

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Odontologia

Gabriela Meyge de Brito

É POSSÍVEL OBTER INTRUSÃO PURA DE INCISIVOS INFERIORES?
Um estudo pelo método de elementos finitos

Belo Horizonte
2014

Gabriela Meyge de Brito

É POSSÍVEL OBTER INTRUSÃO PURA DE INCISIVOS INFERIORES?
Um estudo pelo método de elementos finitos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia. Área de Concentração: Ortodontia.

Orientador: Prof. Dr. Dauro Douglas Oliveira
Coorientador: Prof. Ms. Hélio Henrique de Araújo Brito

Belo Horizonte
2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

B862p Brito, Gabriela Meyge
É possível obter intrusão pura de incisivos inferiores? Um estudo pelo método de elementos finitos / Gabriela Meyge de Brito. Belo Horizonte, 2014. 49 f. : il.

Orientador: Dauro Douglas Oliveira

Coorientador: Hélio Henrique de Araújo Brito

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

1. Ortodontia corretiva. 2. Movimentação Dentária - Método dos elementos finitos. 3. Incisivo – Propriedades mecânicas. I. Oliveira, Dauro Douglas. II. Brito, Hélio Henrique de Araújo. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título.

Gabriela Meyge de Brito

É POSSÍVEL OBTER INTRUSÃO PURA DE INCISIVOS INFERIORES? Um estudo pelo método de elementos finitos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia. Área de Concentração: Ortodontia.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA:

- 1- Prof. Dr. Antônio David Corrêa Normando – UFPA
- 2- Prof. Dr. Bernardo Quiroga Souki – PUC Minas
- 3- Prof. Dr. Dauro Douglas Oliveira – PUC Minas

DATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA: 05 de novembro de 2014

A dissertação, nesta identificada, foi aprovada pela Banca Examinadora

Belo Horizonte, 03 de dezembro de 2014

Prof. Dr. Dauro Douglas Oliveira
Orientador

Prof. Dr. Martinho Campolina Rebello Horta
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Odontologia

À minha família, pelo apoio, carinho e incentivo.
Ao Rafael, por ser meu companheiro incondicional.

AGRADECIMENTOS

Meus pais são meu exemplo de dedicação, perseverança e sucesso. A eles agradeço imensamente por mais essa oportunidade e conquista. Obrigada pai e mãe pela confiança, pelo apoio, pelo investimento. Aos meus irmãos Nanda e Milo pelo carinho, paciência, e amizade. Obrigada por estarem sempre do meu lado. Essa conquista é nossa!

Ao Rafael, meu amor, meu companheiro, meu incentivador. Obrigada por apoiar minhas escolhas, por me ajudar sempre, pelas palavras positivas, por vibrar com minhas vitórias e me apoiar nos momentos difíceis. Essa caminhada se tornou mais leve com você do meu lado.

A cada um dos meus colegas de turma: Lis, Cecel, Nati, Paulinha, Pedrinho e Vini. É inexplicável o tanto que vocês se tornaram especiais pra mim. Obrigada pela amizade, pela força, pelos conselhos, pelas brincadeiras e descontrações. A nossa convivência foi fácil desde o primeiro dia, e vai deixar muita saudade pra sempre. Aos amigos da turma XIII e XV, pelo companheirismo no dia-dia.

A cada um dos professores: Armando, Bernardo, Dauro, Flávio, Heloísio, Hélio, Ildeu, José Eymard, José Maurício, Tarcísio e Mariele. É a dedicação de cada um de vocês que torna esse curso um dos melhores do Brasil. Obrigada pelos ensinamentos que foram muito além da Ortodontia.

Em especial aos meus orientadores, professores Dauro e Hélio, pela confiança e apoio. Obrigada Dauro pelas oportunidades, pelos ensinamentos teóricos e clínicos, pelo exemplo de profissional que você representa. Você me orientou com excelência, sempre me mostrando o caminho a seguir. Obrigada Dr. Hélio pela paciência e preocupação em dividir seus conhecimentos com os alunos.

Ao meu orientador “extra- oficial”, professor Bernardo. Obrigada por ter sido o primeiro a apostar em mim, e por todas as oportunidades concedidas. Obrigada pelo incentivo constante, pelas ajudas, pelos conselhos, pela boa vontade e pela postura sempre positiva.

Ao professor José Eymard, por todos ensinamentos e pelo apoio a essa pesquisa.

Ao professor Pedro Américo por ter aberto as portas do laboratório do curso de Engenharia, possibilitando a execução desse trabalho. Aos engenheiros Gabriel,

Osvaldo e Bernardo pela ajuda essencial para a obtenção dos resultados desse estudo.

À Associação dos Ex-alunos do COP (ORTOCOP) pela grande oportunidade de apresentação desse trabalho no Congresso da Associação Americana de Ortodontia. Essa foi uma das maiores experiências da minha vida.

Aos funcionários e pacientes do COP, vocês também são essências para nosso aprendizado!

Por fim, mas acima de tudo agradeço a Deus, por ter me guiado, abençoado, me dado saúde e forças para que eu pudesse atingir meu objetivo.

“Mantenha seus pensamentos positivos, porque seus pensamentos tornam-se suas palavras. Mantenha suas palavras positivas, porque suas palavras tornam-se suas atitudes. Mantenha suas atitudes positivas, porque suas atitudes tornam-se seus hábitos. Mantenha seus hábitos positivos, porque seus hábitos tornam-se seus valores. Mantenha seus valores positivos, porque seus valores... Tornam-se seu destino.” (GANDHI, 1924).

RESUMO

O nivelamento da curva de Spee para tratamento da mordida profunda é um desafio constantemente enfrentado pelos ortodontistas. Os efeitos indesejados das técnicas consagradas para este fim envolvem projeção dos incisivos inferiores, inclinação distal de coroa e extrusão dos dentes posteriores, que atuam como os segmentos de ancoragem. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar os efeitos de diferentes pontos de aplicação de força ortodôntica na movimentação dos incisivos inferiores, usando a técnica segmentada de três peças. Objetivou-se também estudar os efeitos biomecânicos sobre os dentes posteriores de ancoragem. Um modelo tridimensional de elementos finitos (EF) foi utilizado para simular a intrusão dos incisivos inferiores, usando a técnica do arco segmentado de três peças. Essa técnica é constituída por: (1) segmentos de ancoragem, com um fio de aço 0.021"x 0.025" passivo nos braquetes de canino a segundo molar, bilateralmente. Alinhamento e nivelamento prévio desses dentes foi realizado, permitindo a utilização desse fio pesado passivamente; (2) arco base de intrusão (ABI), constituído por um fio de aço 0.0215"x 0.0275" passivo nos braquetes dos incisivos, com extensão distal de 15mm, passando abaixo dos braquetes dos caninos e pré-molares; (3) molas de intrusão de liga titânio-molibdênio (TMA), inseridas no tubo auxiliar dos primeiros molares e ativadas para aplicar forças intrusivas bilateralmente, totalizando 40 gramas de força intrusiva. Quatro diferentes pontos de aplicação de força pela mola de TMA no ABI foram testados, variando-se o comprimento das molas intrusivas (MEF 1, MEF 2, MEF 3 e MEF 4). Como resultados, foi observado que o ponto de aplicação de força MEF 3 produziu intrusão pura dos quatro incisivos inferiores. MEF 1 e MEF 2 resultaram em intrusão com vestibularização dos incisivos enquanto MEF 4 causou intrusão e lingualização desses dentes. Conclui-se que quando o ponto MEF 3 foi utilizado foi possível atingir intrusão pura dos incisivos inferiores. Quando as forças intrusivas são aplicadas mesial ou distal ao ponto ideal de intrusão, os incisivos vestibularizam ou retroinclinam, respectivamente. Finalmente, os efeitos sobre o segmento de ancoragem foram suaves e concentrados nos primeiros molares inferiores.

Palavras-chave: Ortodontia corretiva. Sobremordida. Movimentação dentária.

ABSTRACT

Leveling the curve of Spee is a commonly used strategy to correct dental deep bites. Although several techniques have been proposed to achieve pure mandibular incisors intrusion, flaring of these teeth is often observed. The purpose of this research was to evaluate the effects of different point of force application using the segmented arch technique on mandibular incisors movement. A 3- dimensional finite element (FE) model was used to simulate mandibular incisors intrusion, using the three piece segmented arches technique. It comprised: (1) 0.021 x 0.025-in stainless steel (SS) base wire that passively filled the second molar tube, the first molar main tube and the premolars and canine bracket slots bilaterally, to simulate the posterior anchorage segment. The posterior teeth were leveled and aligned to allow the passive fit of these wires; (2) 0.0215"x 0.0275" SS intrusion base arch (IBA) was inserted into the incisors brackets. It was also a passive wire that presented a step down distal to the lateral incisors bracket and a 15 mm posterior extension arm, below the canine and premolars brackets; (3) TMA tip-back springs designed to apply the intrusion force, were fitted inside the first molar gingival tube. Four different points of force application on the IBA were simulated (FEM1, FEM2, FEM3 and FEM4). The point of force application FEM 3 resulted in pure mandibular incisors intrusion. FEM1 and FEM2 indicated intrusion and buccal crown flaring of the mandibular incisors, whereas FEM4 resulted in intrusion and lingual crown flaring of those teeth. The segmented mechanics simulated in this study may achieve pure mandibular incisors intrusion. When the intrusion force is applied anteriorly or posteriorly to the ideal intrusion point of force application, the incisors may proclinate or retroclinate, respectively. The majority of the reaction force registered on the posterior segment concentrated on the first molar and their effects were reduced.

