas variáveis, dentre as quais o espaço entre o dente e o alinhador. A força exercida sobre um dente pelo alinhador pode ser dissipada pela ação combinada do ar neste espaço e a flexibilidade do ligamento periodontal, que permite um movimento dentário de cerca 0,04 mm antes de qualquer fenômeno bioquímico no início da movimentação ortodôntica. Para obter uma força clinicamente eficaz é necessário que o contato entre a superfície interna do alinhador e a coroa do dente seja o mais próximo possível (25).

As forças ortodônticas e os momentos gerados pelos alinhadores termoplásticos dependem da quantidade de ativação e espessura do material (4). Os polímeros utilizados na confecção das placas, assim como o mau uso e o desgaste natural dos alinhadores também interferem na movimentação dentária resultante. Mas, além da composição e espessura das placas, fatores relacionados à confecção dos alinhadores podem alterar consideravelmente o controle de forças exercidas sobre os dentes. Por exemplo, alinhadores sem borda, obtidos quando o recorte acompanha a altura e contorno cervical dos dentes, geram forças significativamente mais baixas do que aqueles com borda mais ampla, em que o recorte é feito a até 1 cm acima da borda cervical dos dentes. O aumento da força pode ser devido à rigidez aumentada, pela forma do material (26). Por outro lado, em recente estudo Elshazidly et al. mostraram que a linha de recorte estendida e reta resulta em transmissão de força mais uniforme na superfície dentária se comparada a outros tipos de recortes, o que pode significar impacto clínico significativo no tratamento com alinhadores (27).

Em relação à espessura, os alinhadores fabricados em materiais mais espessos (0,75 mm) produzem forças significativamente maiores do que aquelas produzidas com materiais mais finos (0,5 mm). Há uma forte correlação entre as propriedades mecânicas

dos materiais termoplásticos e a força produzida pelos alinhadores (JINDAL et al 2019²²). Em Revisão sistemática de literatura com meta-análise publicada em 2019, Iliadi e colaboradores concluíram que a espessura da placa (0,5 mm, 0,625 mm, 0,75 mm) pode não ter um efeito tão significativo nos momentos e forças gerados, quando relacionados à movimentos de inclinação e rotação (28). É importante observar que alinhadores muito espessos (1 mm ou mais) podem exercer força exacerbada sobre os dentes causando desconforto, dor excessiva e reabsorção óssea e/ou radicular. Por isso é importante um equilíbrio em relação à espessura para que o movimento seja suave e constante.

Alteração das características das placas decorrente do uso

A degradação mecânica dos materiais utilizados na fabricação dos alinhadores é um dos principais problemas relacionados a esse tipo de tratamento. Para evitá-la recomenda-se que os pacientes evitem consumir comida e bebida enquanto os utilizam. Ainda não existem estudos suficientes sobre como os fatores ambientais, especialmente mudanças extremas de temperatura, afetam o desempenho mecânico do alinhador, crucial para o sucesso do tratamento (11).

O estudo de como esses materiais mudam sua composição química quando submetidos a diferentes processos de envelhecimento é importante para estabelecer a previsibilidade do tratamento ortodôntico. De fato, a alteração do material durante o uso diário pode determinar uma redução nas forças de aplicação e afetar o movimento ortodôntico desejado (7).

Com o passar do tempo, devido à natureza viscoelástica do material, a força gerada pelo aparelho diminui. Este processo de relaxamento da tensão é causado pelo tipo de material, temperatura do ambiente oral e a gravidade da carga a que a parte específica do alinhador é submetida. O tipo e a espessura do material usado na fabricação afetam ainda mais essas propriedades elásticas dos alinhadores (10). Sob cargas constantes, a deflexão de um material viscoelástico aumenta com o tempo (um fenômeno conhecido como fluência) e em deflexão constante sua a carga diminui (um fenômeno conhecido como estresse ou relaxamento) (9).

As propriedades ópticas, variam entre as diversas marcas e seus materiais, mas em todos os casos se deterioram com o envelhecimento *in vitro* (25). Com o tempo, a absorção de água e a manutenção a uma temperatura média de 37 °C podem diminuir ainda mais essa resistência. Mudanças extremas de temperatura intraoral podem levar a um envelhecimento físico ainda mais acelerado do alinhador de PET-G, o que diminui a atuação das forças ortodônticas ao longo do tempo (11).

Além da temperatura e umidade, as enzimas salivares e a deformação elástica também podem influenciar as propriedades dos materiais dos alinhadores causados pelo uso. Isso sugere que as movimentações dentárias variam, de acordo com a ação dos fatores ambientais sobre os alinhadores. Dessa forma, pode-se afirmar que a mudança progressiva das propriedades mecânicas no ambiente intraoral pode influenciar a eficácia do tratamento (18).

Hábitos orais funcionais e parafuncionais como mastigar, falar, beber, engolir, apertar ou esmerilhar podem influenciar nas mudanças de espessura da superfície oclusal dos alinhadores (18). A medição dessa espessura pode ser influenciada por esses hábitos, pela temperatura bucal e umidade.

Os alinhadores são submetidos a forças de curto e longo prazo na cavidade oral. Quando o alinhador é encaixado na dentição, ele é adaptado à posição correta com forças de curto prazo. Após uma semana de uso, eles diminuem a rugosidade da superfície e, de forma contínua, diminui ainda mais com o uso nas semanas seguintes. A rugosidade e deterioração das propriedades mecânicas também têm um efeito indesejável na retenção do aparelho e nas movimentações ortodônticas durante o tratamento (10).

Considerações finais

A análise das propriedades químicas das placas utilizadas na fabricação dos alinhadores é crucial para o desenvolvimento de novos produtos. Além de avaliar a capacidade dos materiais para gerar movimentação ortodôntica, é imprescindível examinar as alterações que ocorrem nos alinhadores após o uso. Da mesma forma, o estudo das propriedades mecânicas dos alinhadores é essencial para avaliar as forças que eles geram, visando a movimentação dentária ideal, com foco especial na proteção

da saúde periodontal do paciente. A escolha de uma empresa que tenha como princípio o uso de materiais comprovadamente com excelentes propriedades biomecânicas, é um dos fatores primordiais na previsibilidade dos resultados clínicos.

Referências

1. Papadopoulou AK, Cantele A, Zinelis S, Eliades T. Changes in roughness and mechanical properties of Invisalign® appliances after one- and two-weeks use. *Materials* 2019; 12(15):2406. doi: 10.3390/ma12152406.
2. Rossini G, Parrini S, Cstroflorio T, Deregibus A, De Bernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod.* 2015 Sep;85(5):881-9. doi: 10.2319/061614-436.1.
3. Lombardo L, Palone M, Longo M, Nacucchi M, De Pascalis F, Spedicato GA et al. MicroCT X-ray comparison of aligner gap and thickness of six brands of aligners: an in-vitro study. *Prog Orthod.* 2020;21(1): 12. doi: 10.1186/s40510-020-00312-w.
4. Fekonja A, Roser N, Igor D. Additive manufacturing in orthodontics. *Mat Tehnol.* 2019; 53(2):165–9.
5. Cervinara F, Cianci C, De Cillis F, Pappalettera G, Pappalettere C, Siciliani G et al. Experimental study of the pressures and points of application of the forces exerted between aligner and tooth. *Nanomaterials.* 2019 2;9(7):1010. doi: 10.3390/nano9071010.
6. Condo R, Pazzini L, Cerroni L, Pasquantonio G, Lagana G, Pecora A et al. Mechanical properties of “two generations” of teeth aligners: Change analysis during oral permanence. *Dent Mater J.* 2018; 37(5): 835-42. doi: 10.4012/dmj.2017-323.
7. Memè L, Notarstefano V, Sampalmieri F, Orilisi G, Quinzi V. ATR-FTIR Analysis of Orthodontic Invisalign® Aligners Subjected to Various In Vitro Aging Treatments. *Materials.* 2021 Feb 9;14(4):818. doi: 10.3390/ma14040818.
8. Bernard G, Rompré P, Tavares JR, Montpetit A. Colorimetric and spectrophotometric measurements of orthodontic. *Head Face Med.* 2020. Feb 18;16(1):2. doi: 10.1186/s13005-020-00218-2.
9. Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica F, Siciliani G. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. *Angle Orthod.* 2017 Jan;87(1):11-18. doi: 10.2319/113015-813.1.
10. Gold BP, Siva S, Duraisamy S, Idaayath A, Kannan R. Properties of Orthodontic Clear Aligner Materials - A Review. *J Evolution Med Dent Sci.* 2021; 10(37):3294-300.

11. Ihssen BA, Willman JH, Nlmer A, Drescher D. Effect of in vitro aging by water immersion and thermocycling on the mechanical properties of PETG aligner material. *J Orofac Orthop*. 2019 Nov;80(6):292-303. doi: 10.1007/s00056-019-00192-8.
12. Ercoli F, Tepedino M, Parziale V, Luzi C. A comparative study of two different clear aligner. *Prog Orthod*. 2014 May 2;15(1):31. doi: 10.1186/s40510-014-0031-3.
13. Skaik A, Wei XL, Abusamak I, Iddi I. Effects of time and clear aligner removal frequency of the force delivered by different polyethylene terephthalate glycol-modified materials determined with thin-film pressure sensors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019 Jan;155(1):98-107.
14. Barone S, Paoli A, Neri P, Razionale AV, Giannese M. Mechanical and Geometrical Properties Assessment of Thermoplastic Materials for Biomedical Application. *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing*. In: *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2017. 437-46.
15. Condo R, Pazzini L, Cerroni L, Pasquantonio G, Lagana G, Pecora A et al. Mechanical properties of "two generations" of teeth aligners: Change analysis during oral permanence. *Dent Mater J*. 2018 Sep 30;37(5):835-842. doi: 10.4012/dmj.2017-323.
16. Brockmeyer P, Kramer K, Rödiger T. Removable thermoplastic appliances modified by incisal cuts show altered biomechanical properties during tipping of a maxillary central incisor. *Prog Orthod*. 2017;18(1): 28. doi: 10.1186/s40510-017-0183-z.
17. Jindal P, Juneja M, Siena FL, Bajaj D, Breedon P. Mechanical and geometric properties of thermoformed and 3D printed clear dental aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019; 156(5):694-701. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.05.012.
18. Bucci R, Rongo R, Levatè C, Micheloti A, Barone S, Razionale AV et al. Thickness of orthodontic clear aligners after thermoforming and after 10 days of intraoral exposure: a prospective clinical study. *Prog Orthod*. 2019 Sep 9;20(1):36. doi: 10.1186/s40510-019-0289-6.
19. Milovanović A, Sedmak A, Golubovic Z, Mihajlovic KZ, Zurkic A, TRajkovic I et al. The effect of time on mechanical properties of biocompatible photopolymer resins used for fabrication of clear dental aligners. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021 Jul;119:104494. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104494. 2021.
20. Liu C-L, Sun W-T, Liao W, Lu W-X, Jeong Y, Zhao Z-H. Colour stabilities of three types of orthodontic clear aligners exposed to staining agents. *Int J Oral Sci*. 2016; 8(4):246-253. doi: 10.1038/ijos.2016.25.

21. Pratto I. Resistência mecânica de materiais plásticos para alinhadores ortodônticos: estudo laboratorial. Dissertação [Mestrado em Odontologia]. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2021.
22. Elkholy F, Panchaphongsaphak T, Kilic F, Schmidt F, Lapatiki B. Forces and moments delivered by PET-G aligners to an upper central incisor for labial and palatal translation. *J Orofac Orthop.* 2015 Nov;76(6):460-75. doi: 10.1007/s00056-015-0307-3.. 2015.
23. Tamburrino F, D'Antò V, Bucci R, Alessadri-Bonetti GA, Barone S, Razionale AV. Mechanical Properties of Thermoplastic Polymers for Aligner Manufacturing: In Vitro Study. *Dent J (Basel).* 2020 May 10;8(2):47. doi: 10.3390/dj8020047.
24. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(6): 728-36.
25. Lombardo L, Arrehini A, Macarrone R, Bianchi A, Scalia S, Sicilliani G. Optical properties of orthodontic aligner-spectrophotometry analysis of three types before and after aging. *Prog Orthod.* 2015;16:41. doi: 10.1186/s40510-015-0111-z. 2015.
26. Mantovani E, Castroflorio E, Rossini G, Garino F, Cugliari G, Deregibus A et al. Scanning electron microscopy analysis of aligner fitting on anchorage attachments. *J Orofac Orthop.* 2019 Mar;80(2):79-87. doi: 10.1007/s00056-018-00167-1
27. Elshazly TM, Keilig L, Salvatori D, Chavanne P, Aldesoki M, Bourauel C. Effect of trimming line on force transmission: An in vitro study. *J Dent* 2022; 125
28. Iliadi A, Koletsi D, Eliades T. Forces and moments generated by aligner-type appliances tooth movement: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res.* 2019; 22(4): 248-58.

Capítulo 3 - Aspectos biológicos da movimentação ortodôntica com Alinhadores Transparentes

Gabriel Dolci

Daniela Kalluf

Donald Fergusson

José Mauro Granjeiro

Introdução

A Ortodontia sempre esteve intrinsecamente ligada à Biologia. Os processos biológicos subjacentes ao movimento ortodôntico dos dentes têm despertado a curiosidade científica desde o início do século XX. Visionários como Sandstedt (1), Oppenheim(2). estabeleceram uma relação duradoura entre essas duas áreas. Posteriormente, pioneiros como Reitan(3) e Davidovitch(4), como principais colaboradores, introduziram novas abordagens para o estudo desse campo.

Recentemente, o interesse na biologia do movimento dentário tem se voltado para um conjunto diferente de prioridades. A Ortodontia contemporânea tem se destacado por avanços significativos nas áreas de materiais dentários e técnicas utilizadas. Nesse contexto, o tratamento com alinhadores surge como um excelente exemplo desse progresso. No entanto, ainda se sabe pouco sobre os fatores moleculares e celulares que governam o movimento dentário induzido por forças ortodônticas, e muitas afirmações sobre esse tema são baseadas em conhecimento empírico.

Essa lacuna entre a clínica e a biologia do movimento dentário destaca a necessidade de realizar pesquisas em áreas básicas da Odontologia. Observa-se, nos últimos anos, uma notável mudança no comportamento científico, como pode ser constatado ao comparar o número de artigos publicados entre 1970 e 2023, no Pubmed, utilizando as palavras-chave "Biomecânica + Ortodontia" e "Biologia + Ortodontia" (Quadro 1). Esses dados indicam uma nova perspectiva para a Ortodontia Moderna, na qual os avanços na biologia celular e molecular terão um impacto decisivo na prática clínica da nossa Especialidade, como se evidencia pelo fato de, no período de 2011 a 2023, terem sido publicados quase duas vezes mais artigos sobre biologia e ortodontia em relação àquelas incluindo biomecânica.

Quadro 1: Número de publicações científica sobre Biomecânica e Ortodontia e Biologia e Ortodontia em três diferentes momentos da história.

	Biomecânica + Ortodontia	Biologia + Ortodontia
1991- 2000	284	115
2001- 2010	643	429
2011- 2023	1434	2638

Embora a biologia do movimento dentário seja frequentemente considerada um tema de pouca importância clínica, a literatura tem destacado vários benefícios de se compreender as características biológicas individuais de cada paciente, seja no diagnóstico, no planejamento de tratamento ou na reavaliação do caso(5). Esse conhecimento permite compreender a influência de fatores externos e sistêmicos, os limites e as variáveis impostas ao movimento dentário, além de controlar, minimizar e prevenir a ocorrência de efeitos iatrogênicos, como reabsorções radiculares. Compreender o movimento dentário ortodôntico também é fundamental para acelerar o movimento dos dentes através do osso e proporcionar uma melhor experiência de tratamento aos pacientes. Esse é um tema de extrema relevância que representa o futuro próximo e inevitável da Ortodontia.

Neste capítulo, apresentaremos e discutiremos algumas peculiaridades biológicas do movimento dentário com alinhadores estéticos, destacando suas vantagens e desvantagens em comparação com a técnica de bráquetes e fios ortodônticos. Além disso, exploraremos as possíveis aplicações da biologia celular e molecular em um contexto clínico, onde a modulação do turnover periodontal, em associação com a terapia por alinhadores, representa a personalização máxima do tratamento ortodôntico. Isso contribui para reduzir a lacuna entre a biologia e a prática clínica do movimento dentário.

Tipos de Movimento Dentário

Movimento dentário fisiológico (erupção dentária)

O movimento dentário fisiológico é um processo lento que se caracteriza pelo deslocamento do dente para manter sua posição funcional(6). Diferentemente dos

movimentos dentários induzidos, esse processo ocorre ao longo da vida. O osso alveolar, como um tecido vivo, passa por processos de reorganização em resposta a diferentes tipos de forças e movimentos dentários resultantes. Entre os fatores que promovem o movimento espontâneo dos dentes, destacam-se o desgaste das cúspides, a perda de dentes adjacentes ou antagonistas, o desgaste dos pontos de contato e as prematuridades ou interferências oclusais (7).

A erupção dentária envolve uma série de eventos de sinalização parácrina entre as células epiteliais do órgão do esmalte e as células ectomesenquimais do folículo pericoronário. Esses processos resultam em reabsorção seletiva do osso alveolar na região coronal e formação óssea na região apical do dente(8).

Movimento dentário induzido

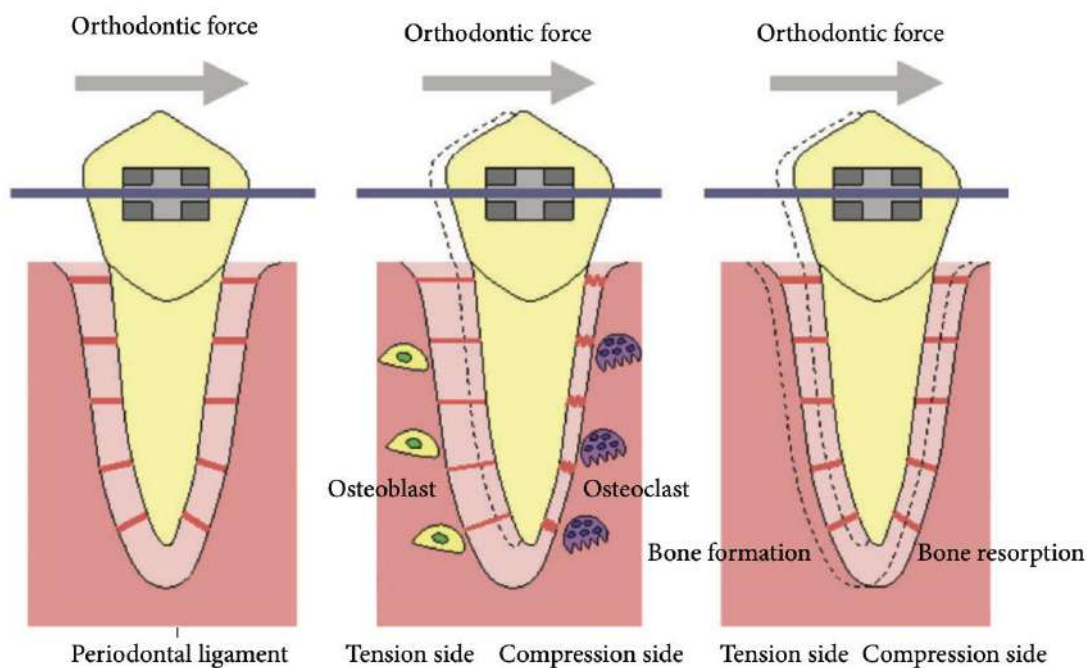
Ao contrário do movimento dentário fisiológico, o movimento dentário ortodôntico (MDO, ou induzido) é caracterizado pela criação de regiões de compressão e tensão no ligamento periodontal (PDL)(3) resultante da aplicação de uma força na coroa do dente. Esse tipo de movimento pode ocorrer rapidamente ou lentamente, dependendo das propriedades mecânicas da força aplicada e da resposta biológica do PDL. A força aplicada altera a vascularização e o fluxo sanguíneo do PDL, resultando na síntese e liberação local de diversas moléculas-chave, como neurotransmissores, citocinas, fatores de crescimento, fatores estimuladores de colônias e metabólitos do ácido araquidônico. Essas moléculas desencadeiam respostas em várias células presentes nos tecidos dentais, proporcionando um ambiente propício para a deposição ou reabsorção óssea(9)(10)

Os mecanismos biomecânicos e biológicos subjacentes ao movimento dentário ortodôntico são essenciais para um tratamento ortodôntico eficaz e seguro. Desde a primeira publicação sobre o mecanismo do movimento dentário ortodôntico em 1911, várias teorias têm sido propostas (11). Nos últimos anos, houve uma abundância de novas descobertas relacionadas às alterações biomecânicas e biológicas no periodonto durante o movimento dentário ortodôntico(12).

Teorias do movimento dentário

Pressão – Tensão

A teoria "Pressão - Tensão" explica a biologia do movimento dentário induzido ao considerar que, ao aplicarmos uma força em um dente, ocorrerá a formação de uma zona de pressão e outra de compressão no ligamento periodontal(1)(2)(13). Esse desequilíbrio na homeostase tecidual estimula a remodelação do osso alveolar e do ligamento periodontal, resultando no movimento do dente em direção à zona de compressão. É importante ressaltar que um pré-requisito para esse evento é a presença de um processo inflamatório nos tecidos periodontais adjacentes ao dente. Nesse contexto, as alterações vasculares e celulares induzidas por mediadores químicos característicos da inflamação viabilizam o movimento dentário induzido (Figura 1) (14).



Clique ou toque aqui para inserir o texto.

Figura 1. Desenho ilustrativo representando a teoria da pressão-tensão

Teoria Piezoelétrica

Essa teoria postula que as mudanças no metabolismo ósseo são resultantes de sinais elétricos gerados quando o osso alveolar sofre deformação (15). Observa-se a formação de carga elétrica quando a estrutura cristalina óssea é deformada, resultando

na migração de elétrons de um local para outro. Quando a força é removida, a estrutura cristalina óssea retorna à sua forma original e um fluxo inverso de elétrons é detectado. As regiões submetidas à pressão tendem a se tornar convexas (cargas positivas), e nessas áreas ocorre uma atividade osteoclástica elevada, levando à reabsorção óssea. Por outro lado, as regiões submetidas à tensão tendem a ser côncavas (cargas negativas), favorecendo a atividade osteoblástica com subsequente deposição óssea (6).

A deformação mecânica dos cristais de colágeno induz a geração de um potencial de estresse. Embora a presença de piezo eletricidade explique os sinais elétricos e sua relação com a manutenção do esqueleto ósseo, sua relação com o MDO é menos clara, uma vez que o movimento ortodôntico ocorre como resultado de uma força sustentada em contraste com o tipo intermitente de forças que causam o potencial de estresse gerado (15).

Teoria da microfratura e compressão de fluidos

A teoria da microfratura e compressão de fluidos é um dos fundamentos utilizados para explicar a movimentação ortodôntica. De acordo com essa teoria, a aplicação de forças ortodônticas sobre os dentes resulta na formação de microfratura no osso alveolar, além de promover a compressão do fluido presente no ligamento periodontal(16). Essas alterações biomecânicas desencadeiam uma resposta inflamatória localizada, ativando osteoclastos e osteoblastos e resultando em remodelação óssea. A formação de microfratura é importante porque provoca um estímulo mecânico que ativa células responsáveis pela reabsorção e deposição óssea. A compressão de fluidos, por sua vez, gera uma distribuição de pressão no ligamento periodontal, estimulando a atividade celular e a remodelação óssea, bem como estimula os osteócitos através da ativação de mecanosensores que modularão a produção de citocinas que coordenarão a atividade de osteoblastos e osteócitos(17–19).

Teoria Bifásica

Recentemente, uma teoria chamada Teoria Bifásica tem sido proposta para explicar o processo de movimentação ortodôntica dentária. Essa teoria divide a MOD em duas fases distintas: a Fase Catabólica inicial e a Fase Anabólica subsequente. Na

Fase Catabólica, ocorre a reabsorção óssea nos locais de compressão e tensão, realizada pelos osteoclastos (OC). Já na Fase Anabólica, o osso alveolar é restaurado aos seus níveis pré-tratamento. A Teoria Bifásica destaca que o ligamento periodontal (LPD) é o principal alvo da força ortodôntica, induzindo a osteoclastogênese dependente de inflamação na Fase Catabólica. Por sua vez, a Fase Anabólica é baseada no conceito de que a ativação dos osteoblastos requer cargas intermitentes de frequência específica e aceleração em níveis fisiológicos, tanto nos ossos longos quanto no osso alveolar. No entanto, a força de tração ortodôntica, que é uma força estática, causa reabsorção óssea nos ossos longos (16).

Tipos de força ortodôntica

A força ortodôntica em si deve ter magnitude suficiente para gerar alterações moleculares/celulares no microambiente periodontal, culminando no movimento dentário. Segundo Stanley, a força ortodôntica pode ser classificada, conforme sua magnitude, em:

- Forças Leves (até 250g);
- Forças Moderadas;
- Forças Pesadas (maiores que 500g).

Além da magnitude da força, outro fator de extrema relevância é o tipo de força que está sendo aplicada sobre o elemento dentário, que pode ser classificada em: Contínua, Dissipante ou Intermitente.

Talvez resida neste campo uma das principais diferenças entre o sistema bráquete/fio e a técnica de alinhadores. Teoricamente, tem-se como uma condição desejável a manutenção de níveis apreciáveis de força entre uma revisão clínica e outra. Na técnica bráquete/fio, isso é possível utilizando-se dispositivos como fios e molas de níquel titânio, por exemplo, que, do ponto de vista ortodôntico, apresentam uma relação carga x deflexão inigualável. Atualmente, considera-se a força contínua de leve magnitude como o melhor tipo de força ortodôntica, capaz de produzir uma reabsorção óssea direta, maximizando assim o movimento dentário. Por outro lado, a força contínua pesada é aquela com maior capacidade de gerar danos irreparáveis ao

periodonto, estando frequentemente associada ao processo de reabsorção radicular externa. Barbagallo et al (20) ao comparar forças aplicadas por aparelhos removíveis termoplásticos e aparelhos fixos, concluíram que forças pesadas (225 g) produziram 9 vezes mais reabsorção radicular do que o grupo controle (sem movimentação), enquanto as forças leves (25g) e os aparelhos termoplásticos apresentaram, respectivamente, 5 vezes e 6 vezes mais reabsorção radicular do que o grupo controle.

A magnitude ótima da força para o movimento dentário ortodôntico varia de acordo com os estudos. Alguns estudos sugerem que forças de 0,5 N a 1,0 N parecem ser ótimas para o movimento dentário ortodôntico, proporcionando conforto ao paciente e potencialmente exibindo menos efeitos colaterais (21-24). No entanto, é importante ressaltar que a relação entre a magnitude da força e a velocidade do movimento dentário ainda é controversa, e diferentes estudos apresentam resultados variados.

Fases do movimento dentário induzido

Embora a magnitude e a localização da força possam afetar o movimento dentário, sob um prisma clínico, tem sido amplamente aceito que este segue um padrão específico no tempo, apresentando três fases (21): (1) Fase inicial (2) Fase de atraso (3) Fase pós-lag.

- (1) Fase Inicial - ocorre de 24 horas a 2 dias após a aplicação da força, caracterizando-se pelo deslocamento do dente no espaço do ligamento periodontal. Em outras palavras, o dente irá se deslocar numa pequena distância, cerca de 0,6mm, considerando a média da espessura do LP, e, após, haverá íntima relação do tecido ósseo e do cimento radicular, na zona de pressão. Quando isso ocorrer, o elemento dentário irá parar o movimento, também podendo haver uma flexão do osso alveolar (22).
- (2) Fase Estacionária (Fase de Atraso) - Após a fase inicial, há uma fase de atraso na qual o movimento é mínimo ou, às vezes, não ocorre movimento. A razão para esta fase é a hialinização do ligamento periodontal comprimido. O movimento não ocorrerá até que o tecido necrosado seja removido pelas células (23). Na fase de atraso, o movimento dentário por vinte a trinta dias e, durante esse

período, todo o tecido necrótico é removido juntamente com a reabsorção da medula óssea adjacente. O tecido necrótico dos locais de osso comprimido e ligamento periodontal comprimido é removido por macrófagos, células gigantes de corpo estranho e osteoclastos.

- (3) Fase Pós-lag - A terceira fase é a fase pós-atraso na qual o movimento do dente gradualmente ou repentinamente aumenta e geralmente é observado após quarenta dias após a aplicação da força inicial (6). Foi levantada a hipótese de que durante o deslocamento do dente ocorre um desenvolvimento contínuo e remoção de tecido necrótico (24).

O processo de transdução de cargas mecânicas para sinais biológicos ocorre em quatro etapas: (1) tensão da matriz e fluxo de fluido, que basicamente diz respeito à mecanobiologia extracelular do periodonto, (2) tensão celular, (3) ativação e diferenciação celular e (4) remodelação tecidual (25)(26) (Figura 2).

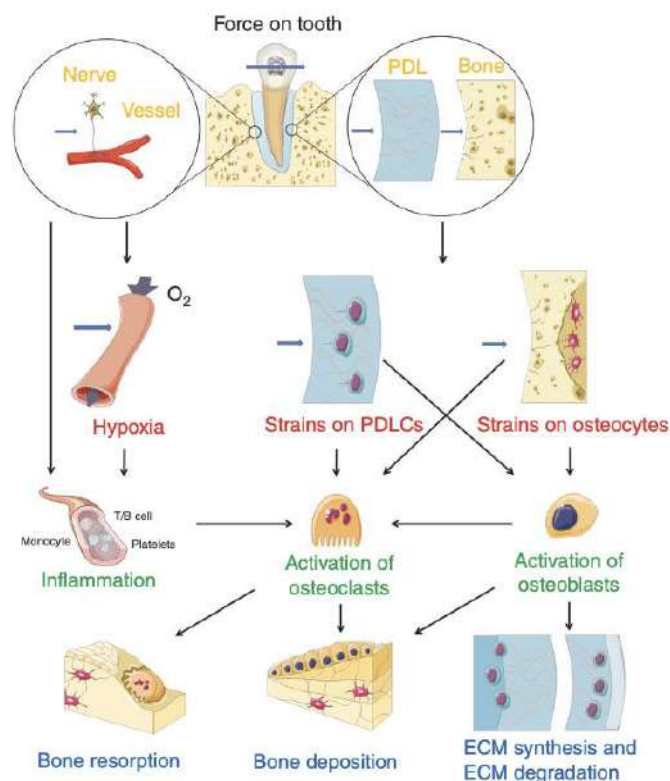


Figura 2 – Desenho esquemático representando o processo de transdução de cargas mecânicas.

Clique ou toque aqui para inserir o texto.

Na primeira etapa, ocorrem alterações da matriz extracelular (MEC) em resposta à força no LPD e no osso alveolar, incluindo principalmente a deformação da matriz e a subsequente alteração do fluxo de fluido. As respostas do sistema neurovascular também estão envolvidas, e observa-se o importante papel do PDL e suas propriedades materiais.

