

Artigo original

Projeto e aplicação de um sistema para análise da biomecânica respiratória durante a deglutição.

Design and application of a system for the analysis of the biomechanics of respiration during swallowing.

Catiuscia Sales¹, Jayme Alves Mesquita Júnior², Pedro Lopes de Melo³.

RESUMO

Introdução: deglutir é um mecanismo neuromotor complexo que requer precisa coordenação do sistema digestivo com o respiratório. A videofluoroscopia, exame usualmente utilizado na análise da deglutição, requer equipamentos e instalações de alto custo. Este trabalho tem como objetivo descrever o desenvolvimento e a aplicação de um sistema computadorizado adequado à análise não-invasiva do fenômeno da apnéia da deglutição. **Metodologia:** o instrumento inclui sistemas de medida de fluxo, abalo mecânico provocado pelo processo de deglutição e um programa dedicado a aquisição, processamento, apresentação e armazenamento dos resultados. O tempo de apnéia, a fase do ciclo respiratório pós-apnéia e a impedância respiratória basal e máxima, durante a ocorrência da apnéia, foram analisados em 8 indivíduos saudáveis, que não apresentavam nenhum distúrbio digestivo, respiratório ou neurológico. Foram administradas três doses de água, pelo próprio indivíduo, nos valores de 5, 10 e 20ml, além da deglutição de saliva. **Resultados:** foi observado maior porcentagem de expiração após a apnéia da deglutição. A elevação dos valores de impedância, em comparação com os respectivos valores basais, apresentou-se estatisticamente significativa para todos os volumes ($p < 0,0001$). **Conclusão:** foi desenvolvido um sistema adequado à análise experimental da apnéia da deglutição por meios não-invasivos. A aplicação do sistema, em indivíduos normais, evidenciou resultados em estreita concordância com a literatura, assim como com os princípios fisiológicos envolvidos. O sistema apresenta elevado potencial para contribuir com o aprofundamento de nossa compreensão sobre a fisiologia e fisiopatologia dos quadros de disfagia orofaríngea e, conseqüentemente, com a assistência oferecida aos pacientes disfágicos.

Descritores: apnéia; deglutição; transtornos de deglutição; instrumentação biomédica.

ABSTRACT

Introduction: swallow is a complex neuromotor mechanism that requires digestive and respiratory systems coordination. The videofluoroscopy is the usual exam used in the analysis of deglutition. However, this method requires high cost equipment and installation. The present work describes the development and application of a system based on personal computer appropriate to the non-invasive analysis of the swallowing apnea. **Methodology:** the instrument includes measurement systems for flow, the mechanical movement associated with the swallow, and dedicated software to the acquisition, processing, presentation and data storage. The time of apnea, the phase of the respiratory cycle pos-apnea and the basal and maximum respiratory impedance during the occurrence of apnea were analyzed in 8 healthy persons that didn't present any dysphagia, respiratory or neurologic disturbance. Three doses of water (5, 10 e 20ml) have been studied, as well as saline. **Results:** The exhalation after the apnea of deglutition was more frequent. The increase of the impedance values, in comparison with the respective basal values, presented high statistical significance in all volumes ($p < 0.0001$). **Conclusion:** It was developed an adequate system to the non-invasive analysis of the swallowing apnea. The application of the system in healthy subjects showed results in narrow agreement with the literature, as well as with the physiological principles involved. The system has elevated potential to contribute to increase our comprehension about the physiology and pathophysiology of dysphagia and, consequently, to the assistance offered to these patients.

Keywords: apnea; deglutition; deglutition disorders; biomedical instrumentation.

1. Fonoaudióloga. Laboratório de Instrumentação Biomédica (LIB), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

2. Engenheiro. Laboratório de Instrumentação Biomédica (LIB) e Laboratório de Pesquisas em Microcirculação (LPM), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

3. Prof. Adjunto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, D.Sc., Engenheiro. Laboratório de Instrumentação Biomédica (LIB) e Laboratório de Pesquisas em Microcirculação (LPM), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Trabalho realizado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Apoio financeiro: CNPq e FAPERJ.

