

Os alinhadores quase invisíveis são aparelhos que quase funcionam?

Do the almost invisible aligners almost work?

Wendel Shibasaki¹, Marlos Loiola², Lidia Parsekian Martins³, Flavio Cotrim-Ferreira⁴

RESUMO

Os alinhadores quase invisíveis continuam atraindo muita atenção dos ortodontistas contemporâneos, e muitas publicações descrevem os passos para confeccionar alinhadores ou apresentam casos clínicos. O objetivo deste artigo foi buscar a fundamentação biomecânica de seu uso na literatura, e discutir a eficiência para os movimentos necessários para a correção das mais diversas má-oclusões. Seja qual for o aparelho utilizado, para que um movimento ocorra com previsibilidade, o controle de forças e momentos devem ser obtidos. O desenvolvimento dos alinhadores vem sendo reportado desde os anos 1940, e muitos recursos foram implementados com a utilização da tecnologia tridimensional de modelos virtuais para a manipulação dos movimentos desejados dos dentes. Pesquisas laboratoriais e clínicas foram discutidas para evidenciar as possibilidades mecânicas desses sistemas e avaliar se eles podem, de fato, ser usados para tratamentos ortodônticos ou meramente para alinhar dentes e realizar pequenos movimentos dentários.

Unitermos – Aparelhos termoplásticos removíveis; Invisalign; Forças e momentos; Biomecânica.

ABSTRACT

The nearly invisible aligners continue to attract much attention from contemporary orthodontists. Many publications describe the steps for making aligners or present clinical cases. The purpose of this article is to search in literature the biomechanical basis of its use and discuss the efficiency of the movements required for the correction of various malocclusions. Whatever the apparatus used so that a movement occurs predictably, the control forces and moments must be obtained. The development of aligners has been reported since 40's and many resources have been implemented using three dimensional virtual models technology for handling the desired tooth movement. Laboratory and clinical research were discussed to demonstrate the mechanical possibilities of these systems and assess whether they can in fact be used for orthodontic treatments or merely to align teeth and small tooth movements.

Key words – Removable thermoplastic appliances; Invisalign; Forces and moments; Biomechanics.

¹Mestre em Ortodontia – Unicid; Coordenador dos cursos de especialização em Ortodontia – Instituto Lumier/Famosp e do Funorte/lappem-BA; Especialista em Ortodontia – Cebeo/BA; Membro da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica (SBPQO).

²Mestre em Ortodontia – Unicid; Coordenador do curso de especialização em Ortodontia – IAPPEM/Funorte; Coordenador do curso de especialização em Ortodontia – Instituto Lumier/Famosp-BA; Coordenador científico – Academia da Ortodontia Contemporânea; Membro da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica (SBPQO).

³Professora de Ortodontia do Depto. de Clínica Infantil – FOAr-Unesp, Araraquara/SP.

⁴Mestre em Ortodontia e doutor em Diagnóstico Bucal – Faculdade de Odontologia da USP; Professor associado dos cursos de especialização e mestrado em Ortodontia – Instituto Vellini; Editor científico – Revista OrtodontiaSPO.

| Introdução

A movimentação dentária induzida ortodonticamente é um processo bioquímico desencadeado por uma força aplicada a um dente, ou conjunto de dentes, a qual quebra a situação de homeostasia dos tecidos periodontais. Para adaptar-se à nova demanda funcional, o tecido ósseo alveolar transforma os estímulos mecânicos em eventos necessários para a sua remodelação, fazendo com que o dente mova-se através do osso, levando toda a sua estrutura de suporte, como se a cavidade onde se insere migrasse¹⁻². A forma como o dente se move, portanto, é determinada pela região do osso alveolar que receberá o estímulo mecânico.

Quando uma força é aplicada na coroa de um dente com sua resultante passando distante do seu centro de resistência, há uma tendência a giro em torno do centro de rotação, efeito chamado de momento. A intensidade do momento é dada pela multiplicação da intensidade da força pela distância perpendicular da linha de ação da força ao centro de resistência. Exemplificando, com uma corrente elástica tracionando um molar, caso seja aplicada uma força horizontal com sentido mesial, a coroa tenderá a inclinar-se neste sentido, enquanto o ápice radicular para o sentido oposto, girando em torno do centro de rotação (Figuras 1).

