

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS EM
GASTROENTEROLOGIA E HEPATOLOGIA
TESE DE DOUTORADO

SHEILA TAMANINI DE ALMEIDA

**ANÁLISE ACÚSTICA DA DEGLUTIÇÃO E DO SEGMENTO PÓS-DEGLUTIÇÃO
DE CRIANÇAS COM DISFAGIA OROFARÍNGEA E ASPIRAÇÃO TRAQUEAL**

Porto Alegre

2013

SHEILA TAMANINI DE ALMEIDA

**ANÁLISE ACÚSTICA DA DEGLUTIÇÃO E DO SEGMENTO PÓS-DEGLUTIÇÃO
DE CRIANÇAS COM DISFAGIA OROFARÍNGEA E ASPIRAÇÃO TRAQUEAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Ciências em Gastroenterologia e Hepatologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção de título de Doutor.

Orientadora: Prof^a. Dra. Helena Ayako Sueno Goldani
Colaboradores: Eng. Elton Luis Ferlin; Dr. Antônio Carlos Maciel

Porto Alegre

2013

CIP - Catalogação na Publicação

Tamanini de Almeida, Sheila

ANÁLISE ACÚSTICA DA DEGLUTIÇÃO E DO SEGMENTO PÓS-
DEGLUTIÇÃO DE CRIANÇAS COM DISFAGIA OROFARÍNGEA E
ASPIRAÇÃO TRAQUEAL / Sheila Tamanini de Almeida. --
2013.

123 f.

Orientadora: Helena Ayako Sueno Goldani.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-
Graduação em Ciências em Gastroenterologia e
Hepatologia, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. sons da deglutição. 2. disfagia orofaríngea. 3.
aspiração traqueal. 4. ausculta cervical digital. I.
Ayako Sueno Goldani, Helena, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio e compreensão.

À minha orientadora, exemplo de dedicação, positivismo, profissionalismo, inspiração e generosidade, Profa. Dra. Helena Ayako Sueno Goldani, pelos quase 13 anos de dedicação aos nossos projetos.

Às equipes do Ambulatório de Otorrinolaringologia, Gastroenterologia Pediátrica, Pediatria, Pneumologia Pediátrica e Radiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, pela disponibilidade e auxílio.

Ao Prof. Eng. Elton Ferlin, pela preciosa colaboração ao desenvolvimento deste estudo.

Aos profissionais Prof. Dr. Sérgio Gabriel De Barros, Profa. Dra. Sandra Maria Gonçalves Vieira, Dra. Cristina Helena Targa Ferreira, Dra. Jorge Luiz dos Santos, Dr. Daltro Luiz Alves Nunes, Dra. Cláudia Schweiger, Dra. Simone Fagundes, Fga. Laura Koslowski pelo apoio incondicional.

Às equipes do GPPG/HCPA e PPG de Ciências em Gastroenterologia e Hepatologia da UFRGS pela disponibilidade e auxílio.

A todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse projeto de pesquisa e dessa tese e que, involuntariamente, deixaram de ser nominadas.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”
Albert Einstein

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Figura anatômica da cabeça e pescoço.....	15
Figura 2 -	Espectrograma representativo da deglutição de 5 ml de alimento líquido	31
Figura 3 -	Localização dos pontos 5 e 4 para realização da ausculta cervical digital.....	32
Figura 4 -	Localização do ponto 11 para realização da ausculta cervical digital.....	32
Figura 5 -	Imagens da VFD. Paciente posicionado em visão lateral	52
Figura 6 -	Imagens da VFD em visão lateral	54
Figura 7 -	Fluxograma de Análise das Imagens e dos Sinais Captados	56
Figura 8 -	Gráfico representativo da deglutição de 5ml de líquido.....	58
Figura 9 -	Representação gráfica da deglutição para análise visual e auditiva	59
Figura 10 -	Espectrograma tridimensional representativo da energia sonora de um sinal acústico	59
Figura 11 -	Fluxograma de análise das imagens e dos sinais da deglutição captados e caracterização dos grupos de sinais selecionados para comparações múltiplas, pareados por sexo e idade	64
Figura 12 -	Valores das médias do tempo de deglutição (t) em segundos (s).....	65
Figura 13 -	Valores das médias do tempo do “Gap” em segundos	66
Figura 14 -	Valores do root mean square do segmento pós-deglutição ($1/\sqrt{\text{Hz}}$)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos realizados em ausculta cervical digital que analisam parâmetros de duração, intensidade e frequência	35
Tabela 2 - Classificação das deglutições durante a VFD	54
Tabela 3 - Caracterização da amostra total de pacientes avaliados por VFD e ACD.....	63
Tabela 4 - Sinais sugestivos de penetração / aspiração e reações comportamentais observados pelos cuidadores durante a alimentação das crianças com queixa de DOF	63

LISTA DE ABREVIATURAS

AC – ausculta cervical
ACD – ausculta cervical digital
Amp – amplitude
CEP – comitê de ética e pesquisa
DOF – disfagia orofaríngea
DSFs – discretos sons finais
DSIs – discretos sons iniciais
DP – desvio padrão
DPE – densidade de potência espectral
DVD – disco de vídeo digital
dB – decibel
EES – esfíncter esofágico superior
EEI – esfíncter esofágico inferior
G – grupo
GPPG – grupo de pesquisa e pós-graduação
HCPA – Hospital de Clínicas de Porto Alegre
Hz - hertz
n- número
RMS – *root mean square*
s- segundos
t- tempo
VFD – videofluoroscopia da deglutição
VED – videoendoscopia da deglutição
ua – unidades arbitrárias

SUMÁRIO

RESUMO	X
ABSTRACT	Xi
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 ANATOMIA DOS APARELHOS RESPIRATÓRIO E DIGESTIVO SUPERIOR.....	14
2.2 FISIOLÓGIA APLICADA AO PROCESSO DE DEGLUTIÇÃO.....	16
2.3 DISFAGIA OROFARÍNGEA NA CRIANÇA	17
2.4 ASPIRAÇÃO	19
2.5 AVALIAÇÃO CLÍNICA DA DEGLUTIÇÃO.....	20
2.6 EXAMES PARA AVALIAÇÃO DA DEGLUTIÇÃO	21
2.7 AUSCULTA CERVICAL DOS SONS DA DEGLUTIÇÃO	25
2.7.1 Origem dos Sons da Deglutição	25
2.7.2 Instrumentos e Técnica da Ausculta Cervical	28
2.7.2.1 AUSCULTA CERVICAL COM ESTETOSCÓPIO.....	28
2.7.2.2 AUSCULTA CERVICAL DIGITAL COM MICROFONE OU ACELERÔMETRO	30
2.7.3 Parâmetros de Avaliação dos Sons da Deglutição	34
2.7.4 Identificação da Deglutição com Aspiração por meio da Ausculta Cervical Digital	37
3 JUSTIFICATIVA	43
4 HIPÓTESES	45
5 OBJETIVOS	47
5.1 OBJETIVO GERAL	47
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
6 CASUÍSTICA E MÉTODOS	49
6.1 DELINEAMENTOS DO ESTUDO	49
6.2 POPULAÇÃO EM ESTUDO.....	49
6.3 PROCESSO DE SELEÇÃO E CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO NO ESTUDO.....	49
6.4 EQUIPAMENTOS	50
6.4.1 Ausculta Cervical Digital	50

6.4.2 Videofluoroscopia da Deglutição	50
6.5 LOGÍSTICA DO ESTUDO	50
6.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	55
6.6.1 Análise das Imagens e Sinais Captados	55
6.6.2 Análise dos Sons da Deglutição	56
6.6.2.1 VARIÁVEIS	58
6.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	60
7 RESULTADOS	62
7.1 AVALIAÇÃO CLÍNICA FONOAUDIOLÓGICA E VIDEOFLUOROSCOPIA DA DEGLUTIÇÃO.....	62
7.2 SINAIS ACÚSTICOS DA DEGLUTIÇÃO.....	64
8 DISCUSSÃO	68
8.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA ESTUDADA	68
8.2 INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE DOS SINAIS ACÚSTICOS DA DEGLUTIÇÃO	70
8.2.1 Interpretação da Análise do Tempo do “Gap”	72
8.2.2 Interpretação do Segmento Pós-deglutição através do RMS (root mean square)	75
8.3 LIMITAÇÕES E ASPECTOS POSITIVOS DO ESTUDO	76
9 CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A - Frequência de Corte Inferior (-3dB) em 15Hz	90
APÊNDICE B – Frequência de Corte Superior (-3dB) em 15.000Hz	92
APÊNDICE C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	94
APÊNDICE D – Artigo	96

Resumo

A ausculta cervical digital (ACD) pode ser utilizada para avaliar o mecanismo de proteção das vias aéreas e a duração dos sons da deglutição. O presente estudo objetivou comparar os sons da deglutição e a densidade de potência espectral (DPE) dos sons captados de crianças com disfagia orofaríngea (DOF), com e sem aspiração traqueal.

Trinta e dois pacientes foram encaminhados para videofluoroscopia da deglutição (VFD), com mediana (percentil 25-75) de idade de 69 meses (35-120). Vinte e dois sons de deglutição foram captados, durante a deglutição de líquido destes pacientes com queixa de DOF e que aspiraram pelo menos uma vez durante o exame. Os sinais foram separados em G1 (n=11; com aspiração traqueal) e em G2 (n=11; sem aspiração traqueal). Outro grupo de sons da deglutição de crianças sem queixa de DOF (G3; n=11) foi comparado com G1 e G2. Todas as crianças foram avaliadas com microfone piezoelétrico fixado ao pescoço. As comparações múltiplas entre os grupos de sinais foram realizadas pelo método de equações de estimativas generalizadas com ajuste de Bonferroni, considerando $p \leq 0.05$.

A média do tempo da deglutição no G1 (1.289 ± 0.064 s) e no G2 (1.230 ± 0.124 s) foi significativamente maior do que em G3 (0.596 ± 0.057 s) ($p < 0.001$). Não houve diferença entre os tempos de deglutição de G1 e G2 ($p = 0.999$). A média do tempo do "Gap" no G1 ($0,266 \pm 0,025$ s) e no G2 ($0,223 \pm 0,033$ s) foi maior que em G3 ($0,117 \pm 0,017$ s) ($p < 0.001$). Não houve diferença desta variável entre G1 e G2 ($p = 0.999$). A média dos valores da DPE da aspiração detectada no G1 (3330.8 ± 405.7 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) foi estatisticamente maior que os valores da respiração pós-deglutição detectada em G2 (720.55 ± 121.6 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) e em G3 (890.3 ± 179.4 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) ($p < 0.001$). Não foi encontrada diferença entre G2 e G3 ($p = 0.999$).

Crianças com DOF apresentam tempo de duração da deglutição e do "Gap" maior do que crianças sem DOF. A DPE do segmento pós-deglutição com aspiração detectada pela ACD foi maior do que a DPE do segmento pós-deglutição com respiração subsequente. A ausculta cervical pode ser um recurso para a detecção de aspiração traqueal e um complemento à avaliação clínica fonoaudiológica à beira do leito.

Abstract

Digital cervical auscultation (DCA) can provide insight into the integrity of airway protection mechanisms and the duration of swallowing sounds. This study aimed to compare the swallowing sounds and the power spectral density (PSD) recorded by CA in children with oropharyngeal dysphagia (OPD), with or without tracheal aspiration.

Thirty-two patients referred for videofluoroscopic swallow study (VFSS). Median age (25th-75th percentile) of all patients was 69 months (35-120). Twenty-two swallowing signals captured during fluid swallow from patients who had complaints of OPD and at least 1 episode of aspiration at VFSS were analyzed. Those signals were separated in G1 (n=11, aspiration at VFSS), G2 (n=11, no aspiration at VFSS). Another group of swallowing sounds G3 (n=11) comprised children with no complaints of OPD. All children were assessed using a piezoelectric microphone attached to the neck. Generalized estimating equations for multiple comparisons with Bonferroni's post-hoc correction ($p \leq 0.05$) were used for comparison between swallowing signal groups.

Mean swallowing times were significantly longer in G1 (1.289 ± 0.064 s) and G2 (1.230 ± 0.124 s) than in G3 (0.596 ± 0.057 s) ($p < 0.001$). There were no differences in swallowing time between G1 and G2 ($p = 0.999$). Mean "Gap" times were significantly longer in G1 (0.266 ± 0.025 s) and G2 (0.223 ± 0.033 s) than in G3 (0.117 ± 0.017 s) ($p < 0.001$). There were no differences in swallowing time between G1 and G2 ($p = 0.999$). Mean PSD values for aspiration detected in G1 (3330.8 ± 405.7 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) were statistically greater than mean PSD values for respiration in G2 (720.55 ± 121.6 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) and G3 (890.3 ± 179.4 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) ($p \leq 0.001$). There were no significant differences in PSD between G2 and G3 ($p = 0.999$).

Children with OPD have a prolonged swallowing duration and "Gap" time as compared to children without OPD. Post-swallow aspiration detected by CA has a greater PSD than post-swallow respiration. Cervical auscultation may be an effective tool for the detection of laryngeal aspiration and a major adjuvant in clinical assessment by speech and language pathologists.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o estudo do processo da deglutição tem despertado o interesse de grupos multidisciplinares que se dedicam ao aprimoramento de novas tecnologias de diagnóstico e tratamento da disfagia orofaríngea (DOF) em adultos e crianças.

Auscultar os sons da deglutição por meio do estetoscópio foi o método inicialmente utilizado para avaliar a característica sonora da deglutição. A ausculta cervical (AC) caracteriza-se por identificar sons por meio de um instrumento de amplificação. Quando este procedimento é utilizado para avaliar a fase faríngea da deglutição, entre os parâmetros avaliados encontram-se a integridade do mecanismo de proteção das vias aéreas e a duração desse som associado à deglutição (MCKAIG, 1999).

A AC com estetoscópio pode fornecer informações relacionadas à fisiopatologia da deglutição apesar de limitações decorrentes de seu caráter subjetivo de interpretação. Consequentemente existem controvérsias em relação à sua real aplicação clínica devido à falta de padronização metodológica do exame. Comparativamente à videofluoroscopia da deglutição (VFD), exame padrão-ouro de diagnóstico da aspiração para as vias aéreas inferiores, a AC por meio do estetoscópio apresentou concordância de 76% para ocorrência de aspiração em um estudo realizado (ZENNER *et al.*, 1995). No entanto, não foi eficaz na identificação de atraso de deglutição e resíduos faríngeos, os quais são importantes fatores de risco para aspiração para vias aéreas.

A necessidade de um aprimoramento dessa técnica, visando modificar o caráter subjetivo de avaliação e também uma melhor reprodutibilidade em relação à AC realizada com estetoscópio, estimulou o desenvolvimento da análise digital dos sons da deglutição. Neste caso, a captação dos sinais do som da deglutição ocorre por meio da utilização de microfone ou acelerômetro fixado ao pescoço e conectado a uma placa de aquisição de áudio.

A avaliação digital desses sons já foi descrita em adultos e recém-nascidos sem sinais e/ou sintomas sugestivos de DOF (TAKAHASHI *et al.*, 1994a; VICE *et al.*, 1995). Alguns parâmetros foram observados: a duração, a intensidade, o conteúdo espectral do sinal do som da deglutição e os intervalos coordenados com a respiração. Esses dados forneceram subsídios para posterior comparação com o

espectro dos sons da deglutição em pacientes com DOF. Neste contexto de normalidade, são poucos os estudos de avaliação dos sons da deglutição em crianças desde a faixa etária da lactação até a adolescência (ALMEIDA *et al.*, 2008).

A expansão dos estudos dos sons da deglutição na última década, trouxe a diferenciação dos sinais captados em indivíduos com e sem DOF. Contudo, a metodologia, os parâmetros e instrumentos apresentam grande variabilidade (BALASUBRAMANIAM; BHAT, 2012). Índícios apontam que a avaliação dos sinais captados no pescoço podem ser importantes adjuvantes da avaliação clínica ao selecionar pacientes com ou sem indicação de VFD (SHIRAZI *et al.*, 2012; STEELE *et al.*, 2013). Novamente os adultos são o alvo destes estudos e são raros aqueles que avaliam crianças disfágicas, com a justificativa de dificuldade de execução metodológica em crianças (LEE *et al.*, 2006a; LEE *et al.*, 2006b; MÉREY *et al.*, 2012).

O presente estudo, portanto, trata-se de um estudo original com captação dos sinais da deglutição disfágica, utilizando microfone em crianças com queixa de DOF. Espera-se trazer contribuição para o melhor conhecimento dos mecanismos fisiopatológicos da deglutição e identificação de aspiração traqueal. A utilização de um exame minimamente invasivo de diagnóstico e monitoramento terapêutico da deglutição pode contribuir para uma avaliação e acompanhamento terapêutico mais eficaz de crianças com este problema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de deglutição envolve múltiplas estruturas que interagem de forma complexa. O conhecimento das estruturas e de seu funcionamento é de fundamental importância para avaliar e tratar os problemas que podem ocorrer em bebês e crianças com DOF.

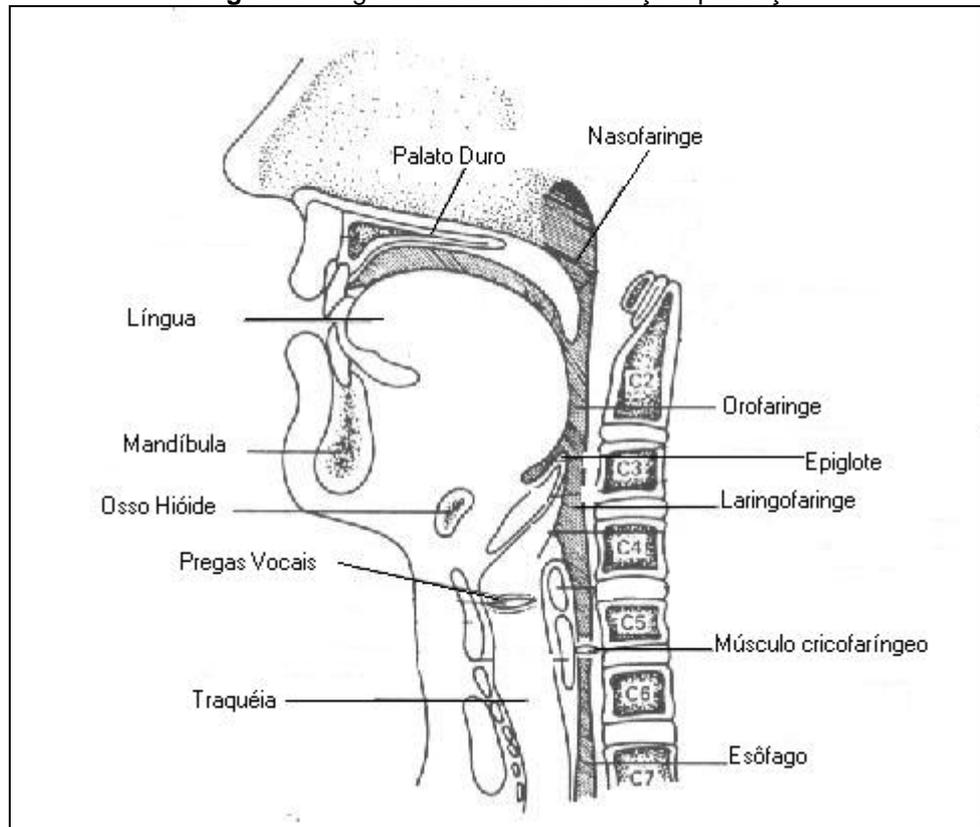
2.1 ANATOMIA DOS APARELHOS RESPIRATÓRIO E DIGESTIVO SUPERIOR

O aparelho aerodigestivo superior é constituído pela cavidade oral, faringe, laringe, traquéia e esôfago. As estruturas principais da cavidade oral incluem lábios, mandíbula, maxila, assoalho da boca, bochechas, língua, palato mole e duro e arcadas faciais anteriores e posteriores (figura 1).