Keywords: Orthodontics. Deep bite. Orthodontic tooth movement.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo geral	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Representação gráfica dos dentes e ligamento periodontal	22
3.2 Extrusão dos incisivos	22
3.3 Representação gráfica do arco de três peças	22
3.3.1 Acessórios	22
3.3.2 Segmentos de fios	23
3.3.3 Mola de intrusão	23
3.4 Propriedades dos elementos	24
3.4.1 Propriedades do dente, ligamento periodontal e osso	24
3.4.2 Propriedades da liga de aço inoxidável	24
3.4.3 Propriedades da liga de TMA	24
3.5 Magnitude das forças intrusivas.....	25
3.6 Variáveis: Pontos de aplicação de forças	25
3.6.1 Alinhado á distal do incisivo lateral.....	25
3.6.2 Alinhado ao centro da coroa do canino	25
3.6.3 Dois mm distal ao centro da coroa do canino (MEF 3)	26
3.6.4 Alinhado ao centro da coroa do pré-molar	26
3.7 Simulações	26
4 ARTIGO	28
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A mordida profunda dento-alveolar é uma discrepância vertical caracterizada pelo trespasse excessivo dos dentes anteriores (UPADHYAY; NANDA, 2009). Esta condição tem alta incidência na população e sua correção deve ser uma das prioridades na maioria dos tratamentos ortodônticos (NIELSEN, 1991). A etiologia da mordida profunda dento-alveolar está relacionada a quatro condições principais: (1) irrupção excessiva dos incisivos superiores e inferiores em relação ao plano oclusal; (2) falta de irrupção dos dentes posteriores de um ou ambos os arcos; (3) combinação das duas causas anteriores e (4) mordida cruzada vestibular de todos os dentes posteriores da maxila (SAKIMA et al., 2000).

As abordagens para correção dessa maloclusão visam a abertura da mordida por meio de extrusão de dentes posteriores, intrusão de dentes anteriores ou a combinação de ambos (BURSTONE, 1977; OTTO; ANHOLM; ENGEL, 1980; NANDA, 1997). O correto diagnóstico facial, cefalométrico e dentário devem ditar os objetivos do tratamento, assim como a mecânica a ser empregada. A intrusão do segmento anterior inferior está indicada em casos de mordida profunda com exposição de incisivos superiores adequada, padrão de crescimento vertical e curva de Spee acentuada (BRITO; LEITE; MACHADO, 2009).

Várias são as técnicas descritas na literatura para o nivelamento do plano oclusal inferior. Tweed (1966) preconizou a utilização de arcos com curva reversa no arco inferior e acentuada no arco superior (TWEED, 1966). Ricketts descreveu o Arco Utilidade confeccionado com fio *Blue Elgiloy*, que possuía *tip-backs* na mesial dos primeiros molares, criando uma força intrusiva nos incisivos (RICKETTS, 1976). Finalmente, na década de 1970, Burstone (1977) propôs a Mecânica do Arco Segmentado, constituída por três partes, sendo uma delas o arco de intrusão com ativação também na mesial dos molares, porém amarrado ao arco anterior ao nível dos incisivos.

Shroff et al. (1995) propôs a utilização de um arco de três peças para intrusão e retração simultânea de incisivos em casos onde extrações de primeiros pré-molares estavam indicadas. O mecanismo consistia em fios de estabilização posteriores, um segmento de fio pesado com extensão posterior abaixo do centro de resistência dos dentes anteriores passivo nos braquetes dos incisivos, e uma mola de TMA de secção 0.017" x 0.025" ativada com forças intrusivas aplicadas

levemente anterior ao centro de resistência dos dentes anteriores. Um total de 60 gramas de força foi recomendado para intrusão dos incisivos superiores. A direção das forças de intrusão era alterada com a aplicação de pequenas forças direcionadas para distal, posicionando as forças intrusivas no longo eixo e passando pelo centro de resistência dos incisivos. A retração dos caninos era realizada separadamente, antes da retração e intrusão dos incisivos (SHROFF et al., 1997).

Embora a intensão de todas essas técnicas seja de intruir os incisivos, intrusão pura só ocorre mesmo quando as forças ortodônticas passam precisamente em direção apical pelo centro de resistência (CR) do conjunto de dentes formado pelos quatro incisivos inferiores. Estudos mostraram que as mecânicas propostas por Tweed, Rickets e Burstone, na verdade levam mais à projeção desses dentes do que à intrusão propriamente dita. Consequentemente, a saúde periodontal dos incisivos (ZIMMER; SEIFI-SHIRVANDEH, 2007) e a estabilidade do tratamento ortodôntico podem ficar comprometidas (WOODS, 1988; DAKE; SINCLAIR, 1989; WEILAND; BANTLEON; DROSCHI, 1996). A dúvida quanto ao método mais preciso para nivelar a curva de Spee, com intrusão pura de incisivos inferiores, persiste.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar por meio do método de elementos finitos (EF) os efeitos de diferentes pontos de aplicação de força usando o arco de três peças.

2.2 Objetivos específicos

- a) determinar qual o ponto de aplicação de força no arco base de intrusão (ABI) pelo cantilever de intrusão é capaz de gerar intrusão pura dos incisivos inferiores;
- b) determinar qual o ponto de aplicação de força no ABI pelo cantilever no ABI qual o ponto onde o cantilever de intrusão é capaz de gerar intrusão com inclinação vestibular de coroa dos incisivos inferiores;
- c) determinar qual o ponto de aplicação de força no ABI pelo cantilever no ABI qual o ponto onde o cantilever de intrusão é capaz de gerar intrusão e inclinação lingual de coroa dos incisivos inferiores;
- d) avaliar os efeitos dessas forças nos segmentos de ancoragem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi realizado a nível laboratorial. A construção do modelo partiu de uma tomografia computadorizada de um adulto jovem saudável, previamente obtida por autores do nosso grupo de pesquisas (GOMES DE OLIVEIRA et al., 2006). Os dentes inferiores, exceto os terceiros molares foram utilizados após receberem ajustes de desenho, seguindo as proporções de tamanho de coroa e raiz propostos por Wheeler. Das estruturas adjacentes, a modelação do ligamento periodontal e osso alveolar foram realizados.

3.1 Representação gráfica dos dentes e ligamento periodontal

Foi utilizado o modelo do estudo de Gomes de Oliveira et al. (2006), obtido a partir de tomografia computadorizada multiplanar com secções de 2 mm. Para sua geração, o *software* CATIA (SolidWorks Dassault Systemes S.A., Vélizy-Villacoublay, França) foi usado.

Os dentes do modelo utilizado foram construídos sem diferença entre esmalte, dentina e polpa. Foi modelado o ligamento periodontal de cada dente com espessura de 0,2 mm.

3.2 Extrusão dos incisivos

Os incisivos centrais e laterais inferiores permanentes foram extruídos 2,5 mm, enquanto os caninos, pré-molares e molares permanentes foram alinhados e nivelados.

3.3 Representação gráfica do arco de três peças

3.3.1 Acessórios

Foram desenhados braquetes *Standard Edgewise* com canaletas 0,022" x 0,028" (*Mini-master Series, American Orthodontics, Sheboygan WI, EUA*), posicionados no centro da coroa dos incisivos, caninos, primeiros e segundos pré-molares. Um tubo duplo (canaleta principal 0.022" x 0.028" e tubo acessório 0.018" x

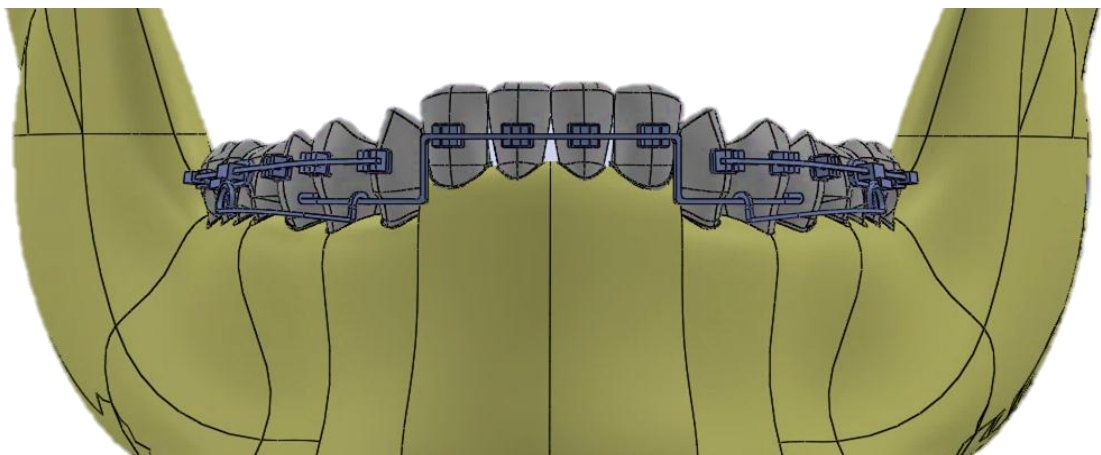
0.028”) (*Low Profile* não conversível, *American Orthodontics*, Sheboygan WI, EUA) foi posicionado nos primeiros molares e um tubo simples no segundo molar (0.022” x 0.028”) (*Low Profile* não coversível, *American Orthodontics*, Sheboygan WI, EUA).