O aparelho ortodôntico tradicional, constituído de braquetes e fios, teve sua concepção nos anos 1920 e caracteriza-se por possibilitar a aplicação de forças nos três planos do espaço, incluindo binários³. Quando o fio ortodôntico toca no *slot* do braquete em dois pontos, gerando forças de igual intensidade em sentidos opostos, cria-se uma tendência à rotação que é chamada de momento do binário (Figura 2).

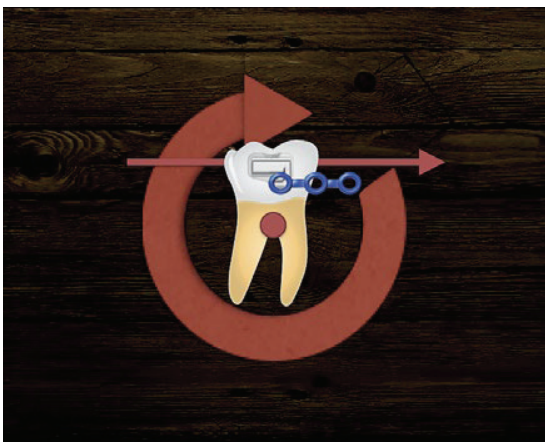
A proporção entre o momento do binário e a força aplicada no braquete define a localização do centro de rotação ao longo do longo eixo do dente e, portanto, para qual parte do

ligamento periodontal serão transferidas as forças aplicadas e como será a movimentação dentária esperada. No exemplo dado, acima, quando a força é aplicada no molar, não há um momento de binário e a proporção M/F é de $0/1$, e o movimento descrito é chamado de inclinação descontrolada. Dependendo da intensidade do momento aplicado no braquete (momento do binário) e sua proporção com a força aplicada, ainda é possível gerar movimentos de inclinação controlada ($M/F=8/1$), translação ($M/F=10/1$) ou movimento radicular ($M/F=12/1$)⁴⁻⁵, Figuras 3.

Há mais de 80 anos esses aparelhos vêm sendo estudados e algumas alterações foram feitas, mas o princípio de uso permanece inalterado até os dias de hoje: fio retangular em *slot* retangular, gerando forças e momentos.

Desde a década de 1940, pensou-se em uma alternativa mecânica aos braquetes, indicados para pequenos movimentos de refinamento após o término do tratamento convencional⁶. Eles eram feitos de borracha flexível em laboratório a partir de *setups*. Os chamados aparelhos termoplásticos foram inicialmente reportados por Ponitz em 1971 como contenções invisíveis⁷, e sua fabricação muito se assemelha aos métodos utilizados nos dias de hoje: uma caixa de vácuo e um placa de plástico aquecida. Outros autores⁸⁻¹⁰ também ajudaram a desenvolver a fabricação e uso desses aparelhos estéticos, mas só a partir de 1997 passou-se a utilizar a tecnologia tridimensional de modelos virtuais para a manipulação dos movimentos desejados dos dentes por cálculos algorítmicos, e a prototipagem de cada passo por estereolitografia, representando uma grande revolução na forma de planejamento e construção de aparelhos ortodônticos conduzida pela Align Technology¹¹ (Figuras 4).

Muitos são os relatos de casos publicados, e cresce o interesse dos ortodontistas, clínicos e pacientes sobre os alinhadores. Mas, esses aparelhos são capazes de atender às exigências e expectativas de um tratamento ortodôntico?



Figuras 1
Momento de força promovendo inclinação.

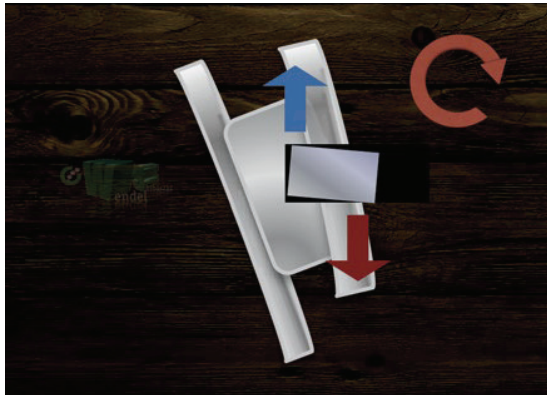


Figura 2
Momento binário.



