

# Otimização do Desempenho da Técnica de Acelerometria na Análise da Deglutição: Estudo do Adequado Posicionamento dos Transdutores

C.S.S. Greco<sup>1,2</sup>, J.C. Nascimento<sup>2</sup>, L.G.M.Q. Nunes<sup>2</sup> e P.L. Melo<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Setor de Fonoaudiologia do Hospital Universitário Pedro Ernest, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro/ Departamento de Ciências Fisiológicas, Laboratório de Instrumentação Biomédica, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Departamento de Ciências Fisiológicas, Laboratório de Pesquisas Clínicas e Experimentais em Biologia Vascular, Brasil.

**Abstract**— Disordered swallowing, or dysphagia, is a common problem seen in patients undergoing treatment for cancer, stroke and neurodegenerative illnesses. The methods currently used for diagnosis, however, are qualitative or based on expensive equipment. Swallowing accelerometry is a promising low-cost, quantitative and noninvasive tool for the evaluation of swallowing. The clinical use of this method is prevented by technical and practical limitations including the fact that there are no consensus in the literature concerning the positioning of the transducers during the exam, while some researcher uses the thyroid notch, others uses in the cricoid. This work describes the comparative analysis of the acceleration measured in these two positions in the antero-posterior and superior-inferior axis separately and as a vectorial sum in normal subjects during the swallowing of saliva and water volumes of 5, 10 and 20 mL. The physiological effect of the increasing values of water volume was more adequately described in the thyroid than in the cricoid. The signal amplitude was also higher in the thyroid ( $p < 0.003$ ). We concluded that the positioning of the transducers in the thyroid is the more adequate choice for the objective evaluation of the pharyngeal elevation during deglutition.

**Palavras chaves**— instrumentação biomédica, biofísica, deglutição, movimento da laringe, acelerometria, equipamentos médicos, avaliação de tecnologias.

## I. INTRODUÇÃO

A deglutição é um processo sinérgico e complexo que possui o objetivo de transportar o material ingerido da cavidade oral ao estômago, sem o risco deste invadir a via aérea inferior [1]. A alteração deste processo é conhecida como disfagia. Nesta doença representa importante complicação clínica em pacientes com alterações neurológicas e alterações anatômicas, podendo pôr em risco a sua vida [1]. A prevalência de disfagia se encontra entre 16-22% [2], chegando a 50% [3] em pacientes com acidente vascular cerebral.

O ato de deglutir é dividido em três fases: oral, faríngea e esofágica [4]. Na fase faríngea, vários eventos ocorrem numa sucessão rápida de tempo e dependendo de precisa coordenação [4], sendo a movimentação superior-inferior

(SI) e anterior-posterior (AP) da laringe um fator responsável pela passagem do alimento/saliva através da transição faringo-esofágica, evitando a aspiração para via aérea inferior [5].

A videofluoroscopia por raios-X é o exame usualmente utilizado na análise da deglutição [6,7]. Nestas análises são produzidas imagens que permitem uma avaliação detalhada das diferentes fases do processo. No entanto, este método requer equipamentos de alto custo, uma instalação em ambiente adequado à presença das irradiações envolvidas. Hughes e colaboradores ressaltam que outra importante limitação refere-se à impossibilidade de empregar repetidamente a técnica no acompanhamento do paciente, de diminuir os custos e simplificar a realização destes exames, nosso grupo vem desenvolvendo aprimoramentos técnicos e estudos experimentais empregando a técnica de acelerometria da deglutição [8]. Em normais esta medida dá origem a um padrão característico de aceleração na laringe que se encontra ausente ou distorcido em pacientes com disfagia [5, 8-18]. A elevação da laringe previne a entrada do bolo alimentar na traquéia, originando um padrão de vibração característico que pode ser usado para detectar a fase faríngea da deglutição [19]. Requerendo pouca cooperação, sendo efetuada sem a necessidade de irradiar o paciente e fornecendo novos parâmetros para análise, esta técnica pode contribuir para a realização de exames de rotina mais detalhados, assim como para facilitar a realização de exames de deglutição em condições onde as técnicas tradicionais não são adequadas [5, 8-18].