3.3.2 Segmentos de fios

Nas canaletas dos braquetes dos quatro incisivos foi posicionado um fio de aço inoxidável de secção 0.0215”x 0.0275” (*SS Wire*, *American Orthodontics*, Sheboygan WI, EUA), com extensão distal até a superfície distal dos primeiros pré-molares. Na superfície distal dos incisivos laterais o fio recebeu um degrau que serviu de *bypass*, realizado clinicamente com o objetivo de evitar interferências com os braquetes durante a movimentação dos dentes. Esse segmento de fio foi denominado arco base de intrusão (ABI).

Os dentes posteriores, de canino a segundo molar de cada lado foram unidos bilateralmente por segmentos de fio de aço inoxidável 0.021”x 0.025” (*SS Wire*, *American Orthodontics*, Sheboygan WI, EUA), estendido desde o canino até o tubo do segundo molar (Fig. 1).

Figura 1: Arco de três peças.



Fonte: Elaborado pela autora

3.3.3 Mola de intrusão

Duas molas compostas de liga titânio-molibdênio (TMA) de secção transversal de 0.017”x 0.025” (TMA, SDS Ormco, Glendora, CA, EUA) foram posicionadas no

tubo mais gengival do primeiro molar permanente de cada lado. Em cada mola foi incorporado um helicóide de 3 mm de diâmetro e 1½ volta na mesial do tubo do primeiro molar. A extremidade de cada cantilever foi posicionada na extensão distal do ABI bilateralmente, e uma força intrusiva de um total 40 gf foi aplicada, dividida igualmente entre os dois lados.

3.4 Propriedades dos elementos

O método EF utiliza dois parâmetros mecânicos para a simulação dos comportamentos biomecânicos propostos para avaliação, sendo eles o Módulo de Elasticidade (E) e o coeficiente de Poisson (ν). O Módulo de Elasticidade representa a inclinação da porção linear de um diagrama de tensão/deformação do material e o coeficiente de Poisson refere-se ao valor absoluto da relação entre deformações transversais e longitudinais em um eixo de tração axial (LOTTI et al., 2006).

3.4.1 Propriedades do dente, ligamento periodontal e osso

Os valores para “E” e “ ν ” para o dente, ligamento periodontal e osso foram fixadas em 20.000 Mpa e 0,30 respectivamente para os dentes, e 0,71 MPa e 0,4 para o ligamento periodontal, e 345 MPa e 0,3 para o osso (XIA et al., 2013; FERREIRA et al., 2013).

3.4.2 Propriedades da liga de aço inoxidável

Os braquetes, fios de estabilização posteriores e segmento de fio anterior foram representados pelas propriedades do aço inoxidável, com o E de 20.000 MPa e ν de 0,3 (REIMANN et al., 2007).

3.4.3 Propriedades da liga de TMA

Os valores das propriedades das molas de intrusão confeccionadas com fio de titânio molibdênio foram fixados em 69.000 MPa para E e 0.3 para ν (KOJIMA; FUKUI, 2012).

3.5 Magnitude das forças intrusivas

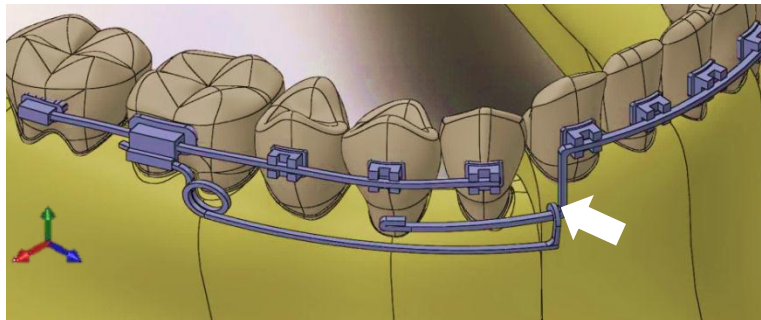
Foi aplicado um total de 40 gf no arco anterior, dividida igualmente entre os dois cantilevers (BURSTONE, 1977).

3.6 Variáveis: Pontos de aplicação de forças

3.6.1 Alinhado á distal do incisivo lateral

Essa variável foi denominada de MEF 1 (Fig. 2).

Figura 2: Aplicação de força alinhado á distal do incisivo lateral (MEF 1).

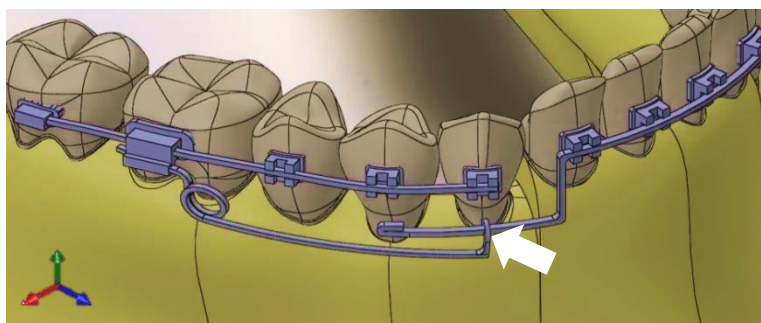


Fonte: Elaborado pela autora

3.6.2 Alinhado ao centro da coroa do canino

Essa variável foi denominada de MEF 2 (Fig. 3).

Figura 3: Ponto de aplicação de força alinhado ao centro do canino (MEF 2).

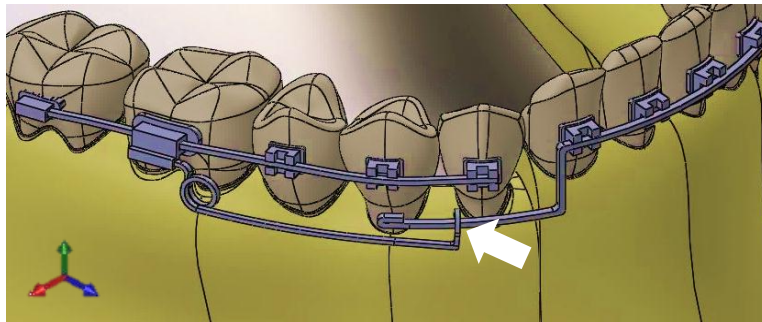


Fonte: Elaborado pela autora

3.6.3 Dois mm distal ao centro da coroa do canino (MEF 3)

Essa variável foi denominada de MEF 3 (Fig. 4).

Figura 4: Aplicação de força dois mm distal ao centro da coroa do canino (MEF 3).

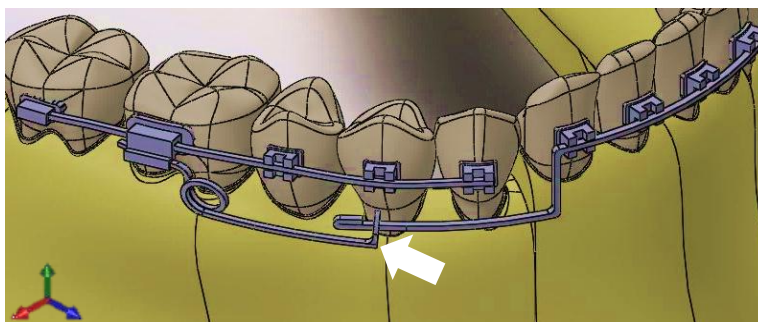


Fonte: Elaborado pela autora

3.6.4 Alinhado ao centro da coroa do pré-molar

Essa variável foi denominada de MEF 4 (Fig. 5).

Figura 5: Ponto de aplicação de força alinhado ao centro da coroa do primeiro pré-molar (MEF 4).



Fonte: Elaborado pela autora

3.7 Simulações

Os desenhos dos braquetes, fios, cantilever, ligamento periodontal e ajuste de proporção coroa-raiz dos dentes foram realizados no programa Solid Works® (Dassault Systèmes S.A., Vélizy- Villacoublay, França). Posteriormente, o modelo foi transferido para o programa HyperMesh, um *pre solver* utilizado para gerar a malha, configurar as condições de contorno e preparar o modelo para as simulações. No

programa Abaqus (Dassault Systèmes S.A., Vélizy- Villacoublay, França) foram feitas as simulações de EF, utilizando as propriedades e forças anteriormente mencionadas.