Endereço para correspondência: Pedro Lopes de Melo. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Rua São Francisco Xavier, 524, sala 104. Pavilhão Haroldo Lisboa da Cunha, CEP:20550-013, Rio de Janeiro, RJ. Tel: (21) 2587-7773, fax: 2587-7760, e-mail: plopes@uerj.br

Recebido em 28/08/2006 e aceito em 21/09/2006, após revisão.

INTRODUÇÃO

Deglutir é um mecanismo neuromotor complexo, que requer precisa coordenação do sistema digestivo com o respiratório, por meio dos mecanismos de proteção, para que o bolo alimentar seja transportado, da boca ao estômago, de forma efetiva e segura.¹ A apnéia da deglutição é um destes mecanismos de proteção. É conceituada como interrupção do fluxo aéreo sem causar desconforto, iniciando-se a partir do esforço da deglutição, sendo o evento capaz de marcar o início da fase involuntária e antecedendo, de imediato, a fase faríngea. É considerado o primeiro e o último fato que marca a exclusão da via respiratória, durante o processo sinérgico da deglutição,² e apresenta duração em torno de 0,3 a 2 segundos.^{3,4,5}

Este fenômeno ocorre preferencialmente na expiração, sendo, quase sempre, seguido da mesma fase do ciclo respiratório.^{2,3,5,6,7} Trabalhos anteriores ressaltam que as características do bolo alimentar podem influenciar no ciclo respiratório, devido à modificação deste fenômeno.^{2,3,6} Outro dado importante sobre este fenômeno é que independe da adução das pregas vocais, tendo sido observado que pacientes laringectomizados apresentam comportamento semelhante aos dos não laringectomizados, em termos da curva de registro do fluxo ventilatório.² Logo, o fluxo respiratório não é, simplesmente, reprimido durante a deglutição, mas substituído por um diferente e controlado padrão de interação entre a deglutição e a respiração.⁵

A dificuldade para deglutir, a disfagia, pode ser entendida como um distúrbio de deglutição, com sinais e sintomas específicos, que se caracterizam por alterações em qualquer etapa e/ou entre as etapas da dinâmica da deglutição, podendo ser congênita ou adquirida, após comprometimento neurológico, mecânico ou psicogênico. Dificulta ou impossibilita a ingestão segura, eficiente e confortável de qualquer consistência de alimento e/ou saliva, podendo ocasionar complicações como desnutrição, desidratação, emagrecimento, falta de prazer na alimentação e outras mais graves, como a pneumonia aspirativa.¹

A videofluoroscopia por raios-X é o exame, usualmente, utilizado na análise da deglutição.^{8,9} Nestas análises, são produzidas imagens que permitem uma avaliação detalhada das diferentes fases do processo. No entanto, este método requer equipamentos de alto custo e uma instalação em ambiente adequado à presença das irradiações envolvidas. Hughest e colaboradores ressaltam que outra importante limitação refere-se à impossibilidade de empregar a técnica repetidamente, no acompanhamento do paciente.⁸

Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de descrever o desenvolvimento e a aplicação, em indivíduos saudáveis, de um sistema baseado em computador pessoal, adequado à análise não invasiva do fenômeno da apnéia da deglutição. A performance do sistema é avaliada por meio da deglutição de volumes crescentes de água.

METODOLOGIA

A figura 1 descreve o diagrama em blocos do sistema para análise da deglutição. O sistema de medida de fluxo é composto por um pneumotacógrafo de tela, associado a um transdutor diferencial de pressão (Honeywell 176PC). O sinal é amplificado e processado por um filtro passa-baixas (Butterworth, 8ª ordem, 2,5Hz), antes de ser adaptado ao sistema de aquisição de dados. O sinal de fluxo foi adaptado a partir de um sistema, originalmente, dedicado a avaliação da impedância respiratória, descrito em detalhe anteriormente.¹⁰ Basicamente, durante as avaliações de impedância, o instrumento aplica um sinal de pressão de baixa frequência (5Hz) e baixa amplitude ao sistema respiratório de um indivíduo ventilando espontaneamente. A divisão entre a pressão aplicada e o fluxo resultante permite a obtenção do módulo da impedância respiratória $|Z_{rs}|$. Antes de ser adaptado ao sistema de aquisição de dados, o sinal relativo ao $|Z_{rs}|$ é processado por um filtro passa-baixas (Butterworth, 8ª ordem, 2,5Hz).