Na segunda etapa, os sinais mecânicos são transduzidos através da MEC para as células mecanossensoriais (células do LPD/CLPD e osteócitos) e ativam as vias de sinalização intracelular, levando a respostas celulares primárias.

Na terceira etapa, ocorrem mecanismos regulatórios de ativação e diferenciação de OBs e OCs como base dos mecanismos *downstream* regulados por CLPD e osteócitos. Uma rede que inclui sinalização de CLPD –OB/OC, osteócitos–OB/OC e CLPD –osteócitos é fundamental para o processo.

Na quarta etapa, as enzimas responsivas da matriz são secretadas, levando à remodelação do tecido, incluindo síntese ou degradação no PDL, bem como deposição ou reabsorção do osso alveolar (Figura 2).

A MOD, como um processo biológico, engloba uma série de reações histológicas e bioquímicas. Essas reações levam à remodelação óssea e tecidual, que envolvem a polpa dentária, o ligamento periodontal (LPD), o osso alveolar e a gengiva. A aplicação de força causa hipóxia local, iniciando uma cascata inflamatória asséptica que interrompe o equilíbrio entre a formação óssea e a reabsorção óssea. Isso resulta em mais reabsorção óssea no lado da pressão por osteoclastos e mais formação óssea no lado da tensão por osteoblastos durante a MOD. O estímulo mecânico causa respostas inflamatórias nos tecidos periodontais, alterações no fluxo sanguíneo, bem como formação e liberação de vários mediadores químicos (27). As principais implicações das forças de movimentação dentária já foram estudadas; no entanto, as pesquisas mais recentes têm se concentrado nas alterações celulares e biológicas que ocorrem em outros componentes do periodonto e nos eventos moleculares que controlam esse processo (26)(28).

Um reflexo desses fenômenos pode ser encontrado no fluido gengival crevicular (FGC) dos dentes em movimento, com elevações significativas nas concentrações de seus componentes. A natureza não invasiva e a conveniência da amostragem repetitiva

do FGC são consideradas de grande importância para a identificação das alterações periodontais decorrentes da aplicação de força ortodôntica(29), tanto para medir a eficácia e os efeitos fisiológicos e adversos do tratamento ortodôntico, como a reabsorção radicular(30), quanto para avaliar a eficiência de diferentes aparelhos e técnicas de movimento dentário ortodôntico (28). Uma vez coletado, o FGC pode ser criopreservado ou enviado diretamente para análise química. Também pode ser coletado repetidamente em vários estágios do tratamento ortodôntico, fornecendo percepção dos eventos biológicos ao longo de todo o período de observação (31).

Existem três métodos principais de coleta do FGC: (a) a técnica de lavagem gengival, que consiste na perfusão do FGC com uma solução isotônica de volume fixo; o líquido coletado representa uma diluição do líquido crevicular, contendo células e constituintes solúveis, como proteínas plasmáticas; (b) inserção de tubos capilares, com diâmetro específico, na entrada do sulco gengival; o fluido então migra para o tubo por ação capilar; (c) o método mais comum, no entanto, de coletar FGC é com o uso de tiras de papel absorvente esterilizado. As tiras de papel são inseridas no sulco gengival e deixadas in situ por 5 a 60 segundos para permitir que o FGC seja absorvido pelo papel (32).

Várias substâncias podem ser coletadas do FGC e são consideradas biomarcadores. O termo "biomarcador" descreve uma substância que é medida e avaliada objetivamente como um indicador de processos biológicos normais, processos patológicos ou respostas farmacológicas a uma intervenção terapêutica(29). Numerosos biomarcadores de proteínas ou derivados de proteínas são liberados durante a remodelação óssea por osteoblastos ou osteoclastos e são geralmente descritos como marcadores de remodelação óssea (BTMs, do inglês Bone Turnover Markers) (33).

Os marcadores de remodelação óssea (BTMs), que são estudados há mais de 30 anos, são divididos em dois grupos: os marcadores de formação óssea, que incluem o pró-peptídeo de extensão de colágeno tipo I N-terminal (PINP), a osteocalcina (OC) e a fosfatase alcalina óssea (BALP); e os marcadores de reabsorção óssea, que englobam os produtos de degradação do colágeno I, como o telopeptídeo de ligação cruzada C-terminal do colágeno tipo I (CTX) e o telopeptídeo N-terminal do colágeno tipo I (NTX)(34).

No entanto, apesar de terem sido avaliados em pesquisas básicas, os BTMs não são amplamente implementados na prática clínica ortodôntica. O principal desafio para a sua adoção na prática de rotina tem sido a fraca reprodutibilidade intra-individual e entre laboratórios (27).

Implicações clínicas

Na Ortodontia, os biomarcadores relacionados ao turnover ósseo podem abrir novas possibilidades para a compreensão do crescimento e remodelação óssea. O conhecimento do processo contínuo que ocorre nos tecidos periodontais durante as terapias ortodônticas e ortopédicas pode levar à escolha adequada da carga mecânica, com o objetivo de encurtar o período de tratamento e evitar efeitos adversos associados ao tratamento ortodôntico (35).

No entanto, existem poucos estudos na literatura sobre a produção de marcadores biológicos e moleculares durante o movimento dentário ortodôntico com alinhadores transparentes, que estão atualmente em crescente uso devido à sua disseminação na comunidade ortodôntica e às demandas estéticas da sociedade (36). O estudo realizado por Castroflorio(36) representou a primeira tentativa de esclarecer os mecanismos biológicos por trás do tratamento ortodôntico com alinhadores. Os autores concluíram que os alinhadores parecem ser capazes de induzir as mesmas respostas biológicas descritas para outros aparelhos, pelo menos nos estágios iniciais do tratamento ortodôntico. Posteriormente, Chami et al (37) detectaram a expressão de citocinas envolvidas na remodelação do tecido induzida por forças leves no tratamento ortodôntico realizado com alinhadores. Comparados aos pacientes tratados com aparelho fixo, os alinhadores mostraram pequenas diferenças nas alterações dos níveis de citocinas desde o início até 3 semanas de tratamento (38).

Os alinhadores transparentes são uma alternativa aos tratamentos com aparelhos fixos convencionais, mostrando-se eficazes na correção de apinhamento leve a moderado da arcada inferior. O aumento dos níveis de IL-1 β no GCF indica uma movimentação dentária ortodôntica eficiente, e esse aumento atinge seu pico após 24 horas de aplicação de força com os alinhadores. No entanto, são necessárias mais pesquisas para avaliar os efeitos a longo prazo da aplicação de força ortodôntica por meio de alinhadores na produção de IL-1 β (38).

O termo "OOF" (optimal orthodontic force) foi elucidado como a força mais leve que produz o movimento dentário mais rápido, com o menor dano tecidual e o maior conforto para o paciente (39). A magnitude da força ortodôntica está associada a efeitos adversos, incluindo inclinação descontrolada, aumento da hialinização, reabsorção radicular e até mesmo esfoliação dentária. Comumente, as forças de baixa magnitude são preferíveis porque a força pesada aumenta os riscos de reabsorção radicular e hialinização, induzindo altos e baixos acentuados nos níveis de citocinas e apoptose de cementoblastos (40). No entanto, a relação clara entre a variável relacionada à força e a extensão da hialinização ainda não foi encontrada. A hialinização ocorreu mesmo com uma força tão baixa quanto 0,5 N. No entanto, na aplicação clínica, não sabemos as forças aplicadas nas células devido à perda no processo de transferência de força durante o MOD. Portanto, em uma opinião biológica, o OOF pode ser a força mais leve que pode iniciar a ativação de OC e posterior reabsorção tecidual. No entanto, as evidências não chegaram a um consenso sobre a magnitude exata da OOF(41). Todos os componentes do aparelho fixo ortodôntico, incluindo fio, bráquete e adesivo, parecem influenciar, até certo ponto, a biomecânica do MOD (42).

Os alinhadores ortodônticos são aparelhos removíveis e aplicam forças intermitentes nos dentes, por isso, Kuncio et al. (43) sugeriram que os dentes movidos com alinhadores não passam pelos estágios típicos do movimento dentário ortodôntico, conforme descrito por Krishnan e Davidovitch(6). No entanto, forças leves e contínuas parecem ser percebidas como forças intermitentes pelo periodonto devido à sua natureza viscoelástica, e as forças intermitentes ortodônticas são capazes de produzir MOD com menos dano celular no periodonto. Em comparação com as forças contínuas pesadas fornecidas por aparelhos fixos, as forças leves interrompidas derivadas do tratamento com alinhadores causaram menos reabsorção radicular apical em pacientes ortodônticos (41).

Aceleração da MOD

A duração do tratamento ortodôntico depende de vários fatores, como diagnóstico, complexidade do caso, plano de tratamento, aparelhos necessários, experiência clínica do profissional e cooperação do paciente (44). De acordo com uma revisão sistemática recente envolvendo 22 estudos e 1.089 participantes, a duração

média de um tratamento ortodôntico com aparelho fixo é de 19,9 meses (45). Quanto mais longo o tempo de tratamento, maior o risco de efeitos negativos nos tecidos dentários duros e no periodonto, como lesões de mancha branca, doença periodontal e reabsorção radicular (46). Além disso, tratamentos ortodônticos mais longos podem afetar a colaboração do paciente, resultando em menor satisfação com o resultado geral do tratamento (47). Portanto, a aceleração do movimento dentário ortodôntico, que leva a uma redução na duração e complicações do tratamento, é desejável tanto para pacientes quanto para ortodontistas.

A atividade dos osteoclastos e a reabsorção óssea no lado da compressão são consideradas o fator limitante da velocidade que determina a velocidade da MOD. As tentativas de acelerar a MOD devem se concentrar na atividade dos osteoclastos e na reabsorção óssea. Portanto, com base nas quatro etapas da MOD, os alvos potenciais envolvidos na regulação dos osteoclastos podem ser úteis para controlar a taxa de MOD (12). Por exemplo, o sistema nervoso simpático regula a reabsorção óssea por meio de *Adrb2* e a injeção de agonista não seletivo de *Adrb2* acelerou a MOD (48). A injeção local da proteína esclerostina no osso alveolar no lado da compressão também acelerou a MOD em ratos, promovendo a osteoclastogênese (33). Outros reguladores importantes que mediam essa rede estão aguardando para serem explorados, e sua aplicação pode beneficiar as clínicas. Entre os diversos alvos incluídos na revisão, o RANKL e o OPG são os reguladores mais importantes para a diferenciação dos osteoclastos. No entanto, o uso de RANKL exógeno para acelerar a MOD ainda não foi tentada, pois grandes quantidades de RANKL para terapia sistêmica podem causar perda sistêmica séria de osso esquelético, enquanto a terapia local pode afetar apenas alguns dentes. A liberação local controlada e sustentada de RANKL foi introduzida e maximizou os benefícios terapêuticos, minimizando os efeitos colaterais sistêmicos, o que pode beneficiar estudos futuros (49). A eficácia da proteína OPG recombinante também foi avaliada e inibiu efetivamente a osteoclastogênese, resultando em melhoria na quantidade óssea e ancoragem ortodôntica (50). A combinação de reguladores da homeostase óssea e novos sistemas ou métodos de administração de drogas é uma direção promissora para a aplicação clínica.

Marcadores inflamatórios também desempenham um papel importante no recrutamento e diferenciação de OC, como as citocinas. Assim, qualquer tentativa de

umentar os marcadores inflamatórios pode acelerar a velocidade da MOD. O nível de citocinas pode ser aumentado pela injeção local de citocinas no local da MOD (12). Nas últimas décadas, o tratamento de pacientes em diversas especialidades odontológicas foi aprimorado com a descoberta dos PCs, concentrados de plaquetas (CPs), plasma rico em plaquetas (PRP) e fibrina rica em plaquetas (PRF). Como biomateriais com alto conteúdo molecular com concentração autóloga de plaquetas contendo fatores de crescimento, citocinas, proteases e leucócitos que promovem regeneração óssea, angiogênese e cicatrização de feridas e pode ser também interesse na Ortodontia (51). Foi levantada a hipótese de que as propriedades anti-inflamatórias dos PCs podem reduzir a taxa de MOD, uma vez que diminui a ação dos osteoclastos e, portanto, a reabsorção óssea, necessária para que ocorra a MOD (52). Apesar desses dados, uma revisão sistemática recente sugere que os PCs diminuem o tempo geral de tratamento em retrações caninas como injeções ou colocados em alvéolos pós-extração (53).

As diversas moléculas discutidas acima forneceram muitos alvos para controlar a velocidade da MOD. Além de selecionar um alvo ideal com efeitos máximos e efeitos colaterais mínimos, é importante também adotar uma abordagem adequada de administração. Também é possível aumentar marcadores inflamatórios locais causando microtraumas, como corticotomia, piezocisão e microperfurações ósseas (MOP), entre outros. Os tratamentos ortodônticos assistidos por corticotomia envolvem a desconexão do córtex ósseo, sem danificar o osso esponjoso, vasos sanguíneos, nervos ou periósteo. Rotineiramente, consistem em retalhos de espessura total vestibular e lingual, seguidos por uma decorticação parcial das placas corticais, aumento ósseo e fechamento dos retalhos primários. A corticotomia acelera a MOD através da indução da osteoclastogênese local e estimulação da infiltração de macrófagos (54). De forma controversa, alguns estudos recentes descobriram que a corticotomia não tem efeito na aceleração da MOD (55). Além disso, as microperfurações ósseas (MPO) é um procedimento minimamente invasivo, que não requer o rebatimento de um retalho de espessura total, e é utilizado como método alternativo à corticotomia convencional. De acordo com a pesquisa, as MPO aceleraram significativamente o movimento dentário, aumentando a expressão de TNF- α e promovendo a proliferação e apoptose de células precursoras de ligamento periodontal (CLPD) (56,57). Da mesma forma, Alkebsi et al.(58) conduziram ensaios controlados randomizados, que indicaram que as MPO não

foram capazes de acelerar a taxa de MOD (58,59). A piezocisão é um procedimento otimizado que utiliza dispositivos piezoelétricos em vez de bisturi. A corticotomia sem retalho assistida por piezocisão é esperada para ser eficaz na aceleração da MOD (60). De acordo com as informações disponíveis, algumas revisões sistemáticas indicaram que a piezocisão resulta na aceleração da MOD, mas evidências de alta qualidade são necessárias (61). Em suma, os efeitos dos tratamentos ortodônticos assistidos por cirurgia tendem a ser incertos e instáveis, com mecanismos desconhecidos. Sendo assim, antes que essas técnicas possam ser propostas na prática clínica diária, conclusões confiáveis devem ser fornecidas a partir de pesquisas adicionais sobre sua segurança (62). Intervenções cirúrgicas têm mostrado potencial na aceleração do movimento ortodôntico, porém seus efeitos colaterais sempre foram uma barreira na generalização dessas intervenções e infelizmente, poucos pacientes podem aceitar esta intervenção cirúrgica para acelerar o movimento dentário devido à sua natureza invasiva (63).

Existem também métodos não invasivos para acelerar a MOD, como a terapia a laser de baixa intensidade (LLLT) e a vibração (64). As células do ligamento periodontal respondem de maneira diferente a esses estímulos físicos em comparação com as forças ortodônticas gerais. A LLLT aumentou os níveis de IL-1 β e MMP-9 no FGC, diminuiu os níveis de MMP-8, o que pode induzir a proliferação de osteoblastos e osteoclastos e levar a processos de remodelação no osso alveolar (65). Estudos de caso publicados de tratamento com alinhadores com fotobiomodulação (PBM) demonstraram que os pacientes podem trocar os alinhadores mais rapidamente do que sob o protocolo padrão, reduzindo assim o tempo de tratamento(66). Posteriormente, Levrini L et al(67) concluíram que o OrthoPulse[®] parece aumentar a previsibilidade do tratamento ortodôntico com alinhadores transparentes, reduzindo assim o número de alinhadores da fase de refinamento. Embora os resultados sejam animadores no uso do laser de baixa potência na aceleração dos movimentos ortodônticos e apesar do exponencial crescimento do número de estudos realizados mais ensaios clínicos randomizados controlados com uma grande amostra são necessários para aumentar a força da evidência sobre os efeitos do uso de terapia a laser de baixa intensidade para um esclarecimento específico da benefícios que essa terapia traz para o paciente (68). Além disso, um protocolo padrão e eficiente para acelerar o movimento dentário e reduzir a

duração do tratamento para aplicação do laser de baixa potência na prática ortodôntica ainda não foi estabelecido devido à grande heterogeneidade de parâmetros e protocolos de irradiação na literatura publicada (69).

A vibração promove a proliferação de osteoclastos via ativação de NF- κ B (70) e regula positivamente PGE2 e RANKL nos CLPD (71). No entanto, a vibração também é um método controverso, pois alguns estudos indicaram que não teve efeito na aceleração da MOD (72,73). Existem evidências fracas que sugerem que o estímulo de vibração pode ser eficaz, o que significa que ensaios clínicos de alta qualidade também são necessários (74). Revisões sistemáticas mais recentes alegam que existem evidências insuficientes para apoiar a alegação de que força suplementar vibracional têm vantagens clínicas positivas no alinhamento do dentes anteriores e informações insuficientes para tirar uma conclusão sobre a influência das forças vibracionais no fechamento do espaço e reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico. As forças vibracionais podem não ser tão eficazes quanto anunciados, e os ortodontistas devem ter cuidado ao tomar decisões sobre se deve aplicar forças vibracionais suplementares para acelerar o movimento dentário ou para aliviar a dor e prevenir a reabsorção da raiz. Estudos adicionais devem ser bem desenhados e podem se concentrar no efeito das forças vibracionais em pacientes com alinhadores (75).

No tratamento ortodôntico com alinhadores, devido à sua removibilidade e ao fato de melhorarem significativamente a qualidade de higienização dos pacientes, existem limitações, como a necessidade de colaboração, exigindo o uso dos alinhadores por 22 horas por dia (76). A duração do tratamento com alinhadores é controlada pelo tempo de troca deles, sendo recomendado pelos clínicos em geral que os pacientes troquem seus alinhadores a cada 2 semanas. Essa recomendação é baseada na experiência clínica, que demonstra que qualquer tentativa de acelerar o tratamento, seja aumentando a magnitude do movimento dentário por alinhador ou diminuindo o intervalo de tempo entre eles, está sujeita ao fracasso, uma vez que o movimento dentário planejado pode se tornar difícil de alcançar. Isso se manifesta clinicamente por meio de alinhadores mal ajustados que impedem o progresso do tratamento (77). Esse problema, conhecido como "non-tracking", pode ser atribuído a vários fatores, tais como: (1) pacientes que não utilizam os alinhadores pelo período completo de 22 horas por dia; (2) variações individuais no movimento dentário; (3) demanda excessiva de

movimento dentário por alinhador; (4) progressão prematura para o próximo alinhador; (5) entrega de força subótima pelos alinhadores; e (6) taxas variáveis de movimento dentário de pessoa para pessoa, que têm sido alvo de melhorias na ciência dos materiais. Mesmo que todos esses fatores sejam abordados, atrasos na taxa de movimentação dentária podem impedir a progressão para o próximo alinhador (78).

Em qualquer caso, os pacientes de hoje desejam e esperam resultados mais rápidos do que nunca, inclusive no tratamento ortodôntico. Diante da relação inversa entre o tempo de tratamento e a colaboração do paciente, seria benéfico para ambas as partes oferecer um meio seguro e eficaz de reduzir o tempo de tratamento, mantendo a alta qualidade dos resultados que buscamos para nossos pacientes. Ao questionar pacientes adolescentes sobre a duração desejada do tratamento ortodôntico, 40,8% expressaram preferência por um período inferior a 6 meses, enquanto 33,2% indicaram que prefeririam um tratamento de 6 a 12 meses. Em contraste, 42,9% dos pacientes adultos responderam que prefeririam um período de 6 a 12 meses, e 26,5% indicaram preferência por 12 a 18 meses (76). Tempos de tratamento mais curtos aumentariam a satisfação do paciente e reduziriam o risco de não cumprimento do tratamento e complicações relacionadas, como problemas periodontais, reabsorção radicular, manchas brancas e lesões de cárie (79). No entanto, os ortodontistas ainda estão em busca de um método verdadeiramente não invasivo e de fácil utilização para reduzir o tempo de tratamento (80).

Há evidências inconclusivas quanto à duração do tratamento com alinhadores (81); no entanto, o tempo de tratamento tende a ser mais curto com alinhadores em comparação com aparelho fixo em casos de más oclusões leves a moderadas (82), tanto no que diz respeito ao menor número de consultas, menor tempo de cadeira e a duração geral do tratamento, e mais longo em casos de más oclusões graves (em que há indicação de extrações), o que pode ser explicado pelas dificuldades em obter movimento de corpo, torque radicular ou movimento de verticalização, em que a mecânica é limitada com alinhadores (83). A metanálise de Ke et al(84) também revelou que os alinhadores estão associados a uma duração menor de tratamento estatisticamente significativa em comparação com aparelho fixo. No entanto, três revisões sistemáticas (uma com meta-análise) (85–87) descobriram que os resultados comparando a duração do tratamento com alinhadores e aparelho fixo eram

insignificantes, pouco claros e conflitantes. Os resultados conflitantes sobre a duração do tratamento entre CAT e FAT foram devidos a resultados heterogêneos de diferentes desenhos de estudo e fatores como idade, sexo, qualidade óssea, comprimento do dente, localização do centro de resistência e fatores sistêmicos devem ser considerados. Portanto, somente o tipo de aparelho isoladamente pode não ser a principal influência na duração do tratamento, mas diferentes fatores relacionados ao paciente e ao tratamento como a gravidade da má oclusão, extrações, idade do paciente, sexo e colaboração do paciente podem influenciar a duração do tratamento (81).

Medicação e movimentação dentária

Uma análise de forças e vetores não é capaz de explicar completamente o mecanismo do movimento dentário ortodôntico (88). A interação complexa entre diferentes tensões, expressões gênicas e ativação de vias de sinalização estabelece um novo paradigma para a compreensão do mecanismo do movimento dentário ortodôntico (89). O efeito de medicamentos em moléculas de sinalização, como eicosanóides ou prostanóides, desempenha um papel importante na regulação de vias e respostas patológicas que afetam direta ou indiretamente o movimento dentário ortodôntico (90). Apesar das limitações dos estudos em humanos que avaliaram o efeito de alguns tipos de medicações na taxa de movimentação ortodôntica, (91) o ortodontista deve ser capaz de identificar pacientes em uso de medicamentos e considerar quaisquer implicações relacionadas ao tratamento ortodôntico (91).

Os AINEs (Anti-inflamatórios Não Esteroides) podem ser divididos em grupos com base em sua composição química, como salicilatos, ácidos arilalcanóicos, ácidos arilpropionícos, oxicams e coxibs e seu mecanismo de ação é bastante semelhante, pois causam supressão da produção de prostanóides, incluindo tromboxanos, prostaciclina e prostaglandinas. Estes medicamentos são amplamente utilizados por pacientes para tratar diferentes condições, como cefaleia, enxaqueca, gota, artrite reumatoide, osteoartrite, dor pós-operatória, doenças cardiovasculares e câncer colorretal. Os estudos conduzidos em animais para investigar os efeitos desses AINEs no movimento dentário ortodôntico demonstraram que os AINEs podem influenciar a diferenciação osteoclástica ou estimulação de sua atividade (88,90,92,93). Outros autores relataram que os AINEs diminuem a taxa de movimento dentário devido aos seus efeitos sobre as

prostaciclina e tromboxanos (90,94). Além disso, a inibição da reação inflamatória produzida pelas prostaglandinas tende a retardar o movimento dentário ortodôntico (95). Sendo assim, é importante considerar a dose e a duração dessas drogas durante sua aplicação clínica, pois é comum o uso destes AINES por pacientes ortodônticos para alívio do desconforto inicial causado pelo movimento ortodôntico dentário.

Entre os analgésicos não opioides, o paracetamol não apresenta qualquer atividade anti-inflamatória demonstrável. Quando tomado por curtos períodos de tempo, o paracetamol não influenciou a taxa de movimento dentário(96). Portanto, o paracetamol pode ser considerado um medicamento seguro para o manejo da dor associada ao tratamento ortodôntico(90,97).

Os bisfosfonatos, são medicamentos utilizados no tratamento de doenças ósseas, como osteoporose, doença de Paget e metástases ósseas e provoca um efeito direto na homeostase do cálcio. De acordo com a evidência existente de baixa qualidade, a administração de BPs em pacientes ortodônticos parece provocar resultados de tratamento ambíguos. O tratamento ortodôntico parece estar associado a taxas lentas de movimento dentário resultando em duração prolongada. Da mesma forma, pacientes tratados com BP apresentam leve reabsorção radicular, espaços alargados do ligamento periodontal e mais áreas escleróticas no osso alveolar circundante em comparação com pacientes de controle não tratados por fármacos (98). A meia-vida destes medicamentos é de 10 anos, o que significa que continuam a afetar o metabolismo ósseo mesmo após a interrupção da dose terapêutica (90).

Dependendo do tempo de uso e da dosagem utilizada, os corticosteroides podem aumentar o movimento dentário ortodôntico (99) ou inibir o movimento dentário estimulando a reabsorção óssea in vitro a partir do aumento da atividade e/ou formação de osteoclastos) (100).

Secretado pelas glândulas paratireoides quando há baixa concentração de cálcio no sangue, o hormônio da paratireoide (PTH) pode aumentar a concentração de cálcio estimulando a reabsorção óssea, e conseqüentemente aumentar a velocidade do movimento ortodôntico (101,102).

Os estrogênios são hormônios sexuais femininos que parecem reduzir a taxa de movimentação dentária pois diminuem após a menopausa em pacientes do sexo feminino, o que pode levar à osteoporose (88,103,104)).

A tiroxina e a calcitonina são hormônios liberados pela glândula tireóide que desempenham um papel importante na regulação e reabsorção de cálcio. Embora não haja estudos que mostrem o efeito da calcitonina na taxa de movimento dentário, existem estudos em animais que demonstram que a tiroxina aumenta a taxa de movimento dentário quando injetada localmente, por meio da ativação de osteoclastos (99)

A vitamina D3 (1,25 dihidroxicolecalciferol) é um hormônio que regula os níveis séricos de cálcio e fosfato, promovendo a absorção e reabsorção intestinal desses minerais. A deficiência de vitamina D3 pode ocorrer devido à baixa ingestão combinada com exposição inadequada à luz solar, o que pode levar eventualmente à osteoporose e diminuição da mineralização óssea. Estudos em ratos sugeriram que a vitamina D3 pode aumentar a taxa de movimentação dentária (105).

Como o uso de medicamentos prescritos e de venda livre aumentou significativamente entre todas as faixas etárias, como mostra o resultado de uma pesquisa atual que revelou que mais de 60% dos pacientes ortodônticos fazem uso regular de determinados medicamentos e/ou suplementos nutricionais (106), é importante identificar os pacientes que consomem medicamentos e considerar as possíveis implicações clínicas, e assim fazer o plano de tratamento correto, selecionar o regime de ativação do aparelho ortodôntico apropriado, escolher procedimentos de diagnóstico adicionais e consultas com médicos especialistas de acordo com o histórico de medicamentos do paciente. As estimativas de duração do tratamento podem necessitar de modificações quando um paciente está tomando medicação que potencialmente aumenta ou diminui a taxa de movimentação dentária. Em termos de mecanoterapia, pacientes que tomam drogas que aumentam o movimento dentário pode apresentar necessidades aumentadas de ancoragem, enquanto os pacientes em que o movimento é farmacologicamente impedido podem apresentar dificuldade no fechamento espaços pré-existentes ou pós-extração (96)

A dor pode ser uma barreira primária para receber terapia ortodôntica e afeta negativamente a OHRQoL (107,108) (qualidade de vida relacionada à saúde bucal),

termo que refere-se ao impacto que as doenças orais e dentárias têm na qualidade de vida de um indivíduo (109). A terapia com o aparelho ortodôntico fixo afeta o bem-estar social do paciente, bem-estar psicológico, bem-estar estético, bem-estar funcional, bem-estar fisiológico e OHRQoL geral(110). O desconforto causado pelo aparelho ortodôntico pode ter um efeito prejudicial na disposição do paciente para receber terapia, sua participação e a eficácia do tratamento e a subsequente satisfação do paciente (111,112). De acordo com Krishnan, os dois elementos mais cruciais de desconforto e dor durante terapia ortodôntica são sua duração e intensidade (113). A dor causada pela instalação e ativação de aparelhos ortodônticos (braquetes e fios) tem início logo após a sua instalação, aumenta rapidamente nas primeiras horas até um pico no primeiro dia após a inserção e depois diminui gradualmente na primeira semana (114). Além da dor alveolar, feridas nos tecidos moles causadas por aparelhos ortodônticos também podem produzir dor (115). Fatores como idade do paciente, sexo, experiência anterior de dor, nível de tolerância de dor, aspectos emocionais ou cognitivos, severidade da má oclusão inicial e magnitude/tempo da força ortodôntica aplicada são fatores associados à dor induzida ortodonticamente (113,116).

À luz das crescentes exigências reabilitadoras e estéticas da terapia ortodôntica e o foco em OHRQoL, o declínio transitório na OHRQoL causado pelo tratamento ortodôntico melhorou com tempo (98). De modo geral, verificou-se que pacientes ortodônticos tratados com alinhadores tendem a relatar níveis de dor mais baixos do que aqueles tratados com aparelhos fixos, especialmente durante a primeira semana de tratamento (81). Mais tarde, durante o tratamento, as diferenças parecem desaparecer. Além disso, o consumo de analgésicos, a irritação dos tecidos moles e os distúrbios alimentares foram menores nos pacientes tratados com alinhadores, e esses pacientes também apresentaram uma melhor resposta em termos de alimentação e mastigação (117). A metanálise de Pereira et al (118) concluiu que os pacientes tratados com alinhadores sentiram menos dor e consumiram menos analgésicos do que aqueles com aparelho fixo, especialmente durante a primeira semana de tratamento. Zhang et al(119) relataram que o tratamento com alinhadores pode estar associado a um menor impacto negativo nos distúrbios alimentares (dificuldades em comer e mastigar, redução do prazer de comer e alteração do paladar) quando comparado com aparelhos fixos. Pelo fato de serem removidos durante a alimentação e permitir o funcionamento

normal sem a possibilidade de acúmulo de alimentos ou medo de quebra do aparelho e suas superfícies e margens lisas permitirem menores sintomas orais na língua, bochecha e lábios em comparação com os aparelhos fixos, os alinhadores são mais confortáveis para os pacientes e causam menor impacto na alimentação, mastigação e QVRS em comparação com o aparelho fixo. Níveis mais baixos de dor durante os primeiros dias de tratamento com alinhadores pode estar relacionado à natureza removível do aparelho e, portanto, às forças intermitentes que produzem menos pressão, tensão e sensibilidade do que as forças contínuas com aparelhos fixos (47). Além disso, os alinhadores podem ser removidos pelos pacientes quando sentem dor, a fim de aliviá-la, o que pode explicar o menor consumo de analgésicos pelos pacientes tratados com alinhadores (81). Os pacientes tratados com alinhadores transparentes relataram maior OHRQoL e menor duração do tratamento em comparação com aqueles tratados com aparelhos fixos (120). O tratamento dos pacientes com alinhadores transparentes tem menos impacto na OHRQoL do que aqueles tratados com aparelhos fixos convencionais durante o primeiro ano de tratamento (121).