4 ARTIGO

Pure mandibular incisors intrusion: a finite element study to evaluate the segmented arch technique.

Artigo a ser submetido ao American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics (Qualis A1), cujas normas para submissão de artigos podem ser visualizadas no endereço eletrônico: <http://www.ajodo.org/authorinfo>

Pure mandibular incisors intrusion: a finite element study to evaluate the segmented arch technique.

Gabriela Meyge de Brito,^a Gabriel Goulart Mendes Marra,^b Bernardo Oliveira Hargreaves,^c Hélio Henrique de Araújo Brito,^d Pedro Américo Almeida Magalhães Jr,^e and Dauro Douglas Oliveira^f

^aFormer orthodontic resident, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

^bMasters in Mechanical Engineering student, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

^cMechanical Engineer, Belo Horizonte, Brazil.

^dAssociate professor of Orthodontics, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

^eAssociate professor and program director of Mechanical Engineering, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

^fAssociate professor and program director of Orthodontics, Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

Corresponding Author:

Dauro Douglas Oliveira

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)

Graduate Program in Orthodontics

Av. Dom José Gaspar, 500. Prédio 46, Sala 101

Belo Horizonte, MG, Brazil, 30535-901

Phone: 55 - 31 - 3319-4414, Fax: 55 - 31 - 3319-4415

E-mail: dauro.bhe@gmail.com

INTRODUCTION

Leveling the curve of Spee is a commonly used strategy to correct dental deep bites^{1,2}. Posterior teeth extrusion³, mandibular incisors intrusion^{4,5} or combinations of these movements are often used to orthodontically level the curve of Spee. As deep bites usually occur in association with Class II malocclusion, posterior teeth extrusion may be detrimental since undesired clockwise mandibular rotation may take place, worsening the sagittal relationship². Although several techniques have been proposed to achieve pure mandibular incisors intrusion, flaring of these teeth is often observed⁶⁻⁸.

In the 1970's, Burstone introduced a different clinical approach to intrude the mandibular incisors and thus level the curve of Spee². The segmented arch technique used wires that did not run continuously from right to left molars. Burstone's mechanism for intrusion consisted of three parts: (1) posterior anchorage unit, using a buccal stabilizing segment of wire inserted into the posterior teeth brackets bilaterally, (2) an anterior segment in the four incisors, and (3) an intrusive arch spring. The latter would be placed into the auxiliary gingival tube and would be activated by placing a curvature, so when the spring is tied to the anterior segment wire, it would deliver an intrusion force on the incisors. The author suggested that this approach presented the ability to achieve genuine intrusive movement of the incisors with minimum side effects. However, Weiland et al.⁶ evaluated the efficacy of both segmented and continuous arch techniques to correct deep bites. They found significant proclination of the mandibular incisors with both mechanics. The major advantage of the segmented arch technique was the significantly smaller mandibular molar extrusion. Shroff et al.^{9,10} updated Burstone's segmented arch technique changing the location of the point of force application to intrude the incisors. They estimated the CR of the four incisors and used this information to establish the point of force application during intrusive mechanics. Despite the significant clinical relevance of these reports, no research to confirm this information has been reported.

Buccal flaring of the mandibular incisors may increase the risk of developing gingival recession since these teeth may be pushed out of the alveolar bone process.^{11,12} It may also lead to anterior occlusal trauma (fremitus) which has been listed as a etiological factor for developing temporomandibular joint disorders¹³.

Furthermore, the orthodontic treatment stability is questionable when mandibular incisors are buccally proclined.¹⁴ Despite the importance of this topic, there is a lack of studies in the orthodontic literature that report on a technique that can achieve pure mandibular incisors intrusion.

The Finite Element (FE) method analyses uses mathematical calculations to evaluate the effects of external loads applied to three dimensional (3D) structures. It is a suitable and reliable method to test biomechanical effects of different techniques in Orthodontics, analyzing the stress and displacement of the structures under various boundary and loading conditions and studying areas that are difficult or impossible to access without any risks to a human sample.^{15,16}

Therefore, the purpose of this research was to evaluate the effects of different configurations of the segmented arch technique designed to achieve pure mandibular incisors intrusion, using the FE method.

MATERIAL AND METHODS

Modeling

The 3D FE model construction was initiated with 2 mm sections of a computerized tomography (CT) scan (Picker, model PQ2000; Highlands Heights, OH) of a young adult with complete permanent dentition except for the third molars that presented a normal occlusion. All two-dimension CT scan images were stacked with a computer design software (CATIA, Dassault Technologies, Woodland Hills, CA) in order to accurately develop the model of the mandible. During the development of this model the teeth were built independently and considered as independent parts with uniform mechanical properties. This model was obtained from a previous study of our research group.¹⁶ The 14 teeth were modified until the proper crown to root ratio was obtained according to Wheeler¹⁷ and the teeth were aligned according to the Peer Assessment Rating Index.¹⁸ A periodontal ligament (PDL) was modeled with 0.20 mm of linear thickness, as previously described in other FE studies.^{19,20} In order to represent an excessive curve of Spee, the four incisors were extruded 2.5mm. All modifications on this initial FEM model were performed with the SolidWorks Software® (Dassault Systèmes Americas Corp. Waltham, MA) (Figure 1).

Graphic representation of the orthodontic fixed appliances tested were modeled with 0.022 x 0.028-in slots, zero degrees of tip and torque and placed on the center of the crowns of all mandibular teeth. The first molar tube presented a 0.018 x 0.025-in gingival tube as commonly found in most double tubes available in the market.

The three- piece segmented archwires comprised: (1) 0.021 x 0.025-in stainless steel (SS) base wire that passively filled the second molar tube, the first molar main tube, the premolars and the canine bracket slots bilaterally, to simulate the posterior anchorage segment. The posterior teeth were leveled and aligned to allow the passive fit of these wires; (2) 0.0215"x 0.0275" SS intrusion base arch (IBA) was inserted into the incisors brackets. It was also a passive wire that presented a step down distal to the lateral incisors bracket and a 15 mm posterior extension arm, below the canine and premolars brackets; (3) TMA tip-back springs designed to apply the intrusion force were fitted inside the first molars gingival tubes (Figure 2).

Points of force application simulated

Three-dimensional FEM models of four different cantilevers were constructed and the only difference between these models was their mesio-distal length. Therefore, four different points of force application on the IBA were tested: FEM 1: the longest cantilever, thus the most anterior point of force application on the IBA; FME 2: the point of force application was located at the level of the mesio-distal center of the canine crown; FEM 3: the cantilever length was 2 mm shorter than in FEM 2 and FEM 4: the shortest cantilever, resulting in a point of force application at the level mesio-distal center of the first premolar crown (Figure 3). All these models were modeled for both right and left sides, thus the points of force application were bilaterally tested.

Discretization and boundary conditions

Following the model construction, discretization and boundary conditions of the anatomical structures and materials tested were performed with the HyperMesh Software® (Altair-Engineering, Inc. Milwaukee, WI). The finite element models were considered to have linear elasticity and isometric properties. The PDL and alveolar bone had hybrid meshes with pentahedron and hexahedron elements, providing

higher accuracy of the stresses occurring on these structures. This sophistication of the mesh was important since the PDL was the structure where the stress would be evaluated in the present research. The other objects presented pentahedron elements and each element had 6 degrees of freedom, thus they could move and rotate in any direction of the space. Finally, each pentahedron element presented 6 nodes and each hexahedron element had 8 nodes. Young's modulus and Poisson's ratio for the teeth, periodontal ligament, brackets, tubes and wires were defined based on previous studies (Table 1).^{21,22}

The analyses were performed simulating the activation of the cantilever to bilaterally deliver 20 gf² in four different points along the IBA. The use of the FEM allowed us to register the initial displacement and the Von Mises stress along the root surface of the four mandibular incisors and the posterior teeth that served as anchorage. All simulations were performed with the Abaqus® Software (Dassault Systèmes Americas Corp. Waltham, MA).

RESULTS

The total number of elements used in the FEM models were 2.414.014, 2.407.131, 2.405.280 and 2.060.466 for FEM 1, FEM 2, FEM 3 and FEM 4, respectively. The von Mises stress and the initial displacement tendency distribution in each model were descriptively analyzed using a color scale, which runs from red to blue with red indicating areas that showed the highest values of stress and initial displacement tendency. Conversely, blue indicated areas that showed the lowest values for both stress and displacement tendencies.

Effects on the mandibular incisors

The initial displacement tendency in FEM 1 was concentrated on the incisal edges and along the buccal surfaces of all four incisors, suggesting that intrusion and buccal crown tipping would happen. Similar, but less intense tendencies were registered on FEM 2. The simulations in FEM 3 showed a uniform initial displacement tendency distribution in all surfaces of the four incisors, indicating intrusion without buccal or lingual crown tipping. Conversely, in FEM 4 the initial displacement tendency was concentrated along the lingual surface of all incisors, suggesting intrusion and lingual crown tipping tendency (Figure 4).