A faringe consiste de três áreas anatômicas definidas que são a rinofaringe, a orofaringe e a laringofaringe (figura 1). A rinofaringe liga a cavidade nasal superior à orofaringe inferior e serve de condutor do ar e de caixa de ressonância da voz. É uma área de drenagem do nariz e dos seios paranasais e o local do complexo da trompa de Eustáquio (orelha média) (HUNGRIA, 1991).

A orofaringe é uma extensão da cavidade oral posterior a partir das colunas das amígdalas até as paredes posteriores da faringe. O limite superior é o palato mole e o inferior é a base da língua na topografia do osso hióide e ponta da epiglote.

A laringofaringe estende-se da extremidade da epiglote até o músculo cricofaríngeo ou transição farinofaríngeo. Apresenta-se como uma área de pressão basal de repouso permanentemente elevada, garantindo o fechamento permanente (COSTA, 2009). Os espaços localizados em cada lado da cartilagem tireóide são os chamados recessos piriformes, que se estendem até o músculo cricofaríngeo (HUNGRIA, 1991).

Figura 1 - Figura anatômica da cabeça e pescoço

Fonte: Sonies *et al.*, (1994)

A laringe é uma estrutura complexa formada por cartilagens, músculos e ligamentos. Os músculos intrínsecos formam as pregas vocais falsas e verdadeiras. Os ligamentos tireóideos e tireocricóideos ajudam na suspensão da laringe. Esta possui três funções básicas: proteção das vias aéreas superiores, respiração e fonação. A função mais importante para a deglutição é a proteção que ocorre com o fechamento das vias aéreas superiores em três níveis dentro da laringe (ARVEDSON; BRODSKY, 1993). No primeiro nível as dobras ariepiglóticas se aproximam para cobrir a parte superior da laringe. No segundo nível ocorre o fechamento das pregas vocais falsas. Finalmente, no terceiro nível ocorre o fechamento das pregas vocais verdadeiras, sendo este considerado o mais efetivo na proteção da aspiração (ARVEDSON; BRODSKY, 1993).

O esôfago é um tubo revestido de mucosa que propulsiona o alimento da laringofaringe ao estômago. O músculo cricofaríngeo ou esfíncter esofágico superior forma a junção entre a laringofaringe e o esôfago enquanto o esfíncter esofágico

inferior forma a comunicação entre o esôfago e o estômago. Estes dois esfíncteres conservam o esôfago vazio durante a deglutição.

2.2 FISIOLOGIA APLICADA AO PROCESSO DE DEGLUTIÇÃO

A deglutição se processa por complexa ação neuromuscular sinérgica voluntária, tendo a finalidade de satisfazer os requisitos nutricionais do indivíduo e proteger a via aérea com manutenção do prazer alimentar (FURKIM; SILVA, 1999). O processo sinérgico de deglutição consiste em quatro fases intrinsecamente relacionadas: preparatória oral, oral, faríngea e esofágica. As duas primeiras são voluntárias e as duas últimas involuntárias.

O controle da deglutição envolve vários nervos cranianos e um centro específico da deglutição, o centro romboencefálico da deglutição, localizado no bulbo. A fase de preparação oral consiste em captar, manipular e mastigar o alimento na boca para formar o bolo alimentar. A língua mantém sua ponta em contato com a porção anterior do palato duro, seus bordos estão elevados e sua parte posterior fica elevada, tocando o véu palatino. O bolo alimentar é mantido entre a língua e o palato antes da iniciação da deglutição. A duração dessa fase depende das características do alimento que está sendo preparado para posterior deglutição (COSTA, 2009).

A fase oral começa com a propulsão posterior do bolo pela língua e termina com a ejeção oral do bolo em direção à faringe. As pressões do alimento e da língua contra o palato comandam a iniciação voluntária do ato de deglutir. A coordenação desta fase é mediada pelos pares de nervos cranianos V, VII, IX, X e XII (ARVEDSON; BRODSKY, 1993).

A fase faríngea inicia quando o bolo alimentar atinge a parede posterior da faringe desencadeando a deglutição, que é involuntária (ARVEDSON; BRODSKY, 1993). O véu palatino eleva-se fechando a passagem para a rinofaringe e ocorrem contrações peristálticas dos músculos constritores faríngeos para transportar o bolo através da faringe até o músculo cricofaríngeo. A laringe protege as vias aéreas com movimentos de elevação e anteriorização. A epiglote nivela-se com a base da língua, com movimentos de horizontalização e inversão atuando de maneira a direcionar o alimento lateralmente. A função valvular das pregas vocais falsas e verdadeiras configura-se no próximo nível de proteção, promovendo o fechamento

da laringe, o que previne a aspiração. A deglutição ocorre numa fase expiratória; segue-se um período de pausa apnéica e a respiração é reiniciada ainda com a expiração, cuja função é realizar a limpeza de eventuais partículas alimentares que possam estar depositadas na região supraglótica ou glótica (COSTA *et al.*, 1998a; COSTA; LEMME, 2010).

Resumidamente a fase faríngea da deglutição ocorre na seguinte ordem (MARCHESAN, 2003):

- movimento da língua para trás em direção ao palato mole;
- movimento do palato mole em direção à língua;
- elevação palatal e constrição da parede posterior da faringe;
- elevação do osso hióide e da língua;
- elevação da laringe e descida da epiglote;
- ação dos músculos constritores faríngeos;
- abertura da transição faringoesofágica;
- retorno do palato mole à posição de repouso após a passagem do bolo alimentar;
- retorno da língua à posição de repouso;
- reabertura e descida da laringe.

A fase esofágica da deglutição consiste no transporte peristáltico do bolo alimentar até o estômago, percorrendo o esôfago. Após a passagem do bolo pelo músculo cricofaríngeo, este se fecha para evitar o refluxo do alimento. O mecanismo envolvido nas fases faríngea e esofágica diz respeito aos pares de nervos cranianos V, X, XI e XII (ARVEDSON; BRODSKY, 1993). A manutenção de pressão elevada no músculo cricofaríngeo no repouso é necessária para proteger a faringe do refluxo gastroesofágico e evitar que o ar seja deglutido durante a respiração.

2.3 DISFAGIA OROFARÍNGEA NA CRIANÇA

Disfagia orofaríngea é uma disfunção da fase preparatória oral, oral e/ou faríngea da deglutição associada ou não com penetração laríngea e/ou aspiração traqueal de alimentos em uma ou mais consistências (MILLER; WILLGING, 2003;

FUSSI; FURKIM, 2008; RICHTER, 2010; MORGAN *et al.*, 2012). Problemas respiratórios durante as refeições e presença de infecções recorrentes do trato respiratório inferior sugerem a presença de DOF. Problemas neurológicos que alteram o mecanismo normal de proteção das vias aéreas durante a deglutição são a causa mais frequentemente associada com DOF tanto em adultos quanto em crianças (FUSSI; FURKIM, 2008; RICHTER, 2010).

Nos últimos anos houve um aumento importante do número de crianças com distúrbios de deglutição, provavelmente relacionado com o aumento de sobrevivência dos pacientes com história de prematuridade, doenças neurológicas e condições médicas complexas (ASHA, 2001; LEFTON-GREIF, 2008; ARVEDSON, 2008). Numa revisão recente sobre disfagia infantil, as condições clínicas que podem cursar com DOF foram categorizadas em cinco grupos: distúrbios neurológicos, anormalidades anatômicas envolvendo o trato aéreo e digestivo, condições genéticas, condições clínicas que interferem na coordenação sucção/deglutição/respiração e outras comorbidades que influenciam na deglutição (LEFTON-GREIF, 2008).

A incidência de DOF é significativa em bebês prematuros (26%), sendo altamente prevalente (até 90%) nos pacientes com desordens neurológicas (JADCHERLA *et al.*, 2009). Esta realidade demonstra a importância de uma avaliação e de técnicas de intervenção eficazes para a promoção de segurança da deglutição, pois isso é um dos pré-requisitos para o sucesso terapêutico. Caso estes problemas não obtenham resolução satisfatória, podem persistir durante a primeira infância e se manifestarem como aversão à alimentação oral, dificuldades na ingestão do volume alimentar indicado para a idade, perda de peso e consequências clínicas que exigem os cuidados de pediatras, gastroenterologistas pediátricos e fonoaudiólogos. Mais de 40% dos bebês e crianças seguidos em clínicas especializadas em distúrbios alimentares são ex-prematuros (BURKLOW *et al.*, 1998; LAU, 2007). Problemas de alimentação precoces podem contribuir para atrasos no desenvolvimento motor orofacial e de fala (BARLOW, 2009).

Dentre os distúrbios neurológicos, a paralisia cerebral é a doença mais comum e com maiores repercussões no processo de alimentação/deglutição (PRASSE; KIKANO, 2009; LEFTON-GREIF, 2008; GISEL, 2008). Em contrapartida, há uma grande proporção de crianças sem problemas neurológicos e sem etiologia definida para DOF (SHEIK, 2001). Transtornos comportamentais são citados como

possível causa para a recusa alimentar e/ou DOF sem origem orgânica definida (ARVEDSON, 2008; PRASSE; KIKANO, 2009). O manejo desses pacientes envolve frequentemente o uso de dietas espessadas em longo prazo com acompanhamento periódico até a resolução ou não da DOF (RICHTER, 2010). As consequências da interrupção do processo de alimentação de uma criança em desenvolvimento acarretam um impacto negativo no crescimento e desenvolvimento, assim como nos aspectos psicológico, social, nutricional, desempenho escolar e bem estar geral (ASHA, 2001; LEFTON-GREIF, 2008; FUSSI; FURKIM, 2008).

2.4 ASPIRAÇÃO

A aspiração é definida como a entrada de secreção ou qualquer corpo estranho na laringe, ultrapassando o nível das pregas vocais, podendo invadir a árvore traqueobrônquica (ARVEDSON; BRODSKY, 1993; ROSENBECK *et al.*, 1996).

A conexão das vias aéreas superiores com todas as outras estruturas envolvidas na deglutição necessita de uma coordenação precisa com a função de proteção da laringe. Somente nessa passagem é possível prevenir que o alimento passe para as vias aéreas inferiores. Desta maneira, os problemas relacionados com as vias aéreas superiores e inferiores podem ser a primeira manifestação de dificuldades de deglutição (ARVEDSON; BRODSKY, 1993).

A aspiração ameaça as vias aéreas inferiores com um risco potencial de infecções e de doenças pulmonares (ARVEDSON; BRODSKY, 1993; PRASSE; KIKANO, 2009; WEIR *et al.*, 2011). Esse fenômeno pode estar associado à tosse, ao engasgo ou, em alguns casos, ser assintomático (aspiração silenciosa). Após um evento de aspiração grave, podem ocorrer tosse, taquipneia, febre e “chiado”, observando-se alterações no estudo radiológico do tórax (ARVEDSON; BRODSKY, 1993). Nos casos de suspeita de aspiração um estudo videofluoroscópico com bário pode identificar a presença, a gravidade e o mecanismo de aspiração (COSTA *et al.*, 1998b).

Em uma coorte heterogênea de 300 crianças com dificuldades de alimentação e avaliadas por VFD, observou-se que crianças com alterações neurológicas têm chance 3,37 vezes maior de apresentar aspiração silenciosa. Ainda, foram descritos outros fatores de risco para aspiração orofaríngea como

alimentação enteral, atraso no desenvolvimento global e/ou doença pulmonar por aspiração em comparação com crianças que não aspiraram. A partir disso, salientou-se que mesmo clinicamente sem tosse durante a alimentação, crianças com comprometimento neurológico podem aspirar. Recomenda-se então que uma avaliação clínica e um exame objetivo integrem a avaliação de crianças com estes fatores de risco (WEIR *et al.*, 2011).

2.5 AVALIAÇÃO CLÍNICA DA DEGLUTIÇÃO

A avaliação inicial da criança com sinais ou sintomas de DOF envolve o exame das habilidades motoras orofaciais para a alimentação segura, geralmente iniciada pelo fonoaudiólogo, profissional habilitado e com conhecimento sobre o desenvolvimento motor orofacial e sobre os aspectos que envolvem a alimentação/deglutição. Aspectos como o estado nutricional da criança, a interação entre a criança e o cuidador, fatores ambientais e emocionais relacionados à alimentação, tempo destinado à refeição, resposta aos estímulos, padrão postural, condição clínica global da criança são observados neste contato inicial e durante todo processo de assistência ao caso (ARVEDSON, 2008; LEFTON-GREIF, 2008).

A avaliação clínica funcional da deglutição inclui a observação prévia (antes da alimentação) das estruturas e funções orofaciais, contemplando a análise da face e da cavidade oral em postura estática e em movimento, dos reflexos orais (sucção, busca, mordida tônica e fásica, reflexo de náusea e palatal, deglutição de saliva) dependendo da idade da criança. Preferencialmente a avaliação deve ser realizada com a interação entre o cuidador e o paciente. São observados os aspectos específicos das funções do sistema sensório motor orofacial, bem como características referentes ao processo de alimentação/deglutição, buscando identificar alterações sensoriais e/ou motoras primárias (ARVEDSON, 2008).

Protocolos de avaliação clínica funcional da deglutição são descritos na literatura com diversidade de detalhamento. Entretanto não há protocolos validados e padronizados para utilização em crianças (ROMMEL, 2006; ARVEDSON, 2008). Contudo, clínicos experientes em avaliação funcional da deglutição podem detectar penetração/aspiração com elevado índice de sensibilidade quando observam os sinais de tosse, voz molhada e engasgo (DEMATTEO *et al.*, 2005). Em complemento à avaliação clínica, exames objetivos realizados em conjunto com

equipe médica e assistencial são importantes recursos no diagnóstico da fisiopatologia da deglutição.

2.6 EXAMES PARA AVALIAÇÃO DA DEGLUTIÇÃO

A segurança na deglutição envolve basicamente a habilidade de proteção das vias aéreas inferiores durante o processo de deglutição, como citado anteriormente. Com objetivo de avaliar os casos suspeitos de alteração deste mecanismo de proteção, a equipe poderá recomendar alguns exames específicos que por sua vez poderão determinar a integridade das estruturas aerodigestivas superiores, da motilidade faríngea e esofágica e da sensibilidade faríngea. Os métodos diagnósticos comumente indicados são descritos a seguir:

Videoendoscopia da Deglutição (VED) – a avaliação funcional da deglutição por fibronasofaringolaringoscopia foi relatada inicialmente por Langmore em 1988 como um método de identificação de aspiração, sem radiação ou contraste agregado, portátil e indicado para avaliações à beira do leito e com boa concordância diagnóstica com a VFD (LANGMORE *et al.*, 1988). Objetiva graduar o comprometimento funcional da deglutição nas fases oral e faríngea, prognosticar a evolução do paciente e adequar técnicas do tratamento disponível ao tempo de evolução clínica do paciente.

O exame é realizado pelo médico Otorrinolaringologista e acompanhado pelo Fonoaudiólogo que realiza o gerenciamento das consistências e manobras facilitadoras durante o exame. Em 1995, foi descrito como um estudo que poderia ser realizado em crianças com adequadas sensibilidade e especificidade em comparação à VFD (WILLGING, 1995). Salientam-se as peculiaridades deste exame em bebês e crianças, quando há a necessidade do uso de nasofibrocópio com menor calibre. A criança fica sentada no colo da mãe e recebe os alimentos corados com anilina comestível na cor azul para identificação do fluxo do alimento. O nasofibrocópio é passado transnasalmente permitindo a visualização das estruturas nasal, faríngea e laríngea. Após a visualização das estruturas, os alimentos são deglutidos conforme protocolo pré-estabelecido e poder-se-á visualizar as seguintes etapas: início dos movimentos de base de língua, primeira visão do bolus corado, início da retroversão da epiglote, fechamento faríngeo -“white out”, abertura faríngea

e retorno da epiglote. Consequentemente, resíduos em valéculas e recessos piriformes podem ser identificados após a deglutição, assim como aspiração abaixo do nível das pregas vocais, redução de sensibilidade faringolaríngea, alteração de fechamento glótico, escape precoce de alimento e refluxo nasal (LANGMORE *et al.*, 1988; WILLGING, 1995).

Algumas desvantagens deste método para crianças englobam aspectos de colaboração do paciente, dificuldade da análise de deglutições subsequentes, não visualização da fase oral da deglutição.

Manometria de esôfago – a manometria esofágica é o procedimento utilizado para a avaliação de pacientes com doenças motoras do esôfago cuja lesão estrutural foi excluída por endoscopia ou radiologia contrastada de esôfago-estômago-duodeno. O exame avalia as pressões na faringe, esfíncter esofágico superior (EES) e inferior (EEI), amplitude das contrações do corpo esofágico e sequência de peristalse. Basicamente o exame pode se dividir entre a avaliação da motilidade da região da faringe e do EES (manometria faringoesofágica) e motilidade do corpo esofágico e EEI (manometria esofágica) (JADCHERLA *et al.*, 2009).