Tendo em vista que todo se baseia na mensuração da movimentação da laringe durante a deglutição, o posicionamento dos acelerômetros é um fator primordial para o adequado desempenho desta metodologia, visto que afeta diretamente a amplitude do sinal obtido. Existe uma grande controvérsia na literatura quanto a este posicionamento. Enquanto alguns estudos posicionam os transdutores na porção anterior da cartilagem da tiróide [5,9,10,13,14,18], outros utilizam o posicionamento na cricóide [16-18]. Não existem trabalhos comparando o desempenho da acelerometria nestes dois métodos de posicionamento.

Desta maneira, este trabalho apresenta como objetivo principal identificar o melhor posicionamento e os melhor(es) eixos(s) para a mensuração da movimentação da laringe durante a deglutição. Para este fim, foi efetuada uma análise comparativa da amplitude dos sinais obtidos com os transdutores posicionados na cartilagem da tireóide e os obtidos com o posicionamento na cricóide em indivíduos adultos saudáveis.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Instrumentação

Os ensaios foram realizados utilizando um instrumento desenvolvido por nosso grupo de pesquisa [8]. Basicamente o sistema opera com base em um acelerômetro de três eixos (MMA 7361LT, Freescale Semiconductor), cujo sinal é amplificado e processado por um filtro passa-banda entre 30 e 300 Hz. Estes sinais são adaptados a um módulo de aquisição de dados (NI 6008, National Instruments, Austin, Texas) associado a um netbook (LG X120). Todo o sistema é operado por baterias, de modo que o voluntário permanece completamente isolado da rede elétrica. Os programas de controle do sistema foram elaboradas em ambiente LabVIEW 8.2 (National Instruments, Austin, TX).

### B. Voluntários e metodologia de realização dos exames

O presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital Universitário Pedro Ernesto (HUPE) e todos os voluntários assinaram termo de consentimento livre e esclarecido.

A análise foi realizada em 9 indivíduos saudáveis (idade: 27,2 5,1 anos, massa corporal: 61,9 11,0 kg, altura: 170,6 8,2 cm; 4 mulheres), que não apresentavam nenhum distúrbio digestivo, respiratório ou neurológico, utilizando a deglutição de saliva e água (5ml, 10ml e 20ml), administrada pelo próprio indivíduo através do copo em uma única deglutição.

O movimento da laringe durante a deglutição foi captado através do acelerômetro em duas posições em momentos distintos, na porção mediana da cartilagem tireóide e cricóide, fixado através de fita adesiva de uso médico (Fig. 1) efetuados três ensaios de cada medida, resultando em um total de 216 deglutições. Durante as avaliações, os indivíduos estavam sentados, com a cabeça em posição neutra e sem esforço físico prévio. Foram orientados a deglutirem a qualquer momento após sinalização do avaliador [8,19].

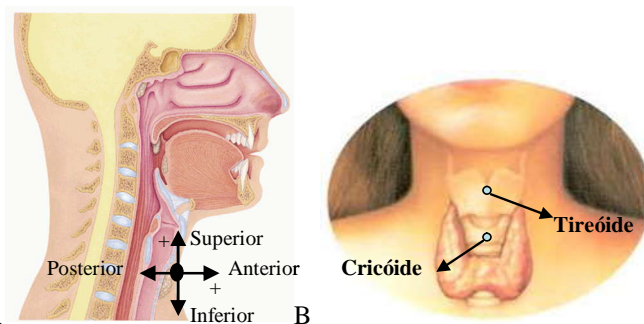


Fig. 1 Orientação e polaridade dos dois eixos dos acelerômetros (A) e posicionamento dos acelerômetros durante os ensaios comparativos na porção mediana da cartilagem tireóide e cricóide (B).

### C. Apresentação dos resultados e análise estatística

Os resultados são apresentados como média desvio padrão dos valores de amplitude pico-a-pico. Na análise estatística foi inicialmente realizado o teste de normalidade ShapiroWilk's. Este teste demonstrou que as amostras não possuíam distribuição normal. Desta forma, foi utilizado o teste de Wilcoxon para a comparação entre os posicionamentos na tireóide ou cricóide e os testes de Friedman, seguidos pelo teste de múltiplas comparações de Dunn's, para a comparação entre os volumes deglutidos.

