

COMPORTAMENTO DINÂMICO DE UMA MANDÍBULA HUMANA ATRAVÉS DA CURVA DE BENNET

Leonardo de Souza Silva¹, Ricardo Alexandre Amar de Aguiar², Hector Reynaldo Meneses Costa³

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ / COLAN, Av. Maracanã, 229 – CEP:20271-110 – Rio de Janeiro - RJ, leodesouzasilva@yahoo.com.br, raaguiar@cefet-rj.br, hectorey@cefet-rj.com

Resumo- Este estudo tem como objetivo analisar o movimento da mandíbula durante um ciclo de mastigação, através de dados experimentais utilizando Tomografia Computadorizada, modelamentos matemáticos, conhecimentos na área médica e de engenharia. Para a realização deste projeto, foi necessário um estudo prévio de diversos aspectos da mandíbula, como disposição dos músculos e sua articulação. Nesse estudo dinâmico foi modelada uma curva fechada, que é obtida por Tomografia Computadorizada, para representar o deslocamento da mandíbula em um ponto específico durante um ciclo de mastigação. Tendo em vista que a mandíbula possui movimentos de rotação e uma geometria complexa é feito uso de programa computacional de análise dinâmica ADAMS. Os dados obtidos neste projeto têm como objetivo auxiliar no diagnóstico de traumas na articulação temporomandibular, na região do côndilo e em trabalhos de fisioterapia.

Palavras-chave: Mandíbula, mastigação, dinâmica, temporo-mandibular
Área do Conhecimento: Engenharia Biomédica

Introdução

O estudo do movimento da mandíbula humana tem influenciado os cirurgiões maxilofaciais e dentistas em procedimentos que envolvem correções da mandíbula e dos dentes. A mandíbula é um dos ossos mais expostos aos traumas da face. Os traumas de mandíbula algumas vezes não são detectados, principalmente quando a fratura ocorre na região do côndilo. A incidência de um grande número de traumas nesta articulação é devida não apenas por seu uso regular durante a mastigação, mas também devido às forças intensas aplicadas pelos músculos e pela grande faixa de movimentos que ela é capaz de produzir (6 graus de liberdade). A análise dos movimentos da mandíbula na educação em odontologia, no ajuste ortodôntico pode ser extremamente útil, melhorando o diagnóstico e o tratamento.

Durante a abertura da boca, movimentos laterais e para frente são controlados pela forma dos ossos e pela ação dos músculos e ligamentos, enquanto o ponto final do movimento de fechamento da mandíbula é controlado pela oclusão dos dentes. Os dentes, as estruturas que os circundam e a ATM contém sensores nervosos, que ajustam o modo como a mandíbula se move dosando a força nos músculos. Durante a mastigação e o ciclo da deglutição a mandíbula possui um movimento anterior e posterior, uma rotação no plano horizontal, um desvio lateral da mandíbula e uma rotação relação aos centros da cabeça da mandíbula (rotação no plano vertical).

Materiais e Métodos

No estudo dinâmico da mandíbula obtém-se através de uma análise da aceleração resultante as acelerações dos principais músculo e o deslocamento da ATM (Articulação temporo-mandibular) durante o processo de mastigação.

Os Estudos mais comuns nessa área abordam o comportamento da mandíbula durante a mastigação de forma simplificada, ou seja, certos aspectos como: movimentos laterais, trajetória, desacelerações, músculos auxiliares, etc não são levados em consideração, pois até então não apresentavam importância segundo as principais referências bibliográficas. Porém neste artigo busca-se fazer um estudo mais refinado levando-se em consideração aspectos que são normalmente desprezados.

A metodologia aplicada foi basicamente criar uma estudo numérico através da utilização de softwares específicos e também um estudo analítico através de equações e modelamentos matemáticos.