A manometria faringoesofágica é considerada uma nova técnica complementar a VFD para fornecer informações da dinâmica da deglutição e dos reflexos aerodigestivos (JADCHERLA *et al.*, 2009). Estudos em prematuros e recém-nascidos a termo demonstraram a ocorrência das funções basais e adaptativas da peristalse do EES por meio da integração e coordenação do reflexo de deglutição (JADCHERLA *et al.*, 2007; JADCHERLA *et al.*, 2010). Esses estudos também oferecem subsídios para avaliar as alterações neurofisiológicas da deglutição. Alguns mecanismos neuromotores adaptativos foram identificados na disfagia neonatal tais como falha na propagação completa da peristalse, menor resposta ao estímulo para deglutição de líquidos, resposta pobre a alimentação por via oral e abertura inadequada do EES (JADCHERLA *et al.*, 2009). Até o momento, o exame tem sido útil na identificação das alterações motoras faringoesofágicas. No entanto, não existem estudos mostrando o real impacto do exame para o manejo da disfagia faringoesofágica. Em crianças maiores, o uso da manometria do EES na prática clínica é questionável em decorrência de limitações de padronização de metodologia.

Videofluoroscopia da deglutição (VFD) - a análise videofluoroscópica da deglutição é o método de escolha para a visualização do fluxo do alimento em relação às estruturas do sistema aerodigestivo superior. A imagem, em tempo real, identifica a presença e auxilia na identificação das causas fisiológicas da aspiração. Além disso, o radiologista e o fonoaudiólogo (profissionais geralmente envolvidos na realização e na análise deste exame) podem observar os efeitos de vários volumes e texturas dos alimentos e das estratégias compensatórias utilizadas durante a deglutição (COSTA, 1998b; COSTA, 2009).

A finalidade principal é definir a fisiologia da fase faríngea da deglutição, se há aspiração e como e quando esta ocorre, assim como analisar os movimentos de propulsão da língua e do bolo alimentar, pois estes têm impacto singular na fase faríngea (ARVEDSON, 2008). Este detalhamento favorece achados funcionais e estruturais que podem ser relacionados ao distúrbio da deglutição.

Apesar de o método ser extensamente indicado para os casos de suspeita de disfagia em crianças, a interpretação, as impressões e as indicações terapêuticas a partir do resultado têm alta variabilidade entre os examinadores assim como as interpretações do mesmo examinador. Esta variabilidade provavelmente ocorre devido a falhas de padronização, particularmente na população pediátrica (STOECKLI *et al.*, 2003; LEFTON-GREIF, 2008). A interpretação dos achados requer que os profissionais envolvidos identifiquem eventos com variabilidade normal e eventos que apontem um distúrbio (LEFTON-GREIF, 2008). Os achados mais comuns em pacientes pediátricos são:

- a) durante a sucção o acúmulo de alimento com contraste em valéculas antes do início da deglutição pode ser um evento que precede esta ação; no entanto, o acúmulo de alimento com contraste em recessos piriformes antes da deglutição pode aumentar o risco de aspiração (LEFTON-GREIF *et al.*, 2006; LEFTON-GREIF, 2008).
- b) refluxo para rinofaringe pode indicar insuficiência velofaríngea ou incoordenação; no entanto, vestígios de refluxo para rinofaringe podem ser típicos em bebês assintomáticos nas primeiras semanas de vida. Embora este achado geralmente seja resolvido com a idade ou maturação, ele está associado aos bebês prematuros que apresentam apneia (PLAXICO; LOUGHLIN, 1981; LEFTON-GREIF, 2008).

- c) a presença isolada de penetração supraglótica em crianças menores de 2 anos pode refletir imaturidade do mecanismo de deglutição (DELZELL *et al.*, 1999); em crianças com risco de disfagia, no entanto, este achado é preditivo de risco de aspiração (FRIEDMAN; FRAZIER, 2000).
- d) a aspiração silenciosa é frequentemente encontrada em crianças com risco de disfagia, independentemente do motivo desta criança não apresentar resposta reflexa à entrada de alimento nas vias aéreas inferiores (por exemplo, imaturidade da resposta vagal e rebaixamento da resposta de tosse secundário à aspiração recorrente) (SMITH *et al.*, 1999; LEFTON-GREIF *et al.*, 2006).

A VFD traduz um episódio de alimentação dentre tantas refeições que um bebê ou uma criança realiza por dia. Apesar dos profissionais procurarem simular uma refeição real, o bário agregado aos alimentos, o ambiente de exame e os profissionais envolvidos interferem na dinâmica e na aceitação dos alimentos oferecidos. Geralmente os profissionais têm que lidar com choro excessivo ou comportamento de recusa, por parte da criança, para realização do exame que poderá ter seu tempo prolongado devido a estas interferências. Todavia o desenvolvimento de protocolos apropriados para crianças possibilita a minimização da exposição à radiação apesar desta dose para a realização VFD apresentar um risco aceitável (WEIR *et al.*, 2007). As múltiplas dimensões que envolvem a avaliação da criança com suspeita de disfagia (desenvolvimento neuropsicomotor, nutrição, relações familiares, entre outros) devem ser integradas aos achados da VFD e dos demais métodos de diagnóstico indicados.

Ausculta cervical: método que utiliza o estetoscópio para auscultar os sons gerados pelo processo de deglutição e tem a finalidade de estabelecer o tempo de duração do processo e a ocorrência de penetração e/ou aspiração para as vias aéreas (MCKAIG, 1999). A AC avalia estes parâmetros por meio de estetoscópio posicionado na laringe ou de microfone/acelerômetro fixado ao pescoço. A ausculta cervical digital (ACD) registra digitalmente o som produzido pela deglutição e programas de computador analisam as características dos sons captados, fornecendo dados quantitativos relativos à duração, frequência e intensidade do

som. Pode-se lançar mão de microfone ou acelerômetro fixado ao pescoço como recursos de captação destes sons.

2.7 AUSCULTA CERVICAL DOS SONS DA DEGLUTIÇÃO

Os sons da deglutição podem ser ouvidos por AC, uma técnica simples e de fácil execução, na qual se utiliza um estetoscópio colocado sobre a laringe. A AC por estetoscópio pode ser um exame de diagnóstico e monitoramento terapêutico, tanto em adultos como em crianças, por ser não invasivo e de baixo custo. É um método de avaliação subjetiva, em que as informações dependem não só da experiência do examinador, mas também da utilização de apropriada técnica e instrumento (MCKAIG, 1999; STROUD *et al.*, 2002).

O desenvolvimento de novas técnicas como, por exemplo, a utilização de microfone ou acelerômetro de duplo eixo, fixado ao pescoço resultando na análise digital dos sons da deglutição, tem contribuído para o melhor conhecimento dos sinais acústicos da deglutição. Portanto, a ACD pode apresentar maior objetividade na avaliação dos sons da deglutição (REYNOLDS *et al.*, 2009).

2.7.1 Origem dos Sons da Deglutição

A busca pela causa para a produção de som durante o processo da deglutição foi objetivo de vários estudos (HAMLET *et al.*, 1988; HAMLET *et al.*, 1990; CICHERO; MURDOCH, 1998; CICHERO; MURDOCH, 2003; MORINIÉRE *et al.*, 2008). O trato vocal consiste em uma variedade de válvulas e bombas que poderiam ser responsáveis pela assinatura acústica do som da deglutição. Além disso, ocorre uma vibração de ar no trato vocal, fornecendo uma frequência fundamental do sistema dependente do tamanho e forma das estruturas (CICHERO; MURDOCH, 1998).

Em 1967, a acústica da deglutição foi caracterizada, comparando-se este som aos sons da tosse, da respiração e da vocalização de algumas vogais. Observou-se que o padrão espectrográfico da deglutição era peculiar e distinto de outros sons fisiológicos captados no por método de amplificação sonora fixado ao pescoço. O aspecto que mais definiria a deglutição seria a ocorrência de curtos estouros de energia sonora por toda a extensão do espectrograma (MACKOWIAK *et al.*, 1967).

Na atualidade, estudos relatam a nítida diferença e relativamente simples diferenciação de um som da deglutição de outros sons produzidos pelo ser humano ou pelo ambiente, a partir do desenvolvimento de algoritmos computadorizados (WALKER; BHATIA, 2011; TANAKA *et al.*, 2012).

A característica acústica mais importante observada no som da deglutição corresponde fisiologicamente ao movimento do bolo alimentar através do músculo cricofaríngeo. Um ruído periódico, provavelmente de origem laríngea, “explode” com a proximidade do fechamento daquele músculo. Outros ruídos que compõem o sinal da deglutição não apresentam caráter periódico e as movimentações hióidea, laríngea e epiglótica podem contribuir para o sinal acústico da deglutição (HAMLET *et al.*, 1988).

As causas fisiológicas dos sons da deglutição podem apresentar três componentes principais: a) um fraco sinal associado à elevação laríngea e à passagem do bolo pela faringe; b) um forte som associado à abertura do músculo cricofaríngeo; e c) um fraco sinal associado à descida da laringe após a deglutição (HAMLET *et al.*, 1992). Neste contexto, ressalta-se a importância da ação respiratória das vias aéreas superiores e as mudanças abruptas na musculatura durante a fase faríngea da deglutição (MACKOWIAK *et al.*, 1967).

O som identificado durante a AC em adultos sem DOF foi descrito como um som oco ou tubular durante a passagem do ar pela laringe em comparação aos sons dos pulmões. A deglutição considerada normal ocorreria logo após o trânsito oral, seguida de um período de apneia e subsequente expiração, onde sons "claros e limpos" são auscultados (ZENNER *et al.*, 1995). Outra descrição apresentada refere dois cliques audíveis acompanhados por um sopro expiratório como os sons do processo de deglutição (HAMLET *et al.*, 1990; TAKAHASHI *et al.*, 1994a; SELLEY *et al.*, 1994; MCKAIG, 1999).

Inicialmente, os componentes do sinal acústico da deglutição não foram bem estabelecidos, visto que muitos resultados não apresentavam os pontos de início e de final do som como recurso para a padronização do exame (LOGAN *et al.*, 1967; HAMLET *et al.*, 1988; VICE *et al.*, 1990; HAMLET *et al.*, 1990; CHICHERO; MURDOCH, 1994; TAKAHASHI *et al.*, 1994a; TAKAHASHI *et al.*, 1994b; VICE *et al.*, 1995; BOIRON *et al.*, 1997; CHICHERO; MURDOCH, 2002a; CHICHERO; MURDOCH, 2002b; REYNOLDS *et al.*, 2002).

A sincronização das imagens de VFD e dos sons gravados por microfone fixado ao pescoço esclareceu e determinou com maior precisão a origem dos sons faríngeos da deglutição com os respectivos movimentos das estruturas anatômicas e dos diferentes posicionamentos do bolo alimentar (MORINIÈRE *et al.*, 2008). Novamente três componentes foram apresentados: (1) um som correspondente à elevação laríngea: quando o som ocorria durante a elevação do osso hioide estando o bolo alimentar localizado na orofaringe e/ou hipofaringe; (2) abertura da transição faringoesofágica: quando o som ocorreu na abertura e passagem do bolo pela transição; (3) liberação de som pela laringe: quando o som ocorreu durante a descida e abertura da faringe e laringe e o bolo estava localizado no esôfago (MORINIÈRE *et al.*, 2008). Esta descrição pode auxiliar o clínico em disfagia a relacionar os sons auscultados tanto por estetoscópio quanto por microfone, sendo parâmetro objetivo inclusive para inferências na detecção de distúrbios.

Como se observa, o som da deglutição é composto de vários sinais, os quais podem apresentar variação entre indivíduos assim como no mesmo indivíduo (MORINIÈRE *et al.*, 2006; LESLIE *et al.*, 2007). Um estudo com a análise de 193 sinais de deglutição de adultos normais identificou entre um e seis sons diferentes que compuseram a amostra descrita (MORINIÈRE *et al.*, 2006). Contudo, três sons estavam presentes em 70% da amostra analisada (MORINIÈRE *et al.*, 2006). Percentual semelhante foi encontrado em estudo realizado com 118 crianças normais, o qual identificou (em cerca de 700 sinais analisados) 60% de ocorrência de três componentes do som da deglutição e 100% de ocorrência de um som principal, semelhante a um “estouro” (ALMEIDA *et al.*, 2008). Outro estudo também sinaliza entre dois e cinco sons componentes da deglutição ao avaliar a frequência de deglutição em indivíduo adulto (TANAKA *et al.*, 2012). Esta variação foi identificada em sujeitos diferentes, mas também observada individualmente em cada sujeito. A justificativa para esta variação pode estar na fusão dos componentes do som da deglutição, por se tratar de um evento muito rápido do trânsito do bolo alimentar (TANAKA *et al.*, 2012).

Em relação aos componentes do som da deglutição que antecedem e seguem o som principal (“estouro”), vários estudos em adultos, crianças e recém-nascidos procuram nomeá-los como discretos sons iniciais (DSIs) e finais (DSFs) da deglutição (VICE *et al.*, 1990; REYNOLDS *et al.*, 2002; ALMEIDA *et al.*, 2008; REYNOLDS *et al.*, 2009). Em recém-nascidos normais a termo e pré-termo, além do

som da deglutição ser o principal elemento acústico, discretos sons iniciais (DSIs) e finais (DSFs) da deglutição revelam a coordenação do padrão de sucção/deglutição/respiração (VICE *et al.*, 1990; REYNOLDS *et al.*, 2002; REYNOLDS *et al.*, 2003). A partir da correlação da ausculta cervical com “gravações fisiológicas” (por meio de cateter transnasal) foi confirmada a existência dos DSIs e dos DSFs assim como de sua relação temporal com a respiração adjacente ao processo de deglutição (VICE *et al.*, 1995). Em adultos, estes discretos sons também foram identificados (REYNOLDS *et al.*, 2009). Particularmente os DSIs demonstraram morfologia semelhante aos dos lactentes analisados em estudo prévio destes mesmos sinais. Os DSFs são menos previsíveis em sua morfologia e sua melhor análise merece atenção futura (REYNOLDS *et al.*, 2009). Entretanto sua ligação morfológica com o formato de onda do som pós-deglutição (“liberação glótica”) e sua distinção e separação do som da deglutição merece reconhecimento (CICHERO; MURDOCH, 2003).

Em recém-nascidos, ainda não é claro o significado fisiológico que corresponde aos DSIs, podendo ser tanto trânsito de bolo alimentar, ação muscular, ação secundária das pregas vocais em seu mecanismo protetor ou retroversão da epiglote. Mais indefinida ainda é a correlação fisiológica para os DSFs (VICE *et al.*, 1995). Contudo, a relação estabelecida para estes sons em demonstrar a coordenação entre as funções do processo de deglutição forneceu importante ligação entre a alimentação de recém-nascidos em desenvolvimento e a estabilidade da deglutição de adultos saudáveis, uma vez que esta estabilidade foi identificada como semelhante entre estes dois grupos (REYNOLDS *et al.*, 2009).

2.7.2 Instrumentos e Técnica da Ausculta Cervical

2.7.2.1 Ausculta Cervical com Estetoscópio

O estetoscópio é um instrumento tradicionalmente utilizado para auscultar os sons originários dos pulmões, do coração e do funcionamento intestinal (ABELLA *et al.*, 1992). Uma aplicação do estetoscópio se refere à ausculta dos sons originários da deglutição. Comumente o estetoscópio é posicionado na lateral da traqueia, em frente ao músculo esternocleidomastoideo (BORR *et al.*, 2007).

Uma questão importante relaciona-se ao tipo de estetoscópio mais adequado para a captação dos sons da deglutição. Em um estudo de Hamlet e colaboradores (1995), a melhor resposta de captação do estetoscópio foi avaliada através da deglutição de 10 ml de bário líquido em adultos. Os sons foram avaliados por gravação do sinal acústico captados por acelerômetro fixado no pescoço e concomitante VFD. Os modelos que apresentaram melhor amplificação do som da deglutição foram os estetoscópios Littmann Cardiology II^R e Hewlett-Packard Rappaport-Sprague^R - sino médio, diafragma pequeno -, sendo este último considerado adequado para o uso em crianças (HAMLET *et al.*, 1995).

Em um estudo com adultos a AC por estetoscópio foi comparada a alguns parâmetros da deglutição avaliada por meio da VFD: atraso de trânsito oral e faríngeo, presença de resíduos faríngeos, aspiração e indicação da dieta mais segura. Houve concordância de 72% para identificação de atraso no trânsito oral e 76% para a ocorrência de aspiração. Houve concordância de 82% na indicação de restrição para líquidos e de 88% na restrição de alimentos sólidos. No entanto, atraso de trânsito oral e resíduo faríngeo não foram detectados pela ausculta apesar de estarem presentes em considerável número (ZENNER *et al.*, 1995). Outro estudo apresentou especificidade de 70% e sensibilidade de 94% na definição de aspiração/penetração em comparação ao exame radiológico (BORR *et al.*, 2007).

Estudo com crianças comprometidas neurológicamente apresentou os resultados da comparação da avaliação clínica com estetoscópio e da VFD. Foi relatada correlação significativa entre a AC e a excursão hiolaríngea e entre AC e aspiração de líquidos e pastosos. Contudo, os autores concluem que ambos os métodos de avaliação são complementares e importantes no diagnóstico de DOF (MARRACA *et al.*, 2008). Outro estudo comparou a capacidade de detecção de aspiração da AC na avaliação clínica com a comprovação do evento na VFD em crianças com paralisia cerebral. Os resultados demonstraram relação entre AC positiva e penetração ou aspiração traqueal constatada no exame objetivo. A sensibilidade obtida foi de 62,5% com especificidade de 72,3% (FURKIM *et al.*, 2009).

Baixa acurácia na identificação de deglutições sem aspiração foi descrita em estudo com adultos onde a superestimação em identificar aspiração poderia, isoladamente, implicar em condutas inadequadas quanto à dieta do paciente

(STROUD *et al.*, 2002). A justificativa poderia estar na alta variação da confiabilidade individual do método (LESLIE *et al.*, 2004).

Neste contexto, discute-se a validade dos achados em decorrência da falta de uniformidade de critérios e métodos de avaliação, ocasionando possíveis falhas no momento de decidir a validade do exame com estetoscópio. Além disso, o estetoscópio apresenta-se como um método com parâmetros subjetivos e dependentes da experiência do examinador (LESLIE *et al.*, 2004; LESLIE *et al.*, 2007). Contudo a AC poderia ser utilizada para inferência do risco de aspiração e como complemento útil para a avaliação clínica (FURKIM *et al.*, 2009).

