

Desenvolvimento de um Sistema para Aquisição e Visualização do Movimento Mandibular

Isa C. T. Santos, João Manuel R. S. Tavares, Joaquim Mendes

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal
e-mail: ictsantos@netc.pt, {tavares, jgabriel}@fe.up.pt

Manuel P. F. Paulo

Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto
Rua Dr. Manuel Pereira da Silva, 4200-392 Porto, Portugal

RESUMO

Em medicina dentária, o estudo do movimento mandibular revela-se de grande importância no desenvolvimento de trabalhos de reabilitação oral pois permite determinar se existem ou não patologias ao nível da articulação temporo-mandibular, possibilita a realização do diagnóstico e a elaboração de um plano de tratamento adequado.

Conhecer a posição espacial da mandíbula em relação ao maxilar, a forma dos elementos da articulação temporo-mandibular e a análise temporal dos seus movimentos permite eliminar as causas patológicas que perturbam o normal funcionamento e, por outro lado, elaborar trabalhos de reabilitação oral equilibrados com a ajuda de articuladores.

Este artigo relata o desenvolvimento de um sistema protótipo para a aquisição do movimento mandibular que inclui uma aplicação computacional em *LabView* para visualizar e analisar o movimento adquirido.

MOVIMENTO MANDIBULAR

A articulação temporo-mandibular faz a junção entre o côndilo da mandíbula e a eminência articular do osso temporal e a fossa, sendo constituída por ossos, ligamentos, cartilagem e membrana sinovial. Trata-se de um exemplo de uma diartrose (articulação móvel) cujos movimentos são uma combinação de movimentos de charneira, de deslizamento e de translação.

Os músculos masseter, temporal, pterigóideos e digástricos permitem que a mandíbula seja descida ou elevada, protruída ou retruída, e rode em torno de um eixo horizontal. Deve-se referir que apesar de ambas as articulações agirem juntas, o movimento de cada uma pode deferir ao longo de um movimento real.

Usando equipamento específico, como pantógrafos ou cinesiografos, é possível registar os movimentos da mandíbula em relação a um plano de referência (plano sagital ou médio, horizontal e frontal). Traçando a trajetória descrita pelo ponto incisivo, localizado nas margens incisais dos dois incisivos centrais inferiores, no movimento máximo de lateralidade e de protrusão, no movimento retrusivo e no movimento máximo de abertura, é possível definir os movimentos bordejantes ou de "envelope", [Major, 1987].

A Figura 1, ilustra os movimentos bordejantes mandibulares registados no plano sagital. Se a mandíbula for mantida para trás e para cima, pode ser traçado um movimento de bisagra para os incisivos inferiores, de *CR* para *B*. Quando se tenta abrir a mandíbula em trajecto retrusivo, abaixo de *B*, o eixo de rotação passa de *C* para *D* e os côndilos movem-se para baixo e para a frente e o ponto incisivo move-se para *E*. O fecho com a mandíbula numa posição para a frente, ou protrusiva, segue o trajecto de *E* para *F*. Quando os dentes posteriores entram em contacto, o fecho protrusivo interrompe-se em *F*. O trajecto de *F* para *CO*, com os dentes ainda em contacto, é determinado pela relação oclusal entre os dentes de ambos os arcos. A posição de *CO*, isto é, fecho completo, é determinada pela intercuspidação máxima dos dentes.

O trajecto entre as posições *CR* e *CO*, ou o movimento cêntrica em deslize, é realizado quando os dentes entram em contacto em relação central (*CR*) e as maxilas deslizam conjuntamente em oclusão central (*CO*). O deslizamento é frequentemente uma combinação de movimentos para a frente e para os lados.

A partir da posição de repouso, *PR*, quando se abre a mandíbula, o ponto incisivo segue o trajecto de *R* para *E*. Com o toque entre dentes superiores e inferiores, em ligeiro contacto inicial a partir de *R*, é atingida uma posição próxima de *CO*; entretanto, o contacto inicial depende da postura devido à “memória muscular” dos contactos oclusais e ao equilíbrio muscular.