Músculos

Os músculos que realizam o movimento de mastigação estão sempre em pares. A intensidade da força que um músculo realiza esta relacionada a sua massa e aos estímulos nervosos. Com relação a massa tem-se que os principais músculos do processo de mastigação são o

Masseter e o Temporal. A tabela 1 indica os músculos e seus respectivos movimentos.

Tabela 1- Músculos e movimento

Movimentos	Músculo
Elevação (fecham a boca)	Temporal, masseter, pterigóideo medial
Abaixamento (abrem a boca)	Pterigóideo lateral, músculos supra e infra-hióides
Protração (protraem o movimento)	Pterigóideolateral, masseter e pterigóideo medial
Retração (retraem o movimento)	Temporal, fibras posteriores e oblíquas quase horizontais e masseter
Movimentos laterais (moagem e mastigação)	Temporal do mesmo lado, pterigóideos do lado oposto e masseter

Os estímulos nervosos a intensidade da força estimulada dependerão da resistência que o alimento oferece, ou seja, graças a estímulos nervosos gerado pela polpa do dente é graduada essa intensidade. Assim quando algo de dureza elevada é mordido a polpa é sensibilizada e a intensidade se ajusta ao que o dente pode suportar. Isso só é válido em caso de dentes saudáveis. Essa graduação da força através de estímulos nervosos proveniente da polpa do dente é perdida quando se utiliza próteses dentárias, esse caso é um dos problemas para o uso de próteses dentárias, e em muitos casos, com o passar do tempo o paciente que possui a prótese volta a possuir essa sensibilidade.

Articulação Temporo-Mandibular (ATM)

A ATM (figura 1) consiste em uma articulação do tipo sinovial ou seja uma articulação que apresenta um líquido interno, estas articulações sinoviais possuem três outras características básicas: cartilagem articular, cápsula articular e cavidade articular..

Essa articulação possui livre deslizamento de uma superfície óssea contra outra e isto é impossível quando entre elas interpõe-se um meio de ligação, seja fibroso ou cartilagíneo. Para que haja o grau desejável de movimento, em muitas articulações, o elemento que se interpõe às peças que se articulam é um líquido denominado sinóvia, ou líquido sinovial,. Por esse motivo o nome dessa articulação.

A primeira observação interessante esta nos ligamentos e cápsula articular que têm por finalidade manter a união entre os ossos e impedem o movimento em planos indesejáveis e limitam a amplitude dos movimentos considerados normais. As figuras 2 e 3 indicam respectivamente os ligamentos na parte interna e externa da mandíbula. Esses ligamentos serão úteis para limitar os movimentos do modelo numérico submetido a simulação no ADAMS.

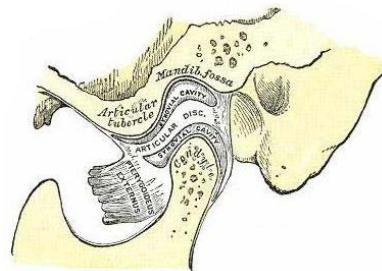


Figura 1- ATML

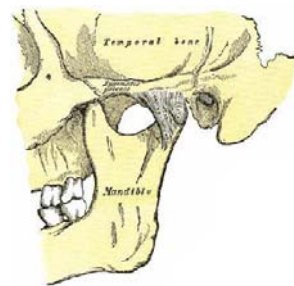


Figura 2- Ligamentos na parte externa

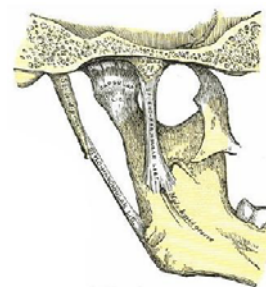


Figura 3- Ligamentos na parte interna

O movimento na articulação depende, essencialmente, da forma das superfícies que entram em contato e dos meios de união que podem limitá-lo. Na dependência destes fatores a ATM realiza movimentos em torno de três eixos. Este é o critério adotado para classificá-la funcionalmente. Nesse caso classifica-se a ATM como uma articulação tri-axial pois realiza movimentos em torno de três eixos. Assim, as articulações que só permitem a flexão e extensão, como a do cotovelo, são mono-axiais; aquelas que realizam extensão, flexão, adução e abdução, como a radio-cárpica (articulação do punho), são bi-axiais; finalmente, as que além de flexão,

extensão, abdução e adução, permitem também a rotação, são ditas tri-axiais, cujos exemplos típicos são as articulações do ombro e do quadril.