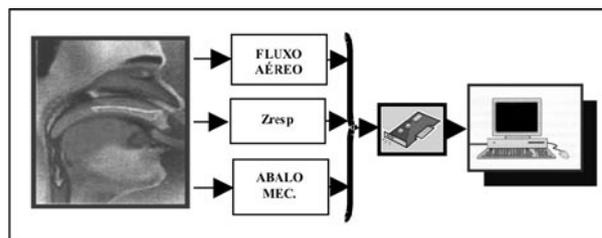


Figura 1: Diagrama em blocos simplificado do sistema.

A avaliação da impedância respiratória apresenta grande aplicabilidade em condições onde a respiração espontânea é a forma de avaliação ideal, incluindo a condição de ventilação pelo nariz, metodologia utilizada no presente trabalho.¹¹ Teoricamente, a avaliação da impedância mecânica do sistema respiratório poderia fornecer uma importante informação associada ao fenômeno, resultante do aumento da obstrução ao fluxo aéreo durante a deglutição. Neste caso, ocorre movimentação póstero-superior do palato mole contra a faringe, bloqueando a comunicação da cavidade oral com a nasal e impedindo o refluxo nasal. Esta movimentação é descrita na figura 2.¹² Assim, a adequada movimentação do palato mole contra a faringe, em tese, poderia ser avaliada por meio da elevação do valor da impedância.

O sistema de medida de abalo mecânico consta de um microfone de eletreto modelo CZN-15E, fixado em um aparato na forma de colar, especialmente desenvolvido para que o mesmo possa ser instalado na lateral da cartilagem tireóide do indivíduo e, assim, captar os sinais do abalo mecânico, relacionados à elevação e anteriorização do complexo laringe-hióide. Em seguida, o sinal oriundo do microfone é adaptado a um estágio de amplificação, para que seu nível seja devidamente ajustado, posteriormente sendo, também, processado por um estágio de filtragem passa baixas (Butterworth, 8ª ordem, 2,5Hz), de modo a que os sinais espúrios sejam eliminados da faixa de interesse.

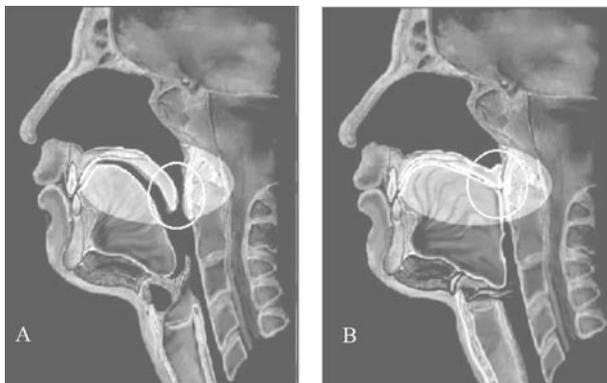


Figura 2: Movimentação pósterio-superior do palato mole contra a faringe (A), bloqueando a comunicação da cavidade oral contra a nasal (B) e impedindo o refluxo nasal.