Foram analisados os seguintes aspectos: comparação entre os resultados obtidos na cartilagem tireóide e cricóide referente aos eixos anterior-posterior (AP) e superior-inferior (SI). Os resultados relacionados à resultante do movimento em relação aos dois eixos citados também foram comparados.

## III. RESULTADOS

Resultados típicos obtidos durante os ensaios são descritos na figura 2.

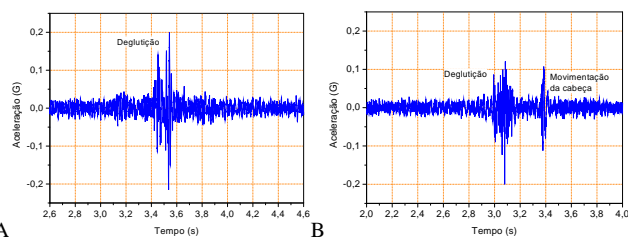


Fig. 2 Sinais típicos de movimentação da laringe obtidos no eixo superior-inferior na cartilagem tireóide (A) e cricóide (B) durante a deglutição de 20 mL de água.

Os resultados das análises comparativas entre os dois posicionamentos estudados para os eixos SI e AP são apresentados na figura 3. Em relação ao eixo SI (Figura 3A), a elevação do volume deglutido resultou em aumentos significativos das acelerações medidas na tireóide ( $p < 0,0015$ ) e na cricóide ( $p < 0,01$ ). Comparando o conjunto de todas as

acelerações obtidas, foi observado um valor significativamente mais elevado das acelerações medidas na tireóide ( $p < 0,0002$ ) em comparação com a cricóide.

A análise do eixo AP (figura 3B), mostra aumentos significativos da aceleração com o volume deglutido de água na tireóide ( $p < 0,003$ ) e na cricóide ( $p < 0,003$ ). Na comparação do conjunto de todas as acelerações, não foram observadas alterações significativas ( $p = ns$ ) nas acelerações medidas na tireóide em comparação com a cricóide.

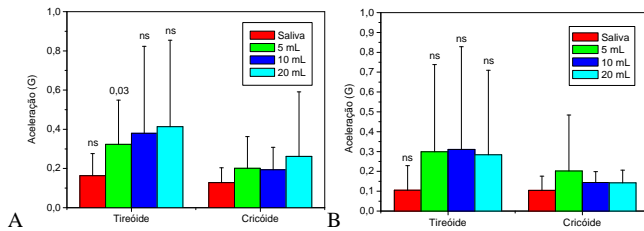


Fig. 3 Resultados obtidos na comparação entre os dois posicionamentos para o eixo superior-inferior (A) e antero-posterior (B).

Comparando a amplitude dos sinais na tireóide, observamos valores significativamente mais elevados ( $p < 0,0001$ ) no sentido SI (0,320 0,346) que no sentido AP (0,250 0,409). Comparações similares levando em consideração a amplitude observada na cricóide, mostraram valores mais elevados ( $p < 0,0001$ ) no eixo SI (0,196 0,199) que no eixo AP (0,148 0,153).

A análise comparativa das acelerações resultantes medidas na tireóide e na cricóide é descrita na figura 4. A elevação do volume deglutido resultou em aumentos significativos das acelerações medidas na tireóide ( $p < 0,0001$ ) e na cricóide ( $p < 0,003$ ). O conjunto de acelerações medidas na tireóide apresentou um valor significativamente mais elevado ( $p < 0,003$ ) em comparação com a cricóide.

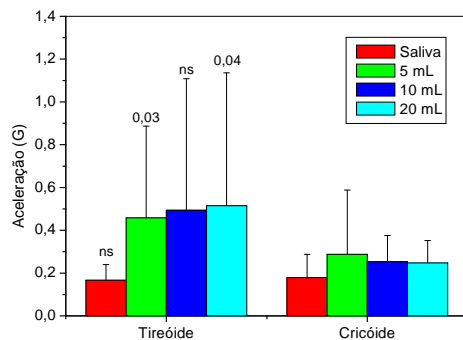


Fig. 4 Resultados da análise comparativa dos valores das resultantes obtidas entre o posicionamento na tireóide e na cricóide.

