

TMJsim - Simulador de Auxílio ao Diagnóstico, Planejamento Pré-cirúrgico e Acompanhamento de Tratamento Bucomaxilofacial.

Marta B. Villamil, Eduardo Garcia, Robson Machado da Rosa

Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação Aplicada

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Av. Unisinos, 950 - B. Cristo Rei / CEP 93.022-000 - São Leopoldo (RS)

mbvillamil@unisinos.br, EduardoGarcia@terra.com.br, robsongdev@gmail.com

Abstract.

The use of jaw motion simulators in dentistry education, orthodontic adjustment of occlusions, or in the preoperative planning of craniofacial surgery can be extremely useful, improving diagnosis and postoperative treatment. This article presents the TMJsim, a simulator of mandible motion constructed from real data coming from Computed Tomography and Magnetic Resonance images. The virtual joints model which composes the simulator receives points captured from the lower incisal point motion. The contribution of each muscle in temporomandibular movement is approached from the implementation of Hill actuators model and the concept of curves of insertion.

Resumo.

O uso de simuladores de movimento da mandíbula na educação em odontologia, no ajuste ortodôntico de oclusões, ou no planejamento pré-operatório de cirurgias craniofaciais pode ser extremamente útil, melhorando o diagnóstico e o tratamento pós-operatório. Este artigo apresenta o TMJsim, um simulador de movimento da mandíbula construído a partir de dados reais advindos de imagens de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética. Os parâmetros que alimentam o modelo de juntas virtuais, que compõe o simulador, são pontos capturados a partir do ponto incisal inferior mandibular. A contribuição de cada músculo temporomandibular no movimento é abordada a partir da implementação do modelo de atuadores de Hill e do conceito de curvas de inserção aliado a restrição de movimento pelos tendões.

1. Introdução

Os simuladores médicos tem auxiliado no ensino de procedimentos terapêuticos e de diagnóstico assim como na representação de conceitos médicos e no processo de decisão de profissionais de saúde. Os simuladores têm sido desenvolvidos para procedimentos básicos desde a extração de sangue até cirurgia laparoscópica e de trauma. Também são importantes no auxílio à prototipagem de novos utensílios da engenharia biomédica. São aplicados a pesquisa e desenvolvimento de ferramentas úteis a novas terapias, tratamentos e diagnóstico precoce em medicina. O maior mérito do uso de simuladores está na diminuição da desnecessária alta frequência com que os pacientes sofrem com as adversidades clínicas advindas de mãos de médicos inexperientes.

Na maior parte dos simuladores, os componentes visuais do procedimento são reproduzidos por técnicas de computação gráfica, enquanto os componentes baseados em toque são reproduzidos por dispositivos de *haptic feedback* combinados com simulações físicas em resposta às ações do usuário. Simulações médicas desta natureza muitas vezes usam dados reais de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética do paciente para aumentar o realismo.

Na modelagem de figuras humanas, o maior desafio tem sido a representação de suas características com o maior grau de realismo possível. As principais investigações nesta área situam-se na modelagem do movimento humano, deformações de músculos e pele, *rendering* realista da pele, olhos e cabelo e na modelagem das emoções e do comportamento humano. Através destas investigações se chega a simulações para posterior análise de muitas situações envolvendo humanos inclusive as análises médicas. Estas simulações permitem que se derive informações dos modelos com o objetivo de prever ou reproduzir comportamentos que seriam observados em situações reais.

Dentre os sistemas de articulações presentes no corpo humano, o sistema mastigatório propicia muitos aspectos para investigação, pois os eventos físicos que ocorrem neste sistema, durante a função e eventual disfunção, são de difícil conceituação. A simulação dos elementos estruturais e funcionais que trabalham em conjunto é especialmente útil quando relaciona causa e efeito. As contrações de vários músculos de diferentes formas e tamanhos guiados por duas juntas torna, ainda, a cinemática e física do sistema não totalmente conhecido (LEMOINE et al., 2005).

Este trabalho apresenta o TMJsim - Simulador de auxílio ao diagnóstico, planejamento pré-cirúrgico e acompanhamento de tratamento bucomaxilofacial. Ele consiste de um sistema, para utilização na odontologia e medicina, que permite um avanço no diagnóstico e no planejamento de tratamentos e procedimentos cirúrgicos, nos casos que envolvem a Articulação Temporomandibular, a ATM. Esta é uma articulação dupla bilateral e é através dela que a mandíbula, único osso móvel do crânio, conecta-se à base craniana.