2.7.2.2 Ausculta Cervical Digital com Microfone ou Acelerômetro

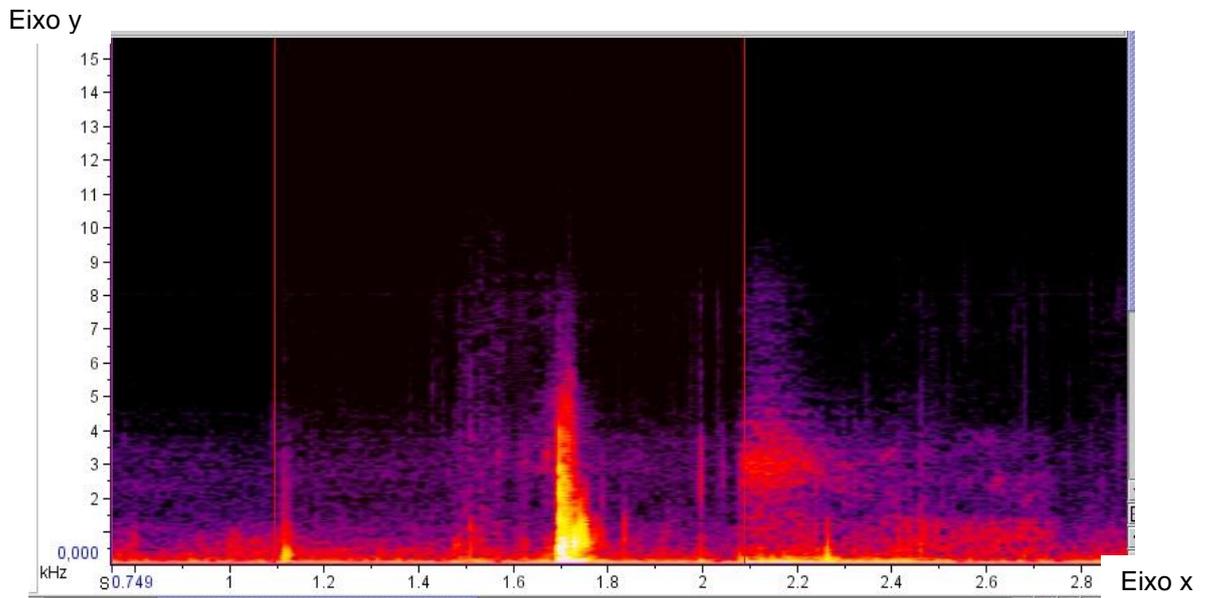
A busca de um método mais objetivo de avaliação dos sons da deglutição resultou no advento da ACD, que avalia os sons da deglutição por meio de equipamentos específicos. Microfone ou acelerômetro fixados ao pescoço por meio de fita adesiva são conectados a gravadores ou computadores que registram digitalmente o som ou a vibração produzida pela deglutição (TAKAHASHI *et al.*, 1994a). Programas de computador analisam as características dos sinais captados fornecendo dados quantitativos, dentre eles, os parâmetros relativos à duração, à frequência e à intensidade do som.

Os sinais acústicos da deglutição podem ser definidos em termos de duração (segundos), largura de banda de frequência (hertz) e amplitude (decibéis). A duração fornece informação sobre a extensão do sinal acústico ao longo do tempo. A largura de banda de frequência refere-se a um intervalo de frequências, isto é, uma frequência de corte inferior menos uma frequência de corte superior. Frequência é o número de ciclos completos do movimento em um segundo. Estas medidas são expressas em hertz, equivalendo um hertz a uma oscilação completa por segundo (ALMEIDA *et al.*, 2008).

A amplitude relaciona-se à intensidade do som. De maneira geral, a amplitude refere-se ao aspecto físico do sinal acústico, enquanto “loudness” diz respeito à percepção subjetiva de intensidade do som (ALMEIDA *et al.*, 2008). A densidade de potência espectral (DPE) relaciona-se com a quantidade de potência por unidade de frequência (SHIRAZI *et al.*, 2012; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012). Em

associação a esta potência espectral temos a energia relacionada com a área sobre a curva do gráfico. (figura 2)

Figura 2 - Espectrograma representativo da deglutição de 5 ml de alimento líquido (*)



Fonte: Almeida *et al.*, (2008)

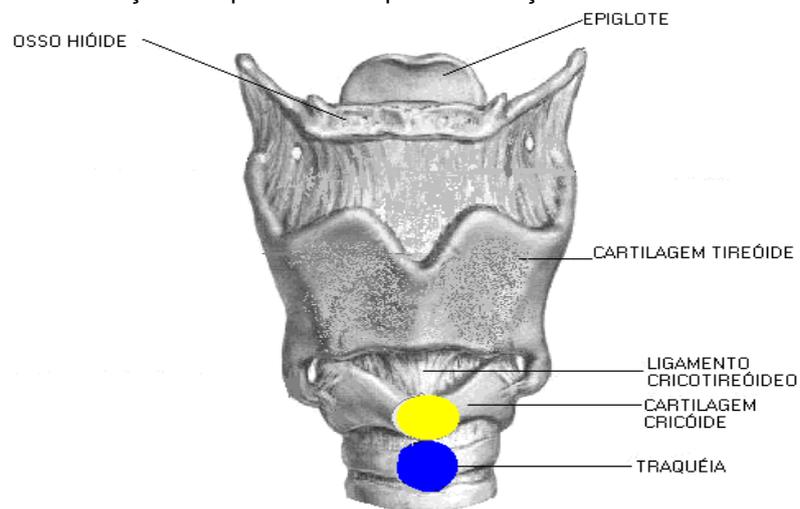
* Eixo x: tempo (s); eixo y: frequência (Hz); eixo z (perpendicular ao gráfico e representado pela palheta de cores): densidade de potência espectral

Na intenção de identificar o melhor equipamento para o exame, um estudo avaliou alguns instrumentos em adultos normais, tais como: o melhor detector acústico, o adesivo ideal para sua fixação no pescoço e sua melhor localização para detecção dos sons da deglutição (TAKAHASHI *et al.*, 1994a). Esse trabalho observou também, melhor captação dos sons produzidos pela deglutição por acelerômetro em relação ao microfone, com fixação com fita dupla face de papel, visto que esse conjunto demonstrou melhor alcance de frequências e menor nível de atenuação.

Para a indicação do melhor local de detecção dos sinais foi realizada uma varredura em 24 pontos do pescoço. Destes, três foram indicados para uso durante a AC, por demonstrarem a maior magnitude do pico máximo do sinal da deglutição ($33,2 \pm 2,46\text{dB}$) (TAKAHASHI *et al.*, 1994a). São eles: a) local 5: ponto médio entre o lugar abaixo do centro da cartilagem cricóide e o lugar imediatamente acima da jugular; b) local 11: sobre a borda lateral da traquéia imediatamente inferior à cartilagem cricóide; c) local 4: sobre o centro da cartilagem cricóide (figuras 3 e 4). Essa localização foi identificada em adultos e não existem estudos controlados que

comprovem a localização ideal para AC em crianças e bebês. Todavia, esta varredura determinou, observando os estudos da atualidade, um parâmetro reproduzido em qualquer faixa etária.

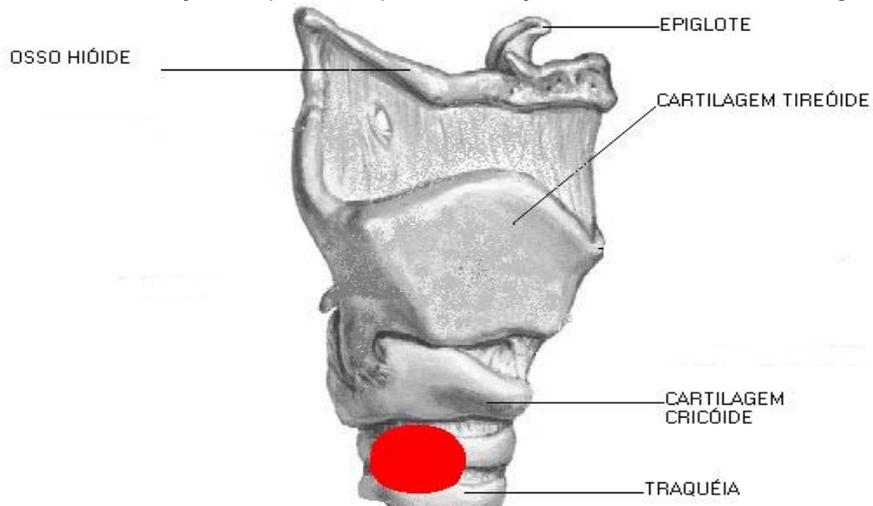
Figura 3 - Localização dos pontos 5 e 4 para realização da ausculta cervical digital (*)



Fonte: Takahashi e col. (1994a). Baseado e adaptado de Netter (1998)

* ● Local 5: ponto médio entre o lugar abaixo do centro da cartilagem cricóide e o lugar imediatamente acima da jugular; ● Local 4: sobre o centro da cartilagem cricóide

Figura 4 - Localização do ponto 11 para realização da ausculta cervical digital (*)



Fonte: Takahashi e col. (1994). Baseado e adaptado de Netter, (1998)

* ● Local 11: sobre a borda lateral da traquéia imediatamente inferior a cartilagem cricóide

O interesse sobre a ACD e sobre os resultados apresentados levou ao questionamento sobre a metodologia aplicada para definir a melhor unidade de

captação dos sons. Após uma revisão sobre o método da ACD, sugeriu-se que o microfone é superior ao acelerômetro na relação sinal-ruído (CHICHERO; MURDOCH, 2002a). Nesse estudo, os sinais acústicos tanto do acelerômetro quanto do microfone foram ampliados em condições similares de ajustes de calibração de detectores e exclusão de ruído ambiental. O resultado demonstrou que o microfone apresentou melhor captação dos sons da deglutição e ratificou o ponto da borda lateral da traquéia, imediatamente inferior à cartilagem cricóide (local 11), como o melhor local de captação dos sinais sonoros da deglutição (CHICHERO; MURDOCH, 2002a).

O microfone tem uma curva de resposta nas frequências dependente do modelo da unidade utilizada, podendo ampliar ou atenuar algumas frequências. Na maioria dos microfones a faixa de resposta desse tipo de unidade é audível ao ouvido humano (20Hz – 20.000Hz). Microfones têm custo acessível, favorecendo a utilização clínica e captam sinais de origem vibracional (REYNOLDS *et al.*, 2009). Os estudos que se valem do microfone como instrumento de captação, direcionam-se à captação dos sons atribuídos à variedade de válvulas (orofaríngea, laríngea e esofágica), bombas (faríngea, esofágica e respiratória) e vibrações que reverberam na faringe pela coluna de ar da respiração (CHICHERO; MURDOCH, 1998).

O acelerômetro tem resposta em frequência plana, captando os sinais igualmente em todo espectro. Os sinais captados incluem movimentos, vibrações geradas pela superfície onde a unidade está fixada e sons audíveis atenuados. Acelerômetros são mais caros e os custos podem ainda aumentar com os equipamentos acessórios (REYNOLDS *et al.*, 2009). A acelerometria da deglutição capta sinais oriundos da movimentação hiolaríngea em dois eixos (anterior/posterior e superior/inferior), sendo esta a principal fonte das vibrações, além de ter a capacidade de realizar a remoção das vocalizações por processamento dos sons (SEJDIC *et al.*, 2010a; ZORATTO *et al.*, 2010).

Quanto à função dos dois instrumentos, fundamentalmente, tanto os métodos de transdução quanto as fontes de sinais são diferentes (NIKJOO *et al.*, 2011). A partir destas informações salienta-se que ambos, microfone e acelerômetro, podem ser adequados dependendo do objetivo da aplicação. O microfone parece clinicamente mais útil para a identificação dos sons da deglutição. No entanto, o acelerômetro parece ter maior utilidade para a análise de sinais mais complexos,

inclusive daqueles sem origem vibracional e não detectados pelo microfone (REYNOLDS *et al.*, 2009).

Outra questão importante em relação aos estudos sobre ACD refere-se à simetria e reprodutibilidade dos sons captados. Avaliando-se a relação sinal-ruído e a duração do som da deglutição, constatou-se não haver diferença significativa entre auscultar o som do lado esquerdo ou direito do pescoço (simetria). Observou-se baixo coeficiente de variação entre as medidas dos parâmetros da ACD realizada nos diferentes pacientes, sugerindo boa reprodutibilidade dos sons captados (TAKAHASHI *et al.*, 1994b).

2.7.3 Parâmetros de Avaliação dos Sons da Deglutição

O tempo de duração do som da deglutição apresenta-se como um parâmetro frequentemente analisado nos estudos sobre os sons da deglutição (Tabela 1). Esta duração do sinal da deglutição pode sofrer influência do volume e da consistência do material ingerido (YOUMANS; STIERWALT, 2005; REYNOLDS *et al.*, 2009; YOUMANS; STIERWALT, 2011). Em adultos, a duração do sinal obtido parece ser diretamente proporcional ao volume de alimento ingerido, tanto para líquido quanto para pastoso (CASTELL; CASTELL, 1992; BOIRON *et al.*, 1997). Entretanto, existem relatos de uma relação inversa entre volume e duração baseada no processo fisiológico de maior velocidade e conseqüente mais rápida passagem do bolo alimentar pela faringe ao aumentar o volume (CHICHERO; MURDOCH, 2002b).

A explicação para a influência da consistência na duração do sinal da deglutição relaciona-se ao fato de substâncias mais viscosas passarem mais lentamente e de forma compacta pelo EES (BOIRON *et al.*, 1997). Além disso, os indivíduos podem exercer maior força muscular ao deglutir alimentos com maior viscosidade, resultando em um transito mais lento, aumentando o tempo de deglutição (YOUMANS *et al.*, 2011). Apesar destas constatações, outro estudo relatou que a viscosidade do alimento não interfere na velocidade do deslocamento do alimento para a faringe (KIM *et al.*, 1994).

Outro fator que parece influenciar na duração da deglutição é o índice de massa corporal. Uma possível explicação está no aumento do tecido adiposo resultando na atenuação da amplitude do sinal e na sua velocidade. Este último efeito poderia permitir que o sinal da vibração decaísse mais lentamente,

estendendo assim a duração da atividade medida. Desta forma, indivíduos com maior índice de massa corporal apresentam maior tempo de deglutição (SEJDIC *et al.*, 2009). Entretanto, um estudo que avaliou características de amplitude e energia no sinal da deglutição não demonstrou associação dos dados antropométricos com as variáveis dos sinais captados (HANNA *et al.*, 2010).

Tabela 1 - Estudos realizados em ausculta cervical digital que analisam parâmetros de duração, intensidade e frequência

Autores	N	Tipo de Alimento	Duração (Segundos)	Intensidade (dB)	Frequência (FR) (Hz)
Macrowiak et al. (1967)	1 adulto	Líquido	3 discretos estouros com duração de 0,500; 0,100-0,150 e 0,150-0,200	Não avaliada	Não avaliada
Logan et al. (1967)	16 adultos	Líquido	0,250 a 0,800	Não avaliada	3000 Hz
Hamlet et al. (1990)	10 adultos	Líquido	Não avaliada	Não avaliada	Picos de FR Baixa=556 Alta=1.384 Delta=828
Lebel et al. (1990)	62 adultos	Líquido, pastoso e sólido	0,336 (líquido) 0,220 (pastoso) 0,200 (sólido)	Não avaliada	Picos de FR 400 a 700 até 1000
Takahashi et al. (1994a)	10 adultos	Líquido	0,520	Não avaliada	Picos de FR Pico 1 = 46,8 Pico 2 = 621,6
Vice et al. (1995)	9 bebês	Líquido	Sem parâmetro quantitativo	Sem parâmetro quantitativo	Sem parâmetro quantitativo
Boiron et al. (1997)	92 adultos	Líquido e pastoso	0,650 (5ml de líquido) 0,580 (5ml de pastoso)	Sem parâmetro quantitativo	Não avaliado
Cichero e Murdoch (2002a)	10 adultos	Líquido	Não avaliado	3.99 a 5.18 (acelerômetro) 3.9 – 5.3 (microfone)	2.203 – 8000 (acelerômetro) 962 – 8000 (microfone)
Cichero e Murdoch (2002b)	59 adultos	Líquido	0,400	43.25	Máxima = 5.900 Hz Média = 2.200
Reynolds et al. (2002)	12 bebês	Líquido	Sem parâmetro quantitativo	Sem parâmetro quantitativo	Sem parâmetro quantitativo
Youmans et al. (2005)	97 adultos	Líquido fino e espesso, pastoso, sólido	0,490 (liq. Fino) 0,550 (liq. espesso) 0,530 (pastoso) 0,570 (sólido)	60.7 (liq.fino) 60.9 (liq. espesso) 60.82 (pastoso) 60.84 (sólido)	Picos de FR 2322.63 (liq.fino) 2187.92 (liq. espesso) 2295.34 (pastoso) 2413.15 (sólido)
Morinière et al. (2006)	30 adultos	Líquido com bário	0,710 (10 ml)	Não avaliada	Não avaliada
Almeida et al (2008)	118 crianças	Líquido e pastoso	0,730 (5ml líquido) 0,750 (5ml pastoso)	Não avaliada	Não avaliada
Morinière et al. (2008)	15 adultos	Bário líquido	0,690 (10ml)	Não avaliada	Não avaliada
Santamato et al (2009)	60 adultos	Líquido fino e espesso, pastoso, sólido	0,438 (liq. Fino) 0,564 (liq. espesso) 0,730 (pastoso) 0,575 (sólido)	35.7 (liq. Fino) 30.0 (liq. espesso) 31.3 (pastoso) 29.4 (sólido)	3601 (liq. Fino) 3226.2 (liq. espesso) 3164.3 (pastoso) 2896.6 (sólido)
Hanna et al. (2010)	50 adultos 500 sinais	Líquido	0,730	Não avaliada	Não avaliado
Youmans e Stierwalt (2011)	96 adultos	Líquido: fino, néctar e mel; pastoso, sólido	0,605 (adulto jovem) 0,644 (adulto) 0,798 (idosos)	52.35 (adulto jovem) 51.78 (adulto) 57.09 (idosos)	2431.12 (adulto jovem) 2660.72 (adulto) 3257.24 (idosos)

Fonte: Pesquisa (2013)

A idade apresentou influência na duração da deglutição, como foi demonstrado em estudos com adultos divididos em grupos etários (jovens, adultos e idosos, por exemplo). A duração da deglutição foi significativamente menor no grupo mais jovem em relação aos outros grupos (CHICHERO; MURDOCH, 2002b; SEJDIC *et al.*, 2009; HANNA *et al.*, 2010; YOUMANS *et al.*, 2011). Resultados semelhantes foram encontrados em estudo que analisou o pico da duração da deglutição em grupos etários de adultos (SANTAMATO *et al.*, 2009). A análise da duração da deglutição de crianças a partir de três anos, demonstrou tempo total semelhante ao encontrado nos estudos de adultos, apesar de não constatar diferença na duração da deglutição entre líquidos e pastosos (ALMEIDA *et al.*, 2008).

