

ANÁLISE DAS TENSÕES ACTUANTES NAS ESTRUTURAS ÓSSEAS BUCAIS PROVOCADAS POR APARELHO COM PARAFUSO EXPANSOR

*Iracema Maria Utsch Braga**, *Daniel Neves Rocha[#]*, *Renato Natal Jorge⁺*, *Estevam Barbosa Las Casas[§]*, *Roberto Márcio de Andrade[£]*, *Pedro Martins[§]*, *Joaquim Gabriel Mendes^{**}*

* Universidade Federal de Minas Gerais; iracemauschl@gmail.com

Universidade Federal de Minas Gerais; danielnr@pop.com.br

+ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; rnatal@fe.up.pt

§ Universidade Federal de Minas Gerais; estevam.lascas@gmail.com

£ Universidade Federal de Minas Gerais; rma@ufmg.br

\$ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; palsml@fe.up.pt

** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; jgabriel@fe.up.pt

Palavras-chave: biomecânica, método dos elementos finitos, parafuso expansor, remodelação óssea

RESUMO: *Problemas de maloclusão decorrentes de alterações no desenvolvimento das arcadas são normalmente encontrados na população. Levam a disfunções na articulação têmporo-mandibular e alterações na mastigação, fala e respiração. Os pacientes necessitam ser tratados precocemente para que os tratamentos resultem em melhorias funcionais e de estética. Esses distúrbios de crescimento ocasionam uma estética desfavorável que pode afetar a auto-estima dos pacientes. Portadores de maloclusão, nomeadamente crianças e adolescentes, bem como adultos jovens, necessitam de técnicas de tratamento ortodônticas e ortopédicas que permitam a remodelação do contorno ósseo e uma melhor arquitetura das arcadas dentais. As técnicas usuais para correções desses distúrbios requerem a instalação de aparelhos expansores que impõem deslocamentos graduais pelo accionamento de um parafuso provocando a remodelação óssea conduzindo a uma nova posição de equilíbrio das arcadas. Neste trabalho foram realizadas medições in vivo das forças geradas por um desses aparelhos para validar simulações computacionais posteriores. Com essas simulações, pretende-se tornar possível uma aplicação de forças menos traumáticas, atenuando sintomas dolorosos como cefaleias, necrose parcial do palato e até a perda de elementos dentais. A primeira etapa do trabalho envolveu a quantificação de forças provocadas por esses dispositivos e a caracterização do tecido da mucosa da mandíbula com base em ensaios de tração. Posteriormente, utilizando o método de elementos finitos, foram realizadas análises preliminares para obtenção das tensões actuantes nas estruturas ósseas da mandíbula provocadas pelo aparelho expansor, sendo os resultados comparados com os medidos em laboratório e os disponíveis na literatura.*

1 INTRODUÇÃO

Problemas de maloclusão decorrentes da atresia (estreitamento) da maxila são normalmente encontrados na população. Levam a disfunções na articulação têmporo-mandibular e a alterações na mastigação, fala e respiração. Os pacientes necessitam ser tratados precocemente para que os resultados alcançados possibilitem melhorias da função e da estética. Pretende-se determinar a posição dental estável e um contorno ósseo remodelado, através de uma engrenagem oclusal funcional para a obtenção da

normalidade [1-2]. Esses distúrbios de crescimento ósseo ocasionam uma estética desfavorável que afecta a auto-estima dos pacientes. Portadores de maloclusão, nomeadamente crianças e adolescentes, bem como adultos jovens, necessitam de técnicas de tratamento ortodônticas e ortopédicas que permitam a abertura da sutura maxilar e a remodelação óssea do contorno do palato e uma melhor arquitetura das arcadas dentais. A técnica para correção desta patologia requer a instalação de aparelhos, através do

acionamento de um parafuso, provocando deslocamentos graduais que forçam a uma nova posição de equilíbrio das arcadas. É necessária a utilização de uma metodologia que relacione o deslocamento provocado pelo parafuso com a deformação na estrutura óssea do palato, quantificando os níveis de força alcançados. Neste trabalho foram realizadas medições *in vivo* das forças geradas por um desses aparelhos para validar as simulações computacionais posteriores. A Fig. 1 ilustra o expansor utilizado na experiência.

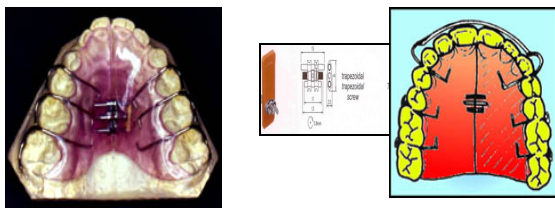


Fig. 1 – Aparelho ortopédico de expansão com parafuso [7].