Há um grande número de patologias relacionadas à ATM e isso se deve não só ao seu uso regular, mas também às grandes forças aplicadas pelos músculos e à grande variedade de movimentos que cada ATM é capaz de produzir. Dor de cabeça, dor na ATM durante a movimentação mandibular, sensação de travamento da mandíbula, estalos durante a mastigação, limitação de abertura da boca, dor em certas regiões da face e no ouvido e dificuldade na oclusão (fechamento) dos dentes, são alguns dos sintomas desta disfunção. Algumas das causas destas disfunções são os acidentes que envolvem a mandíbula, cabeça e pescoço ou doenças, como artrite.

Para diagnosticar as disfunções, uma das ferramentas essenciais são os Articuladores. Os Articuladores disponíveis atualmente no mercado, são instrumentos mecânicos que representam a articulação temporomandibular, a maxila e a mandíbula, na qual pode-se adaptar modelos que representam as duas arcadas. A utilização de um Articulador ocorre em casos de diagnóstico, pois ele busca simular os movimentos da ATM, a partir de ajustes feitos com base em certos dados do paciente. O Articulador auxilia na fase de tratamento pois permite analisar o impacto de determinados procedimentos.

A construção do TMJsim engloba pesquisas relacionadas as áreas de computação gráfica, realidade virtual e medicina e tende a tornar-se um novo paradigma como ferramenta pois ele simulará e reproduzirá os movimentos da ATM de forma realística, permitindo uma análise completa do caso em tratamento.

Ele é um software que vem a substituir e incrementar de maneira inovadora o trabalho que é realizado pelos articuladores mecânicos. Inicialmente o TMJsim reconstrói a ATM virtualmente, gerando um modelo 3d, a partir de exames como Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética. Uma vez obtida uma cópia virtual da ATM, o software simula os movimentos reais, com grande flexibilidade e facilidade na parametrização. Com ele será possível analisar em profundidade um determinado caso numa fase de diagnóstico ou antever o resultado de procedimentos, inclusive cirúrgicos.

2. Contexto

Recentemente, trabalhos como o de Stavness et al. (2008) estão sendo desenvolvidos já com o intuito de simular os efeitos de reconstruções mandibulares. Tratamentos de pacientes com câncer muitas vezes requerem a retirada de parte da estrutura óssea e muscular, alterando a anatomia facial e as funções dos músculos. Estas alterações usualmente requerem uma reconstrução estética e funcional da mandíbula. Um sistema de simulação pré-operatório pode ajudar os especialistas a planejar os procedimentos, potencializando a sua análise decorrente da experiência e intuição. O trabalho de Stavness et al. (2008) utiliza uma plataforma de simulação, inicialmente descrita por Stavness et al. (2006) e chamada de Artisynth, baseia-se na simulação de corpos rígidos, com algoritmos de detecção de colisão e atuadores ponto-a-ponto de tipos variáveis, como atuadores musculares dinâmicos não-lineares do tipo Hill (HILL, 1938). O controle da simulação é feito através de uma curva de nível de ativação versus linha de tempo, para cada músculo. Outra opção de controle neste caso é a otimização para controle automático, onde é utilizada modelagem reversa para geração dos padrões de ativação dos músculos, de forma que a mandíbula siga uma trajetória padronizada. O trabalho de Sifakis et al. (2005) foi utilizado como base para o desenvolvimento do controle automático.

3. Materiais e Métodos

O uso de simuladores de movimento da mandíbula na educação em odontologia, no ajuste ortodôntico de oclusões, ou no planejamento pré-operatório de cirurgias craniofaciais pode ser extremamente útil, melhorando o diagnóstico e o tratamento pós-operatório.

A relação entre as ações musculares e o movimento mandibular é provavelmente o aspecto menos compreendido da biomecânica mandibular, apesar de seu significado importante. A mandíbula é um objeto que se move de acordo com leis dinâmicas. Possui atributos como massa, centro de massa e propriedades inerciais que não são geralmente descritos.