Figuras 3
Proporções momento/força e movimentos.



Figuras 4
Aparelhos desenvolvidos pela Align Technology.

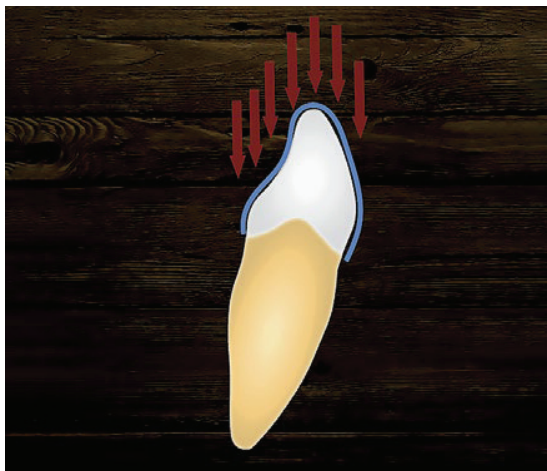
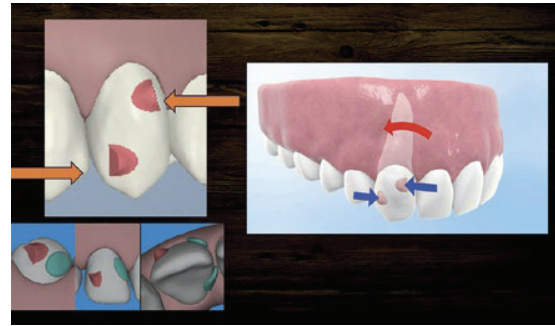
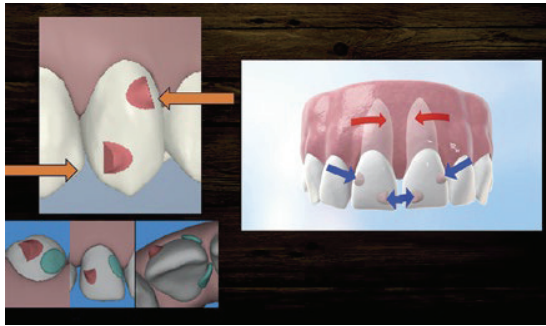


Figura 5
Forças verticais.

O objetivo deste trabalho foi revisar a literatura para explicar a biomecânica dos alinhadores, além de verificar sua eficiência para os diversos movimentos desejados na Ortodontia.

Revisão da Literatura

As forças exercidas pelos alinhadores nos dentes foram inicialmente investigadas em 2008, quando um grupo de pesquisadores australianos utilizou um filme sensível à pressão (Pressurex) na face palatina de primeiros pré-molares superiores palatinizados de oito pacientes¹². Cada alinhador foi programado para um movimento vestibular de 0,5 mm e os filmes foram analisados, também inicialmente e no momento da troca dos alinhadores, após 15 dias de uso através da digitalização da imagem e espectrofotometria para quantificar a intensidade da marca de pressão feita pelos alinhadores nos filmes. Os autores encontraram a média de força de 1,12 N para uma ativação de 0,5 mm e perda de força exponencial ao final de duas semanas. As forças foram caracterizadas como sendo perpendiculares à superfície curva da face palatina dos dentes, decompondo-se em forças de intrusão e vestibularização, sendo diretamente proporcionais à espessura da placa utilizada e varia conforme o fabricante¹³. Como os aparelhos recobrem toda a coroa dos dentes, as forças atuam melhor onde há mais superfície de contato perpendicular à sua ação. Nos casos de inclinação vestibulolingual dos incisivos



Figuras 6 Attachments.



Figura 7 Attachments.

superiores, há significativamente mais forças intrusivas nos movimentos de vestibularização quando a face palatina fica mais exposta às forças, do que nos movimentos de verticalização, quando a superfície exposta às forças verticais se resume ao terço incisal¹⁴ (Figura 5). Também nos movimentos de giro, as forças intrusivas atuam em contato com os dentes e diferem de acordo com a anatomia deles. Girando o dente no sentido horário ou anti-horário, o sistema de força se modifica de acordo com as variações anatômicas da porção medial e distal do mesmo dente¹⁵.