Aquisição e análise de dados

Para este fim, foi desenvolvido um instrumento virtual (VI) em ambiente LabVIEW 5.1 (National Instruments, Austin, TX). Como plataforma de Hardware, foi empregado um computador Pentium III-800 MHz com 64Mb de RAM, disco rígido de 20Gb, Monitor SVGA 17" e gravador de CD, dentre outros periféricos, associado a uma placa de aquisição de dados com resolução de 12bits (PCI6024E, National Instruments, Austin, TX), operando em uma frequência de amostragem de 30Hz. O sistema permite o acompanhamento, em tempo real, dos sinais de fluxo, impedância e abalo. Ao término de cada ensaio, o instrumento permite que o pesquisador

salve os dados num arquivo ASCII, para que os mesmos possam ser analisados posteriormente. O módulo referente a análise dos dados permite visualizar o comportamento do fluxo, impedância e abalo, durante o exame, e aproximar (zoom) regiões de maior interesse. A partir do posicionamento de cursores no indicador com zoom, o programa possibilita a avaliação automática do intervalo de tempo que compõe a apnéia, o tempo de inspiração e expiração antes e após a apnéia, o momento de início da apnéia da deglutição no ciclo respiratório e o comportamento do ciclo após a apnéia. O painel frontal deste VI é apresentado na figura 3.

Testes in vivo

Foi efetuado um estudo transversal onde foram analisados o tempo de apnéia, a fase do ciclo respiratório pós-apnéia e a impedância respiratória basal e máxima durante a ocorrência da apnéia. O estudo foi realizado em 8 indivíduos saudáveis (idade: 28,0±3,6 anos, peso: 64,23±9,5kg, altura: 170,0±8,5cm), incluindo estudantes e funcionários de nossa Universidade, que não apresentavam nenhum distúrbio digestivo, respiratório ou neurológico. Os exames incluídos neste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética do Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE) e estão de acordo com os critérios da declaração de Helsink. Todos os testes foram realizados após assinatura de um formulário de consentimento livre e esclarecido fornecido aos voluntários.