Movimentos

Em se tratando de movimento, todas as grandezas estudadas serão vetoriais ou paramétricas. Para um estudo analítico foi necessária a criação de certos parâmetros de referência para o estudo do movimento. Inicialmente é feito uma análise dinâmica para com isso obter as acelerações que geram os esforços externos da mandíbula.

Os esforços externos correspondentes são dados a partir das seguintes equações:

$$\begin{cases} \sum \vec{F}_M + \sum \vec{R}_A = m\vec{A} \\ \sum \vec{M}_O = \frac{dh_O}{dt} \end{cases} \quad (1),(2)$$

Na equação (1) a força \vec{F}_M é referente aos músculos e \vec{R}_A as reações que o alimento gera durante a mastigação. Como se trata de um comportamento dinâmico a soma não será nula, será igual ao produto da massa da mandíbula pela aceleração da mesma durante a mastigação. Assim como também para a rotação onde $\sum \vec{M}_O$ corresponde a soma dos momentos em relação a um ponto qualquer O das forças aplicadas no corpo rígido e h_O a quantidade de movimento angular da mandíbula em relação a O .

Para obter o valor da aceleração foi necessário equacionar a trajetória de um ponto da mandíbula.

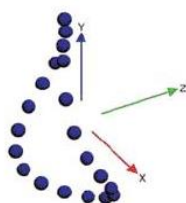


Figura 4 - Trajetória da mandíbula um ponto específico

Sabendo que cada indivíduo mastiga de uma forma, dependendo do alimento, das dimensões da mandíbula e da musculatura, a trajetória e a velocidade da mandíbula serão diferentes. Na figura 4 exemplifica como é a trajetória em um ciclo de mastigação. O mapeamento da curva é feita por pontos em intervalo de tempo constante, Bennet (1989).

Para o estudo foi escolhido um ponto entre os incisivos centrais, e o mesmo foi escolhido como

referencial inercial no momento em que a mandíbula está fechada.

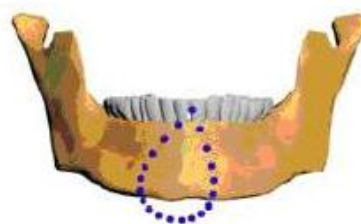


Figura 5 - Vista frontal do deslocamento de um ponto da mandíbula durante a mastigação

Resultados e discussão

A trajetória tem fundamental importância para o estudo dinâmico. Por meio desses pontos são modelados uma equação contínua vetorial ou paramétrica que passa pelos pontos n em azul na figura 5.

O valor de "n" é referente aos pontos azuis da trajetória, por exemplo 20 pontos, tem-se que $n \in \{1, 2, 3, 4, \dots, 20\}$.

Para encontrar os valores do deslocamento da mandíbula no espaço em x, y, z em função de n foi impresso em escala 1:1 a figura 5 e com o uso de uma régua paralela e um esquadro foi possível definir os valores de x, y e z para cada ponto "n".