The von Mises stress tendencies registered for each variable complemented the results of the initial displacement tendencies described above: in both FEM 1 and FEM 2, the maximum stress values were concentrated on the buccal surface and on the apex of the incisors' roots. The simulation tested on FEM 3 revealed that the amount of stress registered on the PDL of the incisors was uniformly distributed along the buccal and lingual surfaces and on the root apex. Finally, in FEM 4 the von Mises stress was concentrated on apex and on the lingual surface (Figure 5).

Maximum von Mises stress and initial displacement tendencies values are shown on Figure 6 for each FEM models simulated.

Effects on the posterior anchorage segment

The stress and initial displacement tendencies produced in the PDL of the posterior teeth used as dental anchorage occurred mainly in the first molars. These teeth showed displacement tendencies that were concentrated on the mesial cusps, meaning that a tip back movement tendency was registered (Figure 6). FEM 1 presented the highest values for both von Mises stress and initial displacement. These values progressively decreased in all other models tested, as shorter cantilevers were tested (FEM 2, FEM 3 and FEM 4, respectively) (Figure 7). The maximum von Mises stress and initial displacement values are showed on Figure 8. The highest displacement values were registered on model FEM 1 (2.067×10^{-3} mm) and the maximum values also decreased as shorter cantilever were simulated.

DISCUSSION

The present FE study evaluated four different locations to apply the intrusive force in the IBA in order to find the ideal position for force application to achieve pure intrusion of the four mandibular incisors. In this research Shroff's technique was adapted to promote intrusion only of the four mandibular incisors, as premolar extraction was not desired. The simulations showed that pure mandibular incisor intrusion with no flaring or retroinclination can be achieved, when the ideal point of farce application was used. In our knowledge, this is the first research in which pure mandibular incisors intrusion was mathematically found in an individual model.

We found that the ideal point of force application on IBA was 2 mm distal do the mesio-distal center of the canine. Therefore, FEM 3 simulations showed pure

intrusion and no buccal or lingual incisor inclination tendencies. From a biomechanical point of view these results may suggest that the intrusive force generated with FEM 3 passed through the estimated position of the center of resistance (CR) of the four mandibular incisors in this individual model. Our results may serve as a good reference for clinical orthodontists to start the intrusion of mandibular incisor. However, individual patient variations such as the size of the incisors, their actual buccal-lingual inclination and/or the alveolar bone level may alter the ideal point of force application on IBA slightly moving it anteriorly or posteriorly. As registered with FEM 1 and FEM 4, if proclination or retraction of the four mandibular incisors is required the clinician may adjust the length of the cantilever to apply the intrusive force anteriorly or posteriorly, respectively.

The finite element model evaluated presented both mandibular canines added to the posterior anchorage segments. The posterior teeth were leveled and aligned prior to the incisors intrusion, as previously recommended.² The first reason for this sequence is that if all six anterior teeth were intruded simultaneously the force required for this movement would be excessive, producing high moment to the posterior teeth.² Thus, tipping of the posteriors would occur more rapidly than the intrusion on the anteriors. The other important reason to incorporate the canines to the posterior anchor segments is the chance to reinforce anchorage. The results of this study showed von Mises stress distribution on all posterior anchorage segment teeth. However, there was a significant concentration on the first molars.

Mini-screws have been used to reinforce anchorage and to minimize undesired side effects during deep bite corrections²³. Senişik et al.²⁴ carried out a clinical prospective study that compared the effects of mini-screws and Burstone's intrusion arches to intrude maxillary incisors while treating deep bite patients. Their results showed that both mechanics led to intrusion, but also proclination of the incisors. The maxillary molars in the intrusion arch group presented extrusion and distal crown tipping. The use of mini-screws indeed eliminated these side-effects. However, it represents important additional cost to some patients and a surgical intervention. We found similar effects on the anchorage teeth in our FEM simulations. However, the initial displacements observed were as low as 2.067×10^{-3} and distributed to all anchorage teeth. These results may suggest that no molar extrusion would be observed clinically when the three piece segmented mechanics is used to intrude the mandibular incisors.

Intrusion is defined as an apical movement of the geometric center of the root in relation to the occlusal plane or to a plane based on the long axis of the tooth.² Even though tipping of the incisors may correct a deep bite, it would actually produce a pseudo- intrusion of those teeth. The importance of obtaining pure mandibular incisors intrusion has been related to preventing the occurrence of fremitus¹³, to a decreased risk of developing periodontal attachment loss¹¹ and to an increased orthodontic treatment stability¹⁴. Furthermore, in Class II patients true mandibular incisors intrusion would avoid their proclination, leaving enough overjet to allow adequate maxillary anterior teeth retraction.

Another important issue faced by most orthodontists in patients that require intrusion is apical root resorption. Chiqueto et al.²⁵ evaluated the effects of accentuated and reversed curve of Spee mechanics on root resorption of the incisors and found that this intrusion approach resulted in greater root resorption than in the control group. Conversely, Costopulos et al.²⁶ found that intrusion caused only a negligible amount of root resorption. The main difference between these studies was the amount of force applied to intrude the incisors. The reversed and accentuated curve of Spee mechanics delivered 100 to 150 g of intrusive forces and the Burstone's intrusion arch delivered only 15 g per maxillary incisor. Our FEM study used 40 g to intrude the four incisors and the results showed that when the pure intrusion was achieved (FEM 3) the lowest values for maximum von Mises stress were observed, comparing all models simulated (Fig 6). As the same amount of force was applied in all models simulated, it can be stated that in FEM3 the stress was homogeneously distributed over the root surfaces of the four teeth whereas all other models showed stress concentrated in a smaller area, either on buccal or lingual surfaces. Even though the FEM does not allow root resorption assessment, considering root resorption etiologies, the low forces and homogeneous stress generated when true intrusion is attempted may represent lower chances of developing root resorption of the incisors.

On the anchorage segment the maximum von Mises stress and displacement tendencies decreased progressively as the cantilever length was shortened. This is explained by the lower moment generated as the distance to the point contact of the cantilever end was diminished (moment= force x distance) (Figure 8). In this mechanic system, the cantilever represented a one-couple orthodontic appliance,²⁷ in which one attachment generated a couple and a force on the auxiliary molar tube

and in the other attachment only a force was produced (on the IBA). For this reason, the color scale results for FEM simulations on the anchorage segment showed highest von Mises stress and initial displacement of those teeth, when compared to the incisors. Even though the values for anchorage teeth stress and displacement were clinically low, we may also expect that the masticatory forces on the posterior teeth may counteract the extrusion and tip back tendency of those teeth.²

Finite element simulation is a suitable method to access displacement and stress distribution in bodies that are exposed to stress. This study used static finite element analyses, which only simulates the initial tooth movement and stress distribution in the periodontal membrane. Since while the teeth move the forces systems are modified, the mechanical adjustments must be made during treatment to achieve the expected results.

CONCLUSIONS

- 1- The FEM simulations indicated that pure mandibular incisor intrusion was registered when the point of force application on IBA was 2 mm distal to the center of the canine crown. Intrusive forces applied mesially to this reference point generated buccal crown tipping tendencies while forces applied more than 2mm distally to the center of the canine resulted in lingual crown tipping of the mandibular incisors.
- 2- The majority of the reaction force registered on the posterior segment concentrated on the first molar and their effects were reduced.

REFERENCES

1. Greig DG. Bioprogressive therapy: overbite reduction with the lower utility arch. Br J Orthod 1983;10:214-216.
2. Burstone CR. Deep overbite correction by intrusion. Am J Orthod 1977;72:1-22.
3. Braun S, Hnat WP, Johnson BE. The curve of Spee revisited. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1996;110:206-210.
4. Tweed CH. In: Mosby CV, editor. Clinical orthodontics. St Louis; 1966. p. 461-547.
5. Ricketts RM. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs. Part I. Am J Orthod 1976;70:241-268.

6. Weiland FJ, Bantleon HP, Droschl H. Evaluation of continuous arch and segmented arch leveling techniques in adult patients--a clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110:647-652.
7. Woods MG. The mechanics of lower incisor intrusion: experiments in nongrowing baboons. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:186-195.
8. Aydogdu E, Ozsoy OP. Effects of mandibular incisor intrusion obtained using a conventional utility arch vs bone anchorage. *Angle Orthod* 2011;81:767-775.
9. Shroff B, Lindauer SJ, Burstone CJ, Leiss JB. Segmented approach to simultaneous intrusion and space closure: biomechanics of the three-piece base arch appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:136-143.
10. Shroff B, Yoon WM, Lindauer SJ, Burstone CJ. Simultaneous intrusion and retraction using a three-piece base arch. *Angle Orthod* 1997;67:455-461; discussion 462.
11. Yared KF, Zenobio EG, Pacheco W. Periodontal status of mandibular central incisors after orthodontic proclination in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:6 e1-8.
12. Choi YJ, Chung CJ, Kim KH. Periodontal consequences of mandibular incisor proclination during presurgical orthodontic treatment in Class III malocclusion patients. *Angle Orthod* 2014.
13. Sondhi A. Anterior interferences: their impact on anterior inclination and orthodontic finishing procedures. *Seminars in Orthodontics* 2003;9:204-215.
14. Tweed CH. The Frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis. *Am J Orthod Oral Surg* 1946;32:175-230.
15. Kim KY, Bayome M, Park JH, Kim KB, Mo SS, Kook YA. Displacement and stress distribution of the maxillofacial complex during maxillary protraction with buccal versus palatal plates: finite element analysis. *Eur J Orthod* 2014.
16. Gomes de Oliveira S, Seraidarian PI, Landre J, Jr., Oliveira DD, Cavalcanti BN. Tooth displacement due to occlusal contacts: a three-dimensional finite element study. *J Oral Rehabil* 2006;33:874-880.
17. Wheeler RC. Textbook of dental anatomy and physiology. Philadelphia: W .B. Saunders; 1949.