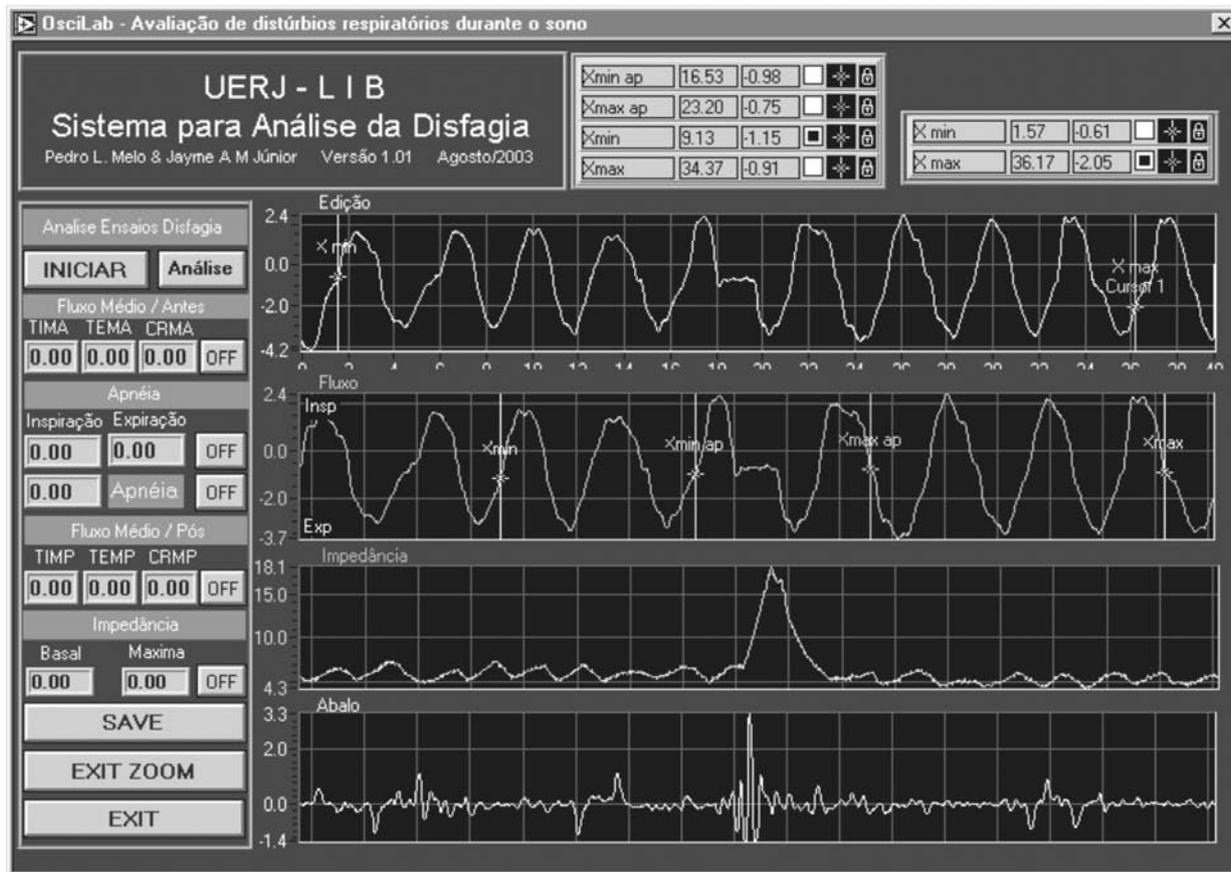


Figura 3: Painel frontal do VI dedicado à análise dos dados.

Durante a realização dos exames, os indivíduos permaneceram sentados numa posição neutra, utilizando máscara nasal com uma pequena complacência, ventilando calmamente. O aparato para avaliação do abalo foi colocado no pescoço do indivíduo, na lateral da cartilagem tireóide, para que o ruído do abalo pudesse ser captado, conforme descrito na figura 4.⁵



Figura 4: Metodologia de análise da apnéia da deglutição.

Foram administradas três doses de água, pelo próprio indivíduo, nos valores de 5, 10 e 20ml, tendo sido também estudada a deglutição de saliva. Foram efetuados três ensaios com cada volume, sendo os resultados obtidos a partir da média dos tempos de apnéia e de impedância basal, antes da apnéia, e máxima, durante o evento citado. No total, 96 deglutições foram analisadas.

Os resultados foram analisados por meio de testes ANOVA e testes t pareados, utilizando o programa ORIGIN 6.0. Foram considerados estatisticamente significativos na presença de $p < 0,05$.

RESULTADOS

A figura 5 mostra o comportamento típico dos sinais de fluxo, impedância e abalo durante uma apnéia da deglutição.

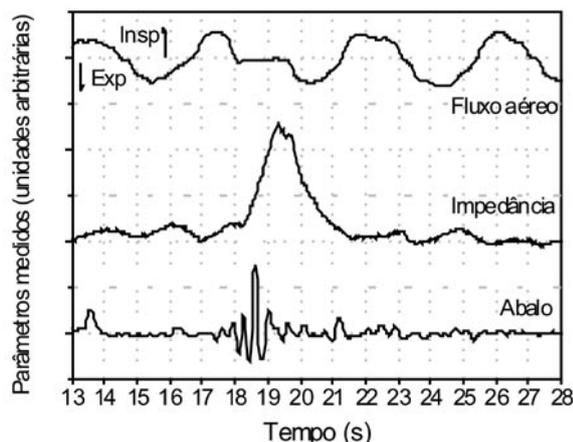


Figura 5: Ilustração dos sinais de fluxo aéreo, impedância e abalo mecânico resultante de uma apnéia da deglutição.

A ausência de fluxo, que ocorre ao final do ciclo inspiratório, demarca o início do processo de deglutição

(aprox. 18s). Após o início deste evento, podemos observar (Figura 5) a presença do sinal de abalo mecânico, indicando a atuação dos mecanismos de proteção, que incluem a movimentação do complexo laringe-hióide. Após um período de aproximadamente 1,5s, a apnéia chega ao seu final, tendo início uma fase expiratória. O aumento da obstrução ao fluxo aéreo durante a deglutição, resultante da movimentação do palato mole contra a faringe, é claramente descrito pela elevação do sinal de impedância.

Os resultados obtidos a partir da deglutição de volumes crescentes de água são apresentados na Figura 6. Embora a análise visual demonstre que o tempo de apnéia aumentou com o volume de água administrado, estatisticamente este aumento não foi significativo (ANOVA, $p > 0,05$).