A relação do sexo com a duração e a largura de banda de frequência do som da deglutição sugere que as diferenças anatômicas da orofaringe entre homens e mulheres podem afetar as características do som da deglutição (CHICHERO; MURDOCH, 2002b). Há relatos de que, na deglutição tanto de alimento líquido quanto de pastoso, as mulheres necessitam de mais tempo para deglutir e um maior número de deglutições totais (BOIRON *et al.*, 1997). Contrariamente, outros estudos apresentaram deglutições mais rápidas em mulheres (TAKAHASHI *et al.*, 1994a; SEJDIC *et al.*, 2009). Outros trabalhos com adultos não demonstraram essa diferença em relação à duração (CHICHERO; MURDOCH, 2002b; MONIÈRE *et al.*, 2006; SANTAMATO *et al.*, 2009; YOUMANS *et al.*, 2011) exceto em relação ao pico de intensidade, o qual apresentaria interação em relação ao sexo (SANTAMATO *et al.*, 2009; YOUMANS *et al.*, 2011).

Diferenças na largura de banda de frequência em relação a sexo, idade, volume e consistência ainda são pouco relatadas na literatura de ACD (Tabela 1). Um estudo demonstrou diferença no pico de frequência da deglutição em homens, sendo este maior do que nas mulheres (YOUMANS *et al.*, 2011). Há relatos também da não identificação de diferença em relação a sexo (HANNA *et al.*, 2010; SEJDIC *et al.*, 2010b). A discrepância dos achados pode ser originada da variação metodológica entre as pesquisas já realizadas (BALASUBRAMANIAM; BHAT, 2012).

A largura de banda de frequência da deglutição encontra-se na faixa de 0 a 8000 Hz (CHICHERO; MURDOCH, 1998) e está suscetível a interferências originadas pela fala e por movimentos corporais (SEJDIC *et al.*, 2010a; SEJDIC *et al.*, 2010c; WALKER; BATHIA, 2011; FONTANA *et al.*, 2011). Dois picos de frequência foram relatados: um abaixo de 110 Hz, com média de 46,6 Hz, e outro em

621 Hz (TAKAHASHI *et al.*, 1994a). Entretanto, outros autores encontraram valores de pico inicial de som em 556 Hz, seguido de 1384 Hz (HAMLET *et al.*, 1990). Tais resultados podem ser novamente explicados pela diversidade de técnicas e materiais utilizados. Contudo, sons significativos para a determinação da deglutição encontram-se em frequências mais altas, como descrito em estudo com acelerômetro que observou o surgimento de frequências altas exatamente no centro da deglutição (LEE *et al.*, 2008). Salienta-se a necessidade de analisar a gama de frequências subsônicas (FONTANA *et al.*, 2011) que podem interferir com artefatos de fala ou de outros sons, diminuindo a acurácia na detecção e diferenciação da deglutição de outros sons do corpo humano ou do ambiente (SEJDIC *et al.*, 2010a; SEJDIC *et al.*, 2010c; WALKER; BATHIA, 2011).

Alguns estudos de ACD identificaram durante a apneia da deglutição um período de latência (“*glotal release sound*”) (CHICHERO; MURDOCH, 2003) entre o final do pico da deglutição e o início do discreto som final seguido de respiração (MACKOWIAK *et al.*, 1967; CHICHERO; MURDOCH, 2003; MORINIÈRE *et al.*, 2006; LESLIE *et al.*, 2007; MORINIÈRE *et al.*, 2008). Esta latência foi apresentada como uma variável que se relaciona com a idade dos sujeitos avaliados, com o volume e a viscosidade dos alimentos testados, comprovando um paralelismo com os estudos sobre apneia da deglutição (MORINIÈRE *et al.*, 2008).

2.7.4 Identificação da Deglutição com Aspiração por meio da Ausculta Cervical Digital

Em indivíduos com DOF, a incoordenação na movimentação dos músculos e estruturas envolvidos na deglutição e/ou atraso na abertura do músculo cricofaríngeo pode produzir sons indicativos deste distúrbio. As alterações descritas foram atribuídas à abertura prejudicada ou estenose do músculo cricofaríngeo relacionada à reduzida elevação laríngea durante a deglutição. Este evento levaria ao acúmulo de alimento atrás da valécula e, com subseqüentes deglutições, tal acúmulo poderia causar turbulência e alterar o sinal acústico em comparação ao som do processo não disfágico (CHICHERO; MURDOCH, 1998).

Outro som relacionado à DOF seria o murmúrio da regurgitação nasal quando há alteração no fechamento da rinofaringe pelo palato mole. Se a laringe não se fecha apropriadamente durante a fase faríngea, pode ocorrer penetração ou

aspiração de alimento para as vias aéreas inferiores. Esse evento pode causar sons anormais como estridor, som "molhado" da respiração, descarga de material antes ou durante a deglutição, além de tosse, limpeza da garganta e voz "molhada" (ZENNER *et al.*, 1995).

Um borbulhar ou um som semelhante ao de "um resto de água descendo pela pia" também já foram relatados como a descrição para os sons da aspiração de líquido fino (MCKAIG, 1999). O estridor pós-deglutição ou fonação com som "molhado" poderiam ser decorrentes de penetração com ou sem aspiração. Teoricamente, a existência de partículas na via aérea modifica a turbulência do fluxo durante a respiração e assim considera-se a hipótese de que, mesmo a aspiração silenciosa, poderia ser detectada logo após a deglutição pela AC (SHIRAZI *et al.*, 2012).

Na atualidade, o desenvolvimento da acelerometria (uso de acelerômetro como meio de captura das vibrações da deglutição) para compreender a origem dos sinais captados e correlacioná-los com a identificação de pacientes com risco de aspiração, tornou-se o foco de muitos estudos em ACD (REDDY *et al.*, 2000; DAS *et al.*, 2001; CHAU *et al.*, 2005; LEE *et al.*, 2006; LEE *et al.*, 2009; ZORATTO *et al.*, 2010; SEJDIC *et al.*, 2010; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2011; LEE *et al.*, 2011; NIKJOO *et al.*, 2011; MÉREY *et al.*, 2012; STEELE *et al.*, 2013).

As vibrações da deglutição são atribuídas ao movimento hiolaringeo (ZAROTTO *et al.*, 2010; NIKJOO *et al.*, 2011). Os movimentos de laringe e hióide originam vibrações que possuem características diferentes em pacientes com e sem risco para aspiração. O atraso neste movimento geralmente é observado em deglutições com alteração e a mensuração deste tempo ou de seu pico de aceleração, pode ser um recurso para discriminar deglutição normal da alterada com comprometimento de proteção da via aérea (ZAROTTO *et al.*, 2010; DAS *et al.*, 2011; NIKJOO *et al.*, 2011; LEE *et al.*, 2011; MÉREY *et al.*, 2012). No entanto, é importante ressaltar a falta de relação direta da alteração na excursão laríngea com a entrada de alimento na via aérea (LEE *et al.*, 2011).

Os pacientes com DOF e aspiração apresentam um sinal de deglutição com predomínio de ruídos, os quais são atribuídos a efeitos mecânicos do material aspirado na via aérea (REEDY *et al.*, 2000). Fluido extra, associado aos resíduos em recessos faríngeos, podem afetar as características acústica e vibracional da deglutição faríngea, as quais podem ser detectadas pela acelerometria (LEE *et al.*,

2011). Estes sinais apresentariam característica estacionária fraca, explicando sua semelhança com ruídos, os quais são detectados pela orelha humana com considerável variabilidade. Assim, as aspirações podem ser sons “silenciosos” ou pelo menos sem o característico “chiado” de alta frequência, justificando assim os reduzidos índices de detecção clínica deste evento (CHAU *et al.*, 2005).

Os padrões de vibração da deglutição patológica variam de forma mais ampla do que os padrões da deglutição normal. Apresentam menor aceleração média, maior centroide espectral e aceleração mais lenta na direção superior (NIKJOO *et al.*, 2011). Os sinais patológicos são curtos e apresentam componentes de alta, média e baixa frequência, quando comparados aos sinais da deglutição sem aspiração, os quais são longos e dominados por flutuações de baixa frequência (LEE *et al.*, 2006b).

Diferenças foram relatadas ao estudar os sinais da deglutição de pacientes com comprometimento neurológico e seus controles. Nesse estudo, assumiu-se um modelo matemático que considerou semelhante resposta faríngea para ambos os grupos e atividade neural diferente para iniciar a deglutição entre eles. Esta última foi a melhor característica para discriminar deglutição normal da deglutição disfágica, onde menores coeficientes de energia foram encontrados para os pacientes disfágicos (SHIRAZI; MOUSSAVI, 2011).

Estudos atuais com microfone também procuram caracterizar e diferenciar a deglutição disfágica daquela sem alteração (SANTAMATO *et al.*, 2009; SHIRAZI *et al.*, 2012; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012). A deglutição disfágica em adultos possui duração maior, com média de 1,402 segundos para líquidos em comparação à deglutição não disfágica, com média de 0,440 segundos. Pacientes com esclerose lateral amiotrófica apresentam aumento do tempo de deglutição ao final do dia, aproximando-se da duração da deglutição em idosos (SANTAMATO *et al.*, 2009). Em relação à densidade de potência espectral (DPE) da deglutição disfágica, a identificação de um aumento na razão total da energia identificada na deglutição com aspiração (segmento pós-deglutição) pode ser um marcador importante para discriminar os indivíduos que aspiram (SHIRAZI *et al.*, 2012; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012). Além disso, a análise das alterações de magnitude da frequência (ou DPE) da respiração pós-deglutição pode trazer informações importantes sobre a identificação da aspiração (SANTAMATO *et al.*, 2009; SHIRAZI *et al.*, 2012; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012). Os sons da respiração que seguem uma aspiração

demonstram alta magnitude em frequências baixas, justificadas pela presença de partículas na passagem de ar (SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012).

Embora com acurácia discutível, estudos sinalizam a ACD como um método de identificação do paciente com risco de aspiração, seja com uso de microfone ou acelerômetro (SANTAMATO *et al.*, 2009; SHIRAZI *et al.*, 2012; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012). A utilização de algoritmos para o processamento dos sinais captados por acelerômetro e a identificação de aspiração podem melhorar os índices de sensibilidade e especificidade do método (SEJDIC *et al.*, 2010c; NIKJOO *et al.*, 2011; STEELE *et al.*, 2013).

A maioria destes estudos foi realizada em adultos embora já existam alguns estudos em crianças (CHAU *et al.*, 2005; LEE *et al.*, 2006a; LEE *et al.*, 2006b; MÉREY *et al.*, 2012). A grande limitação em desenvolver este método na população pediátrica é decorrente da baixa colaboração das crianças em geral, contaminando os ruídos captados com sua fala, com movimentos de cabeça, choro, entre outros. Porém o investimento é válido visto que a ACD pode servir de adjuvante na avaliação clínica. A ACD é considerada uma técnica não invasiva a qual pode ser repetida inúmeras vezes e pode auxiliar no manejo do paciente com vistas ao encaminhamento para VFD e consequente exposição do paciente à radiação (MÉREY *et al.*, 2012; STEELE *et al.*, 2013).

Investigação entre grupos de recém-nascidos prematuros com e sem displasia broncopulmonar utilizou índice de variância e processamento digital dos sinais para mensurar as diferenças entre grupos no momento de alimentação por via oral. O índice calculado para os recém-nascidos com displasia foi significativamente diferente do calculado para os recém-nascidos sem problema pulmonar (REYNOLDS *et al.*, 2003). A partir desta constatação este pode ser mais um um parâmetro indicador de risco para o padrão de incoordenação sucção/deglutição/respiração.

Na população pediátrica, estudos apontam entre 80 e 89,6% de acurácia para discriminação entre deglutições e aspirações, superando a variação de 40 a 60% de acurácia da avaliação clínica a beira do leito (LEE *et al.*, 2006a; MÉREY *et al.*, 2012). Contudo, uma cuidadosa análise para a utilização dessas informações no gerenciamento alimentar do paciente disfágico se faz necessário (LEE *et al.*, 2006a). Para tanto, foi proposta uma análise matemática de algumas características no domínio do tempo dos sinais da acelerometria de 100 crianças com

comprometimento neurológico. Resultados demonstraram cerca de 81% de acurácia e taxas em torno de 9% para falsos positivos e falsos negativos na detecção de aspiração (LEE *et al.*, 2006b). Neste contexto, o desenvolvimento de dispositivos para detecção automática de aspiração em crianças parece ser útil no monitoramento domiciliar da alimentação (LEE *et al.*, 2006a; LEE *et al.*, 2006b).

A grande variabilidade de sinais sugere que mais de uma característica deve fazer parte da análise dos sons da deglutição em crianças (CHAU *et al.*, 2005). Além disso, devido à diferença dos objetivos e das características analisadas, não é indicado realizar comparações ou generalizações entre os estudos com adultos e com crianças (LEE *et al.*, 2011).

Em vista da escassez de estudos que avaliam a aspiração pulmonar em crianças através da ausculta cervical digital, faz-se necessário a busca de identificação de marcadores de aspiração especialmente para a população pediátrica.

3 JUSTIFICATIVA

O evento da aspiração na DOF em crianças apresenta-se como consequência do distúrbio da deglutição e como origem de repercussões negativas, tanto pulmonares como clínicas em geral. A detecção deste evento é uma preocupação constante dos clínicos que trabalham com avaliação e reabilitação de crianças com DOF de diferentes etiologias.

A equipe envolvida com este diagnóstico possui recursos objetivos e invasivos para a avaliação da fisiopatologia da deglutição, aplicados em momento único de investigação da aspiração traqueal. Os exames objetivos, dentre eles a VFD e a VED, trazem informações importantes para a determinação de condutas realistas, mas contam com a difícil colaboração da população pediátrica, o alto custo dos procedimentos e a necessidade de vários profissionais especialistas.

A possibilidade de contar com recurso minimamente invasivo, com baixo custo, portátil, com relativa facilidade de treinamento de profissionais e da família para o monitoramento da aspiração de crianças com DOF, assegura justificativas consideráveis para o desenvolvimento de estudos com este instrumento e nesta população. A ideia de um exame de triagem a beira do leito, o qual identifique risco potencial de aspiração e indicação com maior segurança de exames objetivos é animadora. Haveria assim a redução à exposição desnecessária de crianças aos procedimentos invasivos e com radiação.

4 HIPÓTESES

- a) Crianças com queixa de DOF apresentam tempo de deglutição maior em relação aquelas sem esta queixa.

- b) Crianças com queixa de DOF e aspiração traqueal de alimento apresentam DPE do segmento pós-deglutição diferente daquelas sem aspiração.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Comparar os sons da deglutição e do segmento pós-deglutição captados por ACD em crianças com DOF, com e sem aspiração traqueal.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o tempo da deglutição dos sinais captados de crianças com DOF com e sem aspiração, comparando-o entre grupos.
- Avaliar o intervalo entre o pico da deglutição e o discreto som final com retorno expiratório (“Gap”) dos sinais captados de crianças com DOF com e sem aspiração, comparando-o entre grupos.
- Avaliar a DPE através do RMS (*root mean square ou valor quadrático médio*) do segmento pós-deglutição (respiração ou aspiração) de crianças com DOF com e sem aspiração, comparando-a entre grupos.
- Comparar os valores de tempo de deglutição, tempo de “Gap” e da DPE dos sinais captados de crianças com DOF com e sem aspiração, com os sinais captados de crianças sem DOF originários de um banco de dados de estudo anterior (ALMEIDA *et al.*, 2008).

6 CASUÍSTICA E MÉTODOS

6.1 DELINEAMENTOS DO ESTUDO

Trata-se de um estudo transversal, observacional e comparativo, com enfoque diagnóstico.

6.2 POPULAÇÃO EM ESTUDO

Crianças de ambos os sexos na faixa etária de 1 a 14 anos encaminhadas para o exame de VFD no Serviço de Radiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA).

6.3 PROCESSO DE SELEÇÃO E CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

A coleta dos dados desenvolveu-se de abril a dezembro de 2012, a partir de projeto aprovado pelo CEP/GPPG/HCPA sob nº 09/554. Foram considerados critérios de inclusão os sinais e/ou sintomas de DOF: dificuldades de sucção e/ou mastigação; engasgos, tosse, náuseas e/ou refluxo nasal durante alimentação; broncopneumonia de repetição com suspeita de associação com DOF. Todas as crianças participantes do estudo foram referenciadas ao exame da VFD pelo médico responsável.

Os critérios de exclusão foram impossibilidade de alimentação por via oral secundária à ausência de reflexo de sucção, mastigação e/ou deglutição, recusa alimentar que impossibilite totalmente a realização de exames, diminuição do estado de consciência; crianças traqueostomizadas; e falta de assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido pelos pais ou responsáveis.

6.4 EQUIPAMENTOS

6.4.1 Ausculta Cervical Digital

O equipamento para a ACD foi composto por um detector acústico e um pré-amplificador com filtro conectados a um computador Coreo 2 Duo.

O detector acústico utilizado foi um microfone piezoelétrico com curva de resposta plana entre 15Hz e 15.000Hz, acoplado a uma aba de fixação de triacetato. Foi utilizado filtro passa-faixa tipo Butterworth de quarta ordem com frequência de corte inferior em 15Hz e frequência de corte superior em 15.000Hz e atenuação nas bandas de rejeição equivalente a 12dB/oitava (Apêndices A e B).

Os sinais acústicos foram adquiridos com taxa de amostragem de 44100 amostras por segundo e 16 bits de nível de quantização. O programa Raven, versão 1.1, apresentava dois gráficos: um oscilograma na parte superior da tela (tempo em segundos x amplitude em unidades arbitrárias) e um espectrograma na parte inferior (tempo em segundos x frequência em hertz). O espectrograma foi calculado pelo programa utilizando a Transformada Rápida de Fourier com 1024 amostras, janela de Hanning e 50% de nível de superposição. A resolução em frequência equivale a 43,1 Hz, sendo a resolução temporal de 11,6ms (0,0116 segundos).

6.4.2 Videofluoroscopia da Deglutição

A VFD foi realizada em equipamento existente no Serviço de Radiologia do HCPA (Shimatzu – Sonialvision VERSA). O mesmo foi adaptado por meio da inserção de equipamento de gravação em DVD com objetivo de capturar a imagem gerada visando posterior análise. A captação das imagens foi realizada em fluoroscopia com taxa de aquisição de 30 quadros por segundo.