Uma vez que a dor pode ser influenciada por diversos fatores, como idade, sexo, limiar de dor, estado emocional, diferenças culturais e personalidade do indivíduo, além de fatores como a variação nos tipos de aparelhos, o tipo de má oclusão e a magnitude de forças aplicada, e os efeitos variáveis de medicamentos na movimentação dentária, é importante que os clínicos questionem sobre a medicação prescrita e suplementos dietéticos utilizados pelos pacientes ortodônticos antes do início do tratamento.

Considerações Finais

Com base nas interpretações de dados anteriores sobre a biologia do movimento dentário, pode-se concluir que a taxa de movimento dentário depende da remodelação óssea, resultado do processo inflamatório após a aplicação de forças ortodônticas nos dentes. É importante considerar o papel de mediadores químicos, como citocinas, interleucinas, fatores de crescimento, receptores de RANKL e osteoprotegerinas, nos processos de remodelação óssea durante o planejamento da movimentação dentária ortodôntica.

O conhecimento do processo contínuo que ocorre nos tecidos periodontais durante as terapias ortodônticas e ortopédicas pode auxiliar na escolha adequada da carga mecânica, com o objetivo de encurtar o período de tratamento e evitar efeitos adversos associados ao tratamento ortodôntico.

Além disso, é necessário ter cautela ao prescrever medicamentos durante a movimentação dentária ortodôntica, pois alguns medicamentos, como AINEs, bisfosfonatos, tiroxina exógena, esteroides, entre outros, podem aumentar ou diminuir a movimentação dentária.

Em resumo, a pesquisa em biologia do movimento dentário está avançando e pode fornecer espaço para novas teorias e melhores técnicas de aceleração. Embora existam muitos dispositivos mecânicos inovadores para a movimentação dentária, ainda não alcançamos um sucesso total na prevenção de lesões periodontais. Isso pode ser atribuído à falta de compreensão completa das células envolvidas. É essencial entender as vias específicas de remodelação óssea para alcançar essas células e obter um prognóstico impecável.

A vantagem de compreender as vias de remodelação óssea é auxiliar no projeto de um aparelho ortodôntico melhor, com o objetivo de ajustar ou padronizar o estímulo ortodôntico e no futuro, modular o movimento dentário ortodôntico, tornando-o acelerado, eficiente e seguro.

Referências:

1. Sandstedt C. Einige beitrage zur theorie der zahnregulierung. Nord Tandlaeg Tidsskr 1904;5:236–56 .
2. Oppenheim A. Tissue changes, particularly of the bone, incident to tooth movement. Am J Orthod. 1911;3:57–67.
3. Reitan K. Some factors determining the evaluation of force in orthodontics. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics. 1957;43:32–45.
4. Davidovitch Z. Tooth Movement. Vol. 2, Critical Reviews in Oral Biology and Medicine. 1991.
5. Verna C, Dalstra M, Melsen B. The rate and the type of orthodontic tooth movement is influenced by bone turnover in a rat model. Eur J Orthod. 2000;22(4):343-52. doi: 10.1093/ejo/22.4.343

6. Krishnan V, Davidovitch Z. Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006;129(4):469.e1-469.e32.
7. Saturno LD e TM. Biomecânica del movimiento ortodónico. In: 1st ed. Venezuela; 2007. p. 249–66.
8. Nel S, Hendrik HD, Boy SC, Raubenheimer EJ. Recent perspectives vis-à-vis the biological basis of tooth eruption. 2015 Jul;238–41. Available from: www.sada.co.za/sadJvol70No.6
9. Davidovitch Z. Tooth Movement. *Crit Rev Oral Biol Med*. 1991;2(4):411-50. doi: 10.1177/10454411910020040101.
10. Davidovitch Z, Nicolay OF, Ngan PW, Shanfeld JL. Neurotransmitters, cytokines, and the control of alveolar bone remodeling in orthodontics. *Dent Clin North Am*. 1988 Jul;32(3):411–35.
11. Will LA. Orthodontic Tooth Movement: A Historic Prospective. *Front Oral Biol*. 2016;18:46–55.
12. Li Y, Zhan Q, Bao M, Yi J, Li Y. Biomechanical and biological responses of periodontium in orthodontic tooth movement: up-date in a new decade. *Int J Oral Sci*. 2021 Jun 28;13(1):20.
13. Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod, Oral Surg Radiog*. 1932 Apr;18(4):331–52.
14. Kitaura H, Kimura K, Ishida M, Sugisawa H, Kohara H, Yoshimatsu M, et al. Effect of Cytokines on Osteoclast Formation and Bone Resorption during Mechanical Force Loading of the Periodontal Membrane. *ScientificWorldJournal*. 2014; Jan 19;2014:617032. doi: 10.1155/2014/617032. eCollection 2014.
15. Bumann EE, Frazier-Bowers SA. A new cyte in orthodontics: Osteocytes in tooth movement. *Orthod Craniofac Res*. 2017 Jun;20 Suppl 1(Suppl 1):125–8.
16. Alikhani M, Sangsuwon C, Alansari S, Nervina JM, Teixeira CC. Biphasic theory: breakthrough understanding of tooth movement. *J World Fed Orthod*. 2018 Sep 1;7(3):82–8.
17. Murshid SA. The role of osteocytes during experimental orthodontic tooth movement: A review. *Arch Oral Biol*. 2017 Jan;73:25–33.
18. Yashima Y, Kaku M, Yamamoto T, Izumino J, Kagawa H, Ikeda K, et al. Effect of continuous compressive force on the expression of RANKL, OPG, and VEGF in osteocytes. *Biomed Res*. 2020;41(2):91–9.
19. Marahleh A, Kitaura H, Ohori F, Noguchi T, Nara Y, Pramusita A, et al. Effect of TNF- α on osteocyte RANKL expression during orthodontic tooth movement. *J Dent Sci*. 2021 Oct;16(4):1191–7.

20. Barbagallo LJ, Shen G, Jones AS, Swain M V, Petocz P, Darendeliler MA. A novel pressure film approach for determining the force imparted by clear removable thermoplastic appliances. *Ann Biomed Eng.* 2008 Feb;36(2):335–41.
21. Burstone CJ. The biomechanics of tooth movement. *Vistas in Orthodontics.* 1962;197.
22. Baumrind S. A reconsideration of the propriety of the “pressure-tension” hypothesis. *Am J Orthod.* 1969 Jan;55(1):12–22.
23. Kashyap S. CURRENT CONCEPTS IN THE BIOLOGY OF ORTHODONTIC TOOTH MOVEMENT: A BRIEF OVERVIEW. Vol. 4. 2016.
24. Melsen B. Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 1999 Apr;69(2):151–8.
25. Krishnan V, Davidovitch Z. On a Path to Unfolding the Biological Mechanisms of Orthodontic Tooth Movement. *J Dent Res.* 2009 Jul 29;88(7):597–608.
26. Li Y, Jacox LA, Little SH, Ko CC. Orthodontic tooth movement: The biology and clinical implications. *Kaohsiung J Med Sci.* 2018 Apr;34(4):207–14.
27. Kakali L, Giantikidis I, Sifakakis I, Kalimeri E, Karamani I, Mavrogonatou E, et al. Fluctuation of bone turnover markers’ levels in samples of gingival crevicular fluid after orthodontic stimulus: a systematic review. Vol. 11, Systematic Reviews. *BioMed Central Ltd;* 2022.
28. Aziz SB, Singh G. Cytokine levels in gingival crevicular fluid samples of patients wearing clear aligners. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2020;10(2):199–202.
29. Kumar AA, Saravanan K, Kohila K, Kumar SS. Biomarkers in orthodontic tooth movement. *J Pharm Bioallied Sci.* 2015 Aug;7(Suppl 2):S325-30.
30. Allen RK, Edelmann AR, Abdulmajeed A, Bencharit S. Salivary protein biomarkers associated with orthodontic tooth movement: A systematic review. *Orthod Craniofac Res.* 2019 May 10;22(S1):14–20.
31. Kapoor P, Kharbanda OP, Monga N, Miglani R, Kapila S. Effect of orthodontic forces on cytokine and receptor levels in gingival crevicular fluid: a systematic review. *Prog Orthod.* 2014 Dec 9;15(1):65.
32. de Aguiar MCS, Perinetti G, Capelli J. The Gingival Crevicular Fluid as a Source of Biomarkers to Enhance Efficiency of Orthodontic and Functional Treatment of Growing Patients. *Biomed Res Int.* 2017;2017:3257235.
33. Greenblatt MB, Tsai JN, Wein MN. Bone Turnover Markers in the Diagnosis and Monitoring of Metabolic Bone Disease. *Clin Chem.* 2017 Feb;63(2):464–74.
34. Szulc P, Naylor K, Hoyle NR, Eastell R, Leary ET. Use of CTX-I and PINP as bone turnover markers: National Bone Health Alliance recommendations to standardize sample

handling and patient preparation to reduce pre-analytical variability. *Osteoporosis International*. 2017 Sep 19;28(9):2541–56.

35. d'Apuzzo F, Cappabianca S, Ciavarella D, Monsurrò A, Silvestrini-Biavati A, Perillo L. Biomarkers of periodontal tissue remodeling during orthodontic tooth movement in mice and men: overview and clinical relevance. *ScientificWorldJournal*. 2013;2013:105873.
36. Castroflorio T, Gamberro EF, Caviglia GP, Deregibus A. Biochemical markers of bone metabolism during early orthodontic tooth movement with aligners. *Angle Orthod*. 2017 Jan;87(1):74–81.
37. Chami V de O, Nunes L, Capelli Júnior J. Expression of cytokines in gingival crevicular fluid associated with tooth movement induced by aligners: a pilot study. *Dental Press J Orthod*. 2018;23(5):41–6.
38. Gujar AN, Baeshen HA, Alhazmi A, Ghousoub MS, Raj AT, Bhandi S, et al. Comparison of biochemical markers of bone metabolism between conventional labial and lingual fixed orthodontic appliances. *Niger J Clin Pract*. 2020 Apr;23(4):568–73.
39. Hixon EH, Atikian H, Callow GE, McDonald HW, Tacy RJ. Optimal force, differential force, and anchorage. *Am J Orthod*. 1969 May;55(5):437–57.
40. Minato Y, Yamaguchi M, Shimizu M, Kikuta J, Hikida T, Hikida M, et al. Effect of caspases and RANKL induced by heavy force in orthodontic root resorption. *Korean J Orthod*. 2018 Jul;48(4):253–61.
41. Li Y, Deng S, Mei L, Li Z, Zhang X, Yang C, et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study. *Prog Orthod*. 2020 Jan 6;21(1):1.
42. Papageorgiou SN, Keilig L, Hasan I, Jäger A, Bourauel C. Effect of material variation on the biomechanical behaviour of orthodontic fixed appliances: a finite element analysis. *Eur J Orthod*. 2016 Jun;38(3):300–7.
43. Kuncio D, Maganzini A, Shelton C, Freeman K. Invisalign and traditional orthodontic treatment postretention outcomes compared using the American Board of Orthodontics objective grading system. *Angle Orthod*. 2007 Sep;77(5):864–9.
44. Alain Manuel Chaple Gil AM, Fernández E, Quintana Muñoz L. Low-level laser accelerating dental movements in orthodontics. Systematic review. *International Journal of Medical and Surgical Sciences*. 2020 Oct 15;75–85.
45. Tsihklaki A, Chin SY, Pandis N, Fleming PS. How long does treatment with fixed orthodontic appliances last? A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016 Mar 1;149(3):308–18.
46. Talic NF. Adverse effects of orthodontic treatment: A clinical perspective. Vol. 23, *Saudi Dental Journal*. 2011. p. 55–9.

47. Serogl HG, Klages U, Zentner A. Pain and discomfort during orthodontic treatment: causative factors and effects on compliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998 Dec;114(6):684–91.
48. Perinetti G, Paolantonio M, Serra E, D'Archivio D, D'Ercole S, Festa F, et al. Longitudinal monitoring of subgingival colonization by *Actinobacillus actinomycetemcomitans*, and crevicular alkaline phosphatase and aspartate aminotransferase activities around orthodontically treated teeth. *J Clin Periodontol.* 2004 Jan;31(1):60–7.
49. Xing JZ, Lu L, Unsworth LD, Major PW, Doschak MR, Kaipatur NR. RANKL release from self-assembling nanofiber hydrogels for inducing osteoclastogenesis in vitro. *Acta Biomater.* 2017 Feb;49:306–15.
50. Fernández-González FJ, Cañigral A, López-Caballo JL, Brizuela A, Cobo T, de Carlos F, et al. Recombinant osteoprotegerin effects during orthodontic movement in a rat model. *Eur J Orthod.* 2016 Aug;38(4):379–85.
51. Zeitounlouian TS, Zeno KG, Brad BA, Haddad RA. Three-dimensional evaluation of the effects of injectable platelet rich fibrin (i-PRF) on alveolar bone and root length during orthodontic treatment: a randomized split mouth trial. *BMC Oral Health.* 2021 Dec 2;21(1):92.
52. Reyes Pacheco AA, Collins JR, Contreras N, Lantigua A, Pithon MM, Tanaka OM. Distalization rate of maxillary canines in an alveolus filled with leukocyte-platelet-rich fibrin in adults: A randomized controlled clinical split-mouth trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2020 Aug;158(2):182–91.
53. Herrero-Llorente S, Salgado-Peralvo AO, Schols JGJH. Do platelet concentrates accelerate orthodontic tooth movement?: a systematic review. *J Periodontal Implant Sci.* 2023;53(1):2.
54. Wang Y, Zhang H, Sun W, Wang S, Zhang S, Zhu L, et al. Macrophages mediate corticotomy-accelerated orthodontic tooth movement. *Sci Rep.* 2018 Nov 14;8(1):16788.
55. Kurohama T, Hotokezaka H, Hashimoto M, Tajima T, Arita K, Kondo T, et al. Increasing the amount of corticotomy does not affect orthodontic tooth movement or root resorption, but accelerates alveolar bone resorption in rats. *Eur J Orthod.* 2017 Jun 1;39(3):277–86.
56. Sugimori T, Yamaguchi M, Shimizu M, Kikuta J, Hikida T, Hikida M, et al. Micro-osteoperforations accelerate orthodontic tooth movement by stimulating periodontal ligament cell cycles. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018 Dec;154(6):788–96.
57. Sivarajan S, Doss JG, Papageorgiou SN, Cobourne MT, Wey MC. Mini-implant supported canine retraction with micro-osteoperforation: A split-mouth randomized clinical trial. *Angle Orthod.* 2019 Mar 1;89(2):183–9.

58. Alkebsi A, Al-Maaitah E, Al-Shorman H, Abu Alhaija E. Three-dimensional assessment of the effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement during canine retraction in adults with Class II malocclusion: A randomized controlled clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018 Jun;153(6):771–85.
59. Aboalnaga AA, Salah Fayed MM, El-Ashmawi NA, Soliman SA. Effect of micro-osteoperforation on the rate of canine retraction: a split-mouth randomized controlled trial. *Prog Orthod*. 2019 Jun 3;20(1):21.
60. Gibreal O, Hajeer MY, Brad B. Efficacy of piezocision-based flapless corticotomy in the orthodontic correction of severely crowded lower anterior teeth: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod*. 2019 Mar 29;41(2):188–95.
61. Yi J, Xiao J, Li Y, Li X, Zhao Z. Efficacy of piezocision on accelerating orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod*. 2017 Jul;87(4):491–8.
62. Pouliezou I, Xenou A, Vavetsi K, Mitsea A, Sifakakis I. Adverse Effects of Surgically Accelerated Orthodontic Techniques: A Systematic Review. *Children*. 2022 Nov 27;9(12):1835.
63. Eltimamy A, El-Sharaby FA, Eid FH, El-Dakrory AE. The Effect of Local Pharmacological Agents in Acceleration of Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Review. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019 Mar 16;7(5):882–6.
64. ALSayed Hasan MMA, Sultan K, Hamadah O. Low-level laser therapy effectiveness in accelerating orthodontic tooth movement: A randomized controlled clinical trial. *Angle Orthod*. 2017 Jul 1;87(4):499–504.
65. Varella AM, Revankar A V, Patil AK. Low-level laser therapy increases interleukin-1 β in gingival crevicular fluid and enhances the rate of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Oct;154(4):535-544.e5.
66. Ojima K, Dan C, Watanabe H, Kumagai Y. Upper molar distalization with Invisalign treatment accelerated by photobiomodulation. *J Clin Orthod*. 2018 Dec;52(12):675–83.
67. Levrini L, Carganico A, Deppieri A, Saran S, Bocchieri S, Zecca PA, et al. Predictability of Invisalign® Clear Aligners Using OrthoPulse®: A Retrospective Study. *Dent J (Basel)*. 2022 Dec 6;10(12):229.
68. Alain Manuel Chaple Gil AM, Fernández E, Quintana Muñoz L. Low-level laser accelerating dental movements in orthodontics. Systematic review. *International Journal of Medical and Surgical Sciences*. 2020 Oct 15;75–85.
69. Huang T, Wang Z, Li J. Efficiency of photobiomodulation on accelerating the tooth movement in the alignment phase of orthodontic treatment—A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*. 2023 Feb;9(2):e13220.

70. Sakamoto M, Fukunaga T, Sasaki K, Seiryu M, Yoshizawa M, Takeshita N, et al. Vibration enhances osteoclastogenesis by inducing RANKL expression via NF- κ B signaling in osteocytes. *Bone*. 2019 Jun;123:56–66.
71. Benjakul S, Jitpukdeebodintra S, Leethanakul C. Effects of low magnitude high frequency mechanical vibration combined with compressive force on human periodontal ligament cells in vitro. *Eur J Orthod*. 2018 Jul 27;40(4):356–63.
72. Lombardo L, Arreghini A, Huanca Ghislanzoni LT, Siciliani G. Does low-frequency vibration have an effect on aligner treatment? A single-centre, randomized controlled trial. *Eur J Orthod*. 2019 Aug 8;41(4):434–43.
73. Katchooi M, Cohanim B, Tai S, Bayirli B, Spiekerman C, Huang G. Effect of supplemental vibration on orthodontic treatment with aligners: A randomized trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018 Mar;153(3):336–46.
74. Lyu C, Zhang L, Zou S. The effectiveness of supplemental vibrational force on enhancing orthodontic treatment. A systematic review. *Eur J Orthod*. 2019 Sep 21;41(5):502–12.
75. Lyu C, Zhang L, Zou S. The effectiveness of supplemental vibrational force on enhancing orthodontic treatment. A systematic review. *Eur J Orthod*. 2019 Sep 21;41(5):502–12.
76. Uribe F, Padala S, Allareddy V, Nanda R. Patients', parents', and orthodontists' perceptions of the need for and costs of additional procedures to reduce treatment time. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014 Apr;145(4):S65–73.
77. Bollen AM, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: Ability to complete treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2003;124(5):496–501.
78. Alansari S, Atique MI, Gomez JP, Hamidaddin M, Thirumoorthy SN, Sangsuwon C, et al. The effects of brief daily vibration on clear aligner orthodontic treatment. *J World Fed Orthod*. 2018 Dec 1;7(4):134–40.
79. D U, GS S, P M, GV R, SK M, S N. Accelerated Orthodontics—An overview. *J Dent Craniofac Res*. 2018;03(01).
80. Dickerson TE. Invisalign with Photobiomodulation: Optimizing Tooth Movement and Treatment Efficacy with a Novel Self-Assessment Algorithm. *J Clin Orthod*. 2017 Mar;51(3):157–65.
81. Yassir YA, Nabbat SA, McIntyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig*. 2022 Mar 6;26(3):2353–70.
82. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2017 Aug;20(3):127–33.

83. Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod*. 2018 Sep 28;19(1):37.
84. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health*. 2019 Jan 23;19(1):24.
85. Papageorgiou SN, Koletsi D, Iliadi A, Peltomaki T, Eliades T. Treatment outcome with orthodontic aligners and fixed appliances: a systematic review with meta-analyses. *Eur J Orthod*. 2020 Jun 23;42(3):331–43.
86. Pithon MM, Baião FCS, Sant Anna LID de A, Paranhos LR, Cople Maia L. Assessment of the effectiveness of invisible aligners compared with conventional appliance in aesthetic and functional orthodontic treatment: A systematic review. *J Investig Clin Dent*. 2019 Nov;10(4):e12455.
87. Galan-Lopez L, Barcia-Gonzalez Eliseo Plasencia J, Galan-Lopez Professor L. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with Invisalign® Galan-Lopez et al • Systematic review of clear aligners. *Korean J Orthod [Internet]*. 2019 [cited 2019 Oct 2];49(3):140–9. Available from: www.e-kjo.org
88. Asiry MA. Biological aspects of orthodontic tooth movement: A review of literature. *Saudi J Biol Sci*. 2018 Sep;25(6):1027–32.
89. Masella RS, Meister M. Current concepts in the biology of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2006 Apr;129(4):458–68.
90. Bartzela T, Türp JC, Motschall E, Maltha JC. Medication effects on the rate of orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009 Jan;135(1):16–26.
91. Kaklamanos EG, Makrygiannakis MA, Athanasiou AE. Does medication administration affect the rate of orthodontic tooth movement and root resorption development in humans? A systematic review. *Eur J Orthod*. 2020 Sep 11;42(4):407–14.
92. Brent Chumbley A, Tuncay OC. The effect of indomethacin (an aspirin-like drug) on the rate of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod*. 1986 Apr;89(4):312–4.
93. Zhou D, Hughes B, King GJ. Histomorphometric and biochemical study of osteoclasts at orthodontic compression sites in the rat during indomethacin inhibition. *Arch Oral Biol*. 1997;42(10–11):717–26.
94. Seibert K, Zhang Y, Leahy K, Hauser S, Masferrer J, Perkins W, et al. Pharmacological and biochemical demonstration of the role of cyclooxygenase 2 in inflammation and pain. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1994 Dec 6;91(25):12013–7.
95. Diravidamani K, Sivalingam SK, Agarwal V. Drugs influencing orthodontic tooth movement: An overall review. *J Pharm Bioallied Sci*. 2012 Aug;4(Suppl 2):S299-303.

96. Makrygiannakis MA, Kaklamanos EG, Athanasiou AE. Medication and orthodontic tooth movement. *J Orthod*. 2019 Jun 28;46(1_suppl):39–44.
97. CORRÊA AS, ALMEIDA VL DE, LOPES BMV, FRANCO A, MATOS FR DE, QUINTANS-JÚNIOR LJ, et al. The influence of non-steroidal anti-inflammatory drugs and paracetamol used for pain control of orthodontic tooth movement: a systematic review. *An Acad Bras Cienc*. 2017 Aug 31;89(4):2851–63.
98. Zymperdikas VF, Yavropoulou MP, Kaklamanos EG, Papadopoulos MA. Effects of systematic bisphosphonate use in patients under orthodontic treatment: a systematic review. *Eur J Orthod*. 2020 Jan 27;42(1):60–71.
99. Verna C. The rate and the type of orthodontic tooth movement is influenced by bone turnover in a rat model. *The European Journal of Orthodontics*. 2000 Aug 1;22(4):343–52.
100. Swanson C, Lorentzon M, Conaway HH, Lerner UH. Glucocorticoid regulation of osteoclast differentiation and expression of receptor activator of nuclear factor-kappaB (NF-kappaB) ligand, osteoprotegerin, and receptor activator of NF-kappaB in mouse calvarial bones. *Endocrinology*. 2006 Jul;147(7):3613–22.
101. Soma S, Iwamoto M, Higuchi Y, Kurisu K. Effects of continuous infusion of PTH on experimental tooth movement in rats. *J Bone Miner Res*. 1999 Apr;14(4):546–54.
102. Soma S, Matsumoto S, Higuchi Y, Takano-Yamamoto T, Yamashita K, Kurisu K, et al. Local and chronic application of PTH accelerates tooth movement in rats. *J Dent Res*. 2000 Sep;79(9):1717–24.
103. Haruyama N, Igarashi K, Saeki S, Otsuka-Isoya M, Shinoda H, Mitani H. Estrous-cycle-dependent variation in orthodontic tooth movement. *J Dent Res*. 2002 Jun;81(6):406–10.
104. Yamashiro T, Takano-Yamamoto T. Influences of Ovariectomy on Experimental Tooth Movement in the Rat. *J Dent Res*. 2001 Sep 8;80(9):1858–61.
105. Alansari S, Sangsuwon C, Vongthongleur T, Kwai R, Teo M chneh, Lee YB, et al. Biological principles behind accelerated tooth movement. *Semin Orthod*. 2015 Sep;21(3):151–61.
106. Tsvetkova M, Kovalenko A. ALGORITHM OF ORTHODONTIC TREATMENT PATIENTS WITH A BURDENED DRUG ANAMNESIS. DRUGS THAT CAN INHIBIT TOOTH MOVEMENT. *Georgian Med News*. 2022 Sep;(330):43–8.
107. Poudel P, Dahal S, Thapa VB. Pain and Oral Health Related Quality of Life among Patients Undergoing Fixed Orthodontic Treatment: A Descriptive Cross-sectional Study. *Journal of Nepal Medical Association*. 2020 Jun 30;58(226).
108. Yassir YA, McIntyre GT, Bearn DR. The impact of labial fixed appliance orthodontic treatment on patient expectation, experience, and satisfaction: an overview of systematic reviews. *Eur J Orthod*. 2020 Jun 23;42(3):223–30.

109. THE WHOQOL GROUP. Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF Quality of Life Assessment. *Psychol Med.* 1998 May 1;28(3):551–8.
110. Raji AlRwuili M, Jamal Alwaznah F, Ahmed R, Anwar S, Shaikh Omar FA, Hadi Tairan E. A Detailed Correlation of Oral-Health-Related Quality of Life of Patients Undergoing Fixed Orthodontic Therapy. *Cureus.* 2023 Jan 17;
111. Marques LS, Paiva SM, Vieira-Andrade RG, Pereira LJ, Ramos-Jorge ML. Discomfort associated with fixed orthodontic appliances: determinant factors and influence on quality of life. *Dental Press J Orthod.* 2014 Jun;19(3):102–7.
112. Vidigal MTC, Mesquita CM, de Oliveira MN, de Andrade Vieira W, Blumenberg C, Nascimento GG, et al. Impacts of using orthodontic appliances on the quality of life of children and adolescents: systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2022 Aug 16;44(4):359–68.
113. Krishnan V. Orthodontic pain: from causes to management--a review. *Eur J Orthod.* 2007 Apr;29(2):170–9.
114. Inauen DS, Papadopoulou AK, Eliades T, Papageorgiou SN. Pain profile during orthodontic levelling and alignment with fixed appliances reported in randomized trials: a systematic review with meta-analyses. *Clin Oral Investig.* 2023 Mar 6;27(5):1851–68.
115. Jawaid M, Ahsan Qadeer T, Fahim MF. Pain perception of orthodontic treatment – A cross-sectional study. *Pak J Med Sci.* 2019 Dec 15;36(2).
116. Campos LA, Santos-Pinto A, Marôco J, Campos JADB. Pain perception in orthodontic patients: A model considering psychosocial and behavioural aspects. *Orthod Craniofac Res.* 2019 Aug 15;22(3):213–21.
117. Cardoso PC, Espinosa DG, Mecnas P, Flores-Mir C, Normando D. Pain level between clear aligners and fixed appliances: a systematic review. *Prog Orthod.* 2020 Jan 20;21(1):3.
118. Pereira D, Machado V, Botelho J, Proença L, Mendes JJ, Delgado AS. Comparison of Pain Perception between Clear Aligners and Fixed Appliances: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Applied Sciences.* 2020 Jun 22;10(12):4276.
119. Zhang B, Huang X, Huo S, Zhang C, Zhao S, Cen X, et al. Effect of clear aligners on oral health-related quality of life: A systematic review. *Orthod Craniofac Res.* 2020 Nov;23(4):363–70.
120. Alfawal AMH, Burhan AS, Mahmoud G, Ajaj MA, Nawaya FR, Hanafi I. The impact of non-extraction orthodontic treatment on oral health-related quality of life: clear aligners versus fixed appliances-a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2022 Dec 1;44(6):595–602.
121. Jaber ST, Hajeer MY, Burhan AS, Latifeh Y. The Effect of Treatment With Clear Aligners Versus Fixed Appliances on Oral Health-Related Quality of Life in Patients With Severe

Crowding: A One-Year Follow-Up Randomized Controlled Clinical Trial. *Cureus*. 2022 May;14(5):e25472.

Capítulo 4 - Eficiência e eficácia da movimentação com alinhadores

Ana Cláudia Moreira Melo Toyofuku

Marcela Villegas Vargas

Isabela Almeida Shimizu

Augusto Ricardo Andrighetto

Marcos André Duarte da silva

Roberto Hideo Shimizu

Introdução

A qualidade dos resultados obtidos com o tratamento ortodôntico têm sido foco de estudos há muitos anos. Neste capítulo, apresentaremos, na seção I, alguns dos índices e metodologia que podem ser usados para avaliação dos resultados de tratamentos ortodônticos, além de apresentar os resultados de Revisões Sistemáticas de Literatura a fim de mostrar o estado atual de conhecimento sobre a eficiência e eficácia dos tratamentos com alinhadores. Na seção II serão apresentados dois casos clínicos que ilustram diferentes complexidades de casos tratados com alinhadores transparentes.

Seção I – Evidências científicas

Instrumentos de avaliação

Instrumentos de avaliação, de forma geral, são índices que propõem uniformizar a qualificação do resultado, independente da técnica ortodôntica usada e do profissional executor. Esses instrumentos têm sido propostos para avaliação dos resultados dos tratamentos ortodônticos de forma objetiva utilizando os modelos finais e radiografias¹⁻
⁵. Dentre os métodos mais comumente usados podemos citar o OGS (*Objective Grading System*) e o PAR (*Peer Assessment Rating*), descritos a seguir.

a. Objective Grading System (OGS)

Em 1998, a Associação Americana de Ortodontia (*American Board of Orthodontics* - ABO) desenvolveu uma ferramenta para avaliação da qualidade dos tratamentos ortodônticos, o OGS, baseado em critérios estabelecidos por meio de modelos de estudo e radiografia panorâmica⁵. Esse método tem sido utilizado na fase III do exame do *Board* Americano e do Brasileiro em diversos estudos clínicos^{5,6} com objetivo de padronizar de forma confiável a avaliação dos casos apresentados.

Para aplicação do ABO OGS devem ser avaliadas as radiografias panorâmicas e modelos de estudo obtidos após a finalização dos casos. O sistema consta de 8 critérios: alinhamento, margens proximais, inclinação vestibulo-lingual, relações oclusais, contatos oclusais, sobressaliência, contatos interproximais e angulação de raiz (Quadro 1). De acordo com o critério proposto pelo ABO um caso com pontuação superior a 30 é considerado com finalização inadequada.

