

ANÁLISE DAS TENSÕES EM UMA MANDÍBULA HUMANA ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Ricardo A. A. Aguiar¹, Hector Reynaldo M. Costa², Flavio Souto Maior Henrique³

¹⁻³ Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-/RJ, Avenida Maracanã 229, Maracanã, Rio de Janeiro, raaguiar@cefet-rj.br, hectorrey@ig.com.br, flaviosmhenrique@yahoo.com.br

Resumo- Este trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento mecânico da mandíbula humana, através de simulações numéricas, quando submetida aos esforços provenientes de diferentes processos de mastigação. Para a realização do estudo, foi necessário um entendimento prévio de diversos aspectos da mandíbula, como comportamento muscular, composição óssea, características dos dentes e condições de carregamento. Essas informações apesar de serem direcionadas a estudos médicos, são de grande importância para o desenvolvimento do modelo para a análise de tensões. O modelo virtual da mandíbula foi obtido através do processamento de imagens tomográficas e com a utilização do software de desenho 3D SolidWorks. A geometria utilizada nesse estudo não foi propositalmente simplificada, e sim modelada visando seu aspecto real. Na análise de tensões do modelo da mandíbula humana foi utilizado o pacote computacional ANSYS.

Palavras-chave: Bioengenharia, Análise de Tensões, Mandíbula humana, Elementos Finitos
Área do Conhecimento: Engenharia Biomédica

Introdução

Este trabalho busca realizar um estudo mecânico da mandíbula humana, quando submetida aos esforços de mastigação, com isso, será possível verificar o comportamento da mandíbula, com a determinação da distribuição das tensões e regiões críticas.

A principal aplicação desse projeto será para o estudo de próteses dentárias. Recentemente, diversos estudos mecânicos foram realizados em diversos modelos de implantes, porém a grande maioria dessas pesquisas realiza apenas um estudo do comportamento mecânico da prótese. Embora alguns estudos considerem também a mandíbula, foram utilizadas geometrias muito simplificadas para representá-la, o que afeta os resultados das análises.

Ao contrário dos demais estudos, a geometria utilizada nesse estudo não foi propositalmente simplificada, e sim modelada visando seu aspecto real e dentro do possível utilizando todos os seus detalhes, assim os resultados das análises serão mais precisos, garantindo maior confiabilidade dos resultados obtidos. Com isso, este estudo apresentará uma análise sobre o comportamento das tensões na mandíbula, e que poderá ser utilizado futuramente para a melhoria do projeto de próteses dentárias.

Materiais e Métodos

É importante ressaltar que tecidos orgânicos possuem uma estrutura microscopicamente complexa. Os ossos, por exemplo, são compostos

por diversos elementos com propriedades específicas, e que se distribuem heterogeneamente na estrutura. Isso ocorre principalmente na interface entre os ossos córtico e trabecular. Decidiu-se tratar os materiais que compõem a mandíbula com uma aproximação macroscópica, utilizando apenas três materiais, buscando simplificar a análise de tensões. Desta forma, considerou-se que todos os materiais acima são isotrópicos, homogêneos e linearmente elásticos.

A movimentação da mandíbula durante a mastigação é realizada principalmente pela contração dos músculos Masseter (indicados pelo número 2 na figura 1). São músculos de forma quadrangular que estão localizados na lateral da face, fixados aos ramos, mais precisamente nos pontos inferiores dos mesmos.

Como os demais ossos do corpo humano a mandíbula não é uma estrutura isotrópica, e não é composta por um único material homogêneo. De uma forma geral é possível classificar três estruturas ósseas de características diferentes

Ossos Corticais – Também denominado de osso compacto, consiste da estrutura externa do osso, com um elevado valor de dureza. Essa elevada resistência é proporcionada pela sua estrutura composta por finas lamelas de tecido ósseo.



Figura 1: Mandíbula – Localização dos músculos

Osso Trabecular - É a estrutura óssea interna da mandíbula. O osso trabecular é composto por fibras de tecido que formam alvéolos, formando uma estrutura esponjosa.

A figura 2 mostra uma mandíbula em corte, onde é possível visualizar o osso cortical (área externa mais clara) e o osso trabecular (região escura), bem como a fixação das raízes dos dentes.