A oclusão é definida como qualquer contato entre as superfícies de incisão e/ou mastigação dos dentes superiores e inferiores (ZWEMER, 1993). Contudo a oclusão tem sido mais bem definida como a relação dinâmica e morfológica e funcional entre todos os componentes do sistema mastigatório (McNEILL, 2000). Não existe ainda um

estudo matemático que analise a frequência e força das colisões e possibilite a modelagem deste complexo sistema.

Um modelo completo do sistema mastigatório engloba, ainda, algumas investigações no que concerne a forças musculares, deformação de tecidos, formas de tratar colisões entre dentes e alimentos e uso de dispositivos de retorno de força para ajuste oclusal que são descritos mais detalhadamente a seguir.

3.1 Reconstrução do Modelo 3D

Para reproduzir e visualizar o movimento mandibular, é necessário que a mandíbula seja um objeto separado do resto da cabeça. O modelo 3D foi planejado com três malhas de triângulos: uma para a mandíbula, outra para o maxilar superior e outra para o resto do crânio (Figura 1) (Villamil 2005). Para a obtenção destas malhas, primeiro houve um processo de segmentação manual dos ossos do crânio e dentes e depois uma técnica de extração de malhas foi aplicada. Estes procedimentos foram aplicados usando o programa (SLICER, 2005), um software livre e de código aberto para visualização, registro, segmentação e quantificação de imagens médicas.

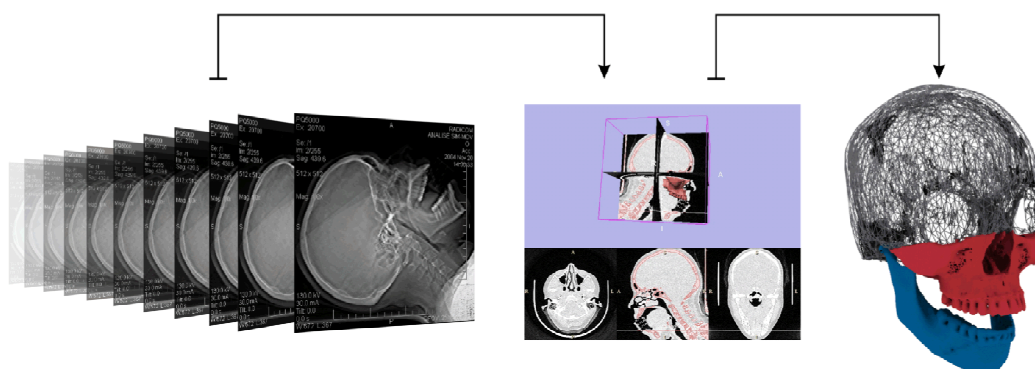


Figura 1. A partir das imagens de tomografia, as regiões dos ossos e dentes foram segmentadas para a obtenção das malhas de triângulos.

3.2 Posicionamento do de Centro de Rotação Inicial

O método conhecido como centro de rotação instantâneo (LEPERA, 1958), é frequentemente usado na análise mecânica de juntas para encontrar o centro de rotação quando o movimento é descrito apenas por rotações. O movimento da mandíbula é descrito como rotacional apenas nos primeiros milímetros do movimento de abertura da boca. Por isto, apenas o primeiro centro de rotação é calculado usando este método.

Após, a origem e direção dos próximos eixos de rotação são obtidos a partir do caminho descrito pelo ponto incisal e do tratamento da colisão entre a mandíbula e maxila.

Os centros de rotação iniciais (CRIs), para as ATMs esquerda e direita, são obtidos através dos cálculos que usam pontos anatômicos marcados em imagens de ressonância magnética. A área da mandíbula é segmentada em imagens da mandíbula em diferentes posições. Na primeira, com a boca totalmente fechada, e a outra, com a

boca parcialmente aberta com um centímetro entre os dentes incisivos superiores e inferiores (Figura 2).

Os três pontos anatômicos foram localizados no topo dos côndilos (i) e no centro entre os dentes incisivos inferiores (j). Para cada junta foi considerado o movimento destes dois pontos (o de cada côndilo e o incisal) (it ; jt) para o espaço de tempo t para $t+1$ ($it+1$; $jt+1$). O centro de rotação para este incremento de movimento pode ser calculado erguendo bissetores perpendiculares entre as linhas (it) a ($it+1$) e (jt) a ($jt+1$). O centro de rotação está entre a interseção das duas bissetores (Figura 2).