Quadro 1. Detalhamento da avaliação segundo o ABO OGS.

Crítérios	Detalhamento	Condição	Pontuação
Alinhamento	Alinhamento dos dentes anteriores e posteriores	0 < 0,50 mm	0
		0,50 mm - 1 mm	1
		> 1 mm	2/cada dente
Margens proximais	Nivelamento das margens proximais (exceto contato canino – 1º premolar e distal do 1º premolar inferior)	< 0,50 mm	0
		0,50 mm - 1 mm	1
		> 1 mm	2/cada contato
Inclinação vestibulo-lingual	Distância das cúspides linguais a superfície plana apoiada na oclusal dos dentes posteriores, em ambos os lados	< 1 mm (não considerar 1 ^{os} premolares inferiores e distal dos 2 ^{os} molares)	0
		1 mm – 2 mm	1/dente

		> 2 mm	2/dente
Contato oclusal	Avaliada na região posterior	As cúspides vestibulares dos inferiores e as cúspides linguais dos superiores em contato com as superfícies oclusais dos antagonistas	0
		Distância < 1 mm	1/dente
		Distância > 1 mm	2/dente
Relação oclusal	Classificação de Angle (a oclusão posterior poderá ser finalizada em Classe II ou III, dependendo do tipo de extração proposta)	Classe I	0
		1 – 2 mm de desvio	1/dente
		> 2 mm	2/dente
Sobressaliência	Com os modelos articulados, avaliar a relação vestibulo-lingual entre os arcos maxilar e mandibular	Contato	0
		até 1 mm	1/dente
		> 1 mm	2/dente
Contatos interproximais	Avaliados em vista oclusal	< 0,5 mm	0
		0,5 mm – 1 mm	1/espaco
		> 1 mm	2/espaco
Angulação da raiz	Avaliado em radiografia panorâmica	Raízes paralelas e perpendiculares ao plano oclusal (excluir canino)	0
		Raiz angulada e próxima ao dente adjacente	1/raiz
		Raiz com contato com dente adjacente	2/raiz

b. Peer Assesment Rating (PAR)

No índice PAR proposto por Richmond et al.², em 1992, permite-se calcular o resultado do tratamento por meio da comparação de modelos iniciais e finais. É determinado um escore para as várias características que compõem uma má oclusão.

São avaliados 11 componentes: segmento superior do lado direito, segmento anterior superior, segmento anterior do lado esquerdo, segmento inferior do lado direito, segmento anterior inferior, segmento inferior do lado esquerdo, oclusão posterior do lado direito, *overjet*, *overbite*, linha média e oclusão posterior do lado esquerdo (Quadro 2). Os scores obtidos podem ser classificados em três categorias qualitativas: melhorou fortemente, melhorou, piorou/não houve diferença. Uma redução no PAR de pelo menos 30% é necessária para que o caso seja considerado “melhorou”. Uma redução de pelo menos 22% pontos para “melhorou fortemente”.

Quadro 2. Detalhamento da avaliação segundo o PAR.

Critérios	Condição	Discrepância	Escore	
Segmentos posteriores (superior/inferior; lado direito/lado esquerdo)	Apinhamento, espaçamento, dentes impactados (espaço para o dente \leq 4 mm)	0 - 1 mm	0	
		1,1 - 2 mm	1	
		2,1 - 4 mm	2	
		4,1 - 8 mm	3	
		> 8 mm	4	
Segmento anterior				
Oclusão posterior (superior/inferior; lado direito/lado esquerdo)	Irregularidade anteroposterior	Boa intercuspidação (Classe I, II, III)	0	
		Até meia unidade	1	
		Topo a topo	2	
	Irregularidade vertical	Sem discrepância	0	
		Mordida aberta em pelo menos 2 dentes e superior a 2 mm	1	
	Irregularidade transversal	Sem mordida cruzada	0	
		Tendência à mordida cruzada	1	
		Mordida cruzada unitária	2	
		Mordida cruzada múltipla	3	
		Mordida cruzada vestibular (mais que 1 dente)	4	
	Overjet	Overjet	0 - 3 mm	0
			3,1 - 5 mm	1
			5,1 - 7 mm	2
7,1 - 9 mm			3	
> 9 mm			4	
Mordida cruzada anterior		Sem discrepância	0	
		1 ou mais dentes topo a topo	1	
		1 dente cruzado	2	
		2 dentes cruzados	3	
		Mais de 2 dentes cruzados	4	
Overbite	Mordida aberta	Sem mordida aberta	0	

		≤ 1 mm	1
		1,1 - 2 mm	2
		2,1 - 3mm	3
		≥ 4 mm	4
	Mordida profunda	$\leq 1/3$	0
		$1/3 - 2/3$	1
		$> 2/3$	2
		Recobrimento completo	3
Linha média	Desvio de linha média (no caso de extração de incisivo inferior não é avaliado)	Coincidente - $1/4$ da largura do incisivo inferior	0
		$1/4 - 1/2$ da largura do incisivo inferior	1
		$> 1/2$ da largura do incisivo inferior	2

Eficiência e Eficácia no uso de alinhadores

A literatura conta com 6 Revisões Sistemáticas⁷⁻¹² publicadas a partir de 2015 que tem em comum o objetivo de avaliar o resultado do tratamento com alinhadores transparentes. Dados desses estudos estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3. Detalhamento das Revisões Sistemáticas avaliando o resultado do tratamento com alinhadores transparentes

Revisão Sistemática	PICO/objetivo	Estudos incluídos (total/desenho)	Amostra (pacientes)	Instrumento de análise de Qualidade da Evidência	Resultado da análise de Qualidade da Evidência	Risco de viés	Resultado/Conclusão
Rossini et al. ⁷ , 2015	“Alinhadores são efetivos no controle de movimentos ortodônticos em pacientes sem crescimento?”	11/ retrospectivos não randomizados (4); prospectivos não randomizados (5); prospectivos randomizados (2)	480	SBU (Swedish Council on Technology Assessment in Health Care)	Moderada (6); Limitada (5)	63%	<ul style="list-style-type: none"> - Efetivo em alinhamento e nivelamento - Intrusão de dentes anteriores: média 0,72 mm. Comparável à técnica <i>straight wire</i> - Extrusão: movimento menos preciso com alinhadores - Rotação de canino: média de 36% (valores maiores quando realizado IPR) - interproximal reduction. Movimento pouco preciso - Efetivo em movimento de distalização de corpo de 1,5 mm - Necessário o uso de acessórios, como <i>attachments</i>, elásticos, etc. - Alinhadores indicados para casos simples a moderados

Zheng et al. ⁸ , 2017	Identificar e revisar a eficiência (tempo de tratamento e tempo de cadeira), efetividade (índices oclusais) e estabilidade a longo- prazo de tratamento com alinhadores	4/ coorte (3); ensaio clínico randomizado (1)	252	Oxford centre for evidence- based medicine levels of evidence	Nível 2B (3); Nível 1B (1)	Não foi possível identific ar	<ul style="list-style-type: none"> - duração do tratamento com alinhadores mais curta que com ortodontia fixa - menor tempo de cadeira e menos consultas de emergência - maior tendência a recidiva com alinhadores (apenas 1 estudo) - Não há dados suficientes para concluir sobre a efetividade do tratamento com alinhadores
-------------------------------------	--	---	-----	---	-------------------------------	--	--

Papadimitriou et al. ⁹ , 2018	Avaliar a efetividade clínica do sistema Invisalign	22/Estudo Clínico Randomizado (3); Prospectivo (8); retrospectivo (11)	1222	GRADE (The Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation	Moderada	Baixo (3); Moderado (13); Alto (6)	<ul style="list-style-type: none"> - Eficaz em correção de <i>overjet</i>, discrepâncias de comprimento de arco e distalização de molares superiores - Limitado em expansões de corpo dos dentes posteriores, rotação de caninos e premolares, extrusão de incisivos e correção de sobremordida - tempo de tratamento mais curto em casos simples sem extração - Indicado usar <i>attachments</i> e fazer sobrecorreção - Tratamento com alinhadores mais rápido que ortodontia fixa em casos simples a moderados, sem extração, e mais demorado em casos complexos - Inclinações dentárias e contatos oclusais estão entre as limitações de tratamento
--	---	--	------	--	----------	------------------------------------	---

Ke et al. ¹⁰ , 2019	“Alinhadores transparentes possuem efetividade clínica semelhante a tratamento convencional com braquetes?”	8/Ensaio Clínico randomizado (2); Prospectivo (1); retrospectivo (5)	353	Newcastle-Ottawa	Ensaio Clínicos Randomizados – Moderada; Coorte - elevada	Nos ensaios randomizados, cada estudo teve risco alto em apenas um critério. Nos outros o risco foi baixo.	<ul style="list-style-type: none"> - Alinhadores são capazes de melhorar as más oclusões, mas tratamentos com braquetes produzem melhores contatos oclusais e inclinação posterior vestibulo-lingual. - Alinhadores têm bom controle na manutenção da inclinação dos dentes durante alinhamento em casos sem extração. - Casos de alinhadores apresentam mais recidiva pós-tratamento
-----------------------------------	---	--	-----	------------------	---	--	--

Robertson et al. ¹¹ , 2019	Analisar a efetividade de alinhadores transparentes a partir: a. da previsibilidade, b. dos resultados obtidos comparados àqueles da ortodontia com aparelhos fixos	7/Ensaio Clínico Randomizado (1); Coorte retrospectivo (6)	254	GRADE	<ul style="list-style-type: none"> - Nível muito baixo de evidência: previsibilidade de movimentos verticais - Nível moderado de evidência: movimentos mesiodistais, correção de rotações - Nível baixo de evidência: movimentos vestibulo-linguais 	1 estudo com alto risco de viés e os outros 6 com risco moderado	<ul style="list-style-type: none"> - A maioria dos movimentos dentários não são suficientemente previsíveis na terapia com alinhadores, com exceção de movimentos horizontais; - Previsibilidade de extrusão de incisivos melhor se comparado à Revisões Sistemáticas anteriores - Refinamentos adicionais são necessários em quase todos os casos para superar a previsibilidade baixa dos tratamentos com alinhadores
---------------------------------------	---	--	-----	-------	--	--	--

Galan-Lopez et al. ¹² , 2019	Avaliar se a efetividade clínica do sistema Invisalign é comparável à Ortodontia convencional	20/Ensaio Clínico randomizado (2); Prospectivo (6); Retrospectivo (11); Revisão Sistemática (1)		SBU (Swedish Council on Technology Assessment in Health Care)	- A: 2 estudos; B: 7 estudos; C: 10 estudos	Score 2 (1); 3 (1); 4(3); 5 (4); 6 (5); 7 (1); 8 (3); 9 (1)	<ul style="list-style-type: none"> - Alinhadores são capazes de alterar a distância intercanino, inter premolar e intermolar quando na presença de apinhamento; - Incisivos tendem a vestibularizar e protruir quando o apinhamento é superior a 6 mm; - Movimentos verticais são difíceis; - Correção de rotação é difícil. <p>Recomenda-se IPR nos caninos;</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Attachments</i> não são necessários na distalização de molar; - Sexo e idade afeta o movimento dentário tanto com alinhadores como com aparelho fixo; - O controle radicular é melhor com aparatologia fixa; - A maior parte dos movimentos dentários ocorre durante as primeiras semanas de uso dos alinhadores; - Inclinação vestibulo-lingual e contatos oclusais são mais difíceis com alinhadores.
---	---	---	--	---	---	--	--

Para identificação do grau de viés e da qualidade das revisões sistemáticas disponíveis decidiu-se pela utilização da ferramenta AMSTAR 2 (*Assessing the Methodological Quality of Systematic Review*)¹³ (Quadro 4).

Quadro 4. Aplicação da ferramenta AMSTAR 2.

	Rossini et al. ⁷ , 2015	Zheng et al. ⁸ , 2017	Papadimitriou et al. ⁹ , 2018	Ke et al. ¹⁰ , 2019	Roberts et al. ¹¹ , 2019	Galan-Lopez et al. ¹² , 2019
1. A pergunta da pesquisa e os critérios de inclusão para a revisão incluem os componentes do PICO?	não	sim	não	sim	sim	sim
2. A revisão estabelece de forma explícita os métodos utilizados antes da condução da revisão e as justificativas para quaisquer desvios significativos do protocolo?	sim parcial	sim parcial	sim parcial	sim	sim parcial	sim parcial
3. Os autores explicam os critérios de seleção de estudos a serem incluídos na revisão?	não	não	não	não	não	não
4. Os autores utilizam uma estratégia de busca detalhada?	sim parcial	sim parcial	sim parcial	sim parcial	sim	sim
5. Os autores realizam a seleção dos estudos em duplicata?	sim	sim	sim	sim	sim	não
6. Os autores realizam a extração dos dados em duplicata?	sim	sim	sim	sim	sim	não

7. Os autores expõem uma lista dos artigos excluídos e a justificativa das exclusões?	não	sim	não	não	sim parcial	não
8. Os autores descrevem os artigos incluídos com detalhes suficientes?	sim parcial	sim	sim	sim parcial	sim parcial	sim
9. Os autores utilizam técnica satisfatória para avaliar o risco de viés nos estudos incluídos na revisão?	sim parcial	não	sim	sim	sim	sim parcial
10. Os autores relatam as fontes de financiamento dos estudos incluídos na revisão?	não	não	não	não	não	não
11. Caso tenha sido feita meta-análise, os autores usam métodos estatísticos adequados?	sem meta-análise	não	sem meta-análise	sim	sem meta-análise	sem meta-análise
12. Caso tenha sido feita meta-análise, os autores avaliam o impacto do risco de viés nos resultados da meta-análise ou outra síntese de evidência?	sem meta-análise	não	sem meta-análise	sim	sem meta-análise	sem meta-análise
13. Os autores consideram o risco de viés nos artigos individuais ao interpretar/discutir os resultados da revisão?	sim	não	sim	sim	sim	sim
14. Os autores explicam de forma satisfatória e discutem qualquer	sim	não	sim	sim	sim	não

heterogeneidade observada nos resultados da revisão?						
15. No caso de haver síntese quantitativa, os autores realizaram investigação adequada dos vieses de publicação (viés de pequeno estudo) e discutem como pode impactar os resultados da revisão?	sem meta-análise	não	sem meta-análise	sim	sem meta-análise	sem meta-análise
16. Os autores relatam fontes de conflito de interesse, incluindo financiamento que tenham recebido durante a condução da revisão?	não	sim	sim	sim	sim	sim

No ano de 2022 foi publicada uma overview de revisões sistemáticas sobre a eficiência clínica do tratamento com alinhadores transparentes¹⁴. Algumas recomendações clínicas a partir das evidências foram geradas como a necessidade do conhecimento, por parte do profissional, sobre a técnica de tratamento com alinhadores, a importância do uso de auxiliares, como *attachments* e IPR e da redução da quantidade de movimento por alinhador e considerar-se a sobrecorreção a fim de reduzir o impacto da recidiva.

Clinicamente temos percebido a grande evolução na técnica de tratamento com alinhadores, principalmente relacionada ao material utilizado na fabricação e ao aumento da experiência em relação ao estagiamento dos movimentos.

Seção II – Considerações clínicas

Na seção I deste capítulo vimos alguns dos índices de avaliação de tratamento comumente utilizados em Ortodontia além dos resultados de Revisões Sistemáticas de Literatura acerca da eficiência e eficácia do tratamento com alinhadores. Nesta seção ilustraremos a avaliação de resultados de tratamentos com alinhadores por meio de alguns

exemplos clínicos que refletem situações clínicas de baixa, moderada e alta complexidade de tratamento.

Diagnóstico, planejamento e condução de um caso clínico de baixa complexidade

O diagnóstico e planejamento de um caso clínico indicado para tratamento com alinhadores segue a mesma sequência de casos clínicos que serão tratados com aparelhos fixos tradicionais.

Com base na avaliação clínica inicial e documentação é realizado diagnóstico e identificação da complexidade do caso (Figura 1). As imagens radiográficas (Figura 2) e modelos de estudo (Figura 3) são auxiliares fundamentais no diagnóstico e planejamento do tratamento.

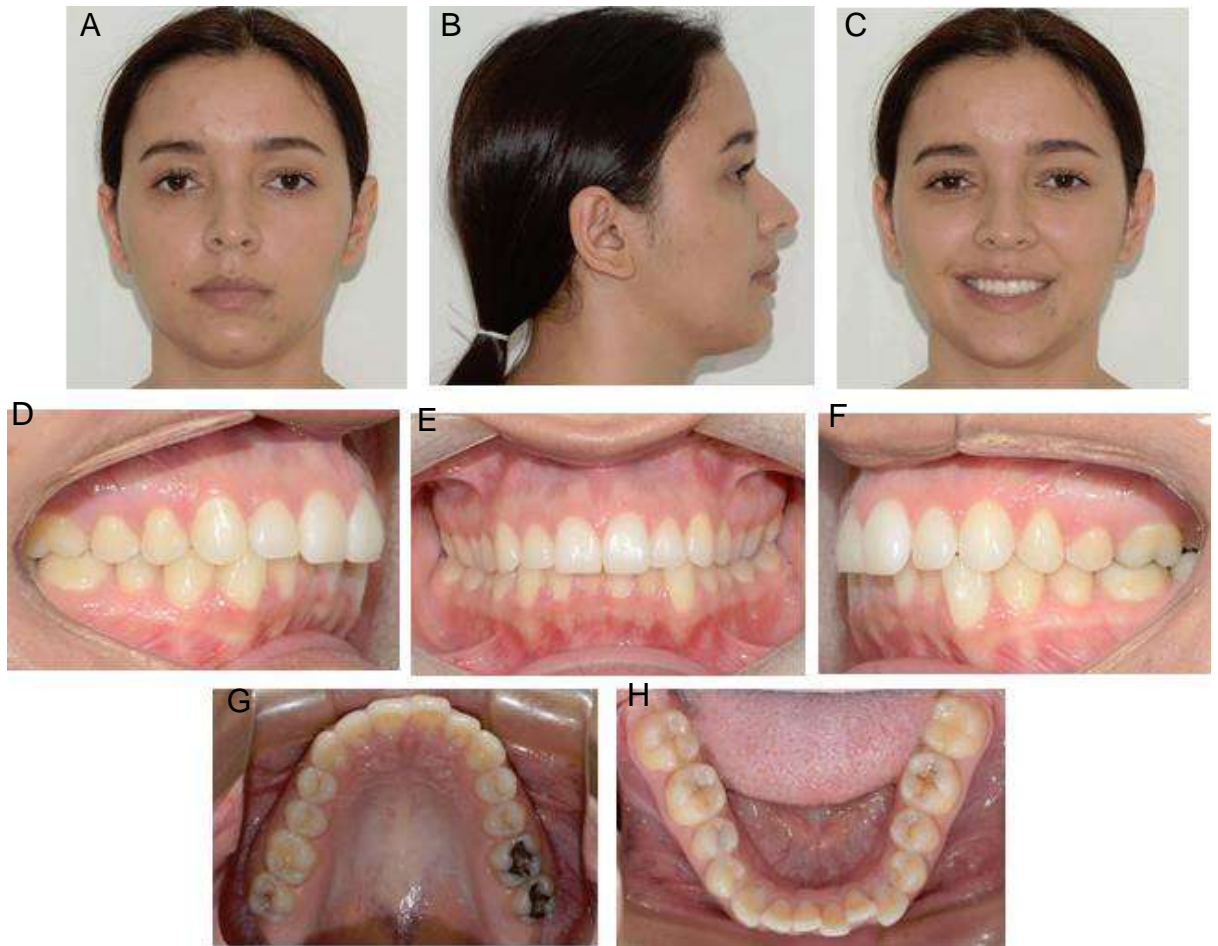


Figura 1. Situação clínica inicial. A, B, C. Paciente com face simétrica, perfil reto. D, E, F, G, H. Classe I de Angle, mordida profunda, apinhamento anteroinferior e anterosuperior, linhas médias superior e inferior coincidentes com a da face.

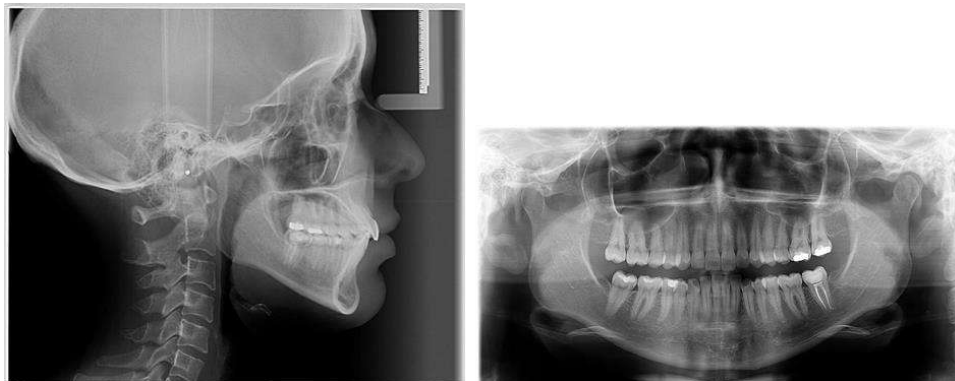


Figura 2. A. Telerradiografia de Perfil ($SNA = 79,14^\circ$, $SNB = 74,61^\circ$, $SN.Gn = 73,25^\circ$, $SNGoMe = 39,85^\circ$, $1.1 = 121,79^\circ$, $1.NA = 25^\circ$, $1-NA = 5,09 \text{ mm}$, $1.NB = 28,62^\circ$, $1-NB = 6,15 \text{ mm}$, $FMA = 28,66^\circ$, $IMPA = 94,17^\circ$). B. Radiografia panorâmica.

Após planejamento, o set up virtual permite a visualização das etapas da correção e a previsão de tempo de tratamento ativo (Figura 3).



Figura 3. *Set up* virtual aprovado. Previsão de 13 etapas de tratamento (6 ½ meses considerando a troca de cada par de alinhadores a cada 2 semanas). No *set up* são identificados o uso de *attachments* e a necessidade de IPR.

Alguns aspectos são essenciais para o sucesso do tratamento com alinhadores, dentre eles, a colaboração do paciente quanto ao uso adequado dos mesmos, e o acompanhamento criterioso do profissional ao comparar a situação clínica em cada estágio do tratamento, com àquela prevista no planejamento virtual (Figura 4).

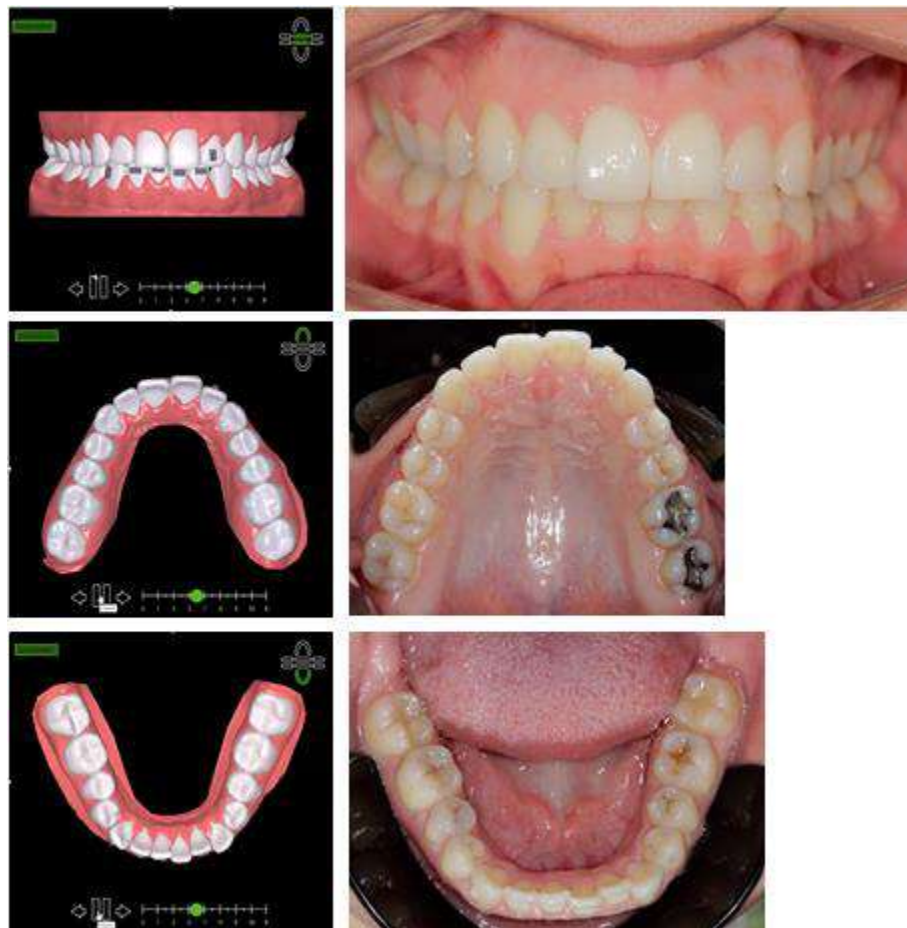


Figura 4. Comparação entre a proposta virtual e a situação clínica no *etapa* 6 do tratamento.

A comparação entre a proposta virtual e a situação clínica deve ser feita em cada etapa, e qualquer divergência com a proposta virtual deverá ser analisada e a conduta do profissional definida. Poderá ser necessário melhorar a colaboração do paciente no uso, aumentar o tempo de uso de cada alinhador e, até mesmo, poderá ser necessário uma revisão do tratamento. Nesse caso, escaneamentos e imagens clínicas atualizadas deverão ser enviadas juntamente com a indicação do novo planejamento.

Em casos nos quais não há qualquer intercorrência no tratamento, na etapa final do planejamento deverá ser observada concordância fiel entre o resultado previsto virtualmente e a situação clínica do paciente (Figura 5).



Figura 6. Comparação entre a situação clínica e a proposta virtual após *set up* final do tratamento.

Diagnóstico, planejamento e condução de um caso clínico de moderada complexidade

Com base na avaliação clínica inicial e documentação foi realizado diagnóstico e identificação da complexidade do caso (Figura 1). Utilizamos também as imagens radiográficas (Figura 2) e modelos de estudo digitais como auxiliares fundamentais no diagnóstico e planejamento do tratamento.



Figura 1. Situação clínica inicial. Paciente com face simétrica, perfil convexo, linha média inferior desviada 1 mm para a direita. Ausência múltipla de dentes.



Figura 2. Telerradiografia de Perfil (SNA = 90,68°, SNB = 81,64°, SN.Gn = 65,42°, SNGoMe = 32,28°, I.1 = 116,26°, I.NA = 12,50°, I-NA = 2,32 mm, I.NB = 42,20°, I-NB = 9,53 mm, FMA = 25,24°, IMPA = 108,28°).

O set up virtual aprovado indicou 29 etapas (Figura 4).

Figura 4. Set up virtual aprovado. Previsão de 29 etapas de tratamento (14 meses e meio considerando a troca de cada par de alinhadores a cada 2 semanas).

Durante o tratamento, a cada consulta foi realizada a comparação entre a situação real em boca e o planejamento virtual (Figura 5).

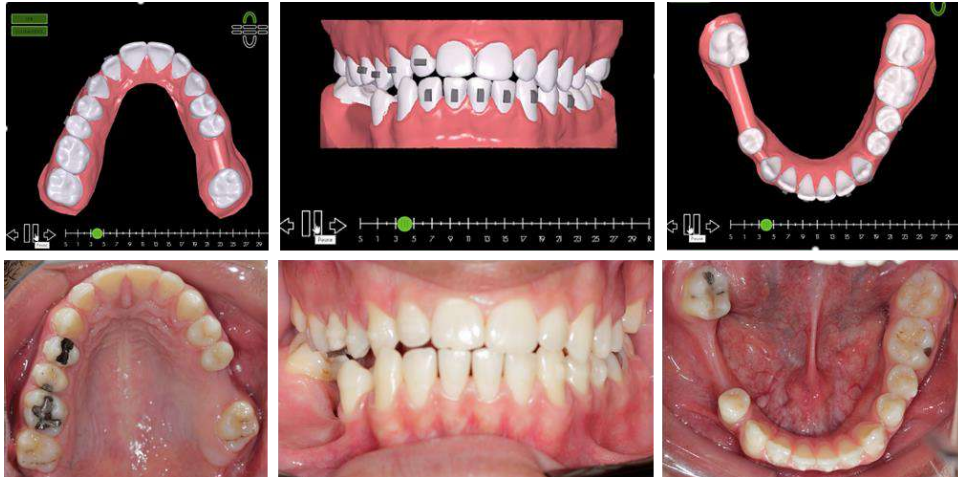


Figura 5. Situação clínica e planejamento virtual na etapa 4.

Ao final da etapa 29 foram realizados os implantes dentários e instalação das próteses provisórias (Figura 6 e 7).



Figura 6. A. Vista oclusal superior após instalação do implante em região de molar. B. Vista intrabucal frontal. C. Vista oclusal inferior após instalação de implantes inferiores do lado direito. D. Radiografias intrabucais.



Figura 7. A.B.C. Vistas intrabucais finais, após reabilitação com próteses provisórias sobre implantes.

Considerações Finais

Apesar do crescente número de estudos clínicos recentemente publicados sobre alinhadores, ainda há baixa evidência sobre a eficiência deste tipo de tratamento, evidenciada em revisões sistemáticas recentemente publicadas⁷⁻¹².

Referências

1. Al Yami EA, Kuijpers-Jaktman AM, Hof MAV. Occlusal outcome of orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 1998;68(5):439-44.
2. Richmond S, Shaw WC, O'Brien KD, Buchanan ID, Jones R, Stephens CD et al. The development of PAR index (Peer Assessment rating): Reliability and Validity. *Eur J Orthod.* 1992;14:125-39.
3. Beglin FM, Firestone AR, Vig KWL, Beck FM, Kuthy RA, Wade D. A comparison of the reliability and validity of 3 occlusal indexes of orthodontic treatment need. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;120(3):240-6.
4. Von Bremen J, Pancherz H. Efficiency of early and late Class II Division 1 treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121:31-7.
5. Casco JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, Don James R, Cangialosi TJ, et al. Objective Grading System for dental casts and panoramic radiographs. *Am J Orthod Dentifacial Orthop.* 1998;114(5): 589-99.
6. Buschang PH, Ross M, Shaw SG, Crosby D, Campbell PM. Predicted and actual end-of-treatment occlusion produced with aligner therapy. *Angle Orthod.* 2015;85(5):723-7.
7. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review.. *Angle Orthod.* 2015 Sep;85(5):881-9.
8. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res.* 2017 Aug;20(3):127-33.
9. Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod.* 2018;19:37.
10. Ke Y, Zhu Y, Zhu M. A comparison of treatment effectiveness between clear aligner and fixed appliance therapies. *BMC Oral Health.* 2019;19:24.
11. Robertson L, Kaur H, Fagundes NCF, Romanyk D, Major P, Flores-Mir C. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthod Craniofac res.* 2019;00:1-10.
12. Galan-Lopez L, Barcia-Gonzalez J, Plasencia E. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with Invisalign®. *Korean J Orthod.* 2019 May;49(3):140-9.

13. Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku1 M, Hamel C, Moran J et al. AMSTAR2 a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised and non-randomised studies of health care interventions, or both. *BMJ* 2017;358:j4008 | doi: 10.1136/bmj.j4008
14. Yassir YA, Nabbat SA, Mcintyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investigations* 2022 Mar;26(3):2353-2370.

Capítulo 5 - Relação saúde periodontal x movimentação ortodôntica

Yasmin Dallarmi Miguel

Roberto Hideo Shimizu

Telma Bedran

Daniela Magalhães de Brito Kalluf

José Mauro Granjeiro

Introdução

A manutenção da saúde periodontal durante um tratamento ortodôntico depende de vários fatores, como a resistência do hospedeiro; doença sistêmica ou condições como diabetes mellitus ou hábito de fumar; fenótipo periodontal, principalmente em relação à largura da tábua óssea vestibular; a quantidade e composição da placa dentária; e o hábito de higiene bucal do paciente - sendo este último provavelmente o fator mais crítico (1). Portanto, havendo um controle de placa adequado, o tratamento ortodôntico em si não terá qualquer efeito negativo sobre a saúde periodontal, mas pode, até ter um efeito benéfico em alguns casos. A relação entre saúde periodontal e tratamento ortodôntico é amplamente avaliada na literatura (2).

O periodonto é constituído por gengiva, ligamento periodontal, cimento radicular e osso alveolar. Os tecidos periodontais estão subdivididos de acordo com a sua função em periodonto de proteção, constituído pela gengiva, que protege os tecidos periodontais, e por periodonto de sustentação constituído pelo ligamento periodontal, cimento radicular e osso alveolar, com a função de sustentar e distribuir as forças oclusais que incidem sobre o dente. Para uma correta compreensão dos processos inflamatórios que ocorrem durante a movimentação ortodôntica, torna-se necessário compreender todas as estruturas anatômicas do periodonto, descritos a seguir (3).

Periodonto de Proteção

O periodonto de proteção é constituído pela gengiva, que é parte da mucosa mastigatória que recobre o processo alveolar e a porção cervical dos dentes. As características de normalidade da gengiva são: cor rósea pálido, ausência de sangramento a sondagem,

contorno parabólico festonado e consistência firme. De acordo com a sua localização a gengiva é subdividida em gengiva interdental, composta pela papila, gengiva livre que se estende da margem gengival até a ranhura gengival livre e a gengiva inserida que se estende da ranhura gengival livre até a junção mucogengival. A gengiva inserida possui variações de largura, normalmente a faixa de gengiva inserida na maxila é maior na região de incisivos e mais estreita próximo aos pré-molares, já na mandíbula a faixa de gengiva inserida nos incisivos por lingual é mais estreita quando comparada a região de molares. (4)

O sulco gengival é a região ao redor do dente delimitado pelo dente e pelo epitélio da gengiva marginal livre. Em condições saudáveis a profundidade clínica de sondagem pode chegar até 3 mm com ausência de sangramento marginal à sondagem. (3)

Na perspectiva microscópica, a gengiva é composta por epitélio e conjuntivo. O epitélio de acordo com a sua localização se divide em epitélio oral pavimentoso estratificado queratinizado que está em contato com o meio externo e em epitélio do sulco e o epitélio juncional que não são queratinizados e estão voltados para a superfície dentária. O tecido conjuntivo subjacente ao epitélio é vascularizado e com a presença de fibras colágenas. (3)

Periodonto de Sustentação

O periodonto de sustentação é constituído pelo ligamento periodontal, cemento radicular e osso alveolar e possui a função de sustentar e distribuir as forças mastigatórias.

O ligamento periodontal faz a união do dente ao processo alveolar e é constituído por tecido conjuntivo frouxo, vasos, nervos e células. Graças ao ligamento periodontal as forças fisiológicas ou as induzidas incidentes sobre o dente são distribuídas e absorvidas pelo processo alveolar através do osso alveolar propriamente dito. Além da função de distribuição das forças mastigatórias, o ligamento periodontal possui a função de propriocepção e nutrição do dente. (4)

O cemento radicular, circunda toda a superfície radicular e é um tecido mineralizado, avascular, sem nervos e vasos linfáticos, com a presença de fibras colágenas e formação contínua ao longo da vida. O cemento radicular possui a função de inserir as fibras do ligamento radicular na raiz dentária e ajudar no reparo da raiz após algum dano superficial. (4)

O processo alveolar é um tecido mineralizado, celular e vascularizado que forma o alvéolo dentário da maxila e mandíbula e possui a função de dar suporte aos alvéolos, distribuir e absorver as forças geradas durante a movimentação ortodôntica. (4)

Impacto dos aparelhos ortodônticos na saúde periodontal

Comparação de Alinhadores x Braquetes: controle de biofilme dental e condições periodontais

O tratamento ortodôntico tradicional estimula a movimentação dentária para corrigir a má oclusão dentária por meio de aparelhos fixados às superfícies dos dentes, como bandas e braquetes ortodônticos, arcos, ligaduras e auxiliares, sendo o método mais tradicionalmente utilizado (5).- Os aparelhos ortodônticos fixos muitas vezes complicam os procedimentos de higiene oral e facilitam o acúmulo de placa nos dentes e nas superfícies dos aparelhos (6). De fato, o controle do biofilme e os parâmetros inflamatórios periodontais clínicos são geralmente piores em pacientes submetidos a tratamento ortodôntico com aparelhos fixos do que em pacientes não ortodônticos (7). Devido a dificuldade de manter uma higiene bucal adequada, favorece a desmineralização progressiva do esmalte e inflamação gengival que pode levar a destruição dos tecidos de suporte dentário (1). Alguns estudos clínicos também relataram pior saúde periodontal e maior perda do nível de inserção clínica distalmente nas arcadas dentárias. Isso pode ser resultado de má higiene bucal nas regiões molares e presença de bandas molares, o que favorece a acomodação do alimento. As áreas gengival, distal e mesial, em relação aos braquetes, atraíram mais biofilme do que as áreas oclusais, principalmente devido à interferência dos fios de arco e ligaduras na escovação dos dentes. Há também relativamente menos autolimpeza da mastigação natural nessas áreas. A presença de aparelhos ortodônticos com braquetes estimula o crescimento e a retenção da placa dentária, o que resulta em gengivite localizada. O acúmulo de placa pode favorecer a transição do biofilme microbiano para uma flora periodontopatogênica mais agressiva em bolsas periodontais subgengivais e a produção de citocinas pró-inflamatórias. (8)

As complicações periodontais têm sido relatadas como um dos efeitos colaterais mais comuns associados ao tratamento ortodôntico.(9). Em pacientes ortodônticos periodontalmente saudáveis, a gengivite é a complicação periodontal mais crítica e

raramente progride para ruptura periodontal durante o tratamento ortodôntico (10). No entanto, a prevalência de periodontite aumenta com a idade. Consequentemente, como mais adultos procuraram tratamento ortodôntico nas últimas décadas, o número de pacientes com algum comprometimento periodontal em tratamento ortodôntico aumentou significativamente (11). Nesses pacientes, as complicações periodontais do tratamento ortodôntico podem incluir perda adicional de inserção e progressão ou recorrência da periodontite. De fato, as forças ortodônticas podem aumentar o tecido periodontal e especialmente a perda óssea em locais de periodontite, regulando ainda mais a interleucina (IL)-6, que já é elevada pela inflamação periodontal induzida por bactérias.(12) .

A introdução dos contemporâneos alinhadores transparentes na prática clínica teve como intenção superar algumas limitações dos aparelhos fixos e satisfazer as exigências estéticas e de conforto dos pacientes. Os alinhadores transparentes devem ser removidos durante as refeições e procedimentos de higiene bucal, e isso é particularmente importante para pacientes adultos que procuram tratamento ortodôntico e que tem maior prevalência de periodontite. Pode-se citar uma relação positiva entre a retirada do aparelho antes de comer/beber e a adesão à higiene bucal, tornando esses pacientes mais sensíveis aos cuidados bucais. Além disso, os alinhadores são mais prevalentes na população adulta em que a educação em higiene bucal é menos complexa do que os adolescentes. Eles também são mais cooperativos em seguir as instruções dos ortodontistas (8) .

Estudos recentes sugerem que os alinhadores transparentes podem ser a primeira opção de tratamento em pacientes com risco de gengivite ou periodontite, favorecendo a manutenção de melhores condições de saúde periodontal, especialmente adultos (13). Surgiram relatos sobre as vantagens potenciais dos alinhadores transparentes em termos de higiene bucal, saúde dental e periodontal. Especula-se que a natureza removível e de tempo parcial de tais aparelhos pode resultar em níveis potencialmente mais altos de manutenção da higiene bucal, diminuindo o risco de desenvolver gengivite ou desmineralização dentária (14), em comparação ao aparelho fixo convencional (13). Atualmente, a manutenção de um bom nível de saúde periodontal parece ser seguramente fácil no CAT, desde que procedimentos corretos de limpeza dos alinhadores sejam realizados para minimizar os efeitos de colonização microbiana. (15)

O índice de placa (PI), índice gengival (GI), índice de sangramento do sulco (SBI), profundidade de sondagem periodontal (PPD) são índices clínicos que podem ser utilizados

para avaliar e comparar o estado de saúde periodontal de pacientes em tratamento ortodôntico com alinhadores transparentes e aparelhos fixos convencionais.

O índice de placa (PI) é um índice clínico comumente usado para avaliar o estado de higiene bucal com base no acúmulo de biofilme gengival ao redor dos dentes, gengiva e sulco gengival ou bolsas periodontais (16). O biofilme gengival é composto por diversos complexos bacterianos que se beneficiam mutuamente da coagregação, adesão e interações metabólicas (17,18) e é o principal fator etiológico no desenvolvimento, progressão e recorrência da inflamação periodontal (19–21). As principais doenças periodontais induzidas por biofilme são a gengivite (inflamação não destrutiva da gengiva que é reversível pelo controle do biofilme), e a periodontite, que leva à perda irreversível de inserção, ligamento periodontal e osso alveolar (7,18,22) e depende da suscetibilidade e capacidade de resposta do indivíduo ao exsudato inflamatório (23,24).

Pacientes ortodônticos sempre apresentam escores IP significativamente piores, indicando estado de higiene bucal pior em comparação com indivíduos não tratados (25). Por sua vez, há um bom consenso na literatura, confirmado pelos presentes resultados, de que os alinhadores transparentes fornecem um controle significativamente melhor do acúmulo de biofilme do que os aparelhos ortodônticos fixos, especialmente durante o primeiro ano de tratamento. De fato, diferenças no IP entre pacientes com alinhadores transparentes e aparelhos fixos foram relatadas em acompanhamentos de curto e de médio prazo. Esses achados podem ser explicados pela evidência de que braquetes, bandas e fios ortodônticos promovem o acúmulo de biofilme, retêm mais placa e dificultam sua remoção efetiva (19). Além disso, pode-se especular que após o primeiro ano de tratamento ortodôntico fixo, em média, os pacientes com aparelhos fixos tornam-se mais adeptos da higiene oral. Por outro lado, os alinhadores transparentes cobrem pelo menos a maior parte da coroa, evitam o acúmulo de biofilme e podem ser removidos, permitindo que os pacientes realizem seus procedimentos de higiene oral em condições ideais (8).

A avaliação clínica da inflamação gengival foi registrada através do índice gengival (IG) e índice de sangramento do sulco (SBI), medindo o edema e eritema gengival e avaliando a presença e gravidade do sangramento periodontal (16,26). Como os aparelhos fixos ortodônticos geralmente reduzem a eficácia do controle do biofilme nos pacientes, espera-se que o risco associado de ocorrência de gengivite local aumente (7,19). Além disso, o acúmulo de biofilme pode favorecer patógenos periodontais subgengivais e induzir a liberação de

citocinas pró-inflamatórias periodontais, que por sua vez leva à destruição do tecido periodontal (24,27). Por outro lado, alinhadores transparentes, que impedem o acúmulo de biofilme, podem potencialmente limitar o risco de inflamação e subsequente destruição do tecido periodontal durante o tratamento ortodôntico (8). Conseqüentemente, os resultados das metanálises recentes relataram evidências de um controle significativamente melhor da inflamação gengival entre pacientes com aparelhos removíveis em vez de aparelhos fixos. (28).

Estudos recentes descobriram que a piora dos valores de profundidade de sondagem periodontal (PPD) durante o tratamento ortodôntico é principalmente devido à inflamação da gengiva induzida por biofilme bacteriano, que pode levar ao supercrescimento gengival e pseudobolsas periodontais (29). Os achados recuperados sustentam que os alinhadores transparentes estão associados a melhores valores de PPD em acompanhamentos de curto e médio prazo. Além disso, evidências moderadas a altas apoiaram o papel dos alinhadores transparentes em limitar a piora dos valores de PPD durante o tratamento ortodôntico no acompanhamento de longo prazo em comparação com aparelhos ortodônticos fixos (28).

Os alinhadores transparentes forneceram um controle significativamente melhor do acúmulo de biofilme do que os aparelhos ortodônticos fixos, especialmente durante o primeiro ano de tratamento. No entanto, nenhuma diferença foi encontrada durante o acompanhamento de longo prazo. Da mesma forma, o estado inflamatório gengival foi significativamente mais bem controlado em pacientes com aparelhos removíveis em vez de aparelhos fixos em acompanhamentos de curto e médio prazo. Além disso, houve evidência moderada a forte de que os alinhadores transparentes limitaram a piora dos valores de PPD durante o tratamento ortodôntico no acompanhamento de longo prazo. No entanto, essas diferenças nos resultados periodontais entre indivíduos com alinhadores transparentes e aparelhos fixos foram estatisticamente significativas, mas praticamente insignificantes no contexto clínico. De fato, as diferenças no GI e SBI (variáveis ordinais) foram inferiores a 1, e as diferenças no PPD foram inferiores a 1 mm (dificilmente mensuráveis) (28). Por isso, embora os resultados relatados na análise quantitativa tenham sido estatisticamente significativos, sua relevância clínica pode ser limitada pois os índices periodontais são variáveis ordinais e se a diferença média entre as duas abordagens de tratamento estiver entre 0 e 1, ambas receberão a mesma pontuação de índice, uma vez que a diferença está abaixo de um número completo (28).

Considerando a importância de limitar as complicações periodontais durante o tratamento ortodôntico, alguns trabalhos e revisões avaliaram o impacto dos alinhadores transparentes (CAT) na higiene oral comparado à terapia com aparelhos fixos (FAT) (Quadro 1).

Quadro 1. Impacto dos alinhadores na saúde periodontal.

REVISAO SISTEMATICA	ESTUDOS INCLUIDOS	OBJETIVO	CONCLUSAO
Rossini et al- (30)	1 RCT 4 prospectivos	Avaliar a saúde periodontal CAT e FAT	Os índices de saúde periodontal foram significativamente melhorados durante o CAT. Os resultados desta revisão devem ser interpretados com cautela devido ao número, qualidade e heterogeneidade dos estudos incluídos.
Jiang et al - (31)	3 RCT 7 Cohort	Comparar a saúde periodontal FAT X CAT	FAT comparado ao CAT permitiu significativamente melhor saúde periodontal, incluindo PI, GI e PPD. No entanto, estudos de alta qualidade ainda são necessários.
Lu et al (32)	7 Cohort	Comparar a saúde periodontal CAT X FAT	CAT tem melhor saúde periodontal. No entanto, esta conclusão ainda precisa ser confirmada por mais RCTs
Oikonomou et al (14)	6 RCT 15 não RCT	Identificar e avaliar diferenças nos parâmetros de higiene bucal CAT e FAT	CAT tem níveis mais elevados de saúde bucal em geral comparado a FAT em curto prazo. No entanto, a evidência é suportada por baixa a muito baixa certeza.
Wu et al (33)	13 RCT	Comparar condições periodontais entre CAT e FAT	CAT são mais benéficos para condição periodontal. GI, PI, e os índices de PPD foram significativamente reduzidos em CAT comparação com FAT.
Partouche et al (8)	1 RCT 4 coorte 2 transversais	Comparar a saúde periodontal entre CAT e FAT	CAT apresentou melhores resultados para saúde periodontal do que FAT

Crego Ruiz M e Jorba-García (1)	3 RCT 9 Não RCT	Avaliar a saúde periodontal e o desenvolvimento de recessões gengivais em CAT e FAT	Não há evidências suficientes para concluir que o CAT mantém melhor saúde periodontal do que FAT.
Di Spirito et al (28)	4 RS	Avaliar as condições periodontais entre CAT e FAT	CAT e FAT devem ser considerados comparáveis no estado de saúde periodontal

Verificou-se que a saúde periodontal, a quantidade e a qualidade da placa foram mais favoráveis durante o CAT do que durante o FAT, com uma diminuição significativa dos índices periodontais (índice de placa, índice gengival, sangramento à sondagem, índice de sangramento papilar, profundidade de bolsa à sondagem, sulco profundidade de sondagem) (30). A metanálise de Jiang et al (31) revelou que o CAT está associado a uma saúde periodontal significativamente melhor quando comparado ao FAT em termos de pontuações de índice de placa significativamente mais baixas, pontuações de índice gengival significativamente mais baixas e valores de profundidade de sondagem significativamente mais baixos. Lu et al (32), em sua meta-análise, também descobriram que pacientes com tratados com alinhadores têm melhor saúde periodontal do que pacientes com aparelhos fixos. Seus resultados para o índice gengival e a profundidade de sondagem do sulco foram comparáveis à meta-análise anterior, mas não foram estatisticamente significativos. No entanto, a análise de subgrupo revelou um nível significativamente menor de profundidade de sondagem do sulco em seis meses no grupo tratado com alinhadores. Para o índice de placa, os resultados foram significativamente menores no grupo tratado com alinhadores em um, três e seis meses. Além disso, houve um índice de sangramento do sulco significativamente menor para pacientes tratados com alinhadores em um mês, três e seis meses (13).

-Com base no exposto, Di Spirito e colaboradores(28) concluem as evidências sobre o estado de saúde periodontal de indivíduos submetidos a tratamento ortodôntico com alinhadores transparentes e aparelhos fixos permanecem contraditórias e que o impacto do tratamento ortodôntico com alinhadores e aparelhos fixos na saúde periodontal deve ser considerado comparável, e não há evidências para apoiar a escolha de alinhadores como primeira opção de tratamento em pacientes com risco de gengivite ou periodontite (28). As evidências disponíveis ainda não são suficientes para concluir a superioridade da terapia com

alinhadores transparentes em termos de estado periodontal durante o tratamento ortodôntico em comparação com aparelhos fixos.(2)

Baseado nos estudos realizados até o momento comparando os alinhadores transparentes aos aparelhos fixos em termos de controle de biofilme e condição periodontal, os alinhadores transparentes se mostraram superior aos aparelhos fixos para tratamento ortodôntico, facilitando assim, o controle de placa e diminuindo o risco de desenvolvimento de doenças periodontais. Entretanto, a despeito de diferenças significativas nos índices de placa, de sangramento e profundidade de sondagem, os valores nominais obtidos nos grupos experimentais com alinhadores parecem apresentar baixa relevância clínica. Deve-se destacar que dentre os estudos realizados, poucos são ensaio clínico prospectivo e randomizado, tornando o nível de evidência moderado. Assim, mais estudos clínicos randomizados são necessários para comprovar a superioridade dos alinhadores transparentes em termos de condições periodontais.

Considerações Finais

Uma das maiores preocupações do clínico é não induzir danos a condição periodontal dos pacientes ortodônticos, evitando processos inflamatórios. Considerando a alta prevalência de doenças periodontais, é altamente recomendado a avaliação do estado e fatores relacionados a saúde periodontal antes de iniciar o tratamento ortodôntico. Sendo assim, um diagnóstico completo, levando em consideração não apenas os problemas ortodônticos, mas também as necessidades periodontais são de extrema importância. Além disso, o estabelecimento de um programa adequado de promoção da saúde para o controle da inflamação deve ser considerado como uma medida preventiva eficaz para complicações periodontais durante o tratamento ortodôntico bem como a orientação dos pacientes ortodônticos sobre o seu estado de saúde bucal, estimulando a cooperação e motivação do paciente com o cuidado sobre a sua saúde periodontal.

As evidências documentadas em revisões sistemáticas sustentam vantagens significativas, embora com nominalmente de baixa relevância clínica, para os alinhadores comparados aos aparelhos fixos. Resta claro que os alinhadores, quando adequadamente indicados, oferecem ao paciente um controle mais efetivo da saúde bucal aliado a um melhor desempenho estético e conforto durante refeições, acumulando vantagens interessantes que

podem pesar na decisão do clínico. É fundamental ressaltar os resultados das evidências da literatura para que clínicos e pesquisadores possam tomar decisões precisas sobre os usos clínicos desses dispositivos e planejar estudos futuros que aperfeiçoem essa estratégia de tratamento. No entanto, é necessário conduzir estudos mais abrangentes para estabelecer as regras e limites dessa opção de tratamento excepcional, levando em conta todas as incertezas mencionadas.

Referências:

1. Crego-Ruiz M, Jorba-García A. Assessment of the periodontal health status and gingival recession during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: A systematic review and meta-analysis. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2023;e330–40.
2. ElNaghy R, Al-Qawasmi R, Hasanin M. Does orthodontic treatment using clear aligners and fixed appliances affect periodontal status differently? *Evid Based Dent*. 2023 Jun;24(2):73–4.
3. Newman MG, Takei H, Klokkevold PR, Carranza FA. *Peridontia Clínica. Parte 1: Bases biológicas da Peridontia. Seção I Periodonto normal.* . 12th ed. Elsevier, editor. São Paulo; 2016. 70–100 p.
4. Lindhe J, Lang NP. *Tratado de periodontia clínica e implantologia oral.* 6 edição. . Guanabara Koogan. Rio de Janeiro ; 2018. 60–150 p.
5. Tufekci E, Dixon JS, Gunsolley JC, Lindauer SJ. Prevalence of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances. *Angle Orthod*. 2011 Mar;81(2):206–10.
6. Miethke RR, Vogt S. Vergleich der Parodontalbefunde zwischen Invisalign®-und Multibracketpatienten. *Journal of Orofacial Orthopedics*. 2005 May;66(3):219–29.
7. Di Spirito F. Oral-Systemic Health and Disorders: Latest Prospects on Oral Antisepsis. *Applied Sciences*. 2022 Aug 16;12(16):8185.
8. Partouche AJD, Castro F, Baptista AS, Costa LG, Fernandes JCH, Fernandes GV de O. Effects of Multibracket Orthodontic Treatment versus Clear Aligners on Periodontal Health: An Integrative Review. *Dent J (Basel)*. 2022 Sep 21;10(10):177.
9. Alfuriji S, Alhazmi N, Alhamlan N, Al-Ehaideb A, Alruwaithi M, Alkatheeri N, et al. The effect of orthodontic therapy on periodontal health: a review of the literature. *Int J Dent*. 2014;2014:585048.
10. Willmot D. Orthodontic treatment and the compromised periodontal patient. *Eur J Dent*. 2008 Jan;2(1):1–2.

11. Rego RO, Oliveira CA, dos Santos-Pinto A, Jordan SF, Zambon JJ, Cirelli JA, et al. Clinical and microbiological studies of children and adolescents receiving orthodontic treatment. *Am J Dent*. 2010 Dec;23(6):317–23.
12. Rath-Deschner B, Nogueira AVB, Beisel-Memmert S, Nokhbehshaim M, Eick S, Cirelli JA, et al. Interaction of periodontitis and orthodontic tooth movement-an in vitro and in vivo study. *Clin Oral Investig*. 2022 Jan;26(1):171–81.
13. Yassir YA, Nabbat SA, McIntyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig*. 2022 Mar 6;26(3):2353–70.
14. Oikonomou E, Foros P, Tagkli A, Rahiotis C, Eliades T, Koletsi D. Impact of Aligners and Fixed Appliances on Oral Health during Orthodontic Treatment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Oral Health Prev Dent*. 2021 Jan 7;19(1):659–72.
15. Galluccio G. Is the use of clear aligners a real critical change in oral health prevention and treatment? Vol. 172, *Clinica Terapeutica*. Societa Editrice Universo; 2021. p. 113–5.
16. Loe H. The Gingival Index, the Plaque Index and the Retention Index Systems. *J Periodontol*. 1967;38(6):Suppl:610-6.
17. Kwon T, Lamster IB, Levin L. Current Concepts in the Management of Periodontitis. *Int Dent J*. 2021 Dec;71(6):462–76.
18. Amato A. Oral-Systemic Health and Disorders: Latest Advances on Oral–Gut–Lung Microbiome Axis. *Applied Sciences*. 2022 Aug 17;12(16):8213.
19. Genco RJ, Borgnakke WS. Risk factors for periodontal disease. *Periodontol 2000*. 2013 Jun;62(1):59–94.
20. Amato A. Periodontitis and Cancer: Beyond the Boundaries of Oral Cavity. *Cancers (Basel)*. 2023 Mar 13;15(6).
21. Ramaglia L, Di Spirito F, Sirignano M, La Rocca M, Esposito U, Sbordone L. A 5-year longitudinal cohort study on crown to implant ratio effect on marginal bone level in single implants. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2019 Oct;21(5):916–22.
22. Ballini A, Cantore S, Farronato D, Cirulli N, Inchingolo F, Papa F, et al. Periodontal disease and bone pathogenesis: the crosstalk between cytokines and porphyromonas gingivalis. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2015;29(2):273–81.
23. Murakami S, Mealey BL, Mariotti A, Chapple ILC. Dental plaque-induced gingival conditions. *J Periodontol*. 2018 Jun;89 Suppl 1:S17–27.
24. Di Spirito F, Sbordone L, Pilone V, D'Ambrosio F. Obesity and Periodontal Disease: A Narrative Review on Current Evidence and Putative Molecular Links. *Open Dent J*. 2019 Dec 31;13(1):526–36.

25. Contaldo M, Lucchese A, Lajolo C, Rupe C, Di Stasio D, Romano A, et al. The Oral Microbiota Changes in Orthodontic Patients and Effects on Oral Health: An Overview. *J Clin Med*. 2021 Feb 16;10(4).
26. Mühlemann HR, Son S. Gingival sulcus bleeding--a leading symptom in initial gingivitis. *Helv Odontol Acta*. 1971 Oct;15(2):107-13.
27. Ren Y, Vissink A. Cytokines in crevicular fluid and orthodontic tooth movement. *Eur J Oral Sci*. 2008 Apr;116(2):89-97.
28. Di Spirito F, D'Ambrosio F, Cannatà D, D'Antò V, Giordano F, Martina S. Impact of Clear Aligners versus Fixed Appliances on Periodontal Status of Patients Undergoing Orthodontic Treatment: A Systematic Review of Systematic Reviews. *Healthcare (Basel)* [Internet]. 2023 May 6;11(9). Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/37174882>
29. Vincent-Bugnas S, Borsa L, Gruss A, Lupi L. Prioritization of predisposing factors of gingival hyperplasia during orthodontic treatment: the role of amount of biofilm. *BMC Oral Health*. 2021 Feb 24;21(1):84.
30. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Periodontal health during clear aligners treatment: A systematic review. *Eur J Orthod*. 2015 Oct 1;37(5):539-43.
31. Jiang Q, Li J, Mei L, Du J, Levrini L, Abbate GM, et al. Periodontal health during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: A meta-analysis. Vol. 149, *Journal of the American Dental Association*. American Dental Association; 2018. p. 712-720.e12.
32. Lu H, Tang H, Zhou T, Kang N. Assessment of the periodontal health status in patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances and Invisalign system. Vol. 97, *Medicine (United States)*. Lippincott Williams and Wilkins; 2018.
33. Wu Y, Cao L, Cong J. The periodontal status of removable appliances vs fixed appliances. *Medicine*. 2020 Dec 11;99(50):e23165.

Capítulo 6 - Reabsorção radicular relacionada a tratamento ortodôntico

Isabela Almeida Shimizu

Ana Cláudia M. Melo Toyofuku

Esther Takamori

Introdução

A movimentação ortodôntica é o resultado de uma série de reações teciduais nas estruturas de suporte do dente mediante a aplicação de forças. Tal força pode ser contínua ou intermitente e deve ter magnitude suficiente e ponto de aplicação adequado de acordo com as condições anatômicas e biomecânicas (1). A aplicação de forma inadequada de forças ortodônticas pode resultar em respostas biológicas exageradas e movimentos indesejados e ineficientes (2). O domínio da mecânica e conhecimento dos sistemas de forças gerados durante a movimentação ortodôntica são essenciais na condução do tratamento (2).

Conforme discorrido no capítulo 3 (Aspectos biológicos da movimentação ortodôntica com alinhadores ortodônticos), a fase inicial da movimentação ortodôntica envolve uma resposta inflamatória aguda e as citocinas presentes no fluido gengival crevicular têm um importante papel no processo de remodelação óssea (3). Em recente Revisão Sistemática de Literatura foi concluído que a movimentação ortodôntica induz uma série de alterações nos níveis enzimáticos do fluido crevicular gengival associadas a magnitude e ponto de aplicação da força e tempo decorrido após a ativação (4).

Desde as primeiras publicações sobre as reações teciduais durante o tratamento ortodôntico, muito se tem estudado a respeito. Apesar do grande número de publicações, a definição exata da magnitude de força e o grau de movimento ortodôntico ainda permanecem sem evidências definitivas (5). É frequentemente discutido se a reabsorção radicular poderá estar relacionada à mecânica aplicada e magnitude de forças aplicadas e à duração do tempo de aplicação da força, porém as evidências ainda não são definitivas (6,7). A reabsorção radicular apical externa (RRAE) é a alteração na estrutura radicular (volume e comprimento) envolvendo o ápice dentário. Evidências sugerem que a intervenção ortodôntica resulta em aumento de incidência assim como na severidade da reabsorção radicular, porém normalmente em níveis clinicamente aceitáveis (8).

É objetivo deste capítulo discutir as questões biológicas que envolvem a RRAE, sua etiologia, e estado atual de conhecimento em relação aos alinhadores ortodônticos.

Cascata de eventos celulares envolvendo a RRAE

A movimentação dentária ortodôntica em adultos está diretamente relacionada ao potencial de remodelação do osso alveolar, o qual é controlado pela interação de sinais locais e sistêmicos, incluindo força mecânica, fatores angiogênicos, fatores de crescimento, hormônios, citocinas e outras moléculas (9). A aplicação de forças ortodônticas induz inflamação local, a qual é essencial para movimentação dentária, mas também um componente fundamental na reabsorção radicular (10).

A reabsorção dentária é desejável em dentes decíduos (reabsorção dentária fisiológica) uma vez que facilita a sua exfoliação e subsequente erupção do dente sucessor permanente subjacente. Por outro lado, em dentes adultos, é indesejável e promove dano irreversível, o que pode levar à necessidade de tratamento dentário ou mesmo à exodontia (11).