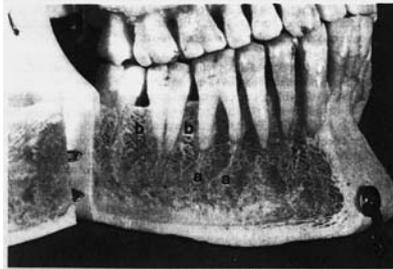


Figura 2 : Mandíbula vista em corte

Mucosa - A mucosa é um tecido de revestimento interno da cavidade bucal, com uma camada de aproximadamente 3 milímetros de espessura sobre a superfície superior do corpo da mandíbula.

Na tabela 1 são indicadas as propriedades mecânicas (Jian-Ping Geng, 2001) que foram utilizadas no modelo para análise de tensões.

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos materiais

Material	Módulo de elasticidade (MPa)	Coefficiente De Poisson
Osso cortical	$13,7 \times 10^3$	0,30
Osso trabecular	$1,37 \times 10^3$	0,30
Mucosa	1,0	0,37

Um modelo tridimensional elástico de elementos finitos foi desenvolvido para o estudo de tensões em uma mandíbula humana a partir de modelo gerado no SOLIDWORKS e posteriormente importado para o software de elementos finitos, ANSYS 7.1. A mandíbula será

construída a partir de elementos *SOLID92* (10 nós, com 3 graus de liberdade por nó). Selecionou-se esse elemento pois ele é indicado para geometrias importadas de softwares de CAD e CAE, e devido aos nós intermediários que melhor se adaptam a contornos complexos.

O modelo foi gerado dividindo-se a mandíbula original gerada a partir de tomografia (figura 3), em varias seções conservando seu contorno e desprezando o contorno dos dentes nelas existentes e depois reagrupando em um só componente, figura.4. O resultado foi comparado a uma mandíbula usada para estudos na faculdade de odontologia, encontrando medidas geométricas bem similares. A principal vantagem deste procedimento foi a criação de um modelo com o número de faces reduzidas, dando um aspecto mais real ao modelo original, tornando-a fácil de se manipular e não gerando muitos conflitos com uso de importação com o software de elementos finitos.

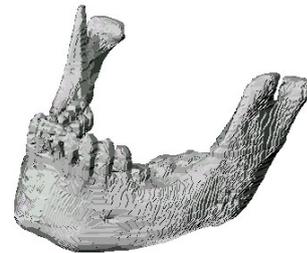


Figura 3. Modelo da mandíbula gerado a partir de tomografia

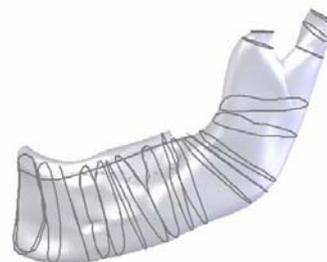


Figura 4. Divisão do modelo

Para a aplicação dos materiais da mandíbula, osso cortical, trabecular e mucosa, foi necessário separar a mandíbula em três partes distintas: uma estrutura externa de osso córtico e um preenchimento de osso trabecular e uma camada mais externa sendo a mucosa. A espessura do revestimento externo varia conforme a região da mandíbula:

1 milímetro de espessura na região labial, próximo da superfície superior do corpo da mandíbula;

3 milímetros de espessura em toda a região dos ramos;

2 milímetros de espessura nas demais regiões da mandíbula.

A estrutura interna, composta de osso trabecular, foi construída a partir da cavidade externa gerada na aplicação das espessuras acima, e é mostrada na figura 5. A mucosa bucal, por sua vez, foi gerada a partir do contorno da superfície superior do corpo da mandíbula, com uma espessura em torno de 3 milímetros

Na prática, a mucosa está também presente sobre outras superfícies da mandíbula (como nas superfícies internas), que não foram consideradas por não participarem diretamente do processo mastigativo.