18. Richmond S, Shaw WC, Roberts CT, Andrews M. The PAR Index (Peer Assessment Rating): methods to determine outcome of orthodontic treatment in terms of improvement and standards. *Eur J Orthod* 1992;14:180-187.
19. Kojima Y, Kawamura J, Fukui H. Finite element analysis of the effect of force directions on tooth movement in extraction space closure with miniscrew sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142:501-508.
20. Kojima Y, Fukui H. A numerical simulation of tooth movement by wire bending. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:452-459.
21. Vollmer D, Bourauel C, Maier K, Jager A. Determination of the centre of resistance in an upper human canine and idealized tooth model. *Eur J Orthod* 1999;21:633-648.
22. Reimann S, Keilig L, Jager A, Bourauel C. Biomechanical finite-element investigation of the position of the centre of resistance of the upper incisors. *Eur J Orthod* 2007;29:219-224.
23. Ishihara Y, Kuroda S, Sugawara Y, Balam TA, Takano-Yamamoto T, Yamashiro T. Indirect usage of miniscrew anchorage to intrude overerupted mandibular incisors in a Class II patient with a deep overbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:S113-124.
24. Senisik NE, Turkkahraman H. Treatment effects of intrusion arches and mini-implant systems in deepbite patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141:723-733.
25. Chiqueto K, Martins DR, Janson G. Effects of accentuated and reversed curve of Spee on apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:261-268; quiz 328 e262.
26. Costopoulos G, Nanda R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:543-548.
27. Lindauer SJ, Isaacson RJ. One-couple orthodontic appliance systems. *Semin Orthod* 1995;1:12-24.

Table

Table . Properties of anatomic structures and material tested.		
	Elastic Modulus (E) (MPa)	Poisson´s Ratio (v)
Tooth	20.000	0.30
PDL	0.71	0.40
Bone	345	0.30
SS	200.000	0.30
TMA	69.000	0.30

Table. Properties of anatomic structures and material tested. PDL, periodontal ligament; SS, Stainless Steel; TMA, Titanium Molibdenium.

Figures

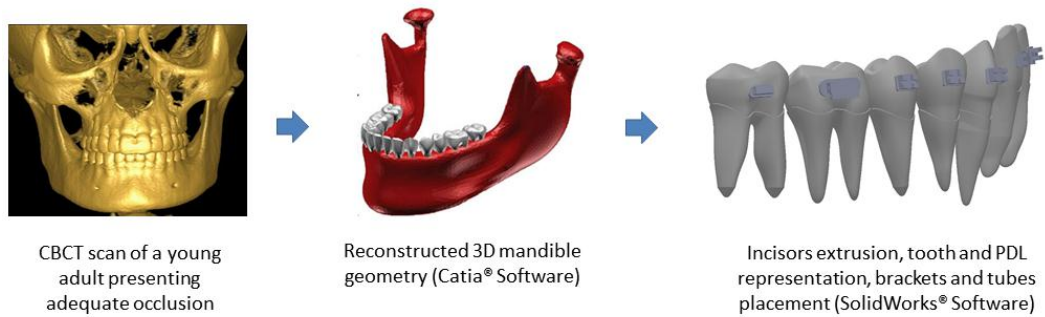


Fig 1. Sequence for 3D model construction and FE representation of tooth, PDL and bone.

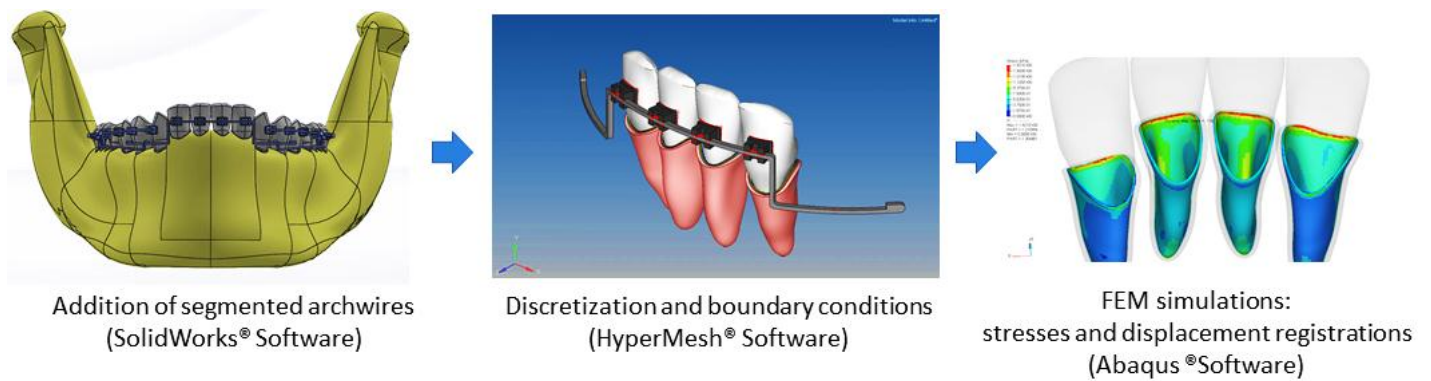


Fig 2. Sequence for segmented arch technique graphic representation and FEM discretization and simulation.

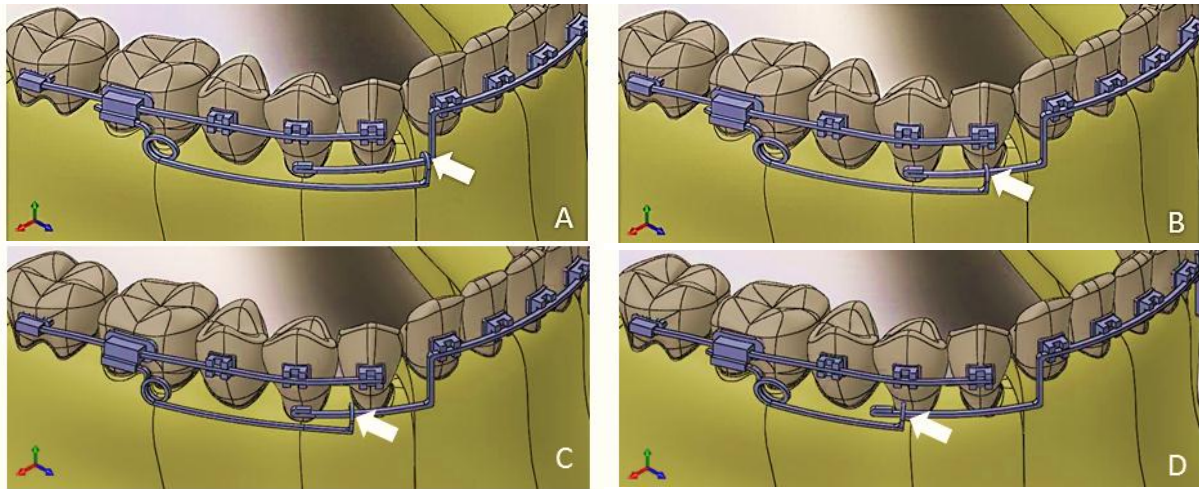


Fig 3. FE models simulated. Point of force application indicated by white arrows. A, FEM 1; B, FEM 2; C, FEM 3; D, FEM 4.

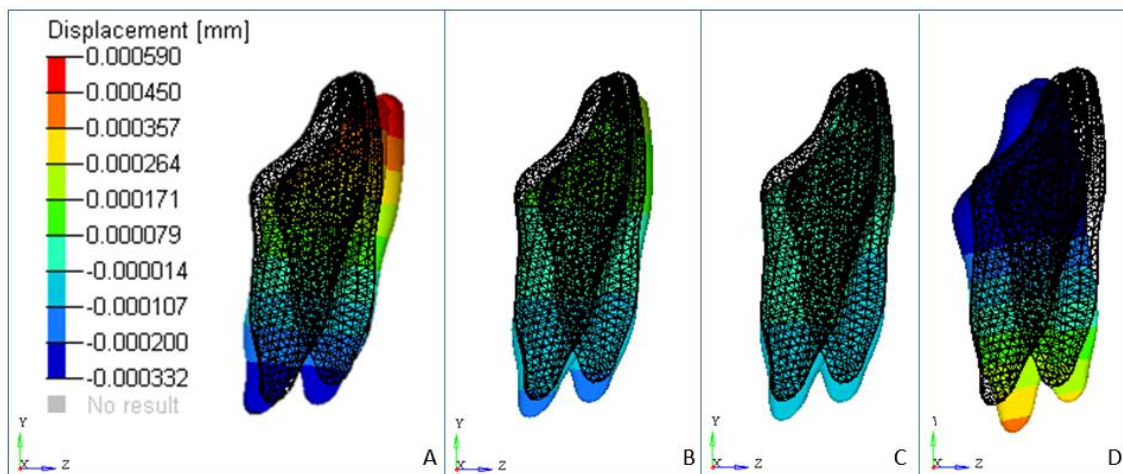


Fig 4. Initial displacement tendency of the mandibular incisors under 40 grams of intrusive force in a sagittal view. A FEM 1, B FEM 2, C FEM 3 and D FEM 4.