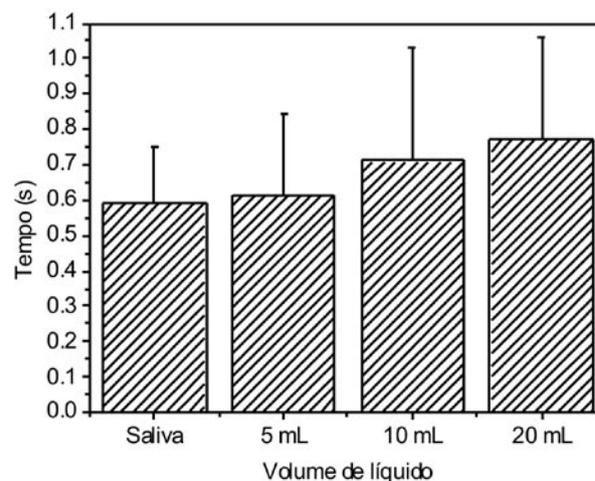


Figura 6: Média e desvio padrão do tempo de apnéia em diferentes volumes administrados.

A tabela 1 mostra o percentual de expirações e inspirações ao final da apnéia.

Tabela 1: Comportamento ao final da apnéia.

	Saliva (%)	5mL (%)	10mL (%)	20mL (%)
% Expiração	79,16	66,66	41,66	79,16
% Inspiração	20,83	33,33	58,33	20,83

Valores médios basais e máximos de impedância, durante a apnéia, são apresentados na Figura 7. A elevação dos valores de impedância, em comparação com os respectivos valores basais, apresentou-se estatisticamente significativa em todos os volumes estudados ($p < 0,0001$).

DISCUSSÃO

De acordo com estudos anteriores, foram observadas apnéias da deglutição com períodos compreendidos entre 0,33 a 1,83 segundos.^{3,4,5} O aumento do tempo de apnéia é coerente com a fisiologia envolvida, estando também de acordo com os dados obtidos no grupo 2 de pacientes estudados por Preiksaiti e colaboradores.^{1,4}

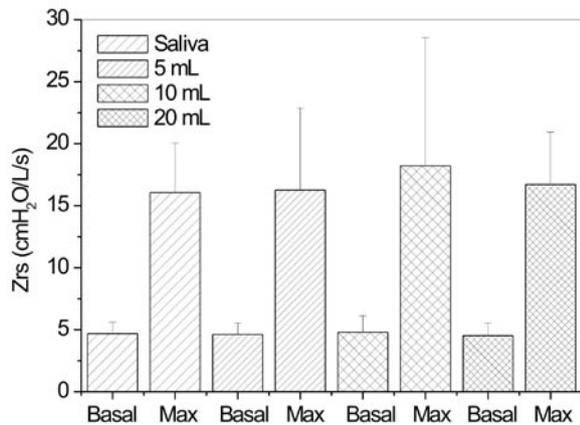


Figura 7: Médias e desvio padrão dos valores basais de impedância e máximos durante a apnéia em todos os volumes estudados.

Foi observada maior porcentagem de expiração após a apnéia da deglutição, em concordância com trabalhos anteriores e reafirmando a colocação de Smith e colaboradores, que admitem tal comportamento fisiológico como papel protetor de aspiração.⁷ Este mecanismo de proteção das vias aéreas inferiores teria a função de retirar qualquer resíduo do bolo alimentar dos recessos faríngeos, que pode não ter sido completamente transportado durante a deglutição.¹³

De uma maneira geral, durante a deglutição, inicialmente ocorre uma parada no fluxo aéreo (descrita no sistema proposto pelo sinal do pneumotacógrafo) e, em seguida, o alimento é ejetado para a orofaringe, ocorrendo o vedamento da cavidade nasal e oral, através da movimentação pósterio-superior do palato (no presente trabalho, descrita pelo aumento da Zrs). Deste modo, o bolo alimentar pode ser deslocado da orofaringe para a laringofaringe, que se encontra ampliada devido à movimentação de anteriorização e elevação do complexo laringe-hióide (descrita, pelo

sistema proposto, por meio do sinal de abalo mecânico). A última fase deste processo corresponde ao final da apnéia (identificada, pelo sistema proposto, pelo sinal de fluxo).