O posicionamento da criança também foi reorganizado durante a VFD. Uma cadeira infantil foi utilizada para acomodar os pacientes em posição usual de alimentação (sentados/ reclinados).

6.5 LOGÍSTICA DO ESTUDO

Foram elegíveis todos os pacientes com VFD solicitada ao Serviço de Radiologia – HCPA. Participaram 32 pacientes que preencheram os critérios de inclusão e exclusão encaminhados das diversas especialidades pediátricas, com suspeita de DOF. Todos os procedimentos foram explicados aos responsáveis pela criança e logo após, era feito o convite para fazer parte do estudo. Após a concordância, era solicitada a assinatura do consentimento informado (Apêndice C).

No ambulatório do Serviço de Otorrinolaringologia do HCPA, foi realizada a primeira etapa de avaliação do paciente. A Avaliação Clínica Fonoaudiológica compreendia:

- a) revisão do prontuário;
- b) anamnese com enfoque alimentar enfatizando história clínica, via de alimentação, o tempo das refeições, sinais sugestivos de penetração/ aspiração, reações comportamentais durante a alimentação;
- c) avaliação estrutural orofacial (posicionamento, mobilidade, tonicidade e integridade do sistema estomatognático);
- d) ausculta cervical com estetoscópio Littmann® Classic II Pediatric antes e depois da deglutição;
- e) avaliação funcional da deglutição (paciente alimentava-se de líquido e/ou pastoso e/ou sólido – conforme aceitação) nas mesmas quantidades padronizadas para o futuro exame de VFD;

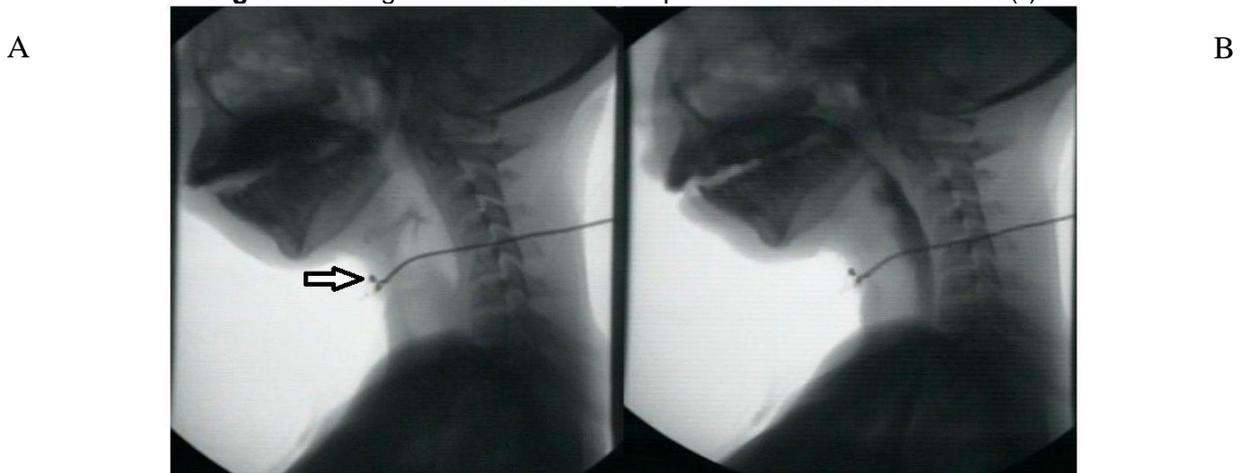
A VFD era realizada até 24h após a avaliação clínica fonoaudiológica e em conjunto por vários profissionais: um técnico em radiologia, duas fonoaudiólogas com experiência em análise fluoroscópica da deglutição, sob supervisão de um médico radiologista. Durante o exame foi realizada a ACD. Ambos os equipamentos estavam na mesma sala, adaptados às condições do exame. A criança era mantida em posição sentada em cadeira adaptada ou em sua própria cadeira de rodas (nos casos daqueles que já possuíam cadeira adaptada).

Antes do exame, os seguintes procedimentos eram realizados:

- 1) determinação dos alimentos oferecidos ao paciente e agregação de bário suficiente (3:1) para produzir maior densidade e visualização do

- bolo alimentar durante o exame. A ordem de oferecimento do alimento foi pré-estabelecida a partir dos dados já coletados na avaliação clínica;
- 2) adaptação e conexão do microfone da ACD ao pescoço do paciente. Observava-se a deglutição de saliva para localizar, por meio da palpação manual, o melhor local de fixação do microfone (sobre a borda lateral da traquéia imediatamente inferior à cartilagem cricóide) (TAKAHASHI *et al.*, 1994a; CHICHERO; MURDOCH, 2002a). (Figura 5) Este era acoplado a uma aba de triacetato que servia de base para o micropore. Já conectado ao computador, verificava-se pelo programa *Gold Wave* se a captação estava adequada, sem sinais de interferência ou falhas de conexão antes do início do exame;

Figura 5 - Imagens da VFD. Paciente posicionado em visão lateral (*)



Fonte: Pesquisa (2013)

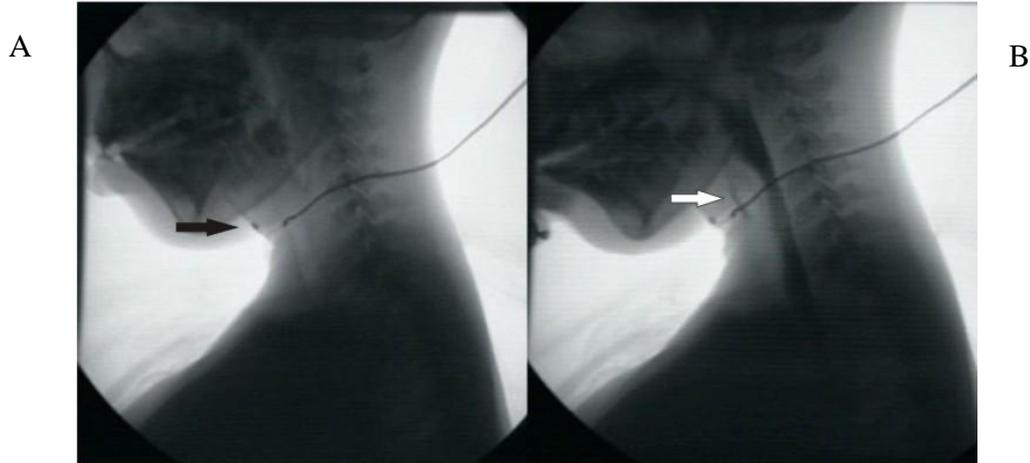
* A: identificação do microfone fixado ao pescoço; B: deglutição de alimento líquido contrastado sem aspiração traqueal

- 3) verificação das condições dos equipamentos de gravação do exame (DVD);
- 4) posicionamento da criança em perfil para a radioscopia. (Figura 5) A radioscopia foi centralizada conforme o posicionamento do paciente e suas dimensões, sendo encontrada a melhor definição de imagem, inicialmente sem colimação. Estabeleceram-se como limites laterais os lábios e a margem posterior do crânio e como limites superior e inferior, a margem superior do crânio e ombro, respectivamente e sempre que possível;

-
- 5) a mãe ou responsável pelo paciente foi informado a oferecer os alimentos nas porções determinadas. Também foi solicitado para não interferir na imagem captada pelo equipamento com suas mãos; evitar falar em voz alta durante o exame para evitar interferência nos sons captados pelo microfone. Além disso, poderia auxiliar na centralização da cabeça da criança, quando necessário;
 - 6) a partir da organização dos materiais, do paciente e da equipe que permanecia em sala, o exame iniciava com o comando de uma fonoaudióloga que estava ao lado do paciente monitorando o estudo de deglutição e a ACD. Simultaneamente iniciava-se a captura das imagens e a captura dos sons da deglutição em intervalos de 2 minutos para cada consistência;
 - 7) A quantidade oferecida de alimentos variou conforme o utensílio utilizado e foi previamente preparada da seguinte forma:
 - a) pastoso em colher de sobremesa: agregado 30 ml de pastoso com 10ml de bário; oferecido 5 vezes 5ml medido em seringa colocado na colher; caso não apresentasse aspiração, prosseguia-se com mais 3 a 5 colheres cheias de alimento (ou durante 2 minutos);
 - b) alimento líquido ralo na mamadeira (30 ml de líquido com 10 ml de bário): livre oferecimento durante 2 minutos; alimento líquido no copo: 5 vezes 5ml medido em seringa e colocado em copo, deglutidos consecutivamente. Caso não apresentasse aspiração, no tempo restante ofereciam-se goles livres (2 minutos);
 - c) Alimento sólido: biscoito tipo *waffle* era oferecido em 5 pedaços de 2 centímetros com bário pastoso agregado.
 - 8) A fonoaudióloga que executava o exame observava a dinâmica da deglutição em uma tela em tempo real e monitorava os sons captados em um computador. Na identificação de aspiração, era registrado no computador o tempo correspondente à deglutição com aspiração para posterior reanálise do som captado. (Figura 6) Na mesma sala, um técnico em radiologia (operador do equipamento) e outra fonoaudióloga, sob supervisão de um médico radiologista, acompanhavam o exame e

registravam em documento específico a consistência testada, o evento de aspiração e demais alterações percebidas. Ao final, os profissionais discutiam o exame e concluíam o laudo em consenso;

Figura 6 - Imagens da VFD em visão lateral (*)



Fonte: Pesquisa (2013)

* A: localização do microfone fixado ao pescoço. B: identificação da topografia das pregas vocais; deglutição de alimento líquido contrastado, com entrada de alimento em via aérea que ultrapassa o nível das pregas vocais (aspiração traqueal)

Para classificação das deglutições foi utilizada uma escala com base na *Penetration-Aspiration Scale* (ROSENBECK *et al.*, 1996). Conforme a escala, a definição do evento penetração de alimento refere-se à entrada de material na laringe sem ultrapassar abaixo do limite das pregas vocais. Aspiração de alimento foi definida como a entrada de material abaixo do limite das pregas vocais. Para este estudo, não foram estabelecidas as quantidades e capacidade de limpeza do material penetrado ou aspirado, pois tais características tem maior importância clínica do que para a classificação das deglutições neste experimento. A tabela 2 apresenta a classificação para as deglutições analisadas.

Tabela 2 - Classificação das deglutições durante a VFD

Nível 1.	Alimento contrastado não entra em via aérea
Nível 2.	Alimento contrastado entra em via aérea, faz contato com as pregas vocais e não ultrapassa abaixo desta estrutura.
Nível 3.	Alimento contrastado entra na via aérea, ultrapassa as pregas vocais.

Fonte: Baseado e adaptado de Rosenbeck *et al.* (1996)

- 9) após a conclusão dos exames, o paciente e seu responsável eram reencaminhados ao ambulatório de origem onde eram fornecidas as informações, orientações e indicações pertinentes ao caso, tanto para os responsáveis quanto para a equipe médica assistente do paciente.

6.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.6.1 Análise das Imagens e Sinais Captados

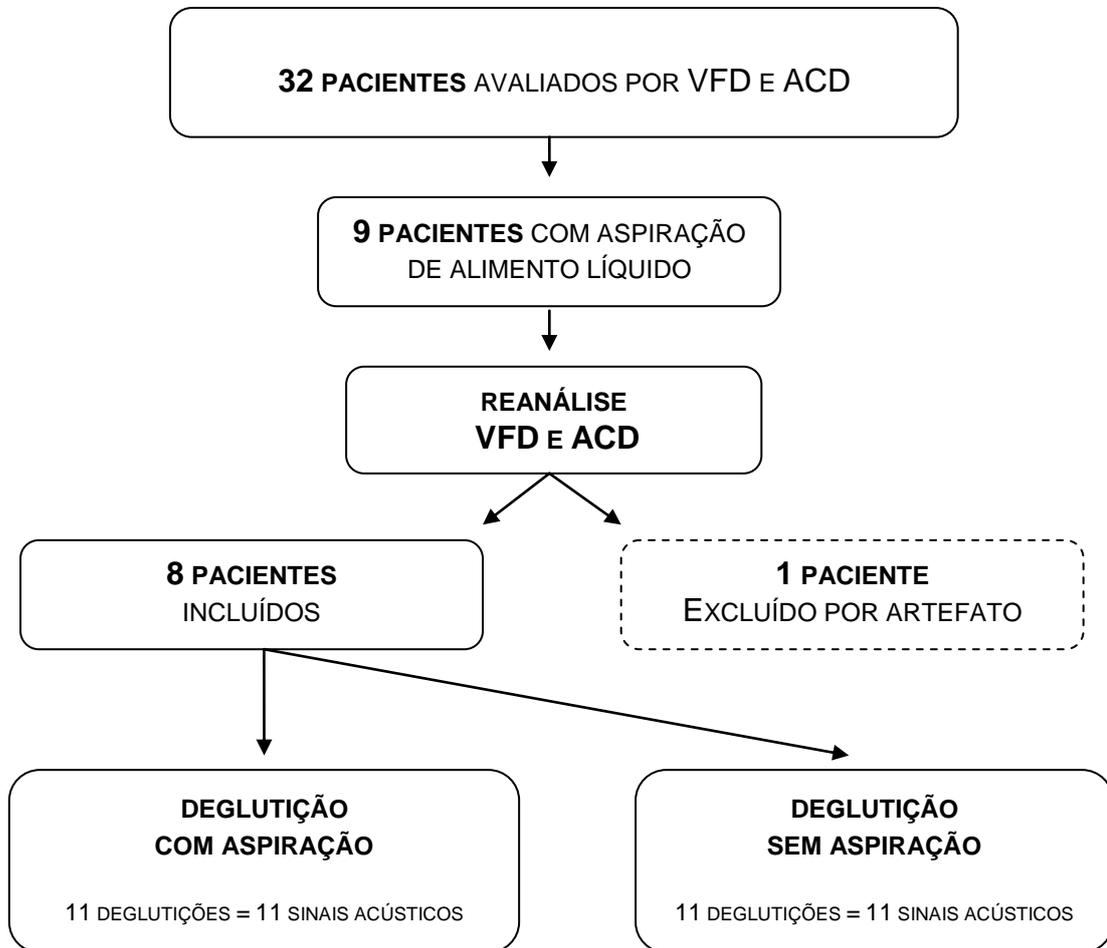
As imagens da VFD, dos 32 pacientes, concomitantes aos sons da ACD foram analisadas posteriormente pela fonoaudióloga pesquisadora com objetivo de determinar os eventos fisiológicos e fisiopatológicos apresentados na imagem capturada em comparação com os sons captados.

A partir da classificação estabelecida para este estudo foram classificados no nível 3 nove pacientes (28,12%) com aspiração durante ou depois da deglutição (consistência líquida e/ou pastosa). Na reanálise da VFD desses casos foi registrado o número de deglutições realizadas para cada consistência e o número da deglutição com aspiração. O mesmo método era realizado na análise visual e auditiva do som da deglutição no espectrograma, com objetivo de selecionar a deglutição com aspiração. Nessa fase foram excluídos os sinais com interferências durante o exame, como deslocamento do microfone da fixação inicial, microfonia ou falhas de captação. Ao final desta etapa foram selecionados oito pacientes do nível 3 e 11 sinais de aspiração na consistência líquida, a qual apresentou-se como a consistência alterada em todos estes pacientes. Os sinais de aspiração na consistência pastosa não foram analisados devido ao reduzido número de eventos (dois pacientes aspiraram alimento pastoso). (Figura 7)

O mesmo método foi empregado para selecionar deglutições sem aspiração na consistência líquida, neste mesmo grupo de oito pacientes classificados no nível 3. Foram selecionados 11 sinais de deglutição sem aspiração, os quais ocorreram antes da primeira aspiração de cada paciente e assim, sem interferência de conteúdo alimentar na via aérea. Estes sinais foram comparados com os sinais de aspiração do mesmo indivíduo, garantindo igualdade de acoplamento de microfone, quantidade alimentar, densidade de massa corporal e condições gerais do exame. (Figura 7)

Os pacientes que apresentaram deglutições classificadas no nível 1 ou 2 não foram analisados neste estudo.

Figura 7 - Fluxograma de Análise das Imagens e dos Sinais Captados



Fonte: Pesquisa (2013)

6.6.2 Análise dos Sons da Deglutição

A análise dos sons da deglutição foi desenvolvida a partir do estabelecimento de grupos de sinais de deglutição, a saber:

Grupo 1 - Foram selecionados 11 sinais de deglutição com aspiração. Os sinais foram detectados simultaneamente pela VFD, garantindo a identificação da aspiração. Denomina-se este grupo como G1, originado de pacientes com queixa para DOF.

Grupo 2 – Foram selecionados 11 sinais de deglutição sem aspiração. Os sinais foram detectados simultaneamente pela VFD, garantindo a identificação de

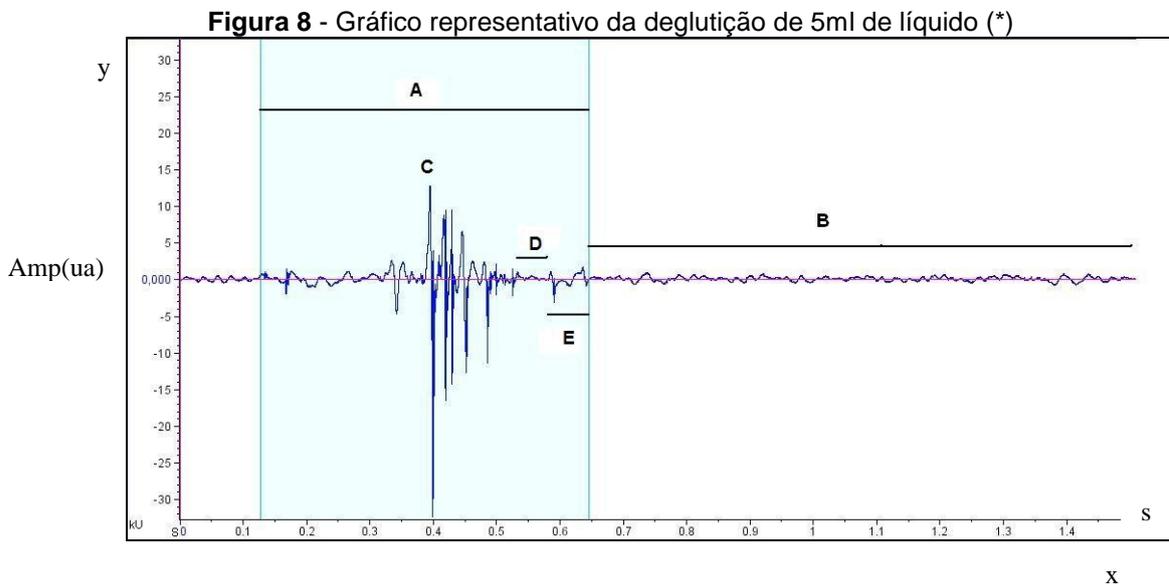
deglutição sem aspiração. Denomina-se este grupo como G2 originado de pacientes com queixa para DOF.