A Figura 2 ilustra os movimentos mandibulares no plano horizontal. Os movimentos bordejantes para o ponto incisivo podem ser esboçados por um traçado de arco gótico, ou traçado de *Gyst*, que pode ser registado em vários graus de abertura. Com a mandíbula na posição de bisagra estacionária ou relação central, o ponto *CR* corresponde à relação central. À medida que a mandíbula se move em movimentos de lateralidade retrusiva, o ponto incisivo regista a linha de *CR* para *RL*. A partir de *RL*, a mandíbula pode ser movimentada para a frente e medialmente ao ponto *P*. Um traçado semelhante pode ser realizado considerando o outro lado, de *CR* para *LL*.

O deslocamento lateral da mandíbula, chamado movimento de *Bennett*, é medido pela distância com que se move o côndilo do lado de trabalho, de *C* para *W*. O côndilo oposto move-se para baixo, para a frente e para dentro, e realiza um ângulo (*BG*) - Este ângulo (*BG*) é chamado ângulo de *Bennet*. - com o plano mediano, quando projectado perpendicularmente sobre o plano horizontal.

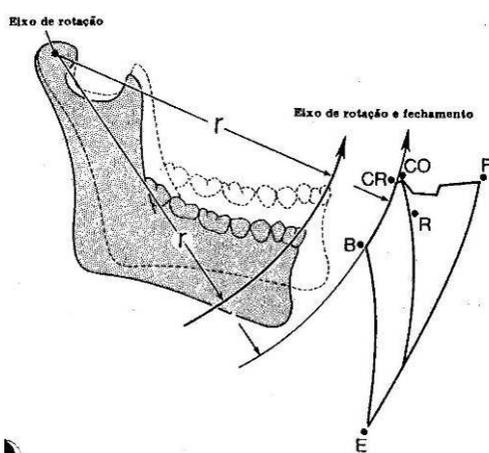


Figura 1 - Representação esquemática do movimento mandibular bordejante no plano sagital (retirado de [Major, 1987]).

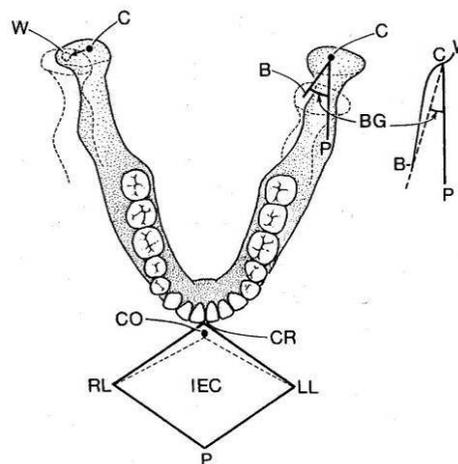


Figura 2 - Movimento lateral direito da mandíbula, com representação esquemática do movimento no ponto incisivo no plano horizontal (*CR*, *LL*, *P*, *RL*) e na cabeça da mandíbula (*W*, *C*, *B*, *P*) (retirado de [Major, 1987]).

Os modelos de movimentos mandibulares registrados no plano frontal variam grandemente com o tipo de relações de contacto oclusal. Com oclusões excelentes e com movimentos mastigatórios desinibidos, o ciclo mastigatório tem uma forma razoavelmente uniforme do tipo oval larga. No ciclo mastigatório, o retorno ou a abertura a partir da oclusão central é muito irregular e pode mesmo inverter-se próximo ao trajecto do golpe de fecho. Mais comum em pessoas com liberdade irrestrita de movimentos de contacto oclusal é um trajecto suave não cruzado de movimentos, que retorna aproximadamente à mesma posição fechada em todos os golpes mastigadores. O contacto oclusal durante a mastigação ocorre quase invariavelmente em oclusão central, mas na maioria dos ciclos existem contactos oclusais para parte do movimento de fecho e mesmo, ocasionalmente, no movimento de abertura.

O movimento máximo de abertura é de 50 a 60 mm, dependendo da idade e do tamanho do indivíduo, entretanto um limite de 40 mm pode ser normal. O movimento de lateralidade máxima, na ausência de problemas na articulação e sem dor, é cerca de 10 a 12 mm.

IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO DA TRAJECTÓRIA

As “disfunções temporomandibulares” (*DTM*) são um grupo de problemas relacionados com o sistema mastigatório que afectam a articulação temporomandibular, [Crusoe-Rebello, 2003]. Os problemas nas articulações temporomandibulares podem-se manifestar através de dores intensas nas articulações, mialgias nos músculos mastigadores, ruídos articulares e anomalias na cinemática mandibular, [Laplanche et al, 2002]. A oclusão também pode ser afectada sendo responsável pelo desgaste excessivo dos dentes ou mesmo pela perda destes, [Weingärtner, 1997]. Ramfjord, [Ramfjord et al, 1984], acrescenta que as disfunções podem prejudicar (contínua ou intermitente) a audição e provocar sensação de falta de ar ou obstrução nos ouvidos (nos momentos da refeição), sensação de assobio, vertigem e dor nebulosa dentro e em redor dos ouvidos. Já Oliveira, [Oliveira et al, 2003], afirma que dores cervicais também podem ser resultado destas disfunções.

Actualmente, o tratamento das disfunções passa pela sedação dos sintomas dolorosos, pelo aumento da mobilidade mandibular com o objectivo de melhorar as funções mastigatórias, pela optimização das condições funcionais (posição dos côndilos, funcionamento neuromuscular, etc.) afim de favorecer a adaptação fisiológica dos tecidos e, finalmente, pela optimização eventual das funções oclusais com o objectivo de melhorar o compromisso entre o custo da terapia e os benefícios desta.

Segundo Laplanche, [Laplanche et al, 2002], a análise do movimento mandibular é um elemento importante no diagnóstico do funcionamento do aparelho mastigador porque as limitações na abertura da boca, os desvios e as deflexões nas trajectórias mandibulares funcionais são muitas vezes sinais clínicos que testemunham uma cinemática condiliana perturbada. Esta ideia é reforçada por Lewis, [Lewis et al, 2000], e por Petrie, [Petrie et al, 2003].

Actualmente, existem vários dispositivos que permitem fazer a aquisição e a avaliação do movimento mandibular e condiliano obtendo os valores necessários para montar e ajustar correctamente os moldes dos maxilares nos articuladores, para que estes reproduzam o mais fielmente possível os movimentos mandibulares dos pacientes em estudo. Tanto os sistemas comerciais correntes como os dispositivos desenvolvidos à medida, têm uma grande precisão mas são considerados demasiado caros e de difícil utilização comum, pelo que geralmente o seu uso se restringe a casos clínicos especiais e aos hospitais universitários, [Kinuta et al, 2003], [Petrie et al, 2003].

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA PROTOTIPO

Com este trabalho procurou-se preencher a lacuna existente no mercado referida na secção anterior, desenvolvendo-se um sistema protótipo para a aquisição e análise do movimento mandibular fácil de operar, económico e cómodo para o paciente. O processo de desenvolvimento dividiu-se em três fases: a escolha da tecnologia, a concepção de uma estrutura e o desenvolvimento de uma interface para a visualização e a análise dos resultados.

Na escolha da tecnologia teve-se em consideração a complexidade do sistema e se ia ou não interferir no normal movimento da mandíbula. Os sistemas de ultra-sons baseados no “tempo de voo” foram excluídos por precisarem de suportes para os emissores e os receptores: apesar de leves, como um dos suportes tem de ser solidário com a mandíbula, torna o movimento um pouco desconfortável e pode de algum modo interferir no normal movimento mandibular. Os *LVDT's - linear variable differential transducer* também foram excluídos por necessitarem de contacto permanente. Pensaram-se em alguns sistemas mecânicos, mas todos eles se mostraram demasiado complexos de operar. O recurso a sistemas ópticos inicialmente pareceu

uma boa solução, por apenas usar algumas marcas para seguir o movimento, mas acabou por ser excluído por ser de difícil calibração e complexo de operar.

Finalmente, optou-se por utilizar sensores electromagnéticos baseados na variação de um campo magnético para registar o movimento mandibular. Assim, três sensores AA002-02 da NVE Corporation (USA), Figura 3, foram montados perpendicularmente para que cada um registasse numa direcção a variação do campo magnético provocada por um pequeno íman colado nas gengivas junto aos incisivos inferiores. Os sensores foram montados num suporte que não contacta com a mandíbula, e como o íman é de dimensões reduzidas o paciente pode movimentar a boca livremente.



Figura 3 - Sensores AA002-02 da NVE Sorporation (USA).