O desenvolvimento dos fios ortodônticos tem oferecido ligas com propriedades superelásticas, e permite sua deflexão significativamente maior que os tradicionais fios de aço, possibilitando maior ativação, mantendo-se os níveis de força nos níveis ortodônticos e sem deformar permanentemente¹⁶. Por outro lado, os alinhadores não possuem propriedades elásticas para grandes ativações. Os fabricantes sugerem ativações de 0,25 mm até 1 mm por estágio de movimentação, embora estudos tenham reportado que a quantidade de deflexão para gerar força ótima não deve passar de 0,5 mm, e os plásticos de espessura menor (0,5 mm) são mais resistentes a ciclos de temperatura e deformam menos quando submetidos a deflexões repetidas¹⁷.

Até este momento, discutiu-se movimentos de inclinação descontrolada, quando apenas uma força foi avaliada. Para o planejamento de movimento de torque, um binário deve ser desenvolvido. Para alinhadores, a força simples é programada do terço médio à cervical de uma das faces e não se permite movimento no terço incisal da face oposta, o que gera uma força oposta nesta região. Apesar de teoricamente esse planejamento parecer adequado, quando testado, as forças intrusivas próprias dos alinhadores alteram a composição de força e fazem com que eles se desloquem suavemente dos dentes, não produzindo o binário¹⁸. Para tanto, um acessório para melhorar a retenção dos alinhadores nesses casos pode ser útil.

Para auxiliar esses tipos de movimentos que exigem mais que uma força simples, a Align Technology introduziu o conceito de *attachments* (Figuras 6). Em uma analogia com a mecânica tradicional de fios e braquetes, na qual os fios se inserem no interior dos *slots* dos braquetes para gerar momentos, os *attachments*, confeccionados em resina e colados diretamente ao dente, também inserem-se no interior de *slots* dos alinhadores, apenas invertendo-se a parte móvel. Outro acessório utilizado nos sistemas Invisalign é o *power ridges*, que são bolhas lineares confeccionadas na porção cervical da face vestibular dos incisivos para assegurar o contato e proporcionar o binário desejado (Figura 7).

A forma como esses acessórios influenciam nas forças geradas pelos alinhadores foi testada em 970 aparelhos, para 60 movimentos de 30 pacientes, que foram divididos em três grupos de movimentos específicos: 1) torque de incisivos; 2) rotação de pré-molares; e 3) distalização dos molares. Ainda, subdivididos em grupos que usam acessórios diferentes ou não usam: 1a) com *attachments*, 1b) com *power ridges*; 2a) com *attachments*, 2b) sem *attachments*; e 3a) com *attachments*, 3b) sem *attachments*. Os resultados demonstraram que a distalização e rotação utilizando *attachments* e o torque dos incisivos utilizando os *power ridges* produziram níveis maiores de força e momentos a favor do movimento.

As forças intrusivas foram reduzidas na rotação dos pré-molares com a utilização de *attachments*. Neste estudo laboratorial, as forças e momentos aferidos para cada um dos três movimentos apresentaram níveis compatíveis com a literatura ortodôntica, embora não se tenha conseguido uma constância desses níveis da forma como foi programado no planejamento virtual¹⁹. Outra reflexão imediata é se esses níveis se mantêm o suficiente para proporcionar o movimento, uma vez que os estudos citados anteriormente constataram uma queda exponencial de magnitude das forças.