Grupo 3 – Foram selecionados 11 sinais de deglutição de crianças sem doença neurológica, síndrome ou outra condição que pudesse cursar com DOF. Estas foram avaliadas por ACD com o mesmo tipo de instrumento de captação do presente estudo. Os sinais foram selecionados de um banco pré-existente, oriundo de estudo anterior em ACD (ALMEIDA *et al.*, 2008), onde foram avaliadas crianças de 3 a 14 anos de idade sem queixas de DOF. Estes sinais foram pareados por sexo e idade com os sinais das crianças avaliadas na presente pesquisa. Denomina-se este grupo como G3.

A identificação de todos os sinais foi realizada por examinador treinado especificamente para este estudo e com experiência em ACD. Num total de 33 sinais, foi realizada a análise visual e auditiva com a seleção dos componentes do som da deglutição registrados nos programas citados anteriormente. Os componentes a seguir (Figuras 8 e 9) foram determinados em consenso por dois examinadores com experiência em ACD e com base em estudos do método (VICE *et al.*, 1990; REYNOLDS *et al.*, 2002; MORINIÈRE *et al.*, 2008; ALMEIDA *et al.*, 2008; REYNOLDS *et al.*, 2009).

1. **Identificação do início e final da deglutição:** o sinal era marcado a partir da primeira passagem do valor de zero (amplitude) do sinal sonoro no eixo x (discreto som inicial) e finalizava na identificação do retorno do gráfico ao ponto zero (discreto som final) no eixo x com subsequente respiração ou aspiração.
2. **Identificação do pico de deglutição:** sinal representado por um “estouro” sonoro ou “explosão” de diferenciada amplitude e rápida duração. Graficamente (no oscilograma) pode ser composto por um ou mais picos, os quais representam o evento da passagem do bolo alimentar pela transição faringoesofágica.
3. **Identificação do segmento pós-deglutição (respiração ou aspiração):** sinal subsequente à deglutição, correspondente ao tempo entre eventos de deglutição.

4. **Identificação do “Gap”**: espaço de tempo entre o final do pico da deglutição e o discreto som final com subsequente respiração ou aspiração.



Fonte: Almeida *et al*, (2008)

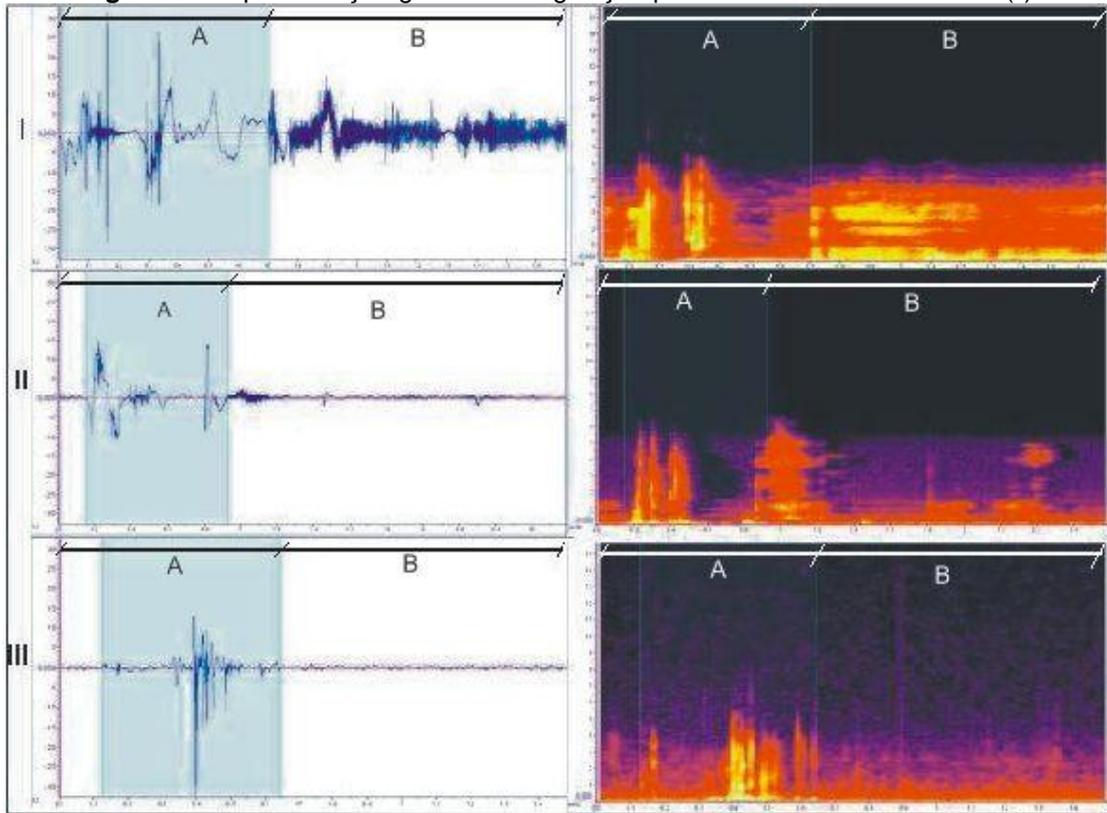
* Eixo x: tempo em segundos; eixo y: amplitude em unidades arbitrárias; Componentes da deglutição: A - deglutição; B - segmento pós-deglutição (respiração); C - pico da deglutição; D - Gap; E - discreto som final.

6.6.2.1 Variáveis

Para os segmentos identificados, foram analisadas as seguintes variáveis:

- I. Delta t: corresponde ao tempo de duração em segundos do evento analisado – estabelecido para deglutição e “Gap”;
- II. RMS (root mean square ou valor quadrático médio): corresponde a uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável – potencia média – referente, neste estudo, ao valor da densidade de potência espectral (DPE) expressa por $1/\text{Hz}$ – estabelecido para o segmento pós-deglutição (respiração e aspiração). O valor do RMS está associado com a energia do sinal sonoro; esta energia é proporcional à DPE num determinado intervalo de frequências. (Figura 10)

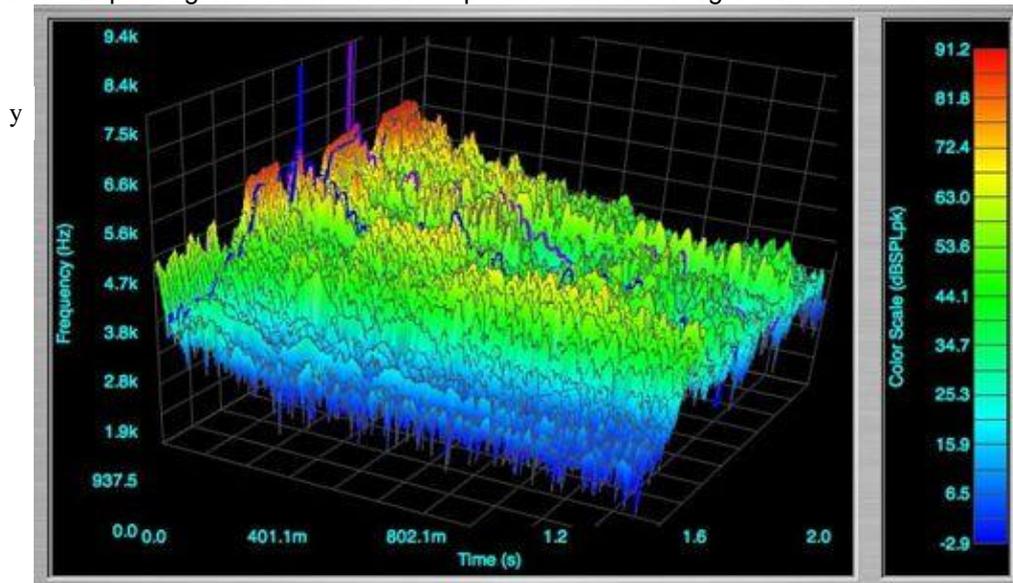
Figura 9 - Representação gráfica da deglutição para análise visual e auditiva (*)



Fonte: Pesquisa (2013)

* À esquerda: oscilograma; à direita: espectrograma. Identificação do início e final da deglutição (A) e segmento pós-deglutição (B); deglutição e segmento pós-deglutição (aspiração) em um paciente (I) do G1 e deglutição e segmento pós-deglutição (respiração) em pacientes do G2 (II) e G3 (III).

Figura 10 - Espectrograma tridimensional representativo da energia sonora de um sinal acústico (*)



Fonte: Pesquisa (2013)

*Eixo x: tempo (s); Eixo y: frequência (Hz); Eixo z (perpendicular ao gráfico e representado pela palheta de cores): densidade de potência espectral (dB)

6.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a caracterização da amostra total, os dados da avaliação clínica fonoaudiológica e da VFD foram apresentados como frequência absoluta, média (\pm DP) e mediana (percentil 25 e 75). O teste não paramétrico *Mann-Whitney U* foi utilizado para a comparação entre os grupos de pacientes. Para a comparação entre os grupos de sinais da deglutição (G1,G2,G3) foi utilizada a análise de equações de estimativas generalizadas para comparações múltiplas com ajuste de Bonferroni, considerando $p \leq 0,05$.

7 RESULTADOS

7.1 AVALIAÇÃO CLÍNICA FONOAUDIOLÓGICA E VIDEOFLUOROSCOPIA DA DEGLUTIÇÃO

Os 32 pacientes referenciados pelas equipes médicas de otorrinolaringologia, pediatria, gastroenterologia pediátrica e pneumologia do HCPA para a VFD estão caracterizados na tabela 3.

Na investigação sobre o tempo de duração da alimentação das crianças com via oral exclusiva (n=29), 9 (31,03%) pacientes apresentaram tempo de alimentação prolongado (mais de 30 minutos), 8 (27,58%) tempo entre 20 e 30 minutos e 12 (41,37%) alimentavam-se em tempo inferior a 20 minutos. Dos 32 familiares dos pacientes avaliados, 25 (78,12%) relataram observar sinais sugestivos de incoordenação de deglutição e/ou reações comportamentais indesejáveis durante a alimentação.

Destes 25 familiares, 18 (72,00%) relataram observar até 2 sinais e 7 (28,00%) relataram mais de dois sinais sugestivos de incoordenação. Em relação às reações comportamentais durante a alimentação, 19 (76,00%) apresentavam até dois tipos de reações durante as refeições e 6 (24,00%) mais de duas reações. A distribuição dos sinais sugestivos de penetração/aspiração e das reações comportamentais durante a alimentação é apresentada na tabela 4.

A classificação dos pacientes conforme os eventos de penetração/ aspiração na análise da VFD e a caracterização dos grupos de sinais da deglutição selecionados para comparações múltiplas, pareados por sexo e idade, estão apresentadas na figura 11. Os 8 pacientes com sinais distribuídos nos grupos G1 e G2 foram 4 (50,00%) do sexo masculino e apresentaram mediana de idade (percentil 25-75) de 48 meses (15-134). As 11 crianças do grupo de sinais G3 foram 6 (54,54%) do sexo masculino e apresentaram mediana de idade de 48 meses (36-128). Não houve diferença entre as idades dos grupos ($p=1.000$).

Tabela 3 - Caracterização da amostra total de pacientes avaliados por VFD e ACD

Variáveis para Caracterização da Amostra Total	Pacientes Avaliados N=32
Idade (mediana – percentil 25-75)	69 meses (35-120)
Sexo n(%)	
Masculino	16 (50,00)
Doença de Base n(%)	
Paralisia Cerebral	12 (37,50)
Síndrome Genética	9 (28,12)
Doença Neuromuscular	3 (9,37)
Miscelânea	8 (25,00)
Histórico de Pneumonias de Repetição n(%)	
Sim	22 (68,80)
Não	10 (31,20)
Idade de início dos problemas alimentares n(%)	
Desde o nascimento	23 (71,90)
Após segundo ano de vida	9 (28,10)
Via de alimentação no momento da avaliação n(%)	
Sonda Nasoenteral e via oral	3 (9,40)
Via oral exclusivamente	29 (90,60)

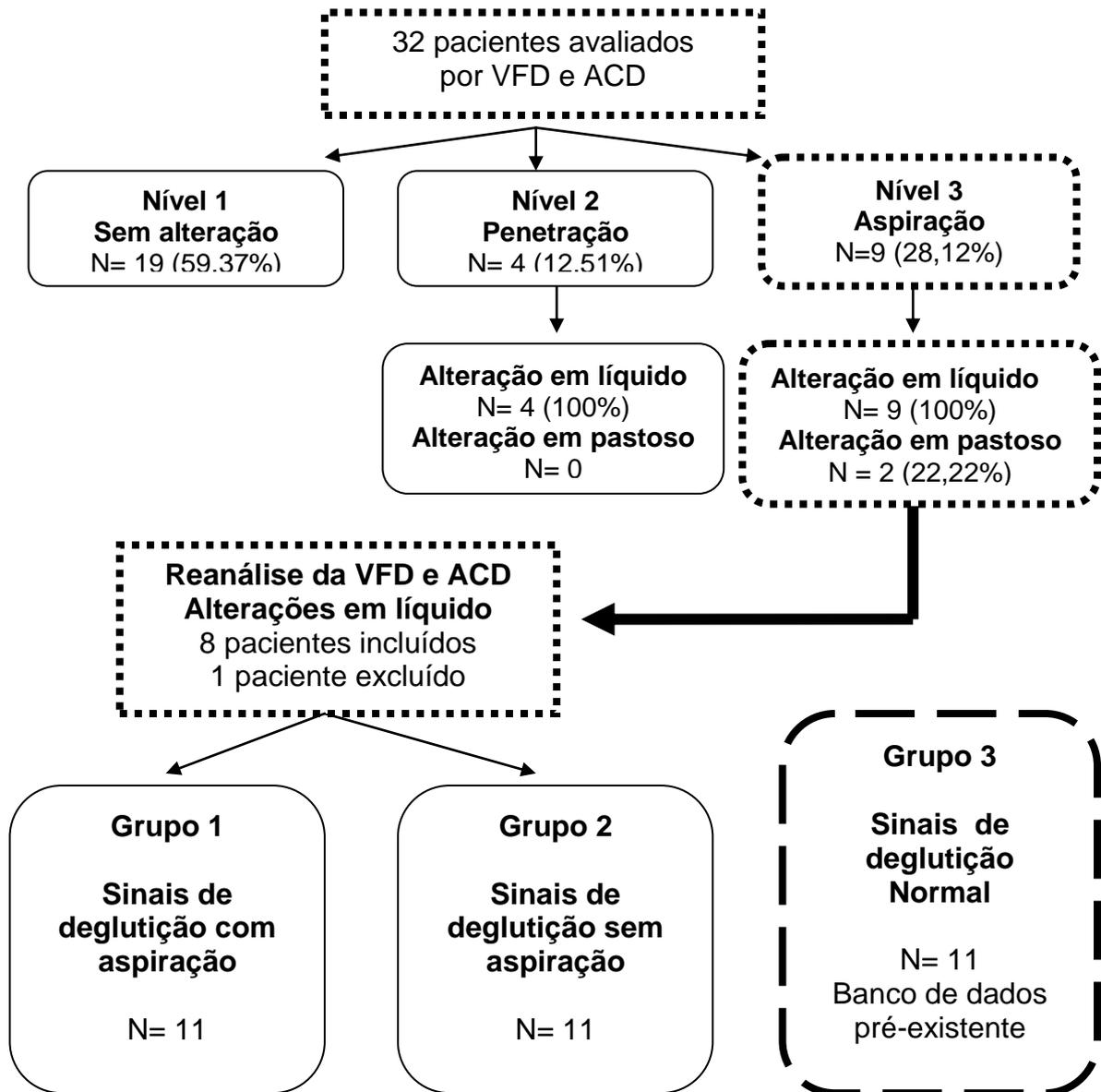
Fonte: Pesquisa (2013)

Tabela 4 - Sinais sugestivos de penetração/aspiração e reações comportamentais observadas pelos cuidadores durante a alimentação das crianças com queixa de DOF

Sinais Sugestivos de Aspiração N=25	Presente n (%)	Ausente n (%)
Tosse	14 (56)	11 (44)
Engasgo	16 (64)	9 (36)
Vômito	3 (12)	22 (88)
Náusea	9 (36)	16 (64)
Ruído respiratório	5 (20)	20 (80)
Cansaço	1 (4)	24 (96)
Reações Comportamentais N=25		
Irritabilidade	8 (32)	17 (68)
Recusa alimentar	15 (60)	10 (40)
Lentidão	12 (48)	13 (52)
Sonolência	6 (24)	19 (76)

Fonte: Pesquisa (2013)

Figura 11 - Fluxograma de análise das imagens e dos sinais da deglutição captados e caracterização dos grupos de sinais selecionados para comparações múltiplas, pareados por sexo e idade



Fonte: Pesquisa (2013)

* Teste *t Student* para amostras pareadas: $p = 0,510$ para a comparação entre as idades

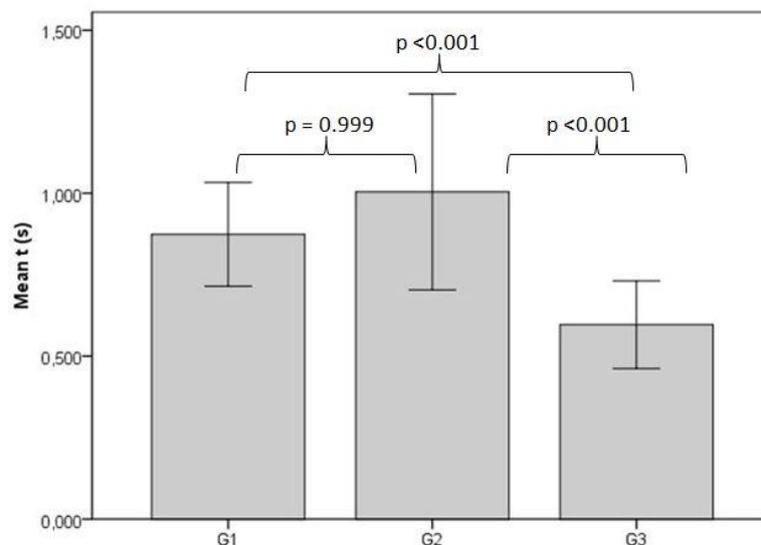
7.2 SINAIS ACÚSTICOS DA DEGLUTIÇÃO

As variáveis determinadas para avaliação dos 33 sinais da deglutição agrupados em G1 (sinais da deglutição com aspiração) e G2 (sinais da deglutição sem aspiração de pacientes com queixa de DOF) e G3 (sinais de deglutição normal de crianças sem queixa de DOF ou doenças relacionadas a esta manifestação)

demonstraram a partir da análise de equações múltiplas generalizadas, com ajuste de Bonferroni e considerando $p \leq 0,05$:

- I. Delta t da deglutição: as médias de tempo de deglutição em segundos para o G1 ($1,289 \pm 0,064s$) e G2 ($1,230 \pm 0,124s$) são significativamente maiores do que no G3 ($0,596 \pm 0,057s$) ($p < 0.001$). Não há diferença entre as médias de tempo de deglutição entre G1 e G2 ($p = 0.999$) (Figura 12);
- II. Delta t do “Gap”: as médias do tempo do “Gap” (entre o final do pico da deglutição e um discreto som final) do G1 ($0,266 \pm 0,025s$) e do G2 ($0,223 \pm 0,033s$) são estatisticamente maiores do que em G3 ($0,117 \pm 0,017s$) ($p = 0,000$ e $p = 0,015$). Não há diferença entre os valores do G1 e G2 ($p = 1,000$) (Figura 13);
- III. RMS do segmento pós-deglutição (respiração/aspiração): a média do valor do RMS da aspiração detectada no G1 ($3330,8 \pm 405,7$ $1/\sqrt{Hz}$) é significativamente maior que as médias dos valores do RMS da respiração no G2 ($720,55 \pm 121,6$ $1/\sqrt{Hz}$) e no G3 ($890,3 \pm 179,4$ $1/\sqrt{Hz}$) ($p < 0.001$). Não houve diferença significativa nos valores de RMS entre G2 e G3 ($p = 0.999$) (Figura 14).