Na concepção do suporte dos sensores, ponderou-se entre desenvolver um novo arco facial ou adaptar um já existente. A segunda opção pareceu ser mais vantajosa porque representava um menor investimento por parte dos dentistas que de um modo geral possuem arcos faciais.

O arco facial escolhido para ser adaptado foi o Arcus da Kavo (Alemanha, <http://www.kavo.com/>), Figura 4. Este arco é um modelo recente que tem a vantagem de ser compatível com vários articuladores; a transferência das relações para o articulador é fácil e como utiliza auriculares garante a precisão dos pontos anatómicos de referência.



Figura 4 - Arco Facial Arcus da Kavo (Alemanha).

Recorrendo ao *software* de modelação 3D paramétrico *Autodesk Inventor Professional* realizou-se a modelação dos vários componentes do referido arco facial, Figura 5.

Como os auriculares originais foram concebidos para recolher relações estáticas, foi necessário fazer o *redesign* destas peças para tornar a aquisição do movimento mandibular mais cómoda. As formas orgânicas foram escolhidas por proporcionarem à partida uma sensação de conforto. Mantendo as dimensões da peça original e o tipo de encaixe, a parte terminal foi substituída por uma esfera para deslizar mais facilmente no interior do ouvido, Figura 6.

Também a forma definida para o suporte dos sensores é orgânica para estar de acordo com a forma dos novos auriculares. Para evitar a translação e a rotação do suporte desenvolveu-se um sistema de encaixe adequado, Figura 7.

O acesso aos sensores é feito através de uma tampa deslizante na caixa do suporte. Os três pequenos sensores de dimensões 5.99 x 4.90 x 1.55 mm foram montados em duas placas de circuito impresso para serem mais facilmente manuseados; as placas são encaixadas por pressão no suporte, Figura 7.

Foi incluído um LED na parte superior do suporte para que tanto o paciente como o médico sejam informados de que um processo de medição está a decorrer, obtendo-se o conjunto final apresentado na Figura 8.



Figura 5 - Modelação do arco facial *Arcus* com o software *Autodesk Inventor Professional* (duas vistas).

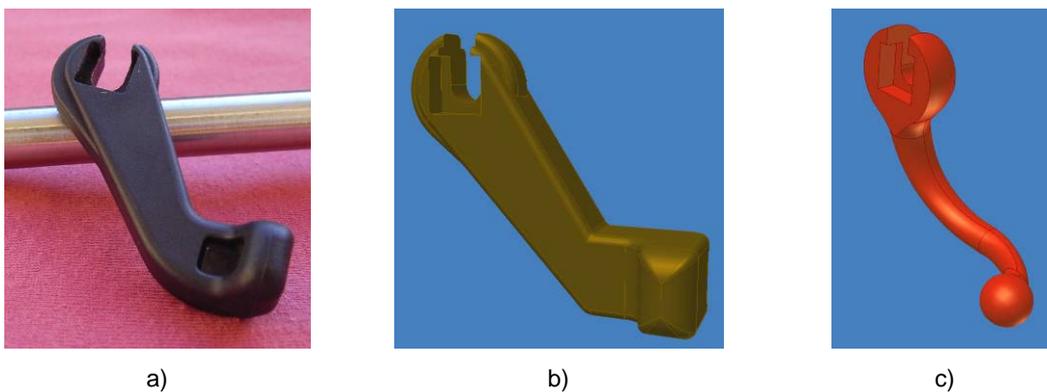


Figura 6 - a) Auricular original; b) Modelação obtida para o auricular original; c) *Redesign* obtido.