O processo de reabsorção radicular está intimamente relacionado com a injúria e necrose do ligamento periodontal. Quando grandes forças ortodônticas são aplicadas por um período contínuo (semanas ou meses), pode ocorrer a necrose (hialinização) do ligamento periodontal comprimido. As células progenitoras de osteoclastos migram dos capilares do ligamento periodontal, esses últimos podem prontamente coalescer para formar células multinucleadas, capazes de reabsorver tecidos mineralizados (osso e raiz dentária). A reabsorção radicular apical externa tem início quando a camada protetiva de cementoblastos, que fazem a interface com o ligamento periodontal hialinizado, entra em apoptose e permite que os odontoclastos reabsorvam cimento e dentina (12).

A reabsorção radicular induzida por movimentação ortodôntica é parte do processo de eliminação da zona hialina, formada por necrose asséptica, envolvendo osteoclastos e os odontoclastos (10). Estudos têm mostrado o envolvimento de células gigantes multinucleadas fosfatase ácida tartarato resistente positivas sem borda em escova na remoção do tecido hialino. Essas células podem ser osteoclastos ou odontoclastos iniciais, que formam osteoclastos ou odontoclastos após a introdução de estímulo mecânico (13).

O sistema RANK/RANKL/OPG parece contribuir tanto para a remodelação do osso alveolar como para a reabsorção radicular fisiológica e a ocasionada por tratamento

ortodôntico. Tem se verificado aumento na expressão de RANKL e redução dos níveis de osteoprotegerina (OPG) em pacientes com reabsorção radicular externa severa na região apical comparada com grupo sem reabsorção dentária (14). Assim como os osteoclastos, os odontoclastos também expressam o receptor ativador do fator nuclear kappa-beta (RANK), bem como ligante de RANK (RANKL), OPG e M-CSF (fator estimulante de colônias de macrófagos), os quais são importantes para sua diferenciação e ativação (15). RANKL se liga ao RANK de pré-osteoclastos e pré-odontoblastos diferenciando-os em osteoclastos e odontoclastos ativos multinucleados (11). RANKL pode ser expresso por odontoblastos, fibroblastos do ligamento periodontal, polpa e cementoblastos, assim como pelos odontoclastos, localizados próximos à superfície de dentina nas lacunas de reabsorção ou pelos precursores mononucleares, sugerindo um efeito regulatório autócrino ou parácrino dessas células. OPG é expressa por odontoblastos, ameloblastos e células da polpa dentária.

Estudos tem sugerido que a hipóxia também pode desempenhar um papel na ativação da osteoclastogênese, pois altera o metabolismo e o reparo dos fibroblastos do ligamento periodontal (16). A direção em que as células clásticas se movem é dependente de mediadores inflamatórios (como fatores de crescimento, citocinas, prostaglandinas, etc) e hormônios (como, PTH, calcitonina, calcitriol) (11).

Uma variedade de gatilhos físicos e biológicos podem iniciar a reabsorção radicular, o que torna especialmente difícil para os clínicos identificarem com precisão os eventos iniciais em seus pacientes. A extensão e agressividade da reabsorção radicular dependem da densidade mineral e da espessura do cimento, além da agressividade do processo.

A sinalização pela via de Wnt/ β -catenina é claramente importante no desenvolvimento da raiz dentária e a mediação da reabsorção óssea se dá pela sua regulação sobre OPG e RANKL (17). Mesmo na presença de forças fisiológicas, a reabsorção radicular pode ocorrer, simplesmente pela alteração do balanço da sinalização na via de Wnt no complexo periodontal (17). Num modelo genético em camundongos, com reduzida sinalização Wnt, verificou-se que a expressão de RANKL é regulada positivamente e a de osteoprotegerina, negativamente, aumentando o número de osteoclastos, evidenciados pela marcação de TRAP (fosfatase ácida resistente a tartarato) e a reabsorção dentária. Verificaram, ainda, que a sinalização Wnt controla a espessura do cimento em linhagens de camundongo. Amplificando a via Wnt observa-se aumento na espessura do cimento; e o

inverso, quando a via Wnt é reduzida, com menor mineralização e mais reabsorção do cimento (17,18). Além disso, a via de sinalização Wnt/ β -catenina pode promover o reparo do cimento, pela diferenciação de células tronco ou progenitoras provenientes do ligamento periodontal (19). A ativação da via Wnt/ β -catenina em cementoblastos inibe a expressão de Runx2 e osterix, resultando na regulação negativa da proliferação e diferenciação de cementoblastos (26), a qual está positivamente associada à diferenciação e consequente formação de cimento (20)

A importância do grau de mineralização do cimento para sua manutenção foi evidenciada em um estudo *in vitro* no qual a variação na dureza do cimento dentário mostrou-se dependente de sua composição química e da proporção entre Ca e P. Portanto, a dureza e proporção entre Ca/P do cimento pode influenciar a resistência ou suscetibilidade à reabsorção radicular causada por forças ortodônticas (21).

Metaloproteinases de matriz (MMP) expressas no ligamento periodontal e fluido crevicular, após a incidência de força mecânica, estão associados com anomalias em raiz dentária curta, além de dano a mesma (22).

O balanço entre macrófagos M1 e M2 também afeta a reabsorção radicular ortodôntica, a qual é agravada pelo aumento da proporção M1/M2, mas parcialmente diminuída pela redução M1/M2 (23).

HE et al (23) utilizaram molas ortodônticas de níquel-titânio para induzir a movimentação dentária ortodôntica no primeiro molar de camundongos. Macrófagos M1, positivos para CD68 e iNOS foram encontrados nas áreas de compressão dos tecidos periodontais, além disso a expressão de interferon gama, ativador de macrófagos M1 e citocinas pró-inflamatórias associadas a M1, também foram encontradas em maiores níveis (nas áreas de compressão dos tecidos periodontais. Quando as molas helicoidais foram removidas, após 14 dias de aplicação de forças ortodônticas, o número de macrófagos M2 aumentou gradualmente nos tecidos periodontais submetidos à compressão, verificando-se aumento dos níveis de IL-4 e IL-10, citocinas anti-inflamatórias associadas a M2. A injeção sistêmica de inibidor de TNF- α ou IL-4 atenuaram a severidade da reabsorção radicular e diminuíram a proporção de macrófagos M1 para M2 (23).

Métodos de detecção da RRAE

A anamnese prévia ao tratamento ortodôntico é fundamental, o uso de radiografias periapicais e panorâmicas são necessárias para o diagnóstico e avaliação das estruturas ósseas e dentárias do paciente (Leach et al, 2001; Sigala-Hernandez, 2019). Um diagnóstico minucioso pode evitar ou diminuir a chance de reabsorção periapical externa durante o tratamento ortodôntico, a radiografia periapical prévia ao tratamento ortodôntico auxilia na identificação de reabsorções apicais e avaliação da morfologia dentária e do tecido de suporte (24).

A técnica mais utilizada para detecção de reabsorção periapical é a radiografia periapical em paralelismo, ou seja, a relação geométrica entre o dente em questão e o filme radiográfico devem estar paralelos para obter uma vista precisa da reabsorção (25). As imagens geometricamente precisas da técnica de paralelismo são necessárias para avaliar corretamente o grau de reabsorção radicular externa, além disso, deve ser reproduzível para fins comparativos da progressão da reabsorção (24,26).

Com as mudanças digitais na área da saúde, a radiografia não ficou para trás; A radiografia digital periapical substituiu os filmes por sensores e placas, sendo bem aceitas pelos cirurgiões dentistas pela comodidade de uso, a semelhança no resultado, a menor dose de radiação e a possibilidade de alterar contraste, inversão e pseudo-coloração o que é ideal na detecção de reabsorções periapicais internas e externas (24,27).

Outro dos métodos utilizados para a detecção de RRAE é a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC)(28). A tomografia computadorizada de feixe cônico ao obter dados tridimensionais (3D) permite a visualização de estruturas sem a sobreposição das mesmas o que facilita o diagnóstico mais precisa da RRAE, não obstante a exposição à radiação e o custo operacional elevado, colocam a TCFC como um método adicional de avaliação precisa após a reabsorção periapical ter sido identificada com o método de radiografia periapical (29–31).

Causas da RRAE

Fatores demográficos

A etiologia da RRAE é multifatorial, sendo que vários fatores predisponentes e etiológicos são associados à essa patologia. A dificuldade está em determinar quais causas

estão associados às características do hospedeiro ou aos fatores externos como as variáveis do tratamento ortodôntico (32). Como fatores demográficos, Nishioka e Sinclair, afirmam que os pacientes brancos e hispanos tem maior susceptibilidade à reabsorção radicular quando comparado a pacientes japoneses (33). Por outro lado, Wang et al analisaram e compararam à reabsorção radicular em diferentes grupos étnicos, concluindo com o estudo, observasse que os pacientes hispanos apresentam maior reabsorção em comparação com os pacientes caucasianos e afro-americanos (32).

Fatores Clínicos

Como temos visto até agora, a reabsorção radicular externa tem várias causas, dentre elas há também fatores clínicos sendo o tratamento ortodôntico um dos principais responsáveis desta patologia. No tratamento ortodôntico, a força elevada, quantidade de deslocamento radicular necessário e o tempo de tratamento prolongado estão relacionados à maior chance de reabsorção apical (6).

Em relação à técnica ortodôntica, vários autores (34–38) concordam que a mecânica ortodôntica convencional tem maior chance de reabsorção radicular externa quando comparada à técnica de alinhadores. Gandhi et al (39) compararam a reabsorção radicular externa em pacientes tratados com ortodontia convencional na técnica Edgewise e pacientes tratados com alinhadores ortodônticos, mesmo que nenhuma das duas técnicas apresentassem reabsorção radicular externa significativa, os pacientes tratados com a técnica de Edgewise apresentaram uma reabsorção importante nos incisivos superiores em comparação com a técnica de alinhadores, confirmando os estudos dos outros autores previamente mencionados(39).

Fatores Genéticos Associados à RRAE

Buscando detectar os fatores associados às características do hospedeiro, Newman et al(40) foram os primeiros a apontar a associação entre fatores genéticos e a RRAE. Contudo, somente em 2003, Al-Qawasmi et al (41) demonstraram a associação entre o polimorfismo do gene da interleucina-1b(*IL1B*+3954) e a RRAE. Corroborando essa linha de pensamento, foram desenvolvidos estudos em gêmeos monozigóticos e dizigóticos, os quais verificaram uma hereditariedade consistente, indicando um componente genético associado à RRAE (42)

. As variações genéticas foram indicadas como responsáveis por dois terços da variação da RRAE (43–45),₂ entretanto, a determinação específica sobre quais genes estão envolvidos no controle da suscetibilidade à RRAE ainda é inexistente.

Os estudos genéticos acerca desta patologia vêm sendo desenvolvidos, mas ainda não foram identificados quais genes controlam a susceptibilidade ou proteção à RRAE. Essa informação possibilitaria o reconhecimento precoce dos pacientes com maiores possibilidades de desenvolvimento desta patologia (46–48).

As citocinas são apontadas, de forma evidente, como contribuintes na etiopatogenia e desenvolvimento da RRAE (49,50), apesar do mecanismo ainda não ter sido completamente esclarecido (47,51).

Assim, sugere-se que estudos sobre a ação das citocinas e a ativação de receptores celulares devam ser conduzidos sob o ponto de vista genético, uma vez que os polimorfismos, variações genéticas comuns na população, podem modular a quantidade das proteínas envolvidas no processo inflamatório relacionado à movimentação dentária (52–54).

Vários estudos foram desenvolvidos envolvendo o mecanismo inflamatório e remodelação óssea e as influências genéticas associadas a essa resposta (55,56). Os resultados apontaram existir associação entre variações da resposta inflamatória e os polimorfismos encontrados nas amostras avaliadas. Contudo, ainda são necessários mais estudos funcionais que possam comprovar e estabelecer essas relações.

RRAE e alinhadores

A busca pelo tratamento ortodôntico vem crescendo a cada década, onde há um grande anseio por resultados estéticos em um tempo mínimo de tratamento (39). Assim, o crescente número de pacientes que busca o tratamento ortodôntico com alinhadores é uma tendência mundial. Esses pacientes relatam maior satisfação com sua aparência em relação àqueles tratados com aparelho fixo convencional.₂

A correção da má oclusão com os alinhadores ortodônticos é realizada de forma diferente da ortodontia corretiva, uma vez que o paciente remove o aparelho algumas horas por dia. Outro fator a ser ressaltado é que o planejamento é realizado de forma digital, calculando a movimentação dentária de forma sequencial, evitando movimentos de vai e vem, o que resultaria em danos biológicos (36).

As evidências relacionadas à OIIRR com alinhadores são escassas, no entanto, todos os estudos disponíveis revelaram que os alinhadores estão associados a um menor risco de OIIRR quando comparados aos aparelhos fixos (6,34,36,57,58), e isso pode ser devido à natureza das forças intermitentes (devido à remoção ocasional) durante o consumo de alimentos e manutenção da higiene) e forças relativamente leves com alinhadores, bem como os tipos mais simples de movimento dentário que resultam em menores quantidades de movimento dentário/deslocamento apical (velocidade aproximada de 0,5 mm/ mês para CAT e 1 mm/mês para FAT). Assim, há maior chance de cicatrização radicular por promover o processo de reparação do cimento. Além disso, os alinhadores são geralmente indicados para casos com apinhamento menor, onde não há indicação de extrações e com duração de tratamento mais curta (36,39,59). Os alinhadores também estão sujeitos à colaboração do paciente, e qualquer tomada de conformidade resulta em aplicação de força mais intermitente com duração mais curta da aplicação de força, resultando em OIIRR reduzido (60), mas isso também pode produzir forças oscilantes que podem aumentar o risco de OIIRR (36). Isso pode não ser facilmente determinado e, portanto, não é prontamente relatado(6). A mais recente revisão sistemática e meta-análise não encontrou uma diferença significativa entre o aparelho fixo edgewise pré-ajustado e os alinhadores em termos de OIIRR, exceto para o incisivo lateral superior direito que mostrou OIIRR reduzido com alinhadores. No entanto, o nível de reabsorção radicular dos incisivos não teve significância clínica (menos de 1 mm) (39). Foi destacado que a variação nos métodos de detecção de OIIRR (como radiografias periapicais, ortopantomograma, radiografias cefalométricas, investigação microscópica e CBCT) pode influenciar os resultados dos estudos disponíveis entre outros fatores que podem produzir risco de viés nos resultados .

Diante do exposto, a comparação entre CAT e FAT em relação à OIIRR deve ser interpretado com cautela (6,36), especialmente porque essas duas técnicas de tratamento diferem em suas indicações, duração do tratamento e mecanismo de ação (57).

Segundo Yassir 2022 (61) o risco de reabsorção radicular tende a ser menor com CAT. Devido à força intermitente e m's oclusões leves a moderadas que podem ser tratadas com CAT, o risco de OIIRR tende a ser menor com CAT e é comparável ao de forças leves em FAT.

Considerações Finais

A RRAE é uma alteração na estrutura radicular frequentemente relacionada à intervenção ortodôntica. A literatura atual mostra menor incidência dessa intercorrência em tratamentos com alinhadores se comparada ao tratamento com ortodontia fixa. Entretanto mais estudos de forma controlada serão necessários para elucidar de forma definitiva essa questão.

Referências

1. Reitan K. Some factors determining the evaluation of force in orthodontics. *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics*. 1957;43:32–45.
2. Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod*. 1984 Apr;85(4):294–307.
3. Jayaprakash PK, Basavanna JM, Grewal H, Modi P, Sapawat P, Bohara PD. Elevated levels of Interleukin (IL)-1 β , IL-6, tumor necrosis factor- α , epidermal growth factor, and β 2-microglobulin levels in gingival crevicular fluid during human Orthodontic tooth movement (OTM). *J Family Med Prim Care*. 2019 May;8(5):1602–6.
4. Kapoor P, Monga N, Kharbanda OP, Kapila S, Miglani R, Moganty R. Effect of orthodontic forces on levels of enzymes in gingival crevicular fluid (GCF): A systematic review. *Dental Press J Orthod*. 2019 Apr;24(2):40.e1-40.e22.
5. Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Angle Orthod*. 2003 Feb;73(1):86–92.
6. Roscoe MG, Meira JBC, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015 May;147(5):610–26.
7. Currell SD, Liaw A, Blackmore Grant PD, Esterman A, Nimmo A. Orthodontic mechanotherapies and their influence on external root resorption: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019 Mar;155(3):313–29.
8. Deng Y, Sun Y, Xu T. Evaluation of root resorption after comprehensive orthodontic treatment using cone beam computed tomography (CBCT): a meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2018 Dec 27;18(1):116.

9. Dhenain T, Côté F, Coman T. Serotonin and orthodontic tooth movement. *Biochimie*. 2019 Jun;161:73–9.
10. Haugland L, Kristensen KD, Lie SA, Vandevska-Radunovic V. The effect of biologic factors and adjunctive therapies on orthodontically induced inflammatory root resorption: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2018 May 25;40(3):326–36.
11. Patel S, Mavridou AM, Lambrechts P, Saberi N. External cervical resorption-part 1: histopathology, distribution and presentation. *Int Endod J*. 2018 Nov;51(11):1205–23.
12. Krishnan V. Root Resorption with Orthodontic Mechanics: Pertinent Areas Revisited. *Aust Dent J*. 2017 Mar;62:71–7.
13. WANG Y, GAO S, JIANG H, LIN P, BAO X, ZHANG Z, et al. Lithium chloride attenuates root resorption during orthodontic tooth movement in rats. *Exp Ther Med*. 2014 Feb;7(2):468–72.
14. Conti C, Suzuki H, Garcez AS, Suzuki SS. Effects of Photobiomodulation on Root Resorption Induced by Orthodontic Tooth Movement and RANKL/OPG Expression in Rats. *Photochem Photobiol*. 2019 Sep 11;95(5):1249–57.
15. Harokopakis-Hajishengallis E. Physiologic root resorption in primary teeth: molecular and histological events. *J Oral Sci*. 2007;49(1):1–12.
16. Zhang D, Goetz W, Braumann B, Bourauel C, Jaeger A. Effect of soluble receptors to interleukin-1 and tumor necrosis factor alpha on experimentally induced root resorption in rats. *J Periodontal Res*. 2003 Jun;38(3):324–32.
17. Lim WH, Liu B, Hunter DJ, Cheng D, Mah S jung, Helms JA. Downregulation of Wnt causes root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014 Sep;146(3):337–45.
18. Heath EM, English JD, Johnson CD, Swearingen EB, Akyalcin S. Perceptions of orthodontic case complexity among orthodontists, general practitioners, orthodontic residents, and dental students. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017 Feb;151(2):335–41.
19. Turkkahraman H, Yuan X, Salmon B, Chen CH, Brunski JB, Helms JA. Root resorption and ensuing cementum repair by Wnt/ β -catenin dependent mechanism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020 Jul;158(1):16–27.
20. Feller L, Khammissa RAG, Thomadakis G, Fourie J, Lemmer J. Apical External Root Resorption and Repair in Orthodontic Tooth Movement: Biological Events. *Biomed Res Int*. 2016;2016:1–7.
21. Yao-Umezawa E, Yamaguchi M, Shimizu M, Kikuta J, Suzuki K, Kasai K. Relationship between root resorption and individual variation in the calcium/phosphorous ratio of cementum. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017 Oct;152(4):465–70.

22. Amaro ERS, Ortiz FR, Dorneles LS, Santos M de S, Barrioni BR, Miranda RM, et al. Estrogen protects dental roots from orthodontic-induced inflammatory resorption. *Arch Oral Biol.* 2020 Sep;117:104820.
23. He D, Kou X, Yang R, Liu D, Wang X, Luo Q, et al. M1-like Macrophage Polarization Promotes Orthodontic Tooth Movement. *J Dent Res.* 2015 Sep 29;94(9):1286–94.
24. Leach HA, Ireland AJ, Whaites EJ. Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. *Br Dent J.* 2001 Jan 13;190(1):16–22.
25. Dindaroglu F, Dogan S. Root Resorption in Orthodontics. *Turk J Orthod.* 2017 Mar 31;29(4):103–8.
26. Bhardwaj A, Ahuja PD, Mhaske SP, Mishra G, Dwivedi R. Assessment of Root Resorption and Root Shape by Periapical and Panoramic Radiographs: A Comparative Study. *J Contemp Dent Pract.* 2017 Jun;18(6):479–83.
27. Levander E. Early radiographic diagnosis of apical root resorption during orthodontic treatment: a study of maxillary incisors. *Eur J Orthod.* 1998 Feb 1;20(1):57–63.
28. Castro IO, Alencar AHG, Valladares-Neto J, Estrela C. Apical root resorption due to orthodontic treatment detected by cone beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2013 Mar 1;83(2):196–203.
29. Kumar V, Gossett L, Blattner A, Iwasaki LR, Williams K, Nickel JC. Comparison between cone-beam computed tomography and intraoral digital radiography for assessment of tooth root lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 Jun;139(6):e533–41.
30. Yi J, Sun Y, Li Y, Li C, Li X, Zhao Z. Cone-beam computed tomography versus periapical radiograph for diagnosing external root resorption: A systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod.* 2017 Mar 1;87(2):328–37.
31. Marinescu IR, Bănică AC, Mercuț V, Gheorghe AG, Drăghici EC, Cojocaru MO, et al. Root Resorption Diagnostic: Role of Digital Panoramic Radiography. *Curr Health Sci J.* 2019;45(2):156–66.
32. Wang J, Rouso C, Christensen BI, Li P, Kau CH, MacDougall M, et al. Ethnic differences in the root to crown ratios of the permanent dentition. *Orthod Craniofac Res.* 2019 May 8;22(2):99–104.
33. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001 May;119(5):511–5.
34. Aldeeri A, Alhammad L, Alduham A, Ghassan W, Shafshak S, Fatani E. Association of Orthodontic Clear Aligners with Root Resorption Using Three-dimension Measurements: A Systematic Review. *J Contemp Dent Pract.* 2018 Dec 1;19(12):1558–64.

35. Elhaddaoui R, Qoraich HS, Bahije L, Zaoui F. Orthodontic aligners and root resorption: A systematic review. *Int Orthod*. 2017 Mar;15(1):1–12.
36. Fang X, Qi R, Liu C. Root resorption in orthodontic treatment with clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2019 Nov 29;22(4):259–69.
37. Li Y, Deng S, Mei L, Li Z, Zhang X, Yang C, et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study. *Prog Orthod*. 2020 Dec 6;21(1):1.
38. Eissa O, Carlyle T, El-Bialy T. Evaluation of root length following treatment with clear aligners and two different fixed orthodontic appliances. A pilot study. *J Orthod Sci*. 2018;7(1):11.
39. Gandhi V, Mehta S, Gauthier M, Mu J, Kuo CL, Nanda R, et al. Comparison of external apical root resorption with clear aligners and pre-adjusted edgewise appliances in non-extraction cases: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2021 Jan 29;43(1):15–24.
40. Newman WG. Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod*. 1975 May;67(5):522–39.
41. Al-Qawasmi RA, Hartsfield JK, Everett ET, Flury L, Liu L, Foroud TM, et al. Genetic predisposition to external apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2003 Mar;123(3):242–52.
42. Ngan DCS, Kharbanda OP, Byloff FK, Darendeliler MA. The genetic contribution to orthodontic root resorption: a retrospective twin study. *Aust Orthod J*. 2004 May;20(1):1–9.
43. Hartsfield Jr J. Pathways in external apical root resorption associated with orthodontia. *Orthod Craniofac Res*. 2009 Aug;12(3):236–42.
44. Sharab LY, Morford LA, Dempsey J, Falcão-Alencar G, Mason A, Jacobson E, et al. Genetic and treatment-related risk factors associated with external apical root resorption (EARR) concurrent with orthodontia. *Orthod Craniofac Res*. 2015 Apr;18:71–82.
45. Pereira S, Nogueira L, Canova F, Lopez M, Silva H. *IRAK1* variant is protective for orthodontic-induced external apical root resorption. *Oral Dis*. 2016 Oct;22(7):658–64.
46. Vlaskalic V, Boyd RL, Baumrind S. Etiology and sequelae of root resorption. *Semin Orthod*. 1998 Jun;4(2):124–31.
47. Wu FL, Wang LY, Huang YQ, Guo WB, Liu CD, Li SG. Interleukin-1 β +3954 polymorphisms and risk of external apical root resorption in orthodontic treatment: A meta-analysis. *Genetics and Molecular Research*. 2013;12(4):4678–86.

48. Aminoshariae A, Aminoshariae A, Valiathan M, Kulild JC. Association of genetic polymorphism and external apical root resorption. *Angle Orthod.* 2016 Nov 1;86(6):1042–9.
49. Kunii R, Yamaguchi M, Tanimoto Y, Asano M, Yamada K, Goseki T, et al. Role of interleukin-6 in orthodontically induced inflammatory root resorption in humans. *Korean J Orthod.* 2013;43(6):294.
50. Lee A, Schneider G, Finkelstein M, Southard T. Root resorption: The possible role of extracellular matrix proteins. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Aug;126(2):173–7.
51. Engström C, Granström G, Thilander B. Effect of orthodontic force on periodontal tissue metabolism a histologic and biochemical study in normal and hypocalcemic young rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988 Jun;93(6):486–95.
52. Scapoli L, Girardi A, Palmieri A, Martinelli M, Cura F, Lauritano D, et al. Quantitative analysis of periodontal pathogens in periodontitis and gingivitis. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2015;29(3 Suppl 1):101–10.
53. Zhao N, Liu HJ, Sun YY, Li YZ. Role of interleukin-6 polymorphisms in the development of allergic rhinitis. *Genetics and Molecular Research.* 2016;15(1).
54. Laine ML, Loos BG, Crielaard W. Gene Polymorphisms in Chronic Periodontitis. *Int J Dent.* 2010;2010:1–22.
55. Fontana MLSSN, de Souza CM, Bernardino JF, Hoette F, Hoette ML, Thum L, et al. Association analysis of clinical aspects and vitamin D receptor gene polymorphism with external apical root resorption in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012 Sep;142(3):339–47.
56. Borges de Castilhos B, Machado de Souza C, Simas Netta Fontana MLS, Pereira FA, Tanaka OM, Trevilatto PC. Association of clinical variables and polymorphisms in RANKL, RANK, and OPG genes with external apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019 Apr;155(4):529–42.
57. Papageorgiou SN, Koletsi D, Iliadi A, Peltomaki T, Eliades T. Treatment outcome with orthodontic aligners and fixed appliances: a systematic review with meta-analyses. *Eur J Orthod.* 2020 Jun 23;42(3):331–43.
58. Weltman B, Vig KWL, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 Apr;137(4):462–76.
59. Yassir YA, McIntyre GT, Bearn DR. Orthodontic treatment and root resorption: an overview of systematic reviews. *Eur J Orthod.* 2021 Aug 3;43(4):442–56.
60. Currell SD, Liaw A, Blackmore Grant PD, Esterman A, Nimmo A. Orthodontic mechanotherapies and their influence on external root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019 Mar;155(3):313–29.

61. Yassir YA, Nabbat SA, McIntyre GT, Bearn DR. Clinical effectiveness of clear aligner treatment compared to fixed appliance treatment: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig*. 2022 Mar 6;26(3):2353–70.

Capítulo 7 - DTM e alinhadores

Eduardo Leão Withers

Augusto Ricardo Andrighetto

Ricardo Tesch

Introdução

Com o surgimento do termo má oclusão e sua classificação, ambos por Edward Hartley Angle (1855-1930) (1) e a descrição da Síndrome de Costen (1934), que relacionava alterações oclusais a efeitos na Articulação Temporomandibular (ATM)(2) inicia-se a correlação da oclusão e ortodontia com a Disfunção Temporomandibular (DTM). As disfunções temporomandibulares crônicas são concebidas e compreendidas, na sua complexidade, como problemas multissistêmicos com comorbidades sobrepostas de sinais e sintomas físicos, bem como mudanças comportamentais, de estado emocional e de interações sociais, consequentes de manifestações de desregulação geral do sistema nervoso central. (3)

Em meados dos anos 70 e início dos anos 80, muitos ortodontistas passaram a considerar a importância de se obter um padrão de oclusão coincidente com uma posição estável dos côndilos da ATM. Em meio a especulações, ora dizia-se que a má oclusão e o tratamento ortodôntico poderiam causar DTM, ora, que nunca, (4) embasando os conceitos em impressões clínicas e não evidências científicas. (4)(5)(6)

A existência de sintomas de DTM e de hábitos parafuncionais deve ser documentada antes de qualquer tratamento ortodôntico. (7)(8) Deixar de fazer isso permite que o paciente associe a ortodontia ao início da DTM. Os pacientes devem ser informados que o tratamento ortodôntico pode ou não eliminar os sintomas de DTM e, mesmo que tenham melhorado durante a ortodontia, podem retornar no futuro.(8)

DTM e Ortodontia

Como a procura por tratamento ortodôntico ocorre não somente por quesitos estéticos e funcionais, mas também porque boa parte dos pacientes buscam na ortodontia o alívio para seus problemas de DTM(9), os seus respectivos sinais e sintomas devem ser

avaliados previamente e durante o tratamento ortodôntico,(7) uma vez que pacientes com DTM apresentam, além da sintomatologia dolorosa, constante mudança de oclusão causada por uma posição condilar instável, que impede a atribuição de critérios confiáveis para o planejamento e execução do tratamento ortodôntico.(10)

Desconforto e dor são efeitos colaterais comuns em pacientes em tratamento ortodôntico. Em geral, a dor dentária durante a mastigação é reportada como a mais comum e intensa, independentemente do tipo de aparelho utilizado, porém sem afetar significativamente a qualidade de vida,(11) embora possa afetar o sono.(12)

Atualmente, acredita-se que nenhuma mecânica ortodôntica em particular, incluindo as com extrações dentárias, aumenta ou diminui o risco de se desenvolver DTM no futuro(9)(13)(14)(15) e que, apesar de ser a oclusão estável um dos objetivos do tratamento ortodôntico, não alcançá-la não culminará em sinais e sintomas de DTM.(13)(15)

DTM x Alinhadores transparentes x Bruxismo

Enfrenta-se atualmente um aumento na demanda pelos aparelhos alinhadores transparentes, principalmente, por pacientes adultos (16). Como os sinais e sintomas de DTM tendem a se elevar com o passar da idade (7), aumenta-se a importância de se contemplar os aspectos funcionais desta modalidade de tratamento.

Os alinhadores invisíveis apresentam diferentes modos de ação e têm aplicabilidade no tratamento de diferentes tipos de más oclusões. De forma geral, compartilham a ideia de placas termoformadas cobrindo vários ou todos os dentes. No entanto, a partir deste ponto, há uma série de diferenças significantes que afetam a capacidade dos diferentes sistemas para tratar os problemas ortodônticos. (17).