## IV. DISCUSSÕES

Comparando com a técnica clássica de videofluorescência por raios-X, o método da acelerometria proposto por Reddy e colaboradores [5] apresenta as vantagens de não ser ionizante, permitindo o acompanhamento da evolução do paciente, não demandar ambientes especiais de utilização, assim como um custo mais reduzido. Uma vantagem importante, do ponto de vista clínico, refere-se à possibilidade de avaliar pacientes no leito [8]. A utilização clínica deste método, porém, depende da identificação do melhor ponto de análise da vibração da faringe, um tópico em ativa discussão na literatura.

Os resultados descritos na Figura 3A mostram que o aumento do volume de água deglutido aumenta o valor da aceleração, tanto para a tireóide quanto para a cricóide. Estes resultados estão em concordância com estudos anteriores [8,19]. Por outro lado, visualmente foram observados valores mais elevados de aceleração em todos os volumes para a tireóide. Do ponto de vista estatístico, porém, ocorreu diferença significativa apenas em deglutições de 5 mL de água. Isto pode ser explicado pelos elevados valores de desvio-padrão presentes nas amostras. Considerando todos os volumes deglutidos, observamos maior aceleração na tireóide que na cricóide. Isto indica que este é o melhor posicionamento dos acelerômetros para a captação da movimentação da laringe no eixo SI durante a deglutição. De modo similar ao que ocorreu no eixo SI, a Figura 3B mostra valores crescentes de aceleração com o volume de água deglutido, tanto para a tireóide quanto para a cricóide no sentido AP. Estes resultados são coerentes com os princípios fisiológicos envolvidos, onde o aumento do volume eleva a ação muscular, que por sua vez, aumenta a elevação da laringe. Embora visualmente seja possível observar valores médios mais elevados em volumes de água de 5, 10 e 20 mL, a comparação entre todos os volumes não mostrou diferenças estatisticamente significativas entre os ensaios na tireóide e na cricóide. As tendências observadas, porém, indicam que a movimentação da laringe no sentido AP durante a deglutição seria avaliada mais adequadamente na tireóide.

O recente trabalho de Lee e colaboradores [11] indica que o eixo AP está associado a maiores acelerações que as observadas no eixo SI. Os autores citados utilizaram medições na tireóide. Os resultados do presente trabalho, pelo contrário, indicam maiores acelerações no eixo SI, tanto para medições efetuadas na tireóide, quanto na cricóide. Em concordância com os resultados obtidos nos eixos SI e AP separadamente (figura 3A e b), a figura 4 mostra que a resultante da aceleração foi mais elevada na tireóide que na cricóide nos volumes de 5 e 20 mL. Estes resultados fornecem evidências adicionais de que a tireóide é um local de

melhor avaliação do movimento da laringe. Esta hipótese é também confirmada pela análise comparativa do conjunto de acelerações considerando todos os volumes deglutidos, onde foram observados valores significativamente mais elevados na tireóide.

A passagem do bolo alimentar durante a deglutição movimenta o complexo laringeo em ambos os sentidos, AP e SI. Um trabalho anterior comparando os sinais de aceleração nestes eixos no domínio do tempo e da frequência indica que há pouca sobreposição de informações, levando a crer que os movimentos AP e SI estão associados a eventos fisiológicos independentes [11]. Estas observações, associadas aos resultados do presente trabalho, sugerem que a avaliação dos eixos SI e AP separadamente, combinada com a utilização de acelerometria na tireóide, pode fornecer informações detalhadas sobre o processo de deglutição. O uso de acelerômetros para a avaliação da deglutição pode introduzir desequilíbrios mecânicos na laringe nos quais é possível que exista algum movimento anormal no sentido latero-lateral. Estudos adicionais são necessários para avaliar esta hipótese.

## V. CONCLUSÕES

O efeito fisiológico associado ao aumento do volume de água deglutido foi descrito mais adequadamente em medições efetuadas na tireóide que na cricóide. A amplitude dos sinais foi mais elevada na tireóide.