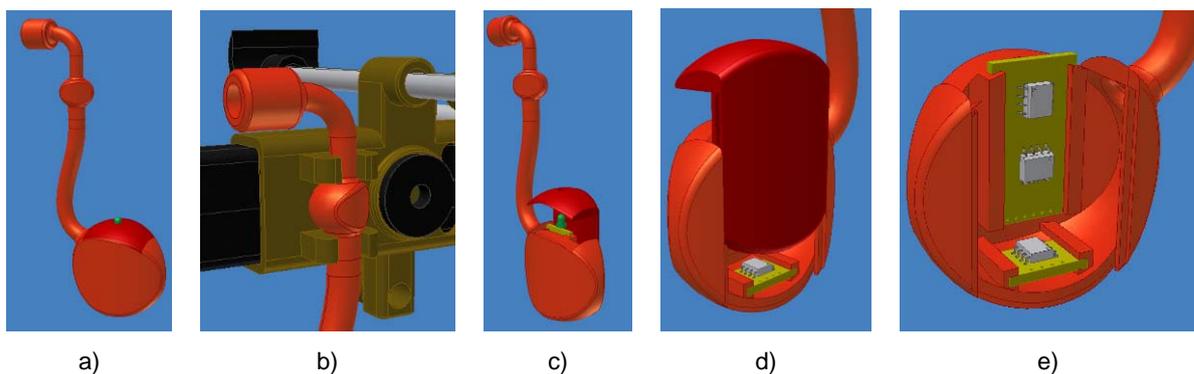


Figura 7 - a) Suporte dos sensores; b) Pormenor do encaixe; c) Tampa; d) Pormenor da tampa; e) Pormenor da montagem dos sensores.

Os protótipos concebidos neste trabalho foram posteriormente materializados pelo processo de estereolitografia, Figura 9. O material seleccionado para a produção do suporte e dos auriculares foi o polietileno. A escolha deste material deveu-se ao facto de ser leve, rígido, resiliente, reciclável, ao seu isolamento eléctrico e por ser económico.

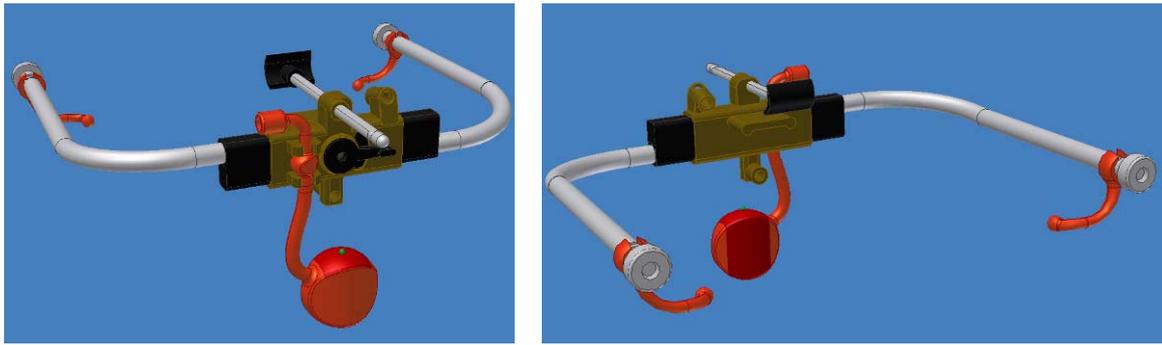


Figura 8 - Modelação do arco facial e das peças projectadas neste trabalho (duas vistas).

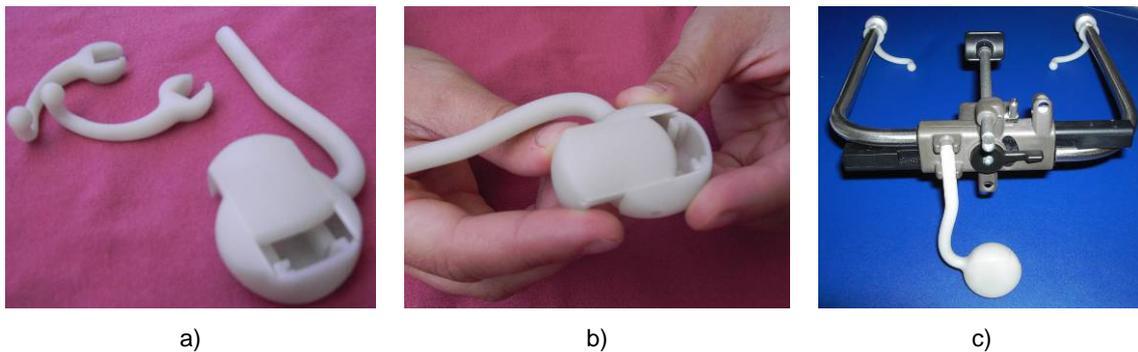


Figura 9 - a) Peças materializadas por estereolitografia; b) Pormenor da abertura da caixa do suporte; c) Arco facial com as peças concebidas montadas.