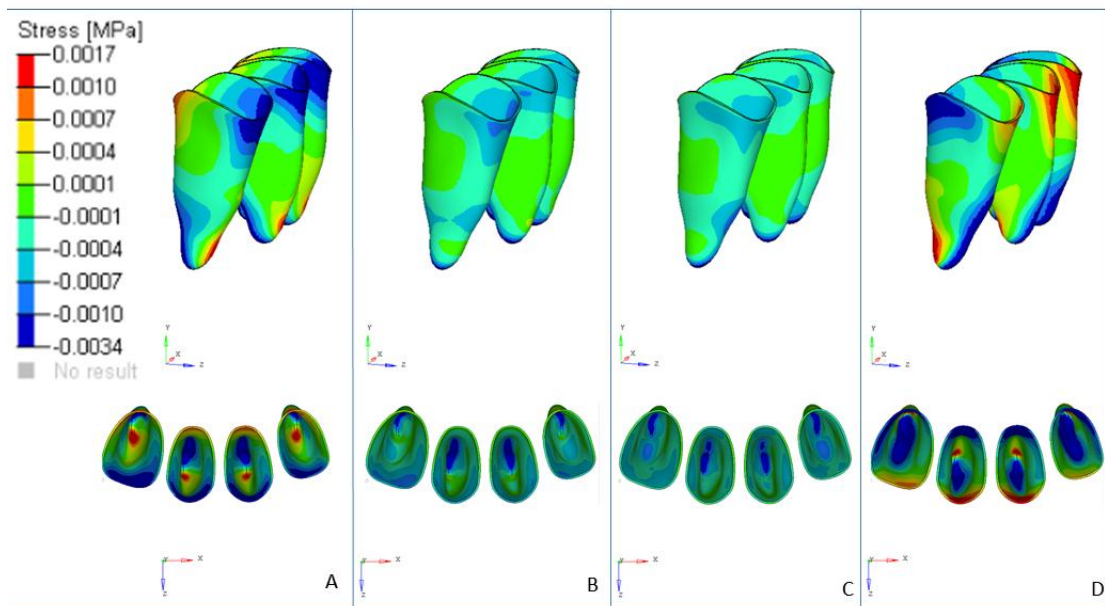


Fig 5. Von Mises stress of the mandibular incisors under 40 grams of intrusive force in a sagittal and occlusal views. **A**, FEM 1; **B**, FEM 2; **C**, FEM 3 and **D**, FEM 4.

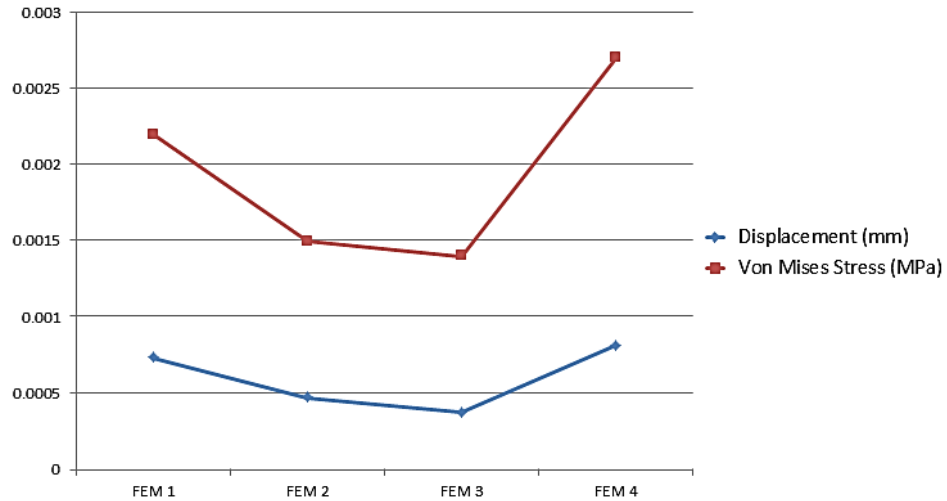


Fig 6. Maximum values for von Mises stress (red) and initial displacement (blue) for each variable tested (FEM 1; FEM 2; FEM 3 and FEM 4) on anterior teeth.

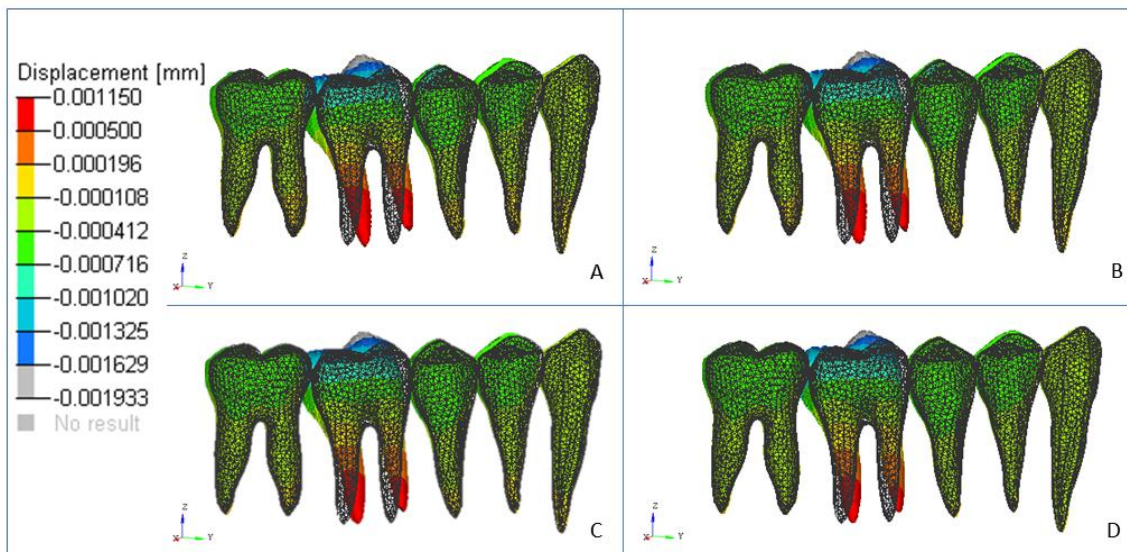


Fig 7. Initial displacement tendencies on the teeth that served as the posterior anchorage unit from a sagittal view. **A** FEM 1, **B** FEM 2, **C** FEM 3 and **D** FEM 4.

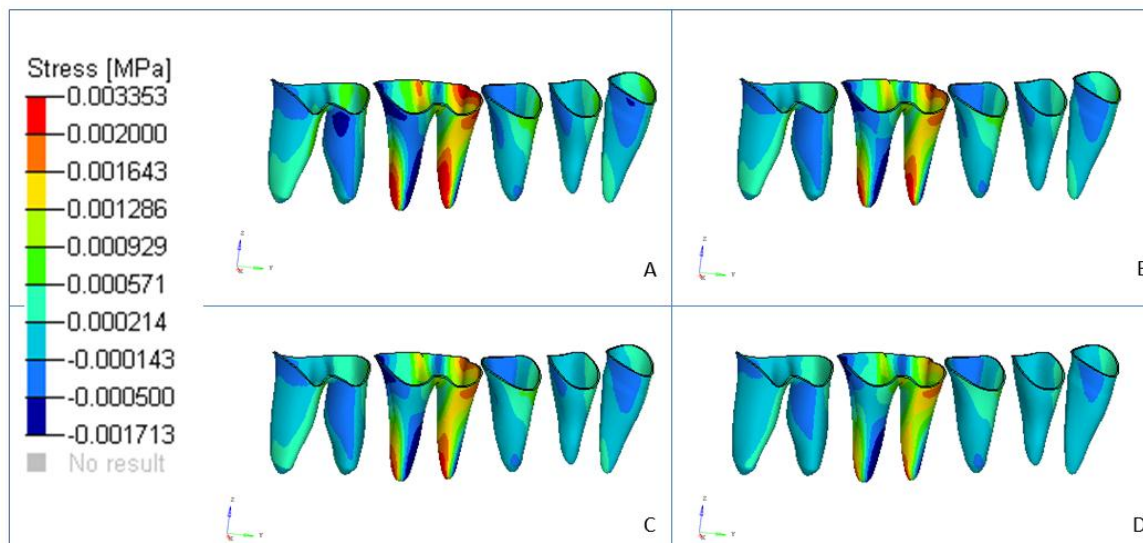


Fig 8. Von Mises stress on the teeth that served as the posterior anchorage unit from a sagittal view. **A** FEM 1, **B** FEM 2, **C** FEM 3 and **D** FEM 4.