Uma vez que os binários necessários para os movimentos de torque, rotação e distalização podem ser alcançados com a utilização de acessórios programados especificamente para esse fim, os autores levaram o estudo à fase clínica para avaliar se os movimentos efetivamente correspondem ao planejamento, e se as forças aferidas em laboratório se mantêm suficientemente para alcançarem seus objetivos clínicos. Para o torque de incisivos superiores utilizando *attachments* ou *power ridges*, não houve diferenças estatísticas entre os grupos e a acurácia dos movimentos ficaram em torno de 50%. Também não houve diferenças estatísticas entre os grupos de rotação de pré-molares com e sem o uso de *attachments*, e a acurácia da previsibilidade dos movimentos foram ainda mais frustrantes e em torno de 40%. As rotações superiores a 15° ou alinhadores projetados para corrigir mais que 1,5° em um único estágio, foram ainda menos previsíveis. O movimento testado mais previsível foi a distalização dos molares superiores, mas não foi evidenciada qualquer influência do uso de *attachments* em ambos os grupos, mostrando-se uma acurácia em torno de 87%²⁰. Essa perda de eficiência, quando comparou-se os resultados laboratoriais com os clínicos, poderia ser explicada pela perda de força com o uso, e a influência da oclusão e saliva no sistema de força.

A expressão do torque dado a um dente é um problema em qualquer técnica e utilizando qualquer tipo de aparelho, mesmo os tradicionais braquetes com fios retangulares inseridos. Calcula-se uma folga de aproximadamente 10° utilizando o fio 0,019 x 0,025", e braquetes com canaletas 0,022 x 0,028"²¹. Além disso, o contorno dos ângulos dos fios pode variar bastante, quanto mais arredondado, mais ineficiente será para gerar o binário planejado no interior do braquete. As diferenças das dimensões dos braquetes e fios declarados pelos fabricantes e as reais aferidas também alteram significativamente a magnitude de torque produzida²².

Sob o ponto de vista da tendência à recidiva, estudos sugerem que os tratamentos realizados com Invisalign podem ter mais recidiva que os realizados com braquetes tradicionais. Dois grupos foram divididos de modo que o tipo de aparelho utilizado foi a única diferença entre eles, um com aparelhos tradicionais e outro com Invisalign. Os modelos de estudos e radiografias panorâmicas foram analisados antes

do tratamento, ao final e três anos após sua finalização. Ambos os grupos reduziram significativamente o índice de má-oclusão, mas o grupo tratado com Invisalign teve maior grau de recidivas²³. Por ser um estudo de coorte e ter alto risco de vieses, isso não pode ser visto como informação válida para guiar as decisões clínicas, mas, causas para esse achado podem ser discutidas como uma possível maior escolha por planejamentos não extracionistas, mesmo quando as exodontias são indicadas e o aparelho de eleição tenha sido o alinhador.

| Discussão

Os alinhadores estéticos são aparelhos ortodônticos produzidos por placas termoplásticas e sobrepostas, por vácuo ou pressão de ar, e os modelos montados através de *setup* com pequenos movimentos por estágio. Outras formas de produzir movimentos com alinhadores também foram descritas pela literatura, mas o sistema oferecido pela Align Technology, o Invisalign, é reportado como o mais indicado tratamentos complexos e exigências biomecânicas da Ortodontia tradicional. Testes laboratoriais mostraram que a espessura de 0,5 mm é mais indicada para a confecção dos alinhadores, e ativações de 0,2 mm a 0,5 mm por estágio são ideais. Para os movimentos que necessitam de forças simples, como os de inclinação descontrolada, os alinhadores funcionam adequadamente, pois conseguem gerar forças de níveis ortodônticos, embora tenham uma perda exponencial com o uso até o dia da substituição. Movimentos mais complexos como torque anterior e rotação, os quais necessitam de binários de força, são menos previsíveis clinicamente, embora seja possível produzir um sistema de força adequado utilizando *attachments* e *power ridges*, especialmente desenhados para esta função. Ao planejar os movimentos quando a utilização de alinhadores está prevista, deve-se atentar para a necessidade de sobrecorreção para esses movimentos, bem como evitar grandes movimentações por estágio.

A expressão do torque dado a um dente é um problema em qualquer técnica e utilizando qualquer tipo de aparelho, mesmo os tradicionais braquetes com fios retangulares inseridos. Calcula-se uma folga de aproximadamente 10° utilizando o fio 0,019 x 0,025", e braquetes com canaletas 0,022 x 0,028"²¹.