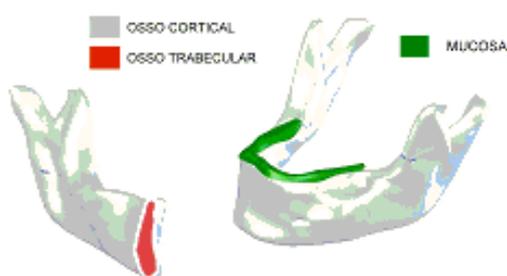


Figura 5. Estrutura da mandíbula

Para aplicação das condições de contorno no modelo, foi determinado uma área lateral nos ramos, onde atua o músculo masseter, e uma área onde atua o músculo temporal, pois esses dois músculos são os principais responsáveis pela a força imposta pela mandíbula no processo de mastigação e sua fixação com o crânio humano. Foi também criados áreas dividindo a parte mais externa, a mucosa em duas divisões, uma representando área onde atuam os dentes incisivos e outra representando áreas onde atuam os dentes molares, dividido em três volumes distintos, representando osso cortical e trabecular, e mais a mucosa, já com suas divisões de áreas, ilustrados na figura 6, possibilitando aplicar propriedades de materiais diferentes.

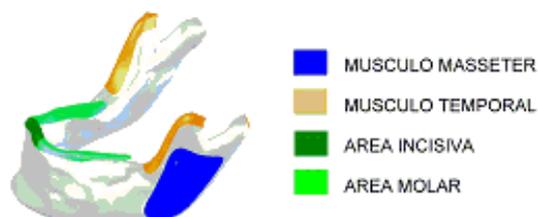


Figura 6. Divisões de área na mandíbula

De uma forma geral, podem ser definidos dois grupos de esforços atuantes na mandíbula. O primeiro consiste das forças aplicadas pelos músculos da face, principalmente pelo Masseter. O segundo grupo abrange as forças de reação proporcionadas pelo alimento ingerido. Além disso,

são consideradas as restrições ao movimento, localizadas na articulação da mandíbula.

Com isso, para um estudo inicial são realizadas duas diferentes propostas de estudo para cada uma das situações enumeradas acima. Inicialmente, consideram-se as forças aplicadas pelos músculos e as de reação provocadas pelo alimento. Em seguida, realiza-se o inverso, ou seja, o esforço gerado pelo alimento será a carga atuante, enquanto nos músculos serão definidas as reações. Desta forma, é possível comparar o comportamento das tensões em duas diferentes aproximações, considerando a aplicação do esforço de mastigação tanto no Masseter como nos dentes.

É importante ressaltar que, durante mastigações unilaterais, o indivíduo tem a tendência natural de aplicar um esforço maior sobre o lado da mandíbula onde se encontra o alimento. Portanto, é possível afirmar, neste caso, que um dos músculos Masseter será mais solicitado do que o outro. Será considerado que durante a mastigação unilateral o Masseter do lado não-solicitado aplica um esforço muscular equivalente a 2/3 da força desenvolvida por um dos músculos do lado onde se encontra o alimento

Os valores definidos para as reações buscam simular um processo mastigativo regular, com um alimento de consistência e elasticidade intermediárias. A força definida será de 35N (Jian-Ping Geng, 2001), como sendo a reação nos dentes incisivos.

A consideração dos efeitos combinados de tração, flexão e cisalhamento é feita através da Teoria da Máxima Energia de Distorção ou de von Mises, que estabelece uma relação entre o estado de tensão de um elemento estrutural submetido a um carregamento qualquer e os dados experimentais fornecidos a partir de ensaios padrões. Com isso, define-se a tensão equivalente de von Mises, σ , que pode ser comparada com a tensão de escoamento avaliada a partir do ensaio de tração simples

Resultados e discussão

Este estudo procurou simular a mastigação unilateral, portanto considerou-se a restrição na região do músculo temporal em todos os sentidos, e na área destinada ao dentes incisivos, somente de um lado. É então aplicada pressão nos músculos masseter sendo a aplicação de 2/3 de pressão no lado não restrito dos incisivos (condições de contorno e malha ilustradas na figura.7). Como não se conhece a pressão aplicada pelos músculos, porém sabe-se a reação na área incisiva, o valor vertical de pressão adotado foi de 35 N. Portanto para este estudo foi aplicado uma pressão de valor p (sendo 2/3 de p no lado solicitado pelos incisivos), gerando

resultados primeiramente e depois ajustado o valor para que a reação nos incisivos seja de 35 N. Para este estudo a máxima tensão equivalente de Von Mises foi de 29 MPa, conforme figura 8.