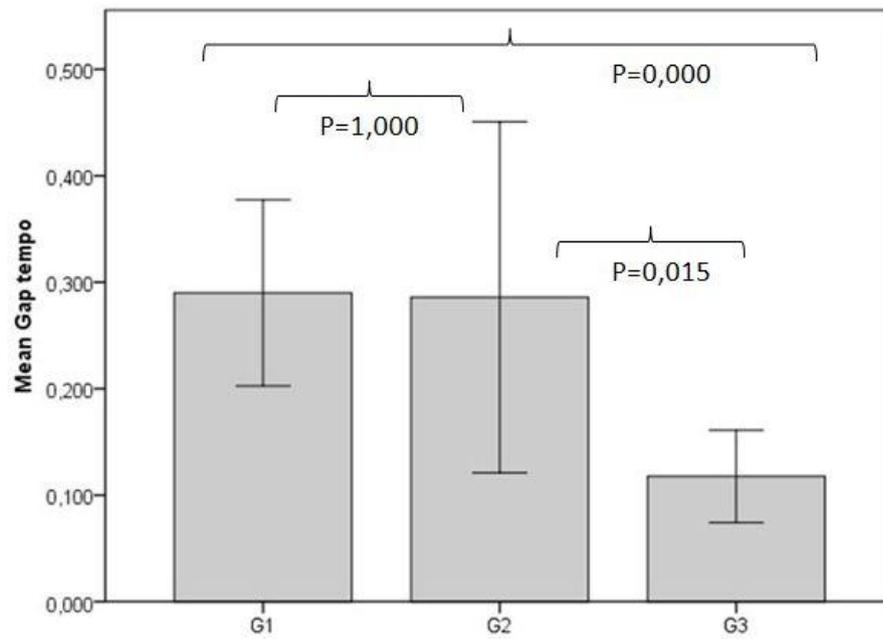
Figura 12 - Valores das médias do tempo de deglutição (t) em segundos (s) (*)



Fonte: Pesquisa (2013)

* As médias encontradas em G1 e G2 são significativamente maiores que em G3

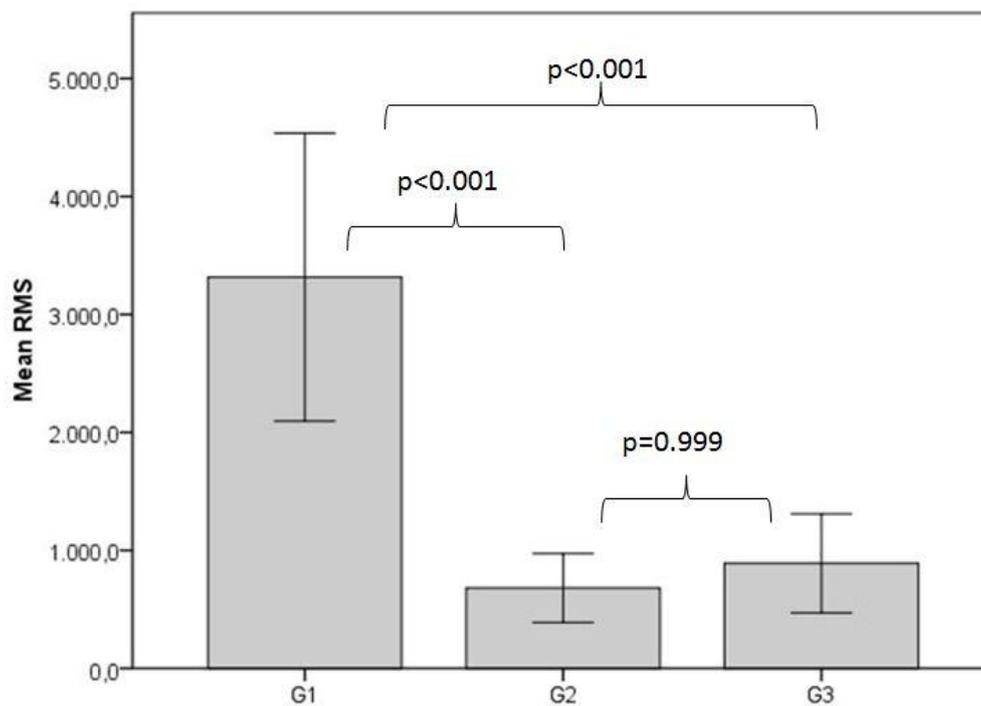
Figura 13 - Valores das médias do tempo do “Gap” em segundos (*)



Fonte: Pesquisa (2013)

* As médias encontradas em G1 e G2 são significativamente maiores que em G3

Figura 14 - Valores do RMS do segmento pós-deglutição ($1/\sqrt{\text{Hz}}$) (*)



Fonte: Pesquisa (2013)

* O valor encontrado em G1 é significativamente maior que em G2 e em G3

8 DISCUSSÃO

O presente trabalho buscou identificar parâmetros de análise da aspiração e da deglutição disfágica, comparando os sinais captados por microfone fixado ao pescoço de crianças com e sem queixa de DOF. Trata-se de um estudo original, pois investigou os achados da ACD em crianças com a utilização de microfone e concomitantemente à VFD. Os principais achados foram: a comparação entre os sinais de deglutição com aspiração e sinais de deglutição sem aspiração, identificação do “Gap” relacionado à apneia da deglutição em crianças e caracterização do segmento pós-deglutição com aspiração.

8.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA ESTUDADA

A amostra do presente estudo apresentou considerável variabilidade de diagnóstico com discreto predomínio das doenças neurológicas (37,50% com paralisia cerebral e 9,37% com doença neuromuscular) e das síndromes genéticas (28,12%) como doenças de base. Segundo os dados da literatura, dentre as causas de origem neurológica, a paralisia cerebral é a doença mais comum e com maiores repercussões neste processo (LEFTON-GREIF, 2008; PRASSE; KIKANO, 2009; GISEL, 2008; FURKIM *et al.*, 2009; MORGAN *et al.*, 2012). Crianças com síndromes genéticas frequentemente apresentam problemas alimentares e de deglutição, com difícil manejo quando associadas a problemas comportamentais. As alterações de deglutição são resultado de complexas interações entre aspectos anatômicos, clínicos e fisiológicos (COOPER-BROWN *et al.*, 2008). De uma forma geral, toda criança com queixa familiar de alteração de deglutição tem indicação de realizar avaliação clínica para esclarecimento desta suspeita (DEMATTEO *et al.*, 2005; AUSTRALIAN NURSING JOURNAL, 2011). Crianças com condições clínicas complexas também podem apresentar alterações de deglutição sem etiologia clínica definida para DOF (SHEIKH *et al.*, 2001; FUSSI; FURKIM, 2008; RICHTER, 2010).

Em nosso estudo, observamos que cerca de 72% dos familiares relataram que o problema alimentar e/ou de deglutição de seu filho existia desde o nascimento. Considerando-se a idade dos pacientes (mediana de 69 meses ou 5,75 anos) infere-se o quanto de prejuízos estas famílias experimentaram durante este tempo sem resolução das dificuldades relatadas na avaliação clínica. Os problemas

alimentares e de deglutição sem manejo adequado ou de difícil resolução, podem perdurar por longos anos e trazer consequências indesejáveis aos aspectos de saúde geral, psicossocial e nutricional do paciente (LEFTON-GREIF, 2008).

Um dado importante na investigação clínica é a queixa de problemas pulmonares recorrentes. Neste estudo, em torno de 68% dos pacientes tinham histórico de broncopneumonias de repetição. Sabe-se que a aspiração causa danos graves e a investigação clínica e objetiva da função de deglutição pode auxiliar no diagnóstico diferencial da origem destes problemas (PRASSE; KIKANO, 2009; TUTOR; GOSA, 2011; WEIR *et al.*, 2011). A aspiração crônica e recorrente pode trazer efeitos devastadores para o desenvolvimento pulmonar da criança, causando comprometimentos importantes da função respiratória e até a morte (TUTOR; GOSA, 2011; WEIR *et al.*, 2011).

Os dados da avaliação clínica deste estudo demonstraram que em torno de 78% dos familiares relatavam observar sinais sugestivos de incoordenação da deglutição durante a alimentação da criança. Com maior frequência estão os relatos de tosse e engasgo (tabela 4). Estudo desenvolvido por De Matteo e colaboradores (2005) objetivou identificar preditores clínicos para penetração e aspiração durante a avaliação clínica em crianças. Os autores constataram que a tosse é o melhor preditor destes eventos em líquidos. Quando a tosse estava combinada com outros sinais sugestivos de aspiração (ex. modificações vocais) o valor preditivo aumentava (DE MATTEO *et al.*, 2005). As informações familiares sobre os sinais sugestivos de aspiração devem ser consideradas e podem contribuir para o estabelecimento da melhor avaliação e intervenção para cada caso, com a indicação da melhor consistência alimentar (DE MATTEO *et al.*, 2005; *CLINICAL PRACTICES GUIDELINES*, 2006; ARVEDSON, 2008; LEFTON-GREIF, 2008; PRASSE; KIKANO, 2009; RITCHER, 2010; *AUSTRALIAN NURSING JOURNAL*, 2011).

Na amostra estudada, constatou-se que 60% dos pacientes apresentavam recusa alimentar em algum momento de sua alimentação, 31% apresentavam tempo de alimentação acima de 30 minutos e em torno de 27% entre 20 e 30 minutos. Recusa alimentar e lentidão durante a alimentação são reações indicativas de possível problema de alimentação (*CLINICAL PRACTICES GUIDELINES*, 2006; GISEL, 2008; LEFTON-GREIF, 2008; SHARP *et al.*, 2010; *AUSTRALIAN NURSING JOURNAL*, 2011). Segundo a literatura o predomínio de crianças com tempo de alimentação acima de 30 minutos pode demonstrar a dificuldade de eficiência da

função oral durante a alimentação, a qual é uma das características de crianças com doenças neurológicas e síndromes genéticas, como as avaliadas neste estudo (COOPER-BROWN *et al.*, 2008; FUSSI; FURKIM, 2008; FURKIM *et al.*, 2009).

A integração das informações da avaliação clínica com a VFD traz subsídios fisiopatológicos importantes para o estabelecimento do diagnóstico de penetração e aspiração traqueal de alimento, quando as respostas da avaliação clínica não são claras (DE MATTEO *et al.*, 2005; WEIR *et al.*, 2011; PIRES *et al.*, 2012). No presente estudo, 28,12% apresentaram aspiração e 12,5% penetração laríngea durante o exame. Conforme a literatura, crianças com comprometimento neurológico, doenças neuromusculares e síndromes genéticas podem apresentar aspiração (COOPER-BROWN *et al.*, 2008; TUTOR; GOSA, 2011). Furkim e colaboradores (2009) avaliaram retrospectivamente 101 crianças com paralisia cerebral do tipo tetraparesia espástica. Encontraram a descrição dos achados videofluoroscópicos da deglutição deste grupo de pacientes com 47,2% de penetração de alimento em vias aéreas (FURKIM *et al.*, 2009). Outro estudo com 75 crianças com diferentes etiologias para DOF identificou prevalência de 40% de aspiração para líquidos (DE MATTEO *et al.*, 2005). A confirmação destes eventos pela VFD é recomendada para adequado diagnóstico e planejamento terapêutico, especialmente daqueles que necessitarão destas indicações terapêuticas em longo prazo (SHEIKH *et al.*, 2001; WEIR *et al.*, 2011).

Observa-se que a consistência líquida é aquela onde a maioria dos pacientes deste estudo apresentou incoordenação (figura 10). Estudos demonstram que ao se comparar os diversos tipos de consistências, a líquida é frequentemente aspirada nos mais diferentes grupos de sujeitos avaliados (WEIR *et al.*, 2011; PIRES *et al.*, 2012). De Matteo e colaboradores (2005) identificaram aspiração de líquidos em 32% das 75 crianças avaliadas e penetração laríngea em 52% da amostra. Em sólidos a frequência deste evento foi menor com 8% de aspiração e 13,3% de penetração laríngea (DE MATTEO *et al.*, 2005).

8.2 INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE DOS SINAIS ACÚSTICOS DA DEGLUTIÇÃO

O presente estudo baseou-se na literatura sobre ACD para escolher a unidade acústica que serviu de instrumento para a captação dos sinais da deglutição. A utilização de microfone com curva de resposta plana ($\pm 3\text{dB}$) entre

15Hz e 15000 Hz justifica-se por esta característica do instrumento abranger satisfatoriamente a faixa audível para o ouvido humano (REYNOLDS *et al.*, 2009) e por captar sons em altas frequências, os quais podem auxiliar na identificação dos eventos analisados (LEE *et al.*, 2008). O microfone em relação ao acelerômetro possui melhor relação sinal-ruído, baixo custo e capacidade de amplificar ou atenuar sinais em determinadas faixas de frequência (CHICHERO; MURDOCH, 2002a; REYNOLDS *et al.*, 2009).

Em nosso estudo também se faz necessário uma contextualização sobre o padrão de deglutição na criança e no adulto. O padrão de deglutição de crianças a partir dos 12 a 15 meses de idade apresenta padrão semelhante ao do adulto (MOLINA, 1989; MOYERS; CARLSON, 1993; DOUGLAS, 1998). Alguns fatores maturacionais, tais como desenvolvimento neuromuscular facial, posição ereta de cabeça, habilidade de manusear sólidos e desenvolvimento da dentição, estão diretamente ligados à transição do padrão de deglutição da criança para o padrão do adulto. Durante o final do primeiro ano de vida existem diversos eventos no processo de maturação do sistema estomatognático que alteram marcadamente o funcionamento da musculatura orofacial. Ocorre uma estabilização da musculatura durante a deglutição e acontece a passagem da função primitiva de sucção/deglutição/respiração para funções mais elaboradas, como a mastigação (DOUGLAS, 1998).

A partir do referencial teórico descrito, nosso estudo traçou um paralelismo entre os valores de duração da deglutição normal (entre 0,250s e 0,800s) (MACROWIAK *et al.*, 1967; LOGAN *et al.*, 1967; TAKAHASHI *et al.*, 1994a; BOIRON *et al.*, 1997; CHICHERO; MURDOCH, 2002b) e disfágica (1,402s) (SANTAMATO *et al.*, 2009) relatada em estudos de AC com adultos, com os valores identificados nas crianças avaliadas neste estudo. Os sons da deglutição das crianças sem queixa de DOF apresentaram média de duração ($0,596 \pm 0,057$ s) dentro do intervalo descrito em estudos anteriores com adultos normais (MACROWIAK *et al.*, 1967; Logan *et al.*, 1967; TAKAHASHI *et al.*, 1994a; BOIRON *et al.*, 1997; CHICHERO; MURDOCH, 2002b). Um estudo preliminar que avaliou o tempo de deglutição de crianças normais por VFD identificou tempo de transito faríngeo entre 0,110s até 0,700s para crianças entre 24 e 48 meses de idade. Além disso, ao comparar estes valores com os de crianças menores, não houve diferença significativa. Todos os sujeitos avaliados, assim como os sinais de deglutição normal do presente estudo,

apresentaram tempo de trânsito faríngeo menor que um segundo (WECKMUELLER *et al.*, 2011).

Contudo, as crianças com queixa de deglutição deste estudo apresentaram médias maiores que um segundo ($1,230 \pm 0,124s$ - sinais sem aspiração traqueal e $1,289 \pm 0,064s$ - sinais com aspiração traqueal). Santamato e colaboradores (2009) identificaram em estudo com adultos, valores significativamente maiores na deglutição de líquidos nos pacientes com DOF e aspiração em comparação com sinais de deglutição normal. Além disso, foi relatado que os pacientes com esclerose lateral amiotrófica apresentaram aumento do tempo de deglutição ao final do dia, aproximando-se da duração da deglutição em idosos (SANTAMATO *et al.*, 2009). Shirazi e Moussavi (2011) propuseram um modelo acústico da deglutição para analisar a origem das alterações desta função em pacientes com lesões neurológicas. Os autores sugerem que tanto informações periféricas quanto centrais podem alterar o mecanismo de deglutição, interferindo no tempo de trânsito oral e faríngeo e no mecanismo de proteção das vias aéreas. (SHIRAZI; MOUSSAVI, 2011).

As alterações encontradas na fase faríngea da deglutição, especificamente sobre um tempo maior de transporte do bolo alimentar para a fase esofágica, podem ter origem motora e/ou sensorial. As de origem motora são observadas pela fraqueza na constrição sequencial dos constritores faríngeos de cima para baixo até o EES e falhas no mecanismo de proteção da via aérea. As de origem sensorial referem-se à dificuldade na