Sendo os alinhadores ortodônticos mais uma ferramenta para tratamento das más oclusões, a técnica demonstrou resultados semelhantes aos obtidos na literatura quanto a sua correlação com as Disfunções Temporomandibulares, mostrando que a ortodontia não modifica os sinais e sintomas de DTM.(13) (14)(9)(7)(15)(18)(19)(20)(21)(22)(23)

Em curto prazo, a terapia com alinhadores pode causar dor leve nos dentes e dor nos músculos mastigatórios de significado clínico limitado, relacionadas à adaptação dos alinhadores e não ao movimento ortodôntico em si e bastante influenciadas pelo estresse, ansiedade e hábitos parafuncionais.(24) Por outro lado, os alinhadores não alteram a presença

de dor na face, o padrão de abertura, a extensão do movimento vertical, a presença de ruídos articulares, bem como o padrão de dor muscular extraoral com palpação, dor articular com palpação e dor muscular intraoral com palpação. (21)(23) Pacientes que reportam a presença de ruídos e estalos articulares já os possuíam antes do início do tratamento com alinhadores, o que reforça a importância de uma anamnese e exame clínico minuciosos previamente ao início do tratamento ortodôntico, independente da técnica utilizada.(25)

De alguma forma, os alinhadores alteram a morfodinâmica dos músculos pterigoideos laterais, proporcionando um aumento na excursão mandibular direita e esquerda quando realizadas individualmente, todavia sem alterações significantes quando da realização do movimento protrusivo.(26)(27) A contração simultânea bilateralmente das fibras da sua lâmina inferior faz com que o côndilo mandibular deslize anteriormente, realizando um movimento protrusivo, enquanto a contração unilateral do mesmo realiza um movimento de lateralidade, deslocando o mento para o lado oposto à da porção muscular contralateral contraída.

O uso de placas oclusais e outros aparelhos intraorais (28), mesmo sem comprovação científica, têm sido há décadas opções de tratamento para DTM. Muitas hipóteses a respeito do mecanismo de ação das placas foram criadas, mas ainda sem validação. Torna-se difícil, assim, estabelecer a eficácia desses dispositivos no manejo das DTM.(29). Os dispositivos interoclusais, independente do modelo, podem aumentar o espaço articular e reduzir o estresse nas superfícies articulares, aumentando o a amplitude de movimento.(30) Os alinhadores, embora sem possibilidade de ajuste, se assemelham às placas oclusais no formato e proteção dentária, mas não possuem a mesma espessura e textura(25)(31) e se demonstram neutros quanto a sua ação sobre sinais e sintomas desta doença.(25) Quanto ao tempo de uso, aconselha-se que se use a placas oclusais durante o sono,(32) enquanto os alinhadores devem ser utilizados por um período de 22 horas por dia.

Enquanto o bruxismo do sono parece reduzir durante os primeiros meses de uso de alinhadores transparentes,(33) o bruxismo em vigília não se relaciona, em pacientes ortodônticos, ao desenvolvimento de DTM articular e muscular, mas está associado a sintomas de ansiedade e depressão mais elevados e relatos de qualidade de vida associada à saúde bucal mais pobres.(34) É possível que os usuários de alinhadores realizem o apertamento dentário para aliviar a percepção da dor de dente. Este comportamento

repetitivo pode induzir um deslocamento temporário dos dentes e promover o fluxo sanguíneo através das áreas comprimidas do ligamento periodontal, evitando o acúmulo de mediadores pró-álgicos na região e promovendo o alívio da dor.(24)

Considerando que os tratamentos ortodônticos realizados com alinhadores, quando bem indicados, normalmente possuem tempo de tratamento mais rápido que os aparelhos convencionais,(35)(36)(37) após 6 meses de tratamento boa parte dos pacientes já possuem uma oclusão mais estável com contatos bilaterais e guias laterais e protrusivas melhoradas, o que pode justificar uma redução na dificuldade de mastigar, incluindo o fato de sentirem insegurança por perceberem as relações dentárias com a arcada antagonista alteradas.

Em geral, o uso de alinhadores não altera a presença de dor na face, o local da dor, o padrão de abertura bucal, a extensão do movimento vertical, a presença de ruídos articulares na abertura e fechamento, a presença de ruídos articulares nas excursões laterais e protusão. Não se alteram também a presença e intensidade de dor muscular extraoral, dor articular e dor intraoral via palpação destas regiões. Quanto à fatores

biopsicossociais, os alinhadores não alteram os sinais e sintomas de DTM relacionados à qualidade da saúde geral e bucal do paciente, a presença de dor na face, sua frequência, intensidade e seus reflexos na vida cotidiana, bem como a ocorrência de travamentos e estalos articulares, a presença de bruxismo do sono e vigília e a presença de zumbidos nos ouvidos e enxaqueca.

Referências:

1. Peck S. A biographical portrait of Edward Hartley Angle, the first specialist in orthodontics, part 1. *Angle Orthod.* 2009;79(6):1021–7.
2. Society O. A syndrome of ear and sinus symptoms dependent upon disturbed function of the temporomandibular joint. *. 1934;43(1):1–15.
3. Dubner R, Slade GD, Ohrbach R, Greenspan JD, Fillingim RB, Bair E, et al. Painful Temporomandibular Disorder: Decade of Discovery from OPPERA Studies. *J Dent Res.* 2016;95(10):1084–92.
4. Okeson JP. Evolution of occlusion and temporomandibular disorder in orthodontics: Past, present, and future. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2015;147(5):S216–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.02.007>

5. Wishney M. Potential risks of orthodontic therapy: a critical review and conceptual framework. *Aust Dent J.* 2017;62:86–96.
6. Shroff B. Malocclusion as a Cause for Temporomandibular Disorders and Orthodontics as a Treatment. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* [Internet]. 2018;30(3):299–302. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.coms.2018.04.006>
7. Türp JC, McNamara JAJ. Besteht ein Zusammenhang zwischen kieferorthopädischer Behandlung und Myoarthropathien des Kausystems? Orthodontic Treatment and Temporomandibular Disorders: Is there a Relationship? *Fortschr Kieferorthop.* 1997;58(2):136–43.
8. Abdelkarim A, Jerrold L. Risk management strategies in orthodontics. Part 1: Clinical considerations. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2015;148(2):345–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.05.011>
9. Tagkli A, Paschalidi P, Katsadouris A, Tsolakis AI. Relationship between Orthodontics and Temporomandibular Disorders. *Balk J Dent Med* [Internet]. 2017;21(3):127–32. Available from: <http://content.sciendo.com/view/journals/bjdm/21/3/article-p127.xml>
10. Lee GH, Park JH, Moon DN, Lee SM. Protocols for orthodontic treatment of patients with temporomandibular joint disorders. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2021;1–16. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.09.023>
11. Scheurer PA, Firestone AR, Bürgin WB. Perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod.* 1996;18(4):349–57.
12. Jones M, Chan C. The pain and discomfort experienced during orthodontic treatment: A randomized controlled clinical trial of two initial aligning arch wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1992;102(4):373–81.
13. McNamara JA. Orthodontic treatment and temporomandibular disorders. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997;83(1):107–17.
14. Leite RA, Rodrigues JF, Sakima MT, Sakima T. Relationship between temporomandibular disorders and orthodontic treatment: a literature review. *Dental Press J Orthod* [Internet]. 2013;18(1):150–7. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2176-94512013000100027&lng=en&tlng=en
15. Owen A. Unexpected temporomandibular joint findings during fixed appliance therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 1998;113(6):625–31. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540698702227>
16. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod.* 2015;85(5):881–9.
17. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017;62:58–62.

18. Manfredini D, Lombardo L, Siciliani G. Dental occlusion and temporomandibular disorders. *Evid Based Dent*. 2017;18(3):86–7.
19. Luther F. Orthodontics and the temporomandibular joint: Where are we now? Part 2. Functional occlusion, malocclusion, and TMD. Vol. 68, *Angle Orthodontist*. 1998. p. 305–18.
20. Manfredini D, Stellini E, Gracco A, Lombardo L, Nardini LG, Siciliani G. Orthodontics is temporomandibular disorder-neutral. *Angle Orthod*. 2016;86(4):649–54.
21. Gouvea DB, Mundstock KS, Ferreira ES. Desordens temporomandibulares e Ortodontia: estudo transversal com aplicação do RDC/TMD. *Rev da Fac Odontol Porto Alegre*. 2019;60(2):34–42.
22. Machado E, Machado P, Cunali PA, Grehs RA. Ortodontia como fator de risco para disfunções temporomandibulares: uma revisão sistemática. *Dental Press J Orthod*. 2010;15(6):e1–10.
23. Hirsch C. Kein erhöhtes Risiko für kranio-mandibuläre Dysfunktionen und Bruxismus im Kindes- und Jugendalter während der kieferorthopädischen Therapie. *J Orofac Orthop*. 2009;70(1):39–50.
24. Tran J, Lou T, Nebiolo B, Castroflorio T, Tassi A, Cioffi I. Impact of clear aligner therapy on tooth pain and masticatory muscle soreness. *J Oral Rehabil*. 2020;0–2.
25. Nedwed V, Miethke RR. Motivation, Akzeptanz und Probleme von Invisalign??-Patienten. *J Orofac Orthop*. 2005;66(2):162–73.
26. Gutierrez LMO, Grossmann E. Anatomofisiologia do músculo pterigóideo lateral. *Rev Dor, São Paulo*. 2010;11(3):249–53.
27. Van Eijden TMGJ, Koolstra JH, Brugman P. Architecture of the Human Pterygoid Muscles. *J Dent Res*. 1995;74(8):1489–95.
28. Schupp W, Haubrich J, Neumann I. Traitement Invisalign® de patients atteints de troubles craniomandibulaires. *Int Orthod*. 2010;8(3):253–67.
29. Michelotti A, Iodice G. The role of orthodontics in temporomandibular disorders. *J Oral Rehabil*. 2010;37(6):411–29.
30. Muhtarogullari M, Avci M, Yuzugullu B. Efficiency of pivot splints as jaw exercise apparatus in combination with stabilization splints in anterior disc displacement without reduction: A retrospective study. *Head Face Med*. 2014;10(1):1–5.
31. Manfredini D, Ahlberg J, Winocur E, Lobbezoo F. Management of sleep bruxism in adults: A qualitative systematic literature review. *J Oral Rehabil*. 2015;42(11):862–74.
32. De Paula Gomes CAF, Politti F, Andrade DV, De Sousa DFM, Herpich CM, Dibai-Filho AV, et al. Effects of massage therapy and occlusal splint therapy on mandibular range of

motion in individuals with temporomandibular disorder: A randomized clinical trial. *J Manipulative Physiol Ther* [Internet]. 2014;37(3):164–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmpt.2013.12.007>

33. Bargellini A, Castroflorio T, Casasco F, Giacone M, Garino F, Cugliari G, et al. Short Term Evaluation of the Effects of Orthodontic Clear Aligners on Sleep Bruxism Activity. 2016;12(2):7916. Available from: <https://cdn.neoscriber.org/cdn/serve/88/f4/88f478fb3f0aa06047666371521da498b06d3b5d/ijo-inpress-inpress-7916.pdf>

34. Machado NAG, Costa YM, Quevedo HM, Stuginski-Barbosa J, Valle CM, Bonjardim LR, et al. The association of self-reported awake bruxism with anxiety, depression, pain threshold at pressure, pain vigilance, and quality of life in patients undergoing orthodontic treatment. *J Appl Oral Sci*. 2020;28:1–8.

35. Zheng M, Liu R, Ni Z, Yu Z. Efficiency, effectiveness and treatment stability of clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofacial Res*. 2017;20(3):127–33.

36. Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod*. 2014;84(3):391–6.

37. Borda AF, Garfinkle JS, Covell DA, Wang M, Doyle L, Sedgley CM. Outcome assessment of orthodontic clear aligner vs fixed appliance treatment in a teenage population with mild malocclusions. *Angle Orthod*. 2020;90(4):485–90.

Capítulo 8 - Perspectivas futuras

Daniela Kalluf
Ana Cláudia M. Melo Toyofuku
Roberto Hideo Shimizu
José Mauro Granjeiro

A evolução dos recursos tecnológicos e sua influência na vida das pessoas são notórias no mundo moderno. No campo da saúde, especificamente na ortodontia, não é diferente. A última década (2009-19) presenciou a ortodontia incorporando muitas inovações, em sincronia com avanços que permearam outros setores, como indústria, manufatura, aplicações militares, medicina e pesquisa. Assim como nesses campos, onde métodos convencionais são empregados, a ortodontia também está evoluindo (1). Tendências emergentes, como impressão 3D, diagnóstico e planejamento assistido por 3D, biomateriais, nanotecnologia, marketing, mídia social, educação do paciente e a tecnologia de IA, estão liderando as mudanças no cenário ortodôntico (2). Estas são tecnologias com potencial para se tornarem mainstream nos próximos anos, sendo cada vez mais comuns e possivelmente definindo as tendências futuras da indústria (1).

Particularmente na última década, testemunhamos um progresso contínuo no campo da tecnologia 3D, com ênfase notável em diagnóstico e gerenciamento assistidos por 3D, projeto auxiliado por computador (CAD) e fabricação assistida por computador (CAM). Recentemente, várias empresas implementaram CAD/CAM e adotaram o conceito de movimentação dentária virtual (3). Essas empresas lançaram novas plataformas de software que integram alinhadores transparentes como uma opção de tratamento, criam modelos de estudo ortodôntico, fabricam moldeiras de colagem indireta e permitem o movimento virtual dos dentes durante a fase de diagnóstico e planejamento do tratamento (3). Considerando que a imagem é uma parte crucial do diagnóstico e planejamento em ortodontia, as aplicações 3D podem eventualmente superar as aplicações 2D. A tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) permite uma compreensão mais completa do complexo craniofacial, possibilitando o planejamento sequencial de tratamentos ortodônticos em um ambiente tridimensional. Os dados dessas imagens podem ser integrados com imagens e modelos de superfície 3D para produzir reconstruções anatômicas dinâmicas e específicas do paciente.

Essas tecnologias também têm o potencial para possibilitar a avaliação cefalométrica 3D automatizada diretamente da CBCT, ou mesmo previsões de crescimento facial (1).

A nanotecnologia tem exercido uma influência profunda em quase todas as áreas da ortodontia clínica, incluindo arcos, adesivos, ligaduras elastoméricas e bráquetes. O uso de biomateriais e nanopartículas na confecção de bráquetes inteligentes tem o potencial de aumentar a eficiência terapêutica (2). Isso é alcançado através da minimização dos efeitos de fricção dos arcos, otimização do movimento dentário, monitoramento dos componentes de força-momento, miniaturização do perfil do bráquete e diminuição ou eliminação dos efeitos indesejáveis do tratamento ortodôntico (4). Quando essas nanopartículas são introduzidas em resinas acrílicas, cimentos ou adesivos ortodônticos, elas podem melhorar as propriedades mecânicas e aumentar a resistência à fratura devido às suas capacidades mecânicas e antibacterianas. Elas também têm o potencial de prevenir a desmineralização do esmalte e a formação de lesões de manchas brancas durante a terapia ortodôntica, equipar ligaduras elastoméricas com propriedades anticariogênicas e melhorar a osseointegração de dispositivos de ancoragem temporários com revestimentos biocompatíveis (2).

A inteligência artificial (IA) tem a capacidade de aumentar a eficácia diagnóstica dos tratamentos ortodônticos, auxiliando o ortodontista a realizar seu trabalho com mais precisão e eficácia. Ainda que a Realidade Aumentada (AR) e a Realidade Virtual (VR) estejam em estágios iniciais de aplicação na Ortodontia, a educação e treinamento de pós-graduação poderão beneficiar-se dessas tecnologias (1). Elas têm potencial para capacitar os futuros ortodontistas, criando um ambiente de ensino odontológico virtual imersivo e interativo. Assim, o estudante pode ser melhor preparado com experiências do paciente e habilidades de gerenciamento antes de tratar pacientes reais. Simuladores, como a simulação de Realidade Virtual (VR) para desenvolver habilidades de destreza ortodôntica, Realidade Aumentada (AR) para sobrepor conteúdo virtual gerado por computador sobre estruturas reais e o desenvolvimento de pacientes semelhantes a robôs e sistemas de treinamento odontológico de realidade virtual possibilitarão a realização de tarefas virtuais. Estas incluem colagem, inserção de mini-implantes e dobra de fios em ambientes que se assemelham à vida real (2).

A tecnologia tem transformado a maneira como a informação é disseminada e adquirida, evoluindo de métodos tradicionais, como outdoors, mala direta, jornal, rádio e

panfletos, para abordagens mais avançadas, rápidas e abrangentes de penetração no mercado. Isto se deve ao uso eficaz das atuais ferramentas de tecnologia da informação (2). Tem-se observado o crescimento de aplicativos móveis (apps) para o gerenciamento de terapias modernas onde a adesão e a educação do paciente são componentes cruciais para o sucesso do tratamento ortodôntico (2).

Os avanços tecnológicos têm impulsionado também uma transformação no âmbito clínico de nossa especialidade. A terapia com alinhadores transparentes (CAT) surgiu como uma alternativa promissora aos aparelhos ortodônticos fixos convencionais (FAs) (5). A demanda por CAT intensificou-se significativamente na última década, possivelmente impulsionada pelas estratégias de marketing agressivas das empresas de alinhadores que utilizam publicidade direcionada aos consumidores e diversos canais de mídia social, aumentando assim a conscientização pública sobre as alternativas estéticas ao tratamento ortodôntico, especialmente entre os pacientes adultos (6). Uma pesquisa recente realizada na América do Norte indicou que ortodontistas das gerações mais jovens tendem a acreditar que os alinhadores transparentes serão a técnica predominante para tratar má oclusões (7).

No entanto, é necessário ampliar o uso de vários sistemas de alinhadores e fornecer mais evidências sobre a eficácia dos alinhadores disponíveis no mercado atual. Além disso, a escolha entre as opções de aparelhos ortodônticos disponíveis não deve ser guiada apenas pela eficácia clínica e previsibilidade. Considerando que ainda não existe um "aparelho ideal", fatores como dor/desconforto, dificuldade na higiene oral, probabilidade de efeitos adversos, percepções do paciente (preferências/motivações) e a qualidade de vida relacionada à saúde bucal devem ser avaliados entre as opções disponíveis antes de tomar a decisão final (8).

O advento da COVID-19 teve um impacto negativo no mercado global de alinhadores transparentes no início da pandemia. A receita das empresas do segmento de alinhadores transparentes caiu substancialmente durante a primeira onda da COVID-19. Medidas tomadas por alguns governos para limitar a disseminação do vírus levaram a uma diminuição na demanda global. Além disso, as diretrizes emitidas por associações odontológicas ao redor do mundo para realizar apenas procedimentos de emergência também afetaram a demanda do usuário final. Contudo, em 2021, após o término das restrições, as práticas odontológicas foram retomadas e as empresas relataram um aumento na receita que teve um impacto considerável no crescimento do mercado. Posteriormente, a guerra Rússia-Ucrânia

interrompeu as chances de recuperação econômica global da pandemia de COVID-19, pelo menos a curto prazo. A guerra entre esses dois países resultou em sanções econômicas em vários países, aumento nos preços das commodities e interrupções na cadeia de suprimentos, levando a uma inflação em bens e serviços que afetaram diversos mercados ao redor do mundo (9).

Estima-se que o mercado de alinhadores transparentes projete uma taxa de crescimento anual (CAGR) de 25,3% durante o período de previsão, 2022-2032. Espera-se que o mercado de alinhadores transparentes atinja US\$ 46,7 bilhões, crescendo a um CAGR de 25,3% durante o período de previsão devido ao aumento da população de pacientes preocupados com má oclusões e os avanços na tecnologia relacionada ao tratamento odontológico, que estão gerando demanda por alinhadores transparentes personalizados. Isso é esperado para impulsionar o crescimento do mercado. A prevalência de má oclusão, a crescente conscientização sobre cuidados dentários, odontologia restauradora etc., estão impulsionando o crescimento do mercado de alinhadores transparentes (10) (Figura 1).



Figura 1. Mercado global de alinhadores transparentes.

O mercado de alinhadores transparentes é categorizado com base na idade, dividindo-se em adolescentes e adultos. Em 2021, o segmento de adultos dominou o mercado. A maioria dos problemas dentários prevalece entre os adultos, resultando em aparência dentofacial inadequada, problemas de função oral, maior propensão a traumas e doenças periodontais. Dessa forma, a preferência dos adultos por alinhadores transparentes aumentou. Espera-se que o segmento de adolescentes apresente um alto CAGR durante o período de previsão, devido à prevalência de más oclusões de classe I e classe II nessa faixa etária. Esta demanda por alinhadores transparentes para tratamento deve impulsionar o crescimento do mercado (11).

O mercado de alinhadores transparentes é altamente competitivo devido à rápida adoção de tecnologias avançadas e ferramentas digitais, impressoras 3D e dispositivos CAD/CAM. Além disso, os participantes do mercado estão se voltando rapidamente para expansões e colaborações estratégicas com o objetivo de expandir sua presença geográfica e lançar novos produtos. Alguns dos principais atores que operam no mercado incluem: Align Technology, Henry Schein, Straumann AG, The 3M Company, Danaher Corporation (Ormco Corporation), Dentsply Sirona, Scheu Dental, Great Lakes Dental Technologies, TP Orthodontics, K-Line Europe, Smile Direct Club, Angelalign Technology Inc, e Argen Corporation (12).

O relatório do mercado de alinhadores transparentes abrange países como Austrália, Brasil, China, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Japão, Rússia, Coreia do Sul, Reino Unido e EUA. Prevê-se que a América do Norte mantenha uma importante participação de mercado no setor de alinhadores transparentes durante o período de previsão. Os fatores que impulsionam o crescimento do mercado incluem a crescente prevalência de doenças dentárias, o aumento da população geriátrica que necessita de consultas odontológicas regulares e um sistema de saúde bem estabelecido na região. Programas crescentes de conscientização relacionados à saúde bucal e à higiene, implementados por organizações governamentais e privadas como a American Dental Association (ADA), estão aumentando o conhecimento sobre má oclusão e outros distúrbios dentários, criando, portanto, demanda por alinhadores transparentes (13).

O mercado odontológico do Brasil também foi fortemente impactado pela primeira onda da pandemia COVID-19. No entanto, como a Odontologia é, por padrão, uma das

melhores profissões em controle de infecções - mesmo antes da COVID-19 - foi mais fácil para os dentistas retomarem seu trabalho em muitos mercados. Assim, mesmo com o agravamento da crise econômica no Brasil, alguns mercados viram um aumento na demanda do consumidor. Os motores de crescimento por trás da Odontologia permaneceram inalterados, incluindo o envelhecimento e o crescimento da população, o aumento da prosperidade, uma maior consciência da saúde bucal e estética, e a inovação para soluções mais amigáveis ao paciente. Os alinhadores transparentes são atualmente um dos segmentos mais atraentes da odontologia devido ao crescimento que a categoria está experimentando e às vantagens que oferecem em relação aos fios e braquetes convencionais.

A Ortodontia conseguiu remar contra a maré e apresenta crescimento robusto desde o início da pandemia. O mercado odontológico deve movimentar mais de US\$ 35 bilhões até 2023, segundo uma pesquisa da Research and Markets. Os dados da pesquisa também indicam um aumento na procura por cuidados de higiene bucal, além da crescente demanda por novos procedimentos estéticos dentários impulsionados pelos avanços tecnológicos da indústria (14).

Atualmente, o mercado de alinhadores está presente em apenas 5% de todos os tratamentos ortodônticos realizados. No entanto, este percentual deve aumentar drasticamente em 2023. O mercado de alinhadores está no início de uma significativa curva ascendente (15).

O brasileiro nutre um apreço inestimável pelo sonho de um belo sorriso. Segundo pesquisa da companhia irlandesa Research and Markets, o mercado odontológico global tem apresentado crescimento constante e estima-se que movimente aproximadamente US\$ 35,7 bilhões até 2023, representando um incremento médio anual de 5,59% desde 2018 (16). O Conselho Federal de Odontologia (CFO) e a Sociedade Brasileira de Odontologia e Estética (SBOE) indicam o Brasil como uma das principais referências globais na área, e o segundo país que mais realiza procedimentos odontológicos estéticos, atrás apenas dos Estados Unidos. Estudos da Associação Brasileira da Indústria Médica, Odontológica e Hospitalar (Abimo) demonstram a valorização do setor, apontando que mais de 12 milhões de pessoas procuram o dentista para resolver problemas ortodônticos (16).

A Smilink, principal healthtech odontológica do país, realizou uma pesquisa que revelou que 66% dos entrevistados preferem usar alinhadores transparentes produzidos no

Brasil (17). Participaram deste levantamento mais de 1.000 pessoas que já realizaram algum tratamento ortodôntico estético e residem na região Sudeste. Apesar da valorização da produção nacional, 57% dos participantes destacaram a importância do uso de materiais importados na confecção desses produtos. Isso sugere que a percepção de qualidade dos brasileiros é influenciada pela utilização de componentes estrangeiros. O levantamento também indicou que 82,7% dos entrevistados pesquisam muito antes de optar por um tratamento com alinhadores transparentes.

Dados do CFO mostram que existem 396.178 dentistas ativos no Brasil, sendo a Ortodontia a especialidade mais exercida em grande parte dos estados, totalizando 30.585 especialistas em um total de 133.474 no país (18). De acordo com um artigo publicado na *Scientific American* em abril de 2020, os distúrbios ortodônticos atingem níveis epidemiológicos, com nove em cada dez pessoas apresentando dentes desalinhados ou mal ocluídos (19).

A Ortodontia digital tem revolucionado o modo, a velocidade e a praticidade de transformação do sorriso. Com os alinhadores, o tratamento torna-se mais ágil e flexível, permitindo ao paciente permanecer menos tempo no consultório. Essa tecnologia, combinada com a confiança em um profissional experiente que utiliza um produto clinicamente comprovado, tem feito dos alinhadores transparentes uma escolha cada vez mais comum.

O Grupo Straumann (SIX: STMN) é líder global em soluções odontológicas e de substituição de dentes. Reunindo marcas internacionais que representam excelência, inovação e qualidade em odontologia substitutiva, corretiva e digital, o grupo trabalha em colaboração com clínicas, institutos e universidades renomados, pesquisando, desenvolvendo, fabricando e fornecendo implantes dentários, instrumentos, próteses CAD/CAM, biomateriais e soluções digitais.

A sede do Grupo Straumann situa-se em Basel, na Suíça. Atualmente, a empresa conta com mais de 6 mil colaboradores globais e seus produtos, soluções e serviços estão acessíveis em mais de 100 países por meio de uma extensa rede de subsidiárias e parceiros de distribuição. O Grupo Straumann, o sexto maior fabricante odontológico do mundo, tem um amplo portfólio que lhe permite atender cerca de metade do mercado odontológico global.

As demandas do mercado e as necessidades dos profissionais conduziram o Grupo Straumann a se aventurar no negócio ortodôntico, adquirindo 100% da empresa ClearCorrect.

A ClearCorrect foi fundada em 2006 por um dentista dos Estados Unidos. Na época, ele tinha mais de 400 pacientes necessitando de tratamento com alinhador transparente, mas não havia quem produzisse os alinhadores para eles. Assim, o Dr. Willis Pumphrey fundou sua própria empresa para produzir alinhadores para seus pacientes. Atualmente, a ClearCorrect já atendeu a dezenas de milhares de dentistas ao redor do mundo e forneceu milhões de alinhadores para seus pacientes.

Durante a pandemia de COVID-19, o Grupo Straumann manteve seu compromisso com formação e educação, realizando cursos de acordo com os requisitos de segurança locais. Além disso, organizou e continua oferecendo um grande número de webinars, evidenciando o quão fundamentais são a formação e a educação para o Grupo Straumann. Apoiado por um legado de 60 anos de pesquisa e inovação, o grupo desenvolveu uma excepcional experiência de alinhadores transparentes, de ponta a ponta, capacitando os ortodontistas a realizar seu melhor trabalho.

Os alinhadores ClearCorrect são o produto de décadas de ciência de materiais, pesquisa e inovação. Utilizando a tecnologia alemã de impressão 3D, esses alinhadores transparentes são produzidos na fábrica do grupo, localizada em Curitiba (PR), tida como a mais moderna do segmento na América do Sul. Após a aprovação do caso, os alinhadores são enviados para os dentistas em até 7 dias úteis, um prazo competitivo em relação ao de outras empresas do mercado.

Ademais, a ClearCorrect aprimorou significativamente seu fluxo de trabalho digital nos últimos anos com a introdução de seu software de visualização de tratamento ClearPilot. Também fez parceria com os principais fabricantes de scanners intraorais para criar integrações diretas com scanners como o Virtuo Vivo da Straumann e o TRIOS da 3Shape. A ClearCorrect também fez várias melhorias no ClearCorrect Doctor Portal, incluindo o lançamento de uma opção de preferências de tratamento, que permite que os médicos comuniquem sua abordagem de planejamento de tratamento preferida aos técnicos de prótese dentária de maneira mais eficaz.

O atualizado e poderoso ecossistema digital (Figura 2) do qual esses produtos fazem parte oferece aos profissionais da odontologia controle e flexibilidade sobre seus

tratamentos, maximizando a produtividade. Com fluxos de trabalho intuitivos, opções abrangentes de tratamento e ferramentas avançadas de planejamento clínico, nunca foi tão fácil alcançar planos de tratamento ideais. Agora, para aproveitar o sucesso dos últimos anos, a ClearCorrect lançou recursos adicionais.



Figura 2 – Ecossistema digital da ClearCorrect. (Fonte: Site ClearCorrect).

O lançamento inclui um formulário de prescrição aprimorado e dinâmico no portal do dentista, que orienta os médicos em direção a protocolos de tratamento ideais, enquanto ainda oferece opções avançadas de personalização. A nova entrada de prescrição guiada oferece seleções de tratamento que são exibidas dinamicamente, baseando-se na complexidade do caso, condições dentárias e preferências de tratamento específicas do médico, permitindo uma experiência de usuário mais intuitiva. Os principais recursos incluem opções de personalização adicionais, uma abordagem de tratamento estético para envios simplificados de casos simples, opções de categorização de arrastar e soltar para organizar registros de pacientes e um visualizador de digitalização que permite aos profissionais de odontologia visualizar a dentição real do paciente ao inserir suas prescrições.

Juntamente com o formulário de prescrição dinâmico, a ClearCorrect lançou o aplicativo móvel ClearCorrect Sync. Disponível para telefone e tablet, para dispositivos Apple e Android, o aplicativo apresenta uma interface de usuário simples e intuitiva que permite aos profissionais de odontologia configurar perfis de pacientes rapidamente para facilitar a captura de fotos de envio de casos de pacientes de maneira rápida e fácil. O aplicativo orienta os usuários a tirar fotos de qualidade por meio de modelos e fornece ferramentas intuitivas de edição de fotos. Todos os registros podem ser carregados automaticamente diretamente no portal do dentista para gerenciamento simplificado de registros.