A primeira etapa do trabalho envolveu a quantificação de forças provocadas por esses dispositivos e a caracterização do tecido da mucosa da mandíbula via ensaios de tracção. Posteriormente, utilizando o método de elementos finitos, foram realizadas análises preliminares para obtenção das tensões actuantes nas estruturas ósseas da mandíbula provocadas pelo aparelho expansor, sendo os resultados comparados com os medidos em laboratório e os disponíveis na literatura.

Através de simulações, utilizando o método de elementos finitos, pretende-se tornar possível uma aplicação de forças menos traumáticas, atenuando sintomas dolorosos como cefaleias, necrose parcial do palato e até a perda de elementos dentais. O mecanismo de movimento dental e demais estruturas bucais e as fases de remodelação óssea devem preservar a integridade biológica e funcional do sistema estomatognático [3].

2 OBJECTIVO

O objectivo deste trabalho foi a quantificação relativa à distribuição de tensões nas estruturas vivas envolvidas no movimento dental e a remodelação e crescimento ósseos durante o

tratamento ortodôntico/ortopédico utilizando parafusos expansores, para além da análise aos níveis de forças encontrados na mucosa e tecido ósseo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Três abordagens foram desenvolvidas. A primeira mediu os níveis de tensões nas estruturas ósseas da mandíbula vindas da utilização do parafuso de expansão durante sua abertura. O segundo estudo mediu as tensões obtidas da utilização de parafuso de expansão na maxila. No terceiro foi utilizado um procedimento experimental para determinar o módulo de elasticidade da mucosa, no caso, mucosa palatal de porco. Os resultados obtidos foram validados com os encontrados na literatura. Os dados coletados foram representados em curvas de deslocamento versus força e força versus tempo.

A mesma metodologia utilizada no primeiro procedimento foi realizada no segundo. Foi desenvolvido um modelo da mandíbula a partir de um exame tomográfico computadorizado de um paciente. Foram realizadas medições *in vivo* com o aparelho expansor na mandíbula durante a abertura dos parafusos na boca, com instrumentação precisa para a medição das forças atuantes durante todo o processo utilizando “*Flex Force System*”. As pressões foram medidas em picos. Os sinais de saída foram analisados e, após a eliminação de ruídos, transformados nos níveis de forças alcançados. Para obtenção desses resultados as diferenças de voltagens foram analisadas e foram construídas tabelas com as medições feitas com o paciente durante a abertura do parafuso de expansão em $\frac{1}{4}$ de volta e durante os movimentos de mastigação, deglutição e aperto da língua sobre as molas de reposicionamento dos incisivos, na região anterior e na região dos molares.

A Fig. 2 mostra as medições *in vivo* utilizando “*Flex Force System*”.



Fig. 2 Imagem mostrando parte da instalação experimental.

O segundo estudo foi realizado com a mesma sequência de abertura dos parafusos e medições do primeiro. Esse segundo experimento objetivou a determinação das forças atuantes na sutura inter-maxilar lado direito e esquerdo, medindo as tensões transmitidas aos tecidos vivos nos pontos de compressão e tração provocadas pelos acessórios dos aparelhos. Os valores destas forças são fundamentais para realização dos estudos computacionais, uma vez que o desenvolvimento do modelo necessita dos carregamentos semelhantes àqueles que actuam na mucosa e na estrutura óssea em condições normais. Para tal, recorre-se aos dados obtidos nos gráficos gerados pela medição de forças de tração dos parafusos na metodologia proposta, bem como dos acessórios, por exemplo, molas.

A Fig. 3 mostra a adaptação do sensor no aparelho e parte do circuito eletrônico utilizado no segundo experimento.

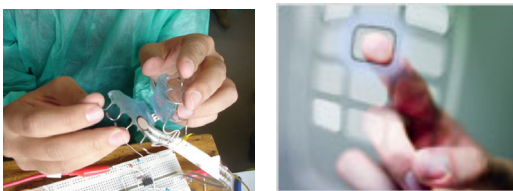


Fig. 3 – Sensor adaptado e parte do circuito montado para o 2º experimento

O objetivo do terceiro estudo foi comparar o módulo de elasticidade da mucosa obtido e o da literatura. De acordo com trabalho de Martins *et al.* [4], um equipamento foi concebido para ensaiar materiais biológicos no

Laboratório de Biomecânica do IDMEC-FEUP (Instituto de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto). Para o efeito, amostras de mucosas palatais de porcos foram traccionadas e foi utilizado um sistema de captura, análise e armazenamento de imagens acoplado a *software* especialmente desenvolvido para esse experimento pelos mesmos autores. Mucosas palatais removidas de amostras de porcos com diferentes idades foram testadas, conforme ilustra a Fig. 4.