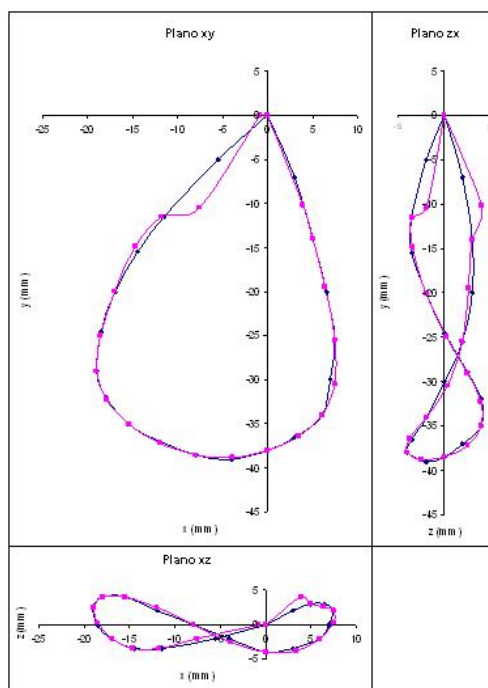


Figura 6 - Trajetória obtida por meio da interpolação polinomial.

Na figura 6 observa-se a curva de Bennet obtida por meio da interpolação polinomial a partir de 20 pontos da trajetória conhecidos. O objetivo de encontrar uma equação que descrevesse a trajetória na mandíbula foi para converter um dado

discreto para um contínuo. Pois assim será possível fazer um estudo analítico

Nesse estudo procura-se modelar a trajetória da mandíbula em um ciclo de mastigação com o objetivo de analisar o movimento. Através do modelo da figura 6 foi possível encontrar as seguintes equações paramétricas para o movimento e função dos pontos "n".

$$x(n) = -22,14 + 42,58n - 29,34n^2 + 11,03n^3$$

$$- 2,44n^4 + 0,34n^5 - 0,03n^6$$

$$y(n) = 55,81 - 107,79n + 75,08n^2 - 28,77n^3$$

$$+ 6,52n^4 - 0,93n^5 + 0,09n^6 - 0,01n^7$$

$$z(n) = -36,57 + 73,16n - 52,53n^2 + 19,74n^3$$

$$- 4,35n^4 + 0,59n^5 - 0,05n^6$$

Para esse trabalho torna-se interessante a possibilidade de mapear a trajetória de cada indivíduo, como objetivo de avaliar a mastigação do mesmo com base em trajetórias normais. Ou seja, seguindo um parâmetro é possível avaliar se o modo com o qual o indivíduo mastiga vai comprometer sua articulação (ATM).

Conclusão

Os trabalhos desenvolvidos até então procuraram introduzir os tópicos mais relevantes para o estudo do movimento de uma mandíbula humana segundo a trajetória de uma curva fechada paramétrica.

A curva de Bennet se mostrou satisfatória para o estudo dinâmico da mandíbula durante um ciclo de mastigação.

O estudo demonstra que é possível mesclar os conhecimentos nas áreas da Engenharia e da Medicina, mesmo se tratando de áreas de atuação bastante distintas. Somente com a interação das duas é possível analisar determinados problemas.

Parcialmente tem-se os parâmetros necessários para um estudo numérico do movimento da mandíbula.

Referências

- KEEVE, S. Girod, and B. Girod,1996\ Computer-aided craniofacial surgery," in Computer Assisted Radiology (CAR) 96, H. L. et.al., ed., pp. 757{763, Elsevier, (Amsterdam), June .
- J.H. Koolstra, 1995. Biomechanical Analysis of Jaw-Closing Movements.
- J.H. Koolstra, 2002. Dynamics of the masticatory System.

- NAEIJE, M., 2003. Measurement of condylar motion; a plea for the use of the condylar kinematic center. J ORAL REHABIL 30,225-230.

- OSBORN, J.W,1996. *Features of Human Mandible Design Which Maximize The Bite Force.* Journal of Biomechanics Volume 29 Número 5 p.589-595;

- PALLA S, Krebs M, Gallo LM,1997. Jaw tracking and temporomandibular joint animation. In: McNeill C, editor. *Science and Practice of Occlusion.* Chicago, IL: Quintessence; pp. 36578.

- PECK CC, Sooch AS, Hannam AG, 2002. Forces resisting jaw displacement in relaxed humans: a predominantly viscous phenomenon. *J Oral Rehabil* ;29: 15160.