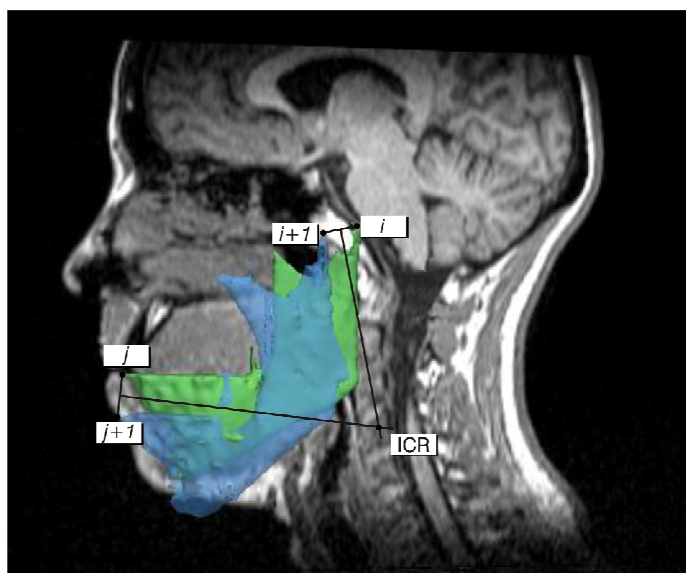


Figura 2. Representação do cálculo dos centros de rotação iniciais das ATMs ou origem da base vetorial que representam a ATM.

3.3 O Modelo de Articulação

O modelo da articulação temporomandibular (ATM) (Villamil et al. 2005, Villamil 2009, Olszewski et al. 2008) consiste em um par de juntas com três DOFs rotacionais e três DOFS translacionais cada uma, que movimentam um único osso, a mandíbula. As restrições do movimento se dão em função da colisão entre ossos e entre dentes, e pela própria topologia das juntas (o movimento gerado por uma junta interfere no posicionamento da junta adjacente). Cada junta tem o seu próprio sistema de referência, mas o seu comportamento em termos de rotação e translação é também dependente da junta adjacente. Os sistemas de referência da ATM são responsáveis pela posição e orientação do objeto gráfico que representa a mandíbula.

O modelo de movimento das ATMs é baseado numa sequência de posições e orientações de dois referenciais que representam as ATMs esquerda e direita. Esta sequência foi inferida a partir do caminho incisal capturado de um indivíduo com ATMs normais. O modelo pode ser considerado procedural, pois as transformações necessárias para realizar o movimento são obtidas a partir do uso de cinemática inversa, do tratamento de colisões e das restrições impostas pela topologia de juntas

interdependentes que define a relação de movimento das ATMs esquerda e direita (Figura 3).