Fig. 4 Tração da mucosa palatal de porco (vista frontal) desenvolvida por Martins *et al.* [4].

Os ossos e os demais tecidos biológicos são materiais que têm a capacidade de se auto-reparar e adaptar-se às mudanças de solicitação mecânica, alterando assim, suas propriedades mecânicas [5]. A determinação das propriedades biomecânicas dos ossos da maxilla, da mandíbula e da mucosa pode-se obter recorrendo aos princípios e métodos da mecânica e da física dos materiais.

Um exemplo do modelo geométrico processado pelo programa Solid Works é mostrado na Fig. 5, com o modelo do aparelho utilizado, mucosa e osso mandibular.

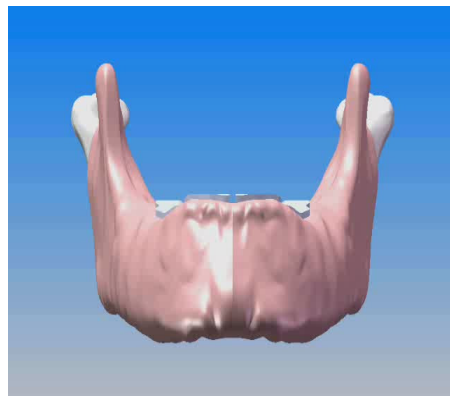


Fig. 5 – Modelo geométrico da mandíbula.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi desenvolvido um modelo geométrico de mandíbula à partir de exame tomográfico de paciente com as estruturas bucais simuladas contendo aparelho, fibromucosa e osso. As isocurvas para a tensão normal à superfície da mucosa são mostradas na Fig. 6.

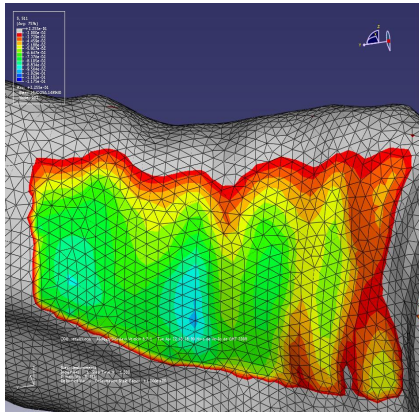


Fig. 6- Malha e isocurvas obtidas

De acordo com observações clínicas e dados da literatura, a região de maiores tensões convergem com a teoria do movimento dental decorrente da expansão ortopédica.

Na simulação apresentada na Fig.7 foi utilizado o dado de módulo de elasticidade da fibromucosa da literatura de 0,98 MPa e o aparelho travado na fibromucosa, sendo os nós coincidentes entre o aparelho e a mucosa. Posteriormente, o modelo foi trabalhado para obtenção dos valores da tensão média e força total na fibromucosa, aparelho e osso.

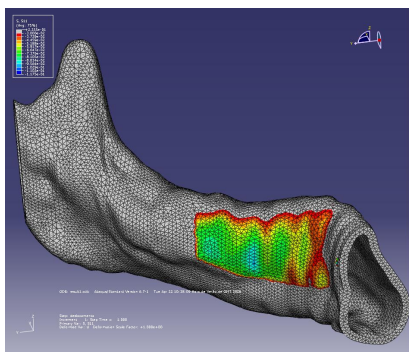


Fig. 7: Simulação da distribuição de tensões na mandíbula entre o aparelho e a mucosa.

A comparação entre os resultados do primeiro experimento pode ser feita com os resultados de Ricketts [6], que quantifica as forças de

intrusão, extrusão e inclinação em dente incisivo lateral inferior entre 20 a 45 gf, ou seja, entre 0,197 a 0,443 N. Já Proffit [1], estabelece como critério a aplicação de forças entre 10 a 60 gf, ou 0,1 a 0,6 N. No experimento realizado as forças aplicadas em incisivos inferiores ficaram entre 0,22 e 0,23N, o que possibilitou a validação da técnica experimental.