Melhorias foram realizadas para otimizar as integrações do scanner intraoral para enviar digitalizações intraorais. Novas atualizações do software Virtuo Vivo permitirão uma varredura significativamente mais rápida para ClearCorrect, aumentando a eficiência geral do fluxo de trabalho. As atualizações de integração do 3Shape Unite incluem retentores incorporados e fluxos de trabalho de envio de revisão e acesso direto ao ClearPilot.

Para suporte e assistência ao planejamento de tratamento, a ClearCorrect lançará uma integração atualizada para o Collaborator Suite que permite aos usuários solicitar serviços de planejamento de tratamento diretamente dos parceiros globais de serviços de planejamento de tratamento da ClearCorrect. Esta solução permite que os profissionais de odontologia trabalhem com especialistas clínicos para obter configurações de tratamento ideais com confiança. A atualização final do fluxo de trabalho digital inclui o lançamento do ClearPilot 6.0. Esta versão apresenta uma série de atualizações projetadas para oferecer aos provedores uma experiência de planejamento de tratamento mais intuitiva e fácil de usar. O lançamento do ClearPilot 6.0 inclui colisão direta e edição de espaço com ajustes automatizados de dentes adjacentes e ferramentas de medição ponto a ponto que fornecem estimativas de dimensão de arco e dente. A versão ClearPilot 6.0 destaca-se pela interface de usuário intuitiva e aprimorada. Impulsionada pelo feedback do dentista, a interface atualizada apresenta renderização de modelo 3D aprimorada e adaptações gengivais naturais, além de uma área de visualização principal expandida e simplificada. Também inclui um cronograma de tratamento aprimorado que fornece dicas visuais para as etapas do tratamento quando as consultas são necessárias e uma iconografia de menu intuitiva que fornece uma experiência de usuário simplificada e um processo de edição (20).

A ClearCorrect adquiriu a Bay Materials, com sede na Califórnia, especializada no desenvolvimento e fornecimento de termoplásticos para aplicações ortodônticas. Isso proporcionou acesso a novos termoplásticos multicamadas de alto desempenho. O material patenteado de três camadas ClearQuartz, com linha de corte alta e plana e recursos clínicos comprovados cientificamente, possibilita o ortodontista a atingir seus objetivos ortodônticos.

Além dessas novidades, a ClearCorrect lançou também o OrtoConcierge, um programa para todos os profissionais que gostariam de ter auxílio de um ortodontista para prescrever e submeter seus casos dentro da sua plataforma. O programa tem um forte viés educacional, com possibilidade de conversas online para discutir sobre um determinado caso. A ClearCorrect lançou recentemente sua nova marca, com cores e imagens mais "clean", com o objetivo de se posicionar como um dos principais players do mercado de alinhadores transparentes no Brasil, na América Latina e no mundo. O rebranding apresentado traz uma nova cara para a marca, com características tecnológicas e remetendo principalmente ao desenvolvimento dos produtos e soluções. O foco está em oferecer aos profissionais da odontologia no Brasil e para o mercado em geral, o melhor alinhador e soluções para que eles possam entregar aos seus pacientes o melhor tratamento ortodôntico, junto com uma experiência totalmente digital e precisa. 'Por mais sorrisos reais', conceito da campanha, busca mostrar que a marca trata pacientes reais por meio de dentistas reais e protagonistas dos seus negócios, pois eles são a autoridade dentro de suas clínicas e, dessa forma, são livres para escolher a melhor solução. Com isso, a pessoa que realiza o tratamento não é apenas mais um número para aquela companhia, mas um indivíduo que merece um atendimento personalizado.

Em meio à revolução da Indústria 4.0 e aos avanços significativos da última década, a ClearCorrect tem se posicionado de forma inovadora no setor de ortodontia. A empresa incorporou as tendências tecnológicas, como inteligência artificial, conectividade e digitalização de processos, para aprimorar seu fluxo de trabalho digital e desenvolver materiais de alta qualidade, sempre com foco em proporcionar a melhor experiência possível para os profissionais de odontologia e seus pacientes. Através do seu compromisso com a excelência clínica e a educação, a ClearCorrect demonstra como é possível se adaptar

e prosperar na era da Indústria 4.0, oferecendo soluções personalizadas e intuitivas que atendem às demandas cada vez mais sofisticadas do setor. O recente rebranding e as aquisições estratégicas evidenciam o compromisso contínuo da empresa em liderar a vanguarda da inovação ortodôntica, reforçando seu papel essencial na transformação de sorrisos reais através de soluções ortodônticas precisas e de alta qualidade, no contexto de uma indústria cada vez mais digital e conectada.

Referências

1. Alam MK, Abutayyem H, Kanwal B, A L Shayeb M. Future of Orthodontics-A Systematic Review and Meta-Analysis on the Emerging Trends in This Field. *J Clin Med.* 2023 Jan 9;12(2):532. doi: 10.3390/jcm12020532. PMID: 36675459; PMCID: PMC9861462.
2. Gandedkar, N.H.; Vaid, N.R.; Darendeliler, M.A.; Premjani, P.; Ferguson, D.J. The last decade in orthodontics: A scoping review of the hits, misses and the near misses! *Semin. Orthod.* 2019, 25, 339–3553.
3. Dhingra A, Palomo JM, Stefanovic N, Eliliwi M, Elshebiny T. Comparing 3D Tooth Movement When Implementing the Same Virtual Setup on Different Software Packages. *J Clin Med.* 2022 Sep 12;11(18):5351. doi: 10.3390/jcm11185351. PMID: 36142998; PMCID: PMC9503059.
- 4- Eliades T. Orthodontic material applications over the past century: evolution of research methods to address clinical queries. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147 (5):S224–SS31.
5. Bichu YM, Alwafi A, Liu X, Andrews J, Ludwig B, Bichu AY, et al. Advances in orthodontic clear aligner materials. *Bioact Mater.* 2023 Apr 1;22:384–403.
6. Iliadi A, Koletsi D, Papageorgiou SN, Eliades T. Safety Considerations for Thermoplastic-Type Appliances Used as Orthodontic Aligners or Retainers. A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical and In-Vitro Research. *Materials (Basel) [Internet].* 2020/04/14. 2020;13(8). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32295303>
7. Hussain SR, Jiang SS, Bosio JA. Generational perspectives of orthodontists in the U.S. and Canada: A survey study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2022 Dec;162(6):824–38.
- 8- Muro MP, Caracciolo ACA, Patel MP, Feres MFN, Roscoe MG. Effectiveness and predictability of treatment with clear orthodontic aligners: A scoping review. *Int Orthod.*

2023 Jun;21(2):100755. doi: 10.1016/j.ortho.2023.100755. Epub 2023 Apr 20. PMID: 37086643.

9. (<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/clear-aligner-market>).

10. (<https://www.reportlinker.com/p06465819/Clear-Aligners-Market-Size-Share-and-Analysis-By-Age-By-Type-By-Dentist-Type-By-Product-By-Material-Type-By-Duration-By-Distribution-Channel-By-End-Use-and-Regional-Forecasts-2032.html>).

11. (<https://www.reportlinker.com/p06465819/Clear-Aligners-Market-Size-Share-and-Analysis-By-Age-By-Type-By-Dentist-Type-By-Product-By-Material-Type-By-Duration-By-Distribution-Channel-By-End-Use-and-Regional-Forecasts-2032.html>).

12. (<https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/07/22/2484346/28124/en/Clear-Aligners-Market-Report-2022-2027-Featuring-Key-Players-Align-Technology-Institut-Straumann-3M-Others.html>).

13. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/clear-aligner-market>).

14. <https://www.manufaturadigital.com/>.

15. <https://powerdoctor.com.br/descubra-as-5-tendencias-para-a-ortodontia-em-2023/> .

16. <https://www.folhape.com.br/economia/mercado-de-odontologia-estetica-deve-movimentar-r-181-bilhoes-ate/253966/>.

17. <https://conteudo.polinize.com/pesquisa-inedita-revela-que-66-dos-brasileiros-tem-preferencia-por-alinhadores-transparentes-produzidos-no-pais/>.

18. <https://website.cfo.org.br/estatisticas/quantidade-geral-de-entidades-e-profissionais-ativos/> em Última atualização WSCFO: 02/07/2023)

19. [https://correiodoscamos.com.br/arapoti/2021/10/06/startups-ganham-espaco-na-odontologia-e-movimentam-mercado-de-alinhadores-transparentes-no-brasil-2\)](https://correiodoscamos.com.br/arapoti/2021/10/06/startups-ganham-espaco-na-odontologia-e-movimentam-mercado-de-alinhadores-transparentes-no-brasil-2/).

20. <https://www.dental-tribune.com/c/clearcorrect-5/news/clearcorrect-launches-updates-to-its-empowering-digital-workflow-2/>).

3. Artigo científico

Artigo de acordo com as normas do periódico **Revista Sul Brasileira de Odontologia** para futura submissão.

OSTEOCONDROMA DE CÔNDILO MANDIBULAR– RELATO DE CASO

Gabriel Haddad Kalluf¹
Daniela Magalhães de Brito Kalluf¹

¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Faculdade Ilapeo, Curitiba , PR, Brasil ¹

RESUMO

O osteocondroma é o tumor ósseo benigno mais comum do esqueleto axial, apesar de raro na região da face com incidência de aproximadamente 1%. Descrevemos um caso de osteocondroma acometendo o côndilo direito da mandíbula em um homem de 55 anos, com queixa de assimetria facial progressiva, desarticulação dentária, disfunção mastigatória e sintomatologia dolorosa em ATM esquerda. O exame de cintilografia indicou atividade osteoblástica em côndilo direito. Foi realizado um protótipo esteriolitográfico da lesão para avaliação tridimensional. O paciente foi submetido à cirurgia com ressecção do côndilo por acesso endaural. O exame histopatológico do tumor revelou tecido ósseo constituído por delgadas trabéculas lamelares, com presença de atividade remodeladora osteoclásticas circunjacente. Sobrejacente, foi observado tecido cartilaginoso hialino, hiper celular, com ossificação endocondral na base, que confirmou o diagnóstico de osteocondroma. O acompanhamento de 12 meses mostrou resolução e estabilidade do caso.

Palavras-chave: Osteocondroma; assimetria facial; tumor ósseo

ABSTRACT

Osteochondroma is the most common benign bone tumor of the axial skeleton, although it is rare in the face region, with an incidence of approximately 1%. We describe a case of osteochondroma affecting the right condyle of the mandible in a 55-year-old man, complaining of progressive facial asymmetry, dental disarticulation, masticatory dysfunction and painful symptoms in the left TMJ. The scintigraphy exam indicated osteoblastic activity in the right condyle. A stereolithographic prototype of the lesion was performed for three-dimensional evaluation. The patient underwent surgery with condyle resection by endaural access. Histopathological examination of the tumor revealed bone tissue consisting of thin lamellar trabeculae, with the presence of surrounding osteoclastic remodeling activity. Overlying, hypercellular hyaline cartilaginous tissue was observed with endochondral ossification at the base, which confirmed the diagnosis of osteochondroma. The 12-month follow-up showed resolution and stability of the case.

Keywords: Osteochondroma; facial asymmetry; bone tumor

INTRODUÇÃO

O osteocondroma (OC), ou exostose osteocartilaginosa, manifesta-se como o tumor ósseo mais comum, prevalecendo de 20% a 50% para os casos benignos e 10 a 15% para malignos¹. Contudo, é raro em região maxilo-facial com incidência de 1% em côndilo mandibular², sendo que proximadamente 15% dos casos apresentam características de lesão múltipla. Pode acometer homens e mulheres na mesma frequência, a despeito de haver maior número de relatos para o sexo masculino (62%). A lesão pode iniciar entre a primeira e segunda décadas de vida, e seu crescimento influencia no desenvolvimento ósseo esquelético³.

De acordo com Alabdullrahman, 2022⁴, ao exame macroscópico “o osteocondroma apresenta-se como uma lesão lobulada, séssil ou pediculada que surge da superfície do osso com uma aparência semelhante a uma couve-flor. A fibrocartilagem de revestimento condilar tem uma aparência acinzentada brilhante e fina, mostrando continuidade com o periósteo do osso subjacente.” Na infância, espessura da capa fibrocartilaginosa é considerada normal quando possui de 1 a 3 cm, já em adultos é considerado normal quando ela está ausente, ou com apenas alguns milímetros de espessura. Caso esse revestimento ultrapasse 2 cm, suspeita-se de quadro tumoral^{5,6}. Na união da porção fibrocartilaginosa e do osso subjacente, é notável a ossificação endocondral. A parte medular normalmente é formada por medula amarela em vez de uma medula hematopoiética através do meio de ossificação endocondral⁴. Em nível molecular, o crescimento de forma desorganizada se dá pela inativação dos genes EXT1 e EXT2, que codificam para as proteínas exostosina 1 e exostosina 2, associadas na síntese do sulfato de heparano. Este é um importante modulador da ossificação endocondral que indica às células o correto crescimento ósseo³.

Clinicamente, sinais como assimetria facial, limitação da abertura bucal, desocclusão, mordida aberta posterior e mordida cruzada são frequentemente notadas. A sintomatologia

dolorosa nem sempre está presente⁷. A perda de audição é relatada no osteocondroma gigante em pacientes com eventual trauma na articulação temporomandibular (ATM)⁸.

A variação de tamanho, forma e direção do OC demandam diferentes manobras cirúrgicas para exérese da porção afetada⁹. Após a condilectomia, há uma grande possibilidade de haver mordida aberta no lado contralateral, entretanto, o potencial de recidiva e malignidade é baixo¹⁰. Quando o paciente apresenta outras condições a serem previamente tratadas, como uma maloclusão severa, pode ser necessário um planejamento associado a ortodontia e/ou cirurgia ortognática, diante da dificuldade de prever o comportamento de remodelação óssea e reabsorção após a condilectomia. Sendo assim, é preciso controlar os sintomas presentes e manter um acompanhamento pós-operatório rigoroso¹¹. O controle imagenológico é de suma importância para identificação precoce de eventuais recidivas¹².

O presente trabalho tem como objetivo relatar um caso de osteocondroma em côndilo mandibular direito tratado através de uma técnica já validada associada a ancoragem do disco articular (discopexia), bem como revisar a literatura atual, reiterando a possibilidade de sequelas e estabilidade do tratamento.

RELATO DE CASO

Paciente do sexo masculino, 55 anos, foi encaminhado à clínica privada com queixa principal de assimetria facial progressiva, desarticulação dentária, disfunção mastigatória e sintomatologia dolorosa em ATM esquerda. Em exame radiográfico de rotina observou-se massa óssea amorfa em região articular direita, e clinicamente, desvio do mento para o lado esquerdo (Figura 1), acompanhado pela linha média dentária inferior, desvio na abertura, mordida cruzada posterior no lado esquerdo (Figura 2), com relato de piora do quadro nos últimos cinco anos. Em radiografia panorâmica e tomografia computadorizada (Figura 3 e 4) evidenciou-se massa óssea irregular aderido ao côndilo direito, na região do polo ântero-

superior, projetando-se para a eminência articular. A cintilografia (Figura 5) indicou atividade osteoblástica em cõndilo direito.



Figura 1 – Assimetria facial com desvio de mento para a esquerda.



Figura 2 – Aspecto oclusal com mordida cruzada à esquerda e mordida aberta à direita



Figura 3. Panorâmica inicial mostrando Massa óssea em ATM direita.

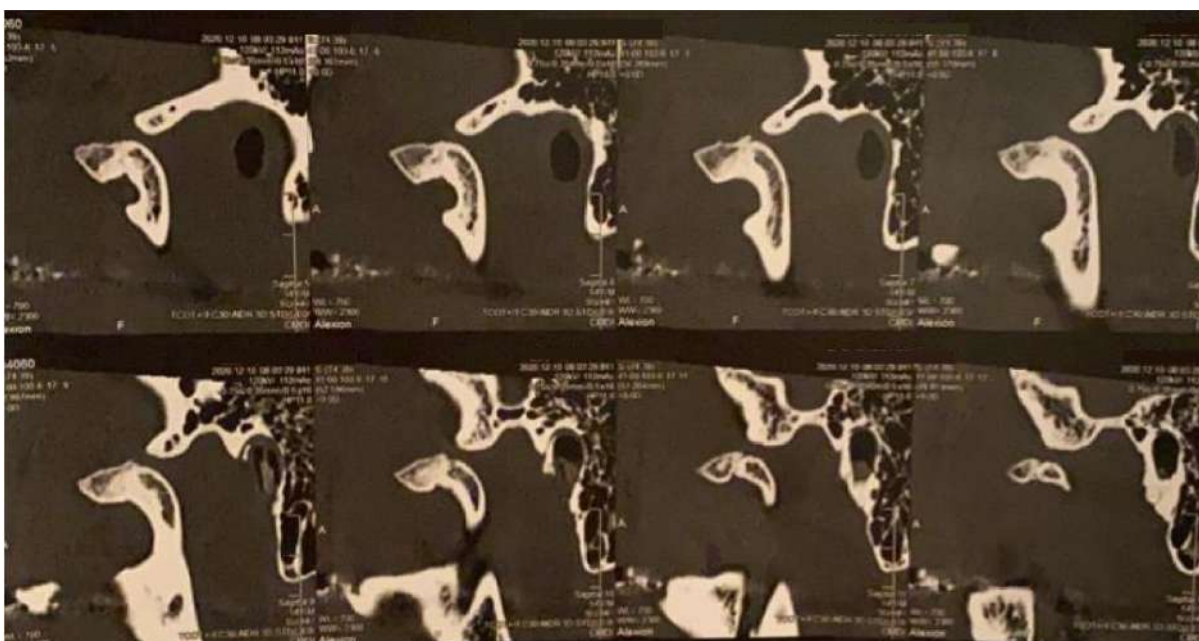


Figura 4. Tomografia computadorizada da ATM direita. Cortes tomográficos indicam anatomia anormal do côndilo mandibular direito.

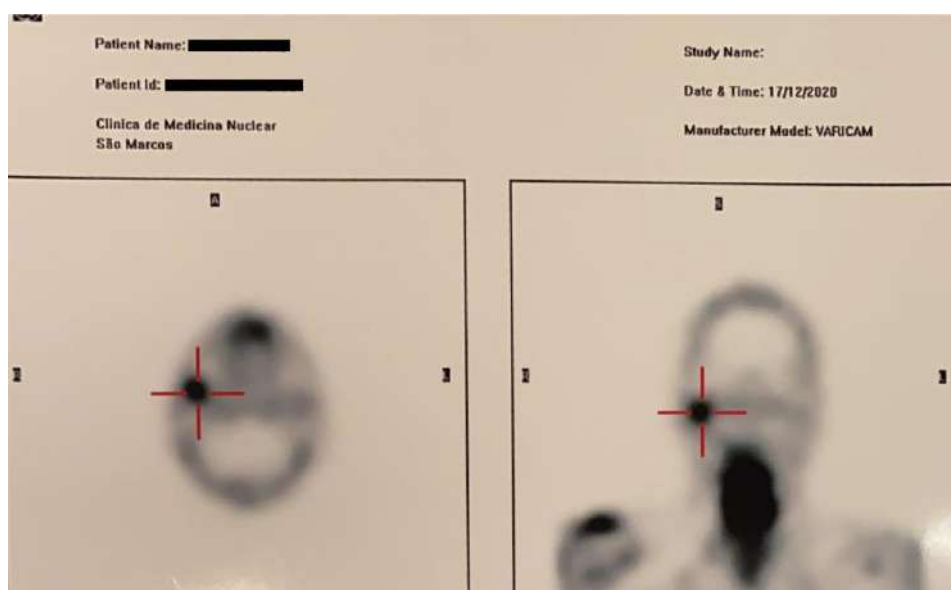


Figura 5. Exame de cintiografia ossea indicando atividade celular em região condilar direita.

Pelos achados clínicos e imagenológicos a hipótese diagnóstica foi de osteocondroma, sendo proposto o tratamento cirúrgico aberto.

Para estudo, planejamento e melhor avaliação tridimensional da lesão, foi solicitado, através das aquisições tomográficas, um protótipo esteriolitográfico de parte do crânio (Figura 6). A manipulação do biomodelo, permitiu visualizar possíveis limites osteo-tumorais para a definição prévia da altura da condilectomia.

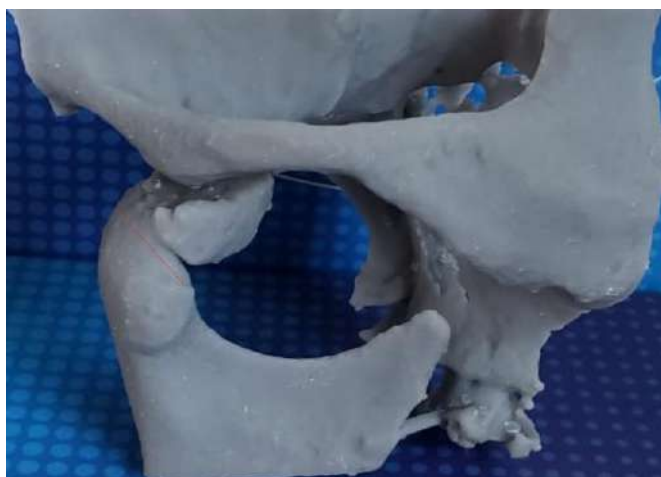


Figura 6. Biomodelo esteriolitográfico e visão tridimensional do tumor.

Os exames séricos solicitados estavam dentro dos limites de normalidade, bem como o eletrocardiograma e radiografia torácica utilizados na análise pré-anestésica.

Foi realizado o acesso endaural no lado direito (Figura 7), respeitando estruturas nervosas e vasculares, e possibilitando a exposição total da massa tumoral. Com auxílio de pontas piezoelétricas, foi realizada a condilectomia baixa, limitando-se, inferiormente, à fibrocartilagem de revestimento do côndilo. Após remoção do fragmento, o disco articular, mostrou total integridade, sendo reposicionado através de microâncora instalada no polo posterior do côndilo. Após finalização da condilectomia e discopexia, a cavidade foi lavada e suturada por planos teciduais e então checada a oclusão, mostrando uma boa relação de bases ósseas, a despeito do posicionamento dentário. O fragmento foi remetido para análise histopatológica, que revelou tecido ósseo constituído por delgadas trabéculas lamelares com presença de atividade remodeladora osteoclásticas circunjacente confirmando o diagnóstico de osteocondroma (Figura 8 e 9). Sobrejacente, foi observado tecido cartilaginoso hialino, hipercelular, com ossificação endocondral na base. O pós-operatório transcorreu sem complicações e ausência de alterações sensoriais ou motoras. Em doze meses de acompanhamento clínico observa-se face simétrica, ausência de sintomas ou sinais de recidiva. Observou-se estabilidade esquelética e morfologia condilar em remodelação adaptativa (Figura 10 e 11).



Figura 7. Incisão endaural para acesso cirúrgico da articulação temporomandibular.



Figura 8 e 9. fragmentos da biópsia excisional e laudo histopatológico



Figura 10. Panorâmica doze meses após condilectomia. A seta indica o local de instalação da micro âncora no cõndilo direito para substituir o ligamento retrodiscal e manter a posição.



Figura 11. Acompanhamento doze meses após condilectomia, mostrando simetria facial.

DISCUSSÃO

O osteocondroma é o tumor benigno mais comum em ossos longos, entretanto é raro em cõndilo mandibular¹¹. Os prejuízos do OC na articulação temporomandibular podem causar assimetria facial, desconforto estético e funcional. E quando passado dos limites socialmente

aceitos, podem causar incômodo estético⁷. Nestes casos a intervenção cirúrgica é sugerida como possibilidade de tratamento. Outras doenças podem acometer a região da face, sendo a hiperplasia condilar a que mais se assemelha ao osteocondroma, podendo confundir o diagnóstico inicial e, portanto, se faz necessário a solicitação de exames de imagem e histopatológico¹³.

Como sinais e sintomas mais comuns, estão presentes, a assimetria facial, limitação da abertura bucal, desocclusão, mordida aberta posterior, mordida cruzada do lado contralateral, com ou sem sintomatologia dolorosa⁷. Todos os sinais e sintomas supracitados estavam presentes no paciente deste relato.

O diagnóstico é pressuposto ao relacionar os exames clínicos e radiográficos. Contudo, a confirmação pelo diagnóstico diferencial é feita através do exame histopatológico, no qual revela a proliferação cartilaginosa e calcificação anormal com aspecto esclerótico, característico do tumor¹⁴. A cintilografia óssea é outra forma de análise bem apreciada para garantir a atividade metabólica óssea local⁷. No caso exposto, a cintilografia revelou intensa atividade celular, e em associação com quadro clínico, reforçou a hipótese diagnóstica de osteocondroma.

Estudos apontam a origem do osteocondroma a partir de um trauma local na ATM. Estes impactos afetam as proteínas que regulam o crescimento ósseo, causando alteração da proliferação cartilaginosa e a ossificação endocondral. Nem sempre os traumas são mencionados, onde se passa despercebido durante a anamnese⁸.

A impressão do protótipo esteriolitográfico, como recurso auxiliar, o tumor pôde ser, dimensionalmente, observado previamente à abordagem cirúrgica. Este processo deu ao cirurgião a oportunidade de planejar o procedimento através da visualização volumétrica real da lesão, oferecendo maior segurança, menor tempo cirúrgico e melhor recuperação do paciente^{13, 15}. Foi possível definir a melhor área de secção, bem como, que o acesso endaural

seria suficiente para uma ampla abordagem da área cirúrgica. A literatura mostra outras modalidades de tratamento do OC, podendo ser por enxerto costochondral ou substituição da articulação comprometida por uma prótese customizada ou não. Já nos casos em que há estabilidade da lesão, alguns estudos não sugerem intervenção, o que pode ser visto como negativo por não haver a confirmação histológica quanto a possibilidade de malignidade⁷.

O procedimento apresentado demonstrou bons resultados no pós-operatório de 12 meses e indicou êxito do tratamento realizado. A ausência de dor na articulação, bem como recidivas são fatores indicativos de sucesso, e podem ser esperados em outras cirurgias da mesma categoria.

A utilização de recursos digitais, bem como a produção de biomodelos e materiais implantáveis customizados tem crescido substancialmente na área da saúde, possibilitando que procedimentos cirúrgicos complexos sejam mais previsíveis, menos invasivos e com resultados mais assertivos e prognosticáveis.

CONCLUSÃO

O protocolo cirúrgico indicado pela literatura, para exérese do osteocondroma da região de ATM, foi seguido, e o acompanhamento pós-operatório de doze meses, mostrou estabilidade clínica e imagenológica, sem evidência de recidiva. A utilização do protótipo 3D em cirurgia de condilectomia proporcionou melhor avaliação sobre os limites osteo-tumorais, reduzindo tempo cirúrgico, invasibilidade e fadiga do operador. Outros métodos baseados em recursos digitais, como ostectomias guiadas para acessos intra-orais também têm sido propostos com os mesmos propósitos supracitados.

REFERÊNCIAS

1. Murphey MD, Nomikos GC, Flemming DJ, Gannon FH, Temple HT, Kransdorf MJ. From the archives of AFIP. Imaging of giant cell tumor and giant cell reparative granuloma of bone: radiologic-pathologic correlation. *Radiographics*. 2001 Sep-Oct;21(5):1283-309. doi: 10.1148/radiographics.21.5.g01se251283. PMID: 11553835.
2. Neville BW, Damm DD, Allen CM, Bouquot JE. *Patologia Oral e Maxilofacial*. 4.ed. Elsevier: São Paulo; 2016.
3. Wolford LM, Mebra P, Franco P. Use of conservative condylectomy for treatment of osteochondroma of the mandibular condyle. *J Oral Maxillo fac Surg*. 2002;60(3):262-68.
4. Alabdullrahman LW, Byerly DW. Osteochondroma. 2023 Feb 5. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023
5. Bernard SA, Murphey MD, Flemming DJ, Kransdorf MJ. Improved differentiation of benign osteochondromas from secondary chondrosarcomas with standardized measurement of cartilage cap at CT and MR imaging. *Radiology*. 2010 Jun;255(3):857-65. doi: 10.1148/radiol.10082120. Epub 2010 Apr 14. PMID: 20392983.
6. Mavrogenis AF, Papagelopoulos PJ, Soucacos PN. Skeletal osteochondromas revisited. *Orthopedics*. 2008 Oct;31(10):orthosupersite.com/view.asp?rID=32071. PMID: 19226005.
7. Lima e Silva HC, Modes RW, Barbeiro RH, Miranda SL de, Moreno R. Osteocondroma do côndilo mandíbular: relato de caso. *Arch Health Invest*, 2016;5(2).
8. Seki H, Fukuda M, Takahashi T, Iino M. Condylar osteochondroma with complete hearing loss: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003 Jan;61(1):131-3. doi: 10.1053/joms.2003.50022. PMID: 12524621.
9. Pham Dang N, Mollier O, Delbet C, Chevaleyre A, Mondie JM, Barthelemy I. Chirurgie conservatrice d'un ostéochondrome du condyle mandibulaire [Conservative surgery for a mandibular condyle osteochondroma]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2012 Feb;113(1):61-4. French. doi: 10.1016/j.stomax.2011.12.008. Epub 2012 Jan 10. PMID: 22240329.
10. Park SH, An JH, Han JJ, Jung S, Park HJ, Oh HK, Kook MS. Surgical excision of osteochondroma on mandibular condyle via preauricular approach with zygomatic arch osteotomy. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*. 2017 Oct 25;39(1):32. doi: 10.1186/s40902-017-0129-x. PMID: 29109944; PMCID: PMC5655402.

11. Yang SJ, Chung NH, Kim JG, Jeon YM. Surgical approach and orthodontic treatment of mandibular condylar osteochondroma. *Korean J Orthod.* 2020 May 25;50(3):206-215. doi: 10.4041/kjod.2020.50.3.206. PMID: 32475848; PMCID: PMC7270933.
12. Kwon YE, Choi KS, An CH, Choi SY, Lee JS, An SY. Recurrent osteochondroma of the mandibular condyle: A case report. *Imaging Sci Dent.* 2017 Mar;47(1):57-62. doi: 10.5624/isd.2017.47.1.57. Epub 2017 Mar 21. PMID: 28361031; PMCID: PMC5370248.
13. Carvalho LLA; Silveira AKG; Melo AS; Cardoso CM; Laranjeira AL; Rodrigues DC. Correção de severa assimetria facial decorrente de osteocondroma: relato de caso e revisão de literatura. *Braz J Health Rev* 2020 Nov/Dez; 3(6): 8650-8668.
14. Yu J, Yang T, Dai J, Wang X. Histopathological features of condylar hyperplasia and condylar Osteochondroma: a comparison study. *Orphanet J Rare Dis.* 2019 Dec 16;14(1):293. doi: 10.1186/s13023-019-1272-5. PMID: 31842965; PMCID: PMC6916444.
15. Nguyen E, Lockyer J, Erasmus J, Lim C. Improved Outcomes of Orbital Reconstruction With Intraoperative Imaging and Rapid Prototyping. *J Oral Maxillofac Surg.* 2019 Jun;77(6):1211-1217. doi: 10.1016/j.joms.2019.02.004. Epub 2019 Feb 12. PMID: 30851251.