Desta maneira, observamos que a descrição do processo de apnéia da deglutição oferecida pelo sistema descrito no presente trabalho encontra-se em estreita concordância com os fundamentos fisiológicos envolvidos no processo.¹ Comparando com a técnica clássica de videofluorescência por raios-X, o sistema apresenta as vantagens de não ser ionizante, permitindo o acompanhamento da evolução do paciente, e não demandar ambientes especiais de utilização, tendo, assim, um custo mais reduzido. Uma vantagem importante, do ponto de vista clínico, refere-se à possibilidade de avaliar pacientes no leito.

Foi desenvolvido um sistema adequado à análise experimental da apnéia da deglutição por meios não-invasivos. A aplicação do sistema, em indivíduos normais, evidenciou resultados em estreita concordância com a literatura, assim como com os princípios fisiológicos envolvidos.

A análise do módulo da impedância respiratória permite identificar a movimentação pósterio-superior do palato mole contra a faringe, que ocorre durante a deglutição.

O sistema apresenta elevado potencial para contribuir com o aprofundamento de nossa compreensão sobre a fisiologia e fisiopatologia dos quadros de disfagia orofaríngea e, conseqüentemente, com a assistência oferecida aos pacientes disfágicos.

Agradecimentos: Ao sr. J. G. Santos, pelo auxílio técnico, ao Sr. Alvaro C. D. Faria, pelo auxílio na organização do manuscrito, e ao CNPq e à FAPERJ, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Furkim A, Santini C. Disfagia Orofaríngeas, São Paulo: Editora Pró-Fono, 1999.
2. Costa M., Silva R., Lemme E., Tanabe R. Apnéia de deglutição no homem adulto. *Arq. Gastroenterologia* 1998;35(1):32-9.
3. Preiksaitis H, Mills C. Coordination of breathing and swallowing: effects of bolus consistency and presentation in normal adults. *J App Physiol* 1996;81(4):1707-14.
4. Preiksaitis H, Mills C. Coordination of respiration and swallowing: effects of bolus volume in normal adults. *Am J Physiol* 1992;263:R624-30.
5. Selley W, Flack F, Ellis R., Brooks W. Respiratory pattern associated with swallowing: Part 1. The normal adult pattern and changes with age. *Age Ageing* 1989;18:168.
6. Shaker R, Dodds W, Dantas R. Coordination of deglutitive glottic closure with oropharyngeal swallowing. *Gastroenterology* 1990;98:1478-84.
7. Smith J, Wolkove N. Coordination of eating, drinking and breathing in adults. *Chest* 1989;96:578-82.
8. Hughes TAT, Liu P, Griffiths H., Lawrie BW, Wiles CM. Simultaneous electrical impedance tomography and videofluoroscopy in the assessment of swallowing. *Physiol Meas* 1996;17:109-19.
9. Hughes TAT, Liu P, Griffiths H., Wiles CM. The repeatability and variability of electrical impedance tomography indices of pharyngeal transit time in normal adults. *Physiol Meas* 1995;16:A79-86.
10. Melo PL, Lemes LNA. Instrumentation for the analysis of respiratory system disorders during sleep: design and application. *Review of Scientific Instruments* 2002;73(11):3926-32.
11. Lemes LNA, Melo PL. A simplified oscillation method for assessing nasal obstruction non-invasively and under spontaneous ventilation: a pilot study. *Med & Biol Eng & Comput.* 2003;41(4):439-44.
12. Silva AA. Tradução computacional dos achados videofluoroscópicos da dinâmica das fases oral e faríngea da deglutição: imagens anatômicas básicas, UFRJ, Faculdade de Medicina, [Tese], 2001, 52p.
13. Harding S. Oropharyngeal dysfunction in COPD patients: the need for clinical research. *Chest* 2002;121(2):315-7.