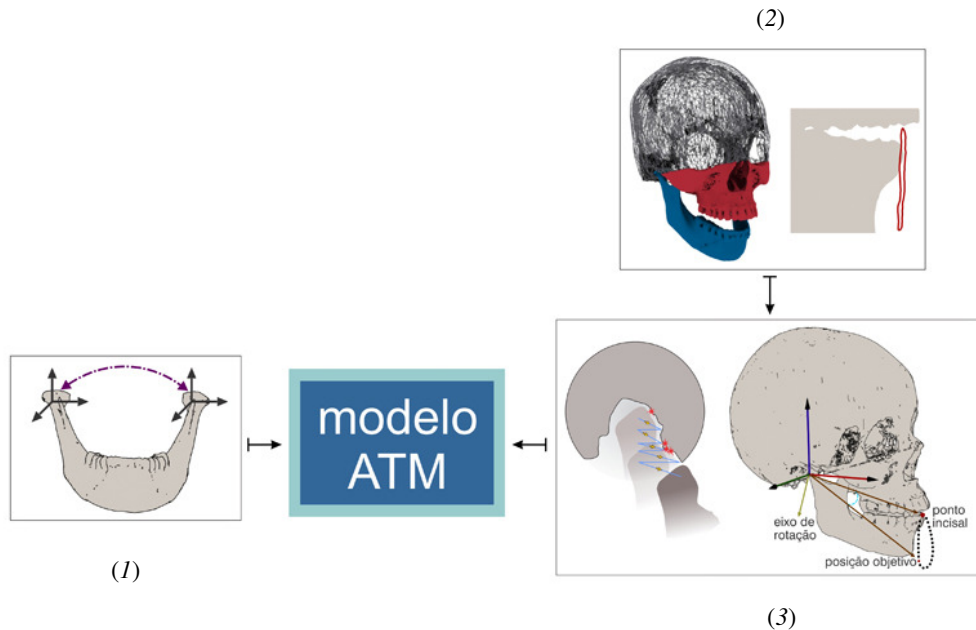


Figura 3: Modelo de movimento das ATMs, baseado numa topologia de juntas interdependentes (1); é necessária a aplicação da técnica de cinemática inversa no caminho incisal capturado(2) e tratamento de colisão entre as malhas dos ossos(3) (Villamil 2009).

3.4 Modelo de Inter-relação de Forças musculares

Uma articulação é o mecanismo que a natureza oferece a um sistema para capacitá-lo ao movimento com um mínimo de desgaste. A articulação atua como uma parte integral de um sistema de alavanca movido pela ação dos músculos. A determinação de como as forças dos músculos masseter, temporal e outros pequenos que atuam no controle fino de movimento da ATM ainda não está bem estabelecida. A complementação do modelo baseado em cinemática com um modelo baseado em Física que simplifique a contribuição dos músculos sobre a mandíbula através de linhas de ação levará a uma completa compreensão do movimento do sistema mastigatório.

O modelo de músculos envolve a utilização de um modelo tridimensional dos ossos e a modelagem de músculos utilizando atuadores de Hill (Figura 4). Foram modelados ligamentos no que concerne suas restrições no movimento mandibular. Além disso, foi utilizada uma nova metodologia na simulação dos músculos baseada no conceito de curvas de inserção com diversas linhas de ação para cada grupo muscular. Foi desenvolvido um simulador para visualização da manipulação do modelo em tempo real, além de permitir a ativação de músculos individualmente em tempo de simulação. (Garcia, 2011)

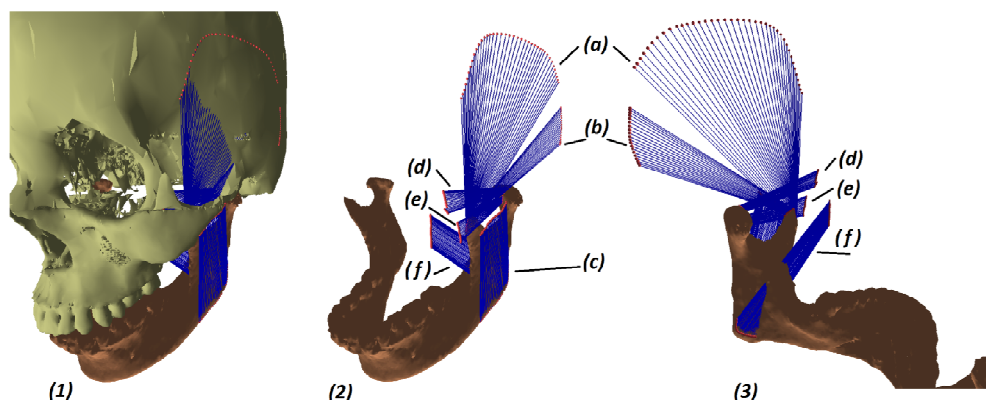


Figura 4. Músculos temporal posterior (a) temporal anterior (b), masseter (c), pterigóideo lateral superior (d) e inferior (e) e pterigóideo medial(f), vistos no modelo completo (1) e no modelo da mandíbula em vista externa (2) e interna (3).