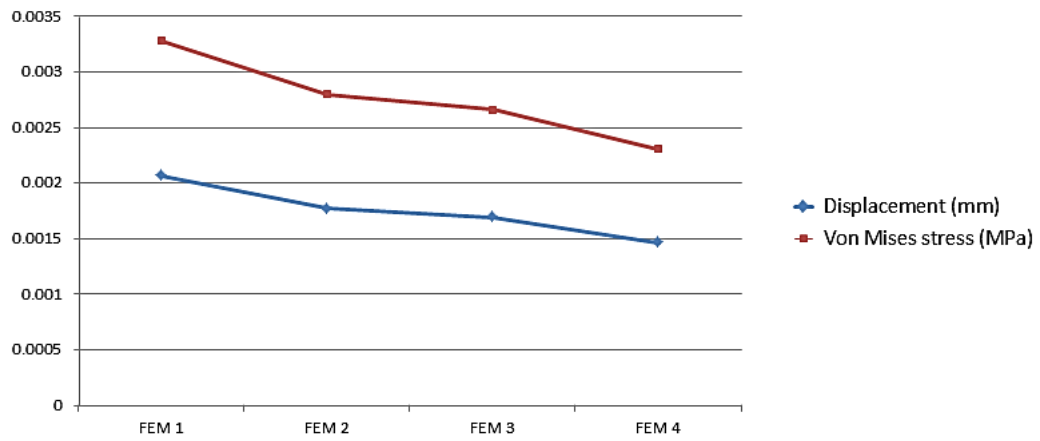


Fig 9. Maximum values for von Mises stress (red) and displacement (blue) for each one of the variables (FEM 1; FEM 2; FEM 3 and FEM 4) on anchorage teeth.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo utilizou o MEF para avaliar matematicamente a capacidade da mecânica segmentada de produzir intrusão pura dos incisivos inferiores, nivelando a curva de Spee. Os resultados das simulações mostraram que nesse modelo individual, com proporções coroa/raiz ideais, nível ósseo adequado e a particular inclinação axial dos incisivos inferiores, intrusão pura desses dentes foi obtida quando as forças intrusivas foram aplicadas no arco base de intrusão a 2 mm distal ao centro da coroa do canino. A alteração do ponto de aplicação de força para mesial a esse ponto ideal resultou em intrusão e vestibularização dos incisivos, enquanto as alterações para distal levaram ao movimento de retroinclinação, adicionais à intrusão. Observou-se também a tendência de movimento no segmento posterior de ancoragem, a qual ficou praticamente limitada ao primeiro molar. Porém, as tensões nesse dente foram diminuídas pela inclusão dos demais dentes posteriores no segmento de ancoragem e pela utilização de um fio de aço inoxidável de maior rigidez. A alteração do tamanho do cantilever também alterou o momento gerado no segmento de ancoragem, proporcional à menor distância entre a força e o binário gerados.

Até o presente momento, esse parece ser o primeiro estudo que prova matematicamente a possibilidade de intrusão pura dos incisivos, sem projeção desses dentes. As relevâncias clínicas desses achados incluem a prevenção da geração de interfências oclusais anteriores, a preservação da saúde periodontal na região antero-inferior, além da possibilidade de manutenção do overjet em pacientes Classe II: (1) cirúrgicos: maior benefício estético em casos de avanço mandibular e também (2) não cirúrgicos, possibilitando a retração completa dos dentes superiores.

Esse estudo faz parte de uma linha de pesquisas que visa simular os efeitos de diferentes alternativas mecânicas, otimizando a movimentação ortodôntica. A utilização dessa metodologia para avaliar os efeitos da técnica segmentada na intrusão de caninos inferiores e nivelamento da curva de Spee já foi conduzido, e está previsto a avaliação dos efeitos de outras mecânicas intrusivas, para maiores comparações.

Tendo em vista as limitações de um estudo laboratorial, o Programa de Mestrado Profissionalizante em Ortodontia da PUC Minas também já está investindo esforços na condução de pesquisas clínicas com a utilização do arco de três peças

em pacientes que necessitam de correção da mordida profunda. Parâmetros ortodônticos e periodontais serão comparados com pacientes tratados por técnicas mais popularmente usadas para nivelamento da curva de Spee, buscando assim a interação entre estudos teórico/laboratoriais e seu emprego clínico, seus potenciais benefícios aos ortodontistas e, principalmente, aos nossos pacientes.

REFERÊNCIAS

ASH, M.M.; NELSON, S.J. **Wheeler's dental anatomy, physiology and occlusion**. 8. ed. Missouri: Saunders, 2003.

BRITO, H.H.A.; LEITE, H.R.; MACHADO, A.W.. Sobremordida exagerada: diagnóstico e estratégias de tratamento. **R Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v.14, n.3, p. 128-157, Maio/Jun. 2009.

BURSTONE, C.R. Deep overbite correction by intrusion. **American Journal of Orthodontics**, v.72, n.1, p. 1-22, Jul. 1977.

DAKE, M.L.; SINCLAIR, P.M. A comparison of Ricketts and Tweed-type arch leveling techniques. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.95, n.1, p. 72-78, Jan. 1989.

FERREIRA, M.A. et al. Mechanical behaviour of a prototype orthodontic retraction spring: a numerical-experimental study. **European Journal of Orthodontics**, v. 35, n. 4, p. 414-20, Aug 2013.

GOMES DE OLIVEIRA, S. et al. Tooth displacement due to occlusal contacts: three dimensional finite element study. **Journal of Oral Rehabilitation**, v.33, n.12, p. 874-880, Dec. 2006.

HANS, M.G. et al. Cephalometric evaluation of two treatment strategies for deep bite correction. **The Angle Orthodontics**, v.64, n.4, p. 265-276, Aug. 1994.

KOJIMA, Y.; FUKUI, H. Numerical simulations of canine retraction with T-loop springs based on the updated moment-to-force ratio. **European Journal of Orthodontics**, v.34, n.1, p. 10-18, Feb. 2012.

LOTTI, R.S. et al. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v.11, n.2, p. 35-43, Mar./Abr. 2006.

NANDA, R. Correction of deep overbite in adults. **Dental Clinics of North America**, v.41, n.1, p. 67-87, Jan.1997.

NIELSEN, L. Vertical malocclusions: etiology, development, diagnosis and some aspects of treatment. **Angle Orthodontist**, v.61, n.4, p. 247-260, Dec. 1991.

OTTO, R.L.; ANHOLM, J.M.; ENGEL, G.A. A comparative analysis of intrusion of incisor teeth achieved in adults and children according to facial type. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.77, n.4, p. 437-461, Apr. 1980.

REIMANN, S. et al. Biomechanical finite-element investigation of the position of the centre of resistance of the upper incisors. **European Journal of Orthodontics**, v.29, n.3, p. 219-224, June 2007.

RICKETTS, R.M. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontics need, part II. **American Journal of Orthodontics**, v.70, n.4, p.359-397, Oct. 1976.

SAKIMA, M. T. et al. Avaliação Cefalométrica Comparativa de dois Métodos de Correção da Sobremordida. Estudo com Implantes Metálicos - Parte I. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v.5, n.4, p. 6-17, 2000.

SHROFF, B. et al. Segmented approach to simultaneous intrusion and space closure: biomechanics of the three-piece base arch appliance. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.107, n.2, p. 136-143, Feb. 1995.

SHROFF, B. et al. Simultaneous intrusion and retraction using three-piece base arch. **Angle Orthodontist**, v.67, n.6, p. 455-461, 1997.

TWEED, C.H. **Clinical orthodontic**, St Louis:The CV Mosby Company, 1966.

UPADHYAY, M.; NANDA, R. Diagnosis and treatment of deep overbite. In: Nanda R and Kapila. **Current Therapy in Orthodontics**. St Louis, Mosby, 186-200.

WEILAND, F.J.; BANTLEON, H.; DROSCHI, H. Evaluation of continuous arch and segmented leveling techniques in adult patients- a clinical study. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.110, n.6, p. 647-652, Dec. 1996.

WOODS, M.G. The mechanics of lower incisor intrusion: Experiments in nongrowing baboons. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.93, n.3, p. 186-195, Mar. 1988.

XIA, Z.; JIANG, F.; CHEN, J. Estimation of periodontal ligament's equivalent mechanical parameters for finite element modeling. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v.143, n.4, p. 486-491, Apr. 2013.

ZIMMER, B.; SEIFI-SHIRVANDEH, N. Changes in gingival recession related to orthodontic treatment of traumatic deep bites in adults. **Journal of Orofacial Orthopedics**, v.68, n.3, p. 232-244, May. 2007.