O sinal obtido pelos sensores é visualizado num monitor de um computador pessoal recorrendo a uma interface em desenvolvimento usando a ferramenta *Labview* da *National Instruments* (<http://www.ni.com/labview/>).

Na interface em desenvolvimento, Figura 10, no canto superior direito existem 4 botões: 1) “novo” para realizar uma nova medição, 2) “abrir” para consultar um registo anterior, 3) “guardar” e 4) “imprimir”. O utilizador poderá preencher os campos relativos ao nome do paciente, ao sexo e à idade. Caso o paciente seja desdentado, os dentes em falta poderão ser indicados. O sexo, a idade e a dentição são factores importantes para determinar se o movimento adquirido é ou não normal.

Depois de preencher os dados relativos ao paciente, o médico poderá iniciar a medição clicando no botão “iniciar”. Ao clicar no botão “parar”, termina a medição e visualizam-se os resultados obtidos: à direita as trajectórias e à esquerda os valores correspondentes às várias posições registadas.

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Depois de identificar as várias componentes do movimento mandibular, optou-se por utilizar neste trabalho sensores electromagnéticos para adquirir a trajectória 3D do ponto incisivo.

Como estrutura base do sistema de aquisição, foi escolhido um arco facial usual em medicina dentária, e adaptaram-se duas das suas peças para o tornar mais confortável na sua nova função. Também foi concebido um suporte para os sensores considerados.

Para visualizar e analisar os dados adquiridos foi desenvolvida uma interface recorrendo à ferramenta *LabView* da *National Instruments*.

Nos próximos tempos, a interface em desenvolvimento deverá ser experimentada e eventualmente melhorada. Por exemplo, seria interessante calcular todos os parâmetros necessários para montar os moldes dos dentes num dado articulador.

Para aumentar a comodidade do paciente o sistema poderá ainda evoluir no sentido de transmitir o sinal dos sensores sem recorrer a fios, por exemplo recorrendo a tecnologia *wireless*.



Figura 10 - Interface em desenvolvimento usando a ferramenta *Labview*.

REFERÊNCIAS

- [Crusoe-Rebello, 2003] - Crusoe-Rebello, Iêda Margarida Rocha, Campos, Paulo Sérgio Flores, Rubira, Izabel Regina Fischer et al. Evaluation of the relation between the horizontal condylar angle and the internal derangement of the TMJ - a magnetic resonance imaging study. *Pesqui. Odontol. Bras.*, Apr./June 2003, vol.17, no.2, p.176-182.
- [Kinuta et al, 2003] - Kinuta, Soichiro, Kazumichi Wakabayashi, Taiji Sohmura, Tetsuya Kojima, Mitsumasa Nagao, Takashi Nakamura, Junzo Takahashi, Simple System to Record Jaw Movements by a Home Digital Camcorder, *The International Journal of Prosthodontics*, 2003.
- [Laplanche et al, 2002] - Laplanche, O., P. Pedeutour, D. Serre, A. Giraudeau, *Condylographie Électronique*, Les Cahiers de Prothèse, 2002.
- [Lewis et al, 2000] - Lewis, Rodney P., Peter H. Buschang, Gaylord S. Throckmorton, Sex differences in mandibular movements during opening and closing, *American Association of Orthodontists*, 2000.
- [Major, 19872] - Major, M. A. Jr.: *Anatomia, Fisiologia e Oclusão Dental*, Editora e Livraria Santos, 1987.
- [Oliveira et al, 2003] - Oliveira, Anamaria Siriani de, Bermudez, Camila Colombo, Souza, Rodrigo Alves, Pain impact on life of patients with temporomandibular disorder, *J. Appl. Oral Sci.*, April/June 2003, vol.11, no.2, p.138-143.
- [Petrie et al, 2003] - Petrie, Cynthia S., Gerald D. Woolsey, Karen Williams, Comparison of Recordings Obtained With Computerized Axiography and Mechanical Pantography at 2 Time Intervals, *Journal of Prosthodontics*, 2003.
- [Ramfjord et al, 1984] - Ramfjord, S. P., *Oclusão*, 3ª edição, Interamericana, Rio de Janeiro, 1984.
- [Weingärtner, 1997] - Weingärtner, T., R Dillman. *Simulation of jaw movements for the musculoskeletal diagnoses*, 1997, Germany.