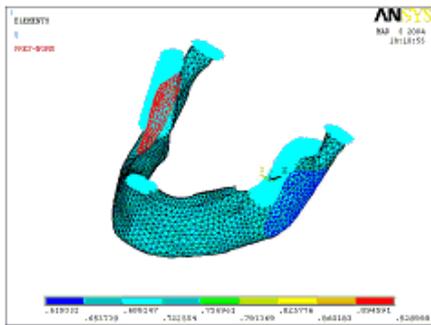


Figura 7. Condições de contorno e malha

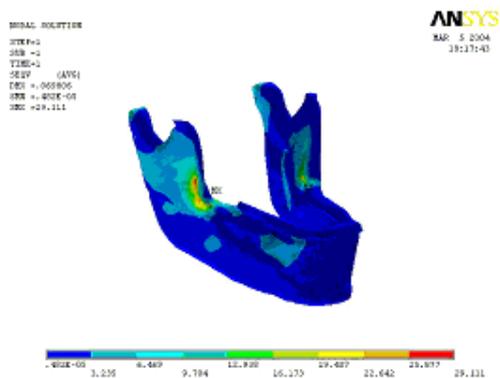


Figura 8. Tensões equivalentes de Von Mises

Em um segundo estudo é considerado um esforço aplicado nos dentes incisivos (pressão na região dos dentes) e restrição total na região dos músculos temporal e masseter. A pressão aplicada tem como reação valor vertical de 70 N (as duas regiões incisivas). As condições de contorno estão ilustradas na figura 9. Nesse caso a maior tensão equivalente de Von Mises encontrada foi de 5,684 MPa, conforme mostra figura 10.

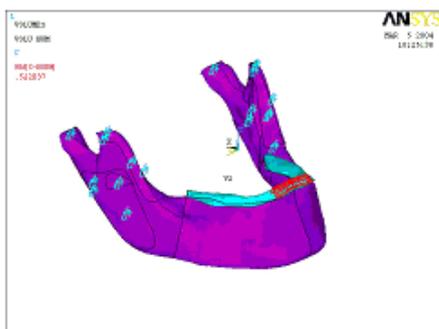
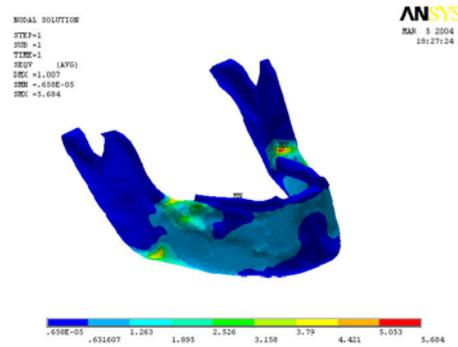


Figura 9. Condições de contorno

Figura 10. Tensões equivalente de Von Mises



Conclusão

A maior dificuldade encontrada no presente trabalho foi com a criação e manipulação de um modelo que atendesse as características do estudo, e que fosse compatível no que diz respeito a sua importação para o software de elementos finitos. Foram encontrados muitos problemas tanto na geração do modelo quanto no equipamento utilizado. Uma vez superados esses problemas, foi possível levantar os níveis de tensões na mandíbula humana no processo de mastigação, servindo como base para futuros estudos, principalmente na área de implantes dentários. Este trabalho é um exemplo da importância da integração da Engenharia com a Odontologia.

Referências

- A. GAGGL, G. SCHULTES, "Biomechanical properties in titanium implants with integrated - maintenance free shock absorbing elements", Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University - FISCHER, G.A. Drug resistance in clinical oncology and hematology introduction. Hematol. Oncol. Clin. North Am. V.9, n.2, p.11-14, 1995.
- H HALDUN,, "Finite element stress analysis of the effect of short implant usage in place of cantilever extensions in mandibular posterior edentulism", k. akça &Department os Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Hacettepe University, Ankara, Turkey
- JIAN-PING GENG, "Application of finite element analysis in implant dentistry" - A review of the literature Faculty of Dentistry and Faculty of Engineering, National University of Singapore, Singapore.,2001.
- ZHANG, Futang et al., 2002, "Mass Properties of The Human Mandible", Journal of Biomechanics Volume 35 p.975-978;2002.