Desta maneira, o posicionamento dos transdutores na tireóide é a escolha mais adequada para a avaliação objetiva da movimentação da laringe durante a deglutição.

Estudos complementares vêm sendo conduzidos visando aumentar o número de indivíduos normais analisados, assim como investigar pacientes disfágicos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Álvaro C. D. Faria pelo auxílio com a estatística e ao CNPq e a FAPERJ pelo apoio financeiro.

## REFERENCIAS

- Shaker R, Dodds WJ, Dantas RO (1990) Coordination of deglutitive glottic closure with oropharyngeal swallowing. *Gastroenterology* 98: 1478 – 1484.
- Eslick GD, Talley NJ (2008) Dysphagia: epidemiology, risk factors and impact on quality of life a population – based study. *Aliment Pharmacol Ther* 27:917 – 9
- Mertl – Rötzer M (2009) Dysphagia – epidemiology, diagnostic, therapy and nutrition – management. *Laryngorhinootologie* 88: 259 - 68
- Jotz, Angelis, Barros (2009) Tratado de deglutição e disfagia na criança e no adulto. Editora Revinter
- Reddy NP, Canilang EP, Casterline J et al (1991) Noninvasive acceleration measurements to characterize the pharyngeal phase of swallowing. *J Biomed Eng* vol 13 september: 379 – 383.
- 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: 109-119.
- 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-A86.
- Greco CSS, Nunes LGMQ, Melo PL (2010) Instrumentation for bedside analysis of swallowing disorders. 32<sup>nd</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS 31:923 - 926
- Reddy NP, Thomas R, Canilang et al. (1994) Toward classification of dysphagic patients using biomechanical measurements. *J Rehabilitation Research and Development* 31: 335 - 344
- Suryanarayanan S, Reddy NP, Canilang EP (1995) A fuzzy logic diagnosis system for classification of pharyngeal dysphagia. *Int J Bio-medical computing* 38: 207 – 215
- Lee J, Steele CM, Chau T (2008) Time and time – frequency characterization of dual – axis swallowing accelerometry signals. *Physiol. Meas* 29: 1105 – 1120
- Lee J, Steele C, Chau T (2009) Swallow segmentation with artificial neural networks and multi – sensor fusion. *Medical Engineering & Physics* 31: 1049 – 1055
- Reddy NP, Katakam A, Gupta V et al (2000) Measurements of acceleration during videofluorographic evaluation of dysphagic patients. *Medical Engineering & Physics* 22: 405 – 412
- Reddy NP, Simcox DL, Gupta V et al. (2000) Biofeedback therapy using accelerometry for treating dysphagic patients with poor laryngeal elevation: case studies. *J Rehabilitation Research and Development* 37: 361 - 372
- Lee J, Sejdi E, Steele CM et al. (2010) Effects of liquid stimuli on dual – axis swallowing accelerometry signals in a healthy population. *Biomedical Engineering OnLine* 9:7
- Hanna F, Molfenter SM, Cliffe RE et al. (2010) Anthropometric and demographic correlates of dual – axis swallowing accelerometry signal characteristics: a canonical correlation analysis. *Dysphagia* 25: 94 – 103
- Sejdi E, Steele C, Chau T (2009) Segmentation of dual – axis swallowing accelerometry signals in healthy subjects with analysis of anthropometric effects on duration of swallowing activities. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 56: 1090 – 1097
- Zoratto DC, Chau T, Steele CM et al (2010) Hyolaryngeal excursion as the physiological source of swallowing accelerometry signals. *Physiol Meas* 31: 843 – 855.
- C. S. Souza, J. A. Mesquita Júnior, P. L. Melo, “A novel system using the forced Oscillations Technique for the biomechanical analysis of swallowing.” *Tech Health Care*, vol. 16, no. 5, pp. 331-341, 2008.

Autor: Pedro Lopes de Melo  
 Instituto: Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
 Telefone: 5521 23340705  
 Cidade: Rio de Janeiro  
 País: Brasil  
 E-mail: plopeslib@gmail.com