5. Discussão e Comentários Finais

Na odontologia, o articulador tradicional, como já mencionado, é tido como uma ferramenta essencial no diagnóstico e planejamento de tratamentos e cirurgias. Os atuais articuladores são utilizados no estágio de diagnóstico, quando é necessária uma análise oclusal pré-ortodôntica, pré-protética ou para completar o diagnóstico de uma disfunção temporomandibular. No estágio terapêutico, os articuladores são utilizados quando é necessária a realização dos tratamentos protéticos, com uma necessária alternância entre o consultório médico e laboratório de prótese. Atualmente o mercado disponibiliza no mercado, somente os articuladores mecânicos. Os dados reais do paciente são extraídos de moldes de gesso feitos a partir de suas arcadas dentárias. Eles são colocados nesta ferramenta para exame e diagnóstico, ou para a construção de aparelhos dentários. Além do molde de gesso é necessário que o profissional extraia medidas craniomandibulares e da relação entre dentes e juntas do paciente para um correto ajuste do articulador. Todo este processo é bastante trabalhoso e toma bastante tempo do profissional. Mas o problema deste tipo de dispositivo é que o movimento por ele simulado não é totalmente correto, visto que o maxilar que movimenta é o superior, e não a mandíbula como acontece no movimento de mastigação real. Além disto, o movimento simulado de mastigação é sempre uniforme. Não é possível simular vários padrões de mastigação que variam de pessoa para pessoa e os padrões que dependem do tipo de alimento (alimentos duros, moles, viscosos etc.). Outro ponto negativo do articulador mecânico é o de que não há visualização dos padrões de mastigação e curvas de movimento descritas pela mandíbula de vários ângulos, além de não haver a possibilidade de armazenar dados relativos a eles. Com isto o profissional de medicina ou odontologia não pode enviar estes dados para outro colega para que este emita uma outra opinião sobre o diagnóstico, além de não permitir o confronto e a análise dos dados antigos e novos ao longo do tratamento.

Portanto, conforme já mencionado em relação aos diferenciais do TMJsim, a concorrência existe somente em relação a uma parte do produto proposto e ainda assim, com recursos limitados e abordagem ultrapassada. O projeto do TMJsim ganhou o prêmio Santander Ciência e Inovação da Região Sul do Brasil e tem seu pedido de patente registrado junto ao INPI sob o protocolo número PI1002258-9.

6. Referências

- Hill, A. The heat of shortening and the dynamic constants in muscle. *Proc. Roy. Soc. London*, v. 126, p. 136_195, 1938
- Lemoine, J. J.; Xia, J. J.; Gateno, J.; Liebschner, M. A. K. Radiographic Analysis for Jaw Motion Normalization. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, [S.l.], v.63, p.961–967, 2005.
- Lepera, F. Determination of the hinge axis clutches on condyle position. *Journal of Prosthetic Dentistry*, [S.l.], v.8, p.260, 1958. McNeill C. *Ciência e Prática da Oclusão*. 1 ed, Ed. Quintessence, São Paulo, 2000
- Olszewski, R.; Villamil, M. B.; Trevisan, D. G.; Nedel, L. P.; Freitas, C. M.; Reyhler H.; Macq, B. Towards an integrated system for planning and assisting maxillofacial orthognathic surgery. *Computer methods and programs in biomedicine*, [S.l.], v.91, n.1, p.13–21, 2008.
- Sifakis, E.; Neverov, I.; Fedriw, R. Automatic determination of facial muscle activations from sparse motion capture marker data. *ACM Trans. Graph. (Proc. SIGGRAPH)*, n. 24, p. 417_425, 2005.
- SLICER software (2005). <http://www.slicer.org/>
- Stavness, I. et al. An integrated, dynamic jaw and laryngeal model constructed from CT data. In: *Proc ISBMS06 in Springer LNCS 4072*. [S.l.]: Springer, 2006. p.169_177.
- Stavness, I. et al. Towards predicting biomechanical consequences of jaw reconstruction. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, v. 2008, p. 4567_4570, 2008.
- Villamil M. B., Nedel L. P., Freitas C. S., Machado R.S, Silveira R. L., Silva A. M. M. Simulação do Movimento da Mandíbula e Comportamento da Articulação Temporomandibular. In *V Workshop de Informática Médica (WIM'2005)*, Porto Alegre, Brazil, June 2005.
- Villamil, M. B. *Modelagem e Simulação da Articulação Tempromandibular*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- Garcia, E. *Modelagem e Simulação dos Músculos Tempromandibulares*. Dissertação de Mestrado, 2011.
- Zwemer, T. J. *Boucher's Clinical Dental Terminology*, ed 3 St Louis: Mosby, 1993