Conclusão

Com os dados coletados na revisão e expostos em formato de discussão neste artigo, concluiu-se que os alinhadores podem ser utilizados para tratamento das mais diversas má-oclusões, pois têm a capacidade de proporcionar momentos e forças compatíveis com a Ortodontia. No entanto, como há uma limitação na quantidade de

ativação por estágio, movimentos maiores podem ser inviabilizados por necessitarem de uma quantidade muito grande de alinhadores. Utilizando os acessórios, pôde-se considerar os aparelhos estéticos quase invisíveis como reais aparelhos ortodônticos que funcionam, desde que observada sua forma diferente de ativação e aplicada uma sobrecorreção para os movimentos de menor eficiência, como torque, rotação e movimento de corpo.

Referências

- Dolce C, Scott Malone J, Wheeler TT. Current concepts in the biology of orthodontic tooth movement. *Seminars in Orthodontics* 2002;8(1):6-12.
- Consolaro A. Os osteócitos são fundamentais na remodelação óssea. *Revista Clínica de Ortodontia Dental Press* 2012;11(1):124-8.
- Angle EH. The latest and best in orthodontic mechanism. *Dent Cosmos* 1929;71:409-21.
- Shimizu RH, Staszak KR, Shimizu IA, Ambrosio AR, Maruo H. Abordagem biomecânica da alça para fechamento de espaços com a técnica do arco segmentado de Burstone: relato de caso clínico. *Rev Clin Ortodon Dent Press* 2004;3(3):51-60.
- Burstone CJ. The segmented arch approach to space closure. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1982;82(5):361-78.
- Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Oral Surg* 1945;31(6):297-304.
- Ponitz RJ. Invisible retainers. *American Journal of Orthodontics* 1971;59(3):266-72.
- McNamara JA, Kramer KL, Juenker JP. Invisible retainers. *J Clin Orthod* 1985;19(8):570-8.
- Sheridan JJ. Air-rotor stripping. *J Clin Orthod* 1985;19(1):43-59.
- Rinchuse DJ, Rinchuse DJ. Active tooth movement with Essix-based appliances. *J Clin Orthod* 1997;31(2):109-12.
- Joffe L. Invisalign: early experiences. *Journal of Orthodontics* 2003;30(4):348-52.
- Barbagallo LJ, Shen G, Jones AS, Swain MV, Petocz P, Darendeliler MA. A novel pressure film approach for determining the force imparted by clear removable thermoplastic appliances. *Ann Biomed Eng* 2008;36(2):335-41.
- Hahn W, Fialka-Fricke J, Dathe H, Kubein-Meesenburg D, Sadat-Khonsari R. Initial forces generated by three types of thermoplastic appliances on an upper central incisor during tipping. *The European Journal of Orthodontics* 2009;31(6):625-31.
- Hahn W, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Zapf A, Kubein-Meesenburg D. Influence of thermoplastic appliance thickness on the magnitude of force delivered to a maxillary central incisor during tipping. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136(1):12.e1-12.e7.
- Hahn W, Engelke B, Jung K, Dathe H, Fialka-Fricke J, Kubein-Meesenburg D et al. Initial Forces and moments delivered by removable thermoplastic appliances during rotation of an upper central incisor. *The Angle Orthodontist* 2010;80(2):239-46.
- Quintão CCA, Brunharo I. Fios ortodônticos: conhecer para otimizar a aplicação clínica. *R Dent Press Ortodon Ortop Facial Maringá* 2009;14:144-57.
- Kwon JS, Lee YK, Lim BS, Lim YK. Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133(2):228-34.
- Hahn W, Zapf A, Dathe H, Fialka-Fricke J, Fricke-Zech S, Gruber R et al. Torquing an upper central incisor with aligners acting forces and biomechanical principles. *The European Journal of Orthodontics* 2010;32(6):607-13.
- 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.
- Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique – regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC Oral Health* 2014;14(1):1.
- Creekmore TD, Kunik RL. Straight wire: The next generation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104(1):8-20.
- Lombardo L, Arreghini A, Bratti E, Mollica F, Spedicato G, Merlin M et al. Comparative analysis of real and ideal wire-slot play in square and rectangular archwires. *The Angle Orthodontist* 2015;85(5):848-58.
- 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. *The Angle Orthodontist* 2007;77(5):864-9.