Em estudos sobre expansões maxilares, Silva Filho [7], menciona valores de força de tração na maxila para abertura de sutura entre 1,1 kgf a 4,6 kgf (10,7 N e 44,9 N respectivamente). Tanne e Matsubara [8], em trabalho sobre direção de forças de correção ortopédicas e respostas suturais no complexo nasomaxilar, mencionam a aplicação de força de 1,0 kgf (9,8 N) na região do primeiro molar para abertura de sutura. Os valores das medições obtidas no experimento ficaram entre 16 a 34 N, portanto na faixa dos resultados publicados na literatura. Relativamente à terceira experiência, as dimensões da sua geometria (obtidas por recorrência à análise das vistas de frente e de perfil) encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades geométricas das amostras de mucosa porco do terceiro experimento

Amostra	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1	2.30	4.92	8.17
2	2.50	5.49	9.0

Os resultados obtidos de uma das amostras testadas são mostrados na Fig.8.

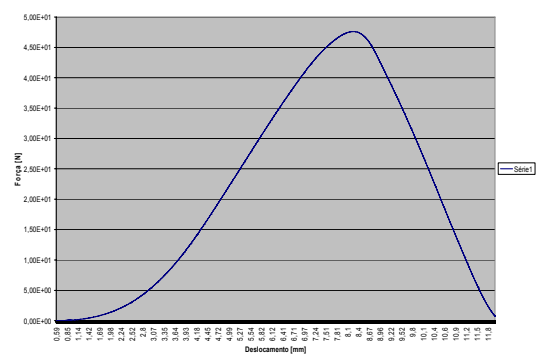


Fig 8- Curva força x deslocamento da amostra

Do experimento obtém-se uma força máxima de $F_{\max} = 47,6$ N, uma tensão máxima $\sigma_{\max} = 6,9$ MPa, e um módulo de elasticidade (região linear) de $E = 6,8$ MPa.

5 CONCLUSÕES

O modelo biomecânico utilizando o Método Elementos Finitos possibilitou a determinação das tensões atuantes nas estruturas bucais com o emprego de aparelhos expansores. A partir destes resultados, torna-se possível estimar uma correlação entre a teoria do movimento dental, remodelação e crescimento ósseo e um adequado controle de forças e tensões aplicados sobre estruturas vivas, objectivando a otimização de tratamentos, reduzindo dores e outros sintomas de injúrias nas estruturas bucais envolvidas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, Portugal, Proc°. 4.1.3/CAPES/CPLP

REFERÊNCIAS

- [1] Proffit, W.R., (1995), Ortodontia Contemporânea, 2nd Edition, Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 413-420.
- [2] Burst, E.W., McNamara, J.J. R., (1995), "Arch Dimensional Changes Concurrent with Expansion in Mixed Dentition Patient", Orthodontic treatment: Outcome and Effectiveness. Craniofacial Growth Series, Vol. 30, Center for Human Growth and Development, University of Michigan, Ann Harbor, EUA
- [3] Sandy, J.R., Fardale, R.W, Meikle, M.C., (1996), "Recent Advances in Understanding Mechanically Induced Bone Remodelling and Their Relevance to Orthodontic Theory and Practice", Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 103:(3):212-222.
- [4] Martins, PAL; Jorge, R.M.N. & Ferreira, A.J.M. (2006) "A comparison study of several material models for prediction of hyperelastic properties: Application to Silicone-Rubber and Soft Tissue" Rev. Strain, 42:135-147
- [5] Özkaya, N.; Nordin, M., (1999), Fundamentals of Biomechanics: Equilibrium, Motion, and Deformation. Springer Verlag, 2nd Ed., 393p
- [6] Ricketts, R.M., Bench R.W., Gugino C.F., Hilgers J.J., Shculhof R.J., (1991), Técnica bioprogressiva de Ricketts, 4ª Ed., Ed. Médica Panamericana S.A., Buenos Aires, Argentina, 96 p.
- [7] Silva Filho, O.G., Lara, T.S., Silva, H.C., Bertoz, F.A., (2007), Comportamento da Sutura Palatina em Crianças Submetidas à Expansão Rápida da Maxila: Avaliação Mediçã da Imagem de Tomografia Computadorizada, Rev. Dental Press, Ortod. Ortop. Facial, Vol. 12, No. 3, Maringá, Brasil, pp. 94-103.
- [8] Tanne K, Matsubara S, (1994), Association between the direction of orthopedic headgear force and sutural responses in the nasomaxillary complex, The Angle Orthodontist: Vol. 66, No. 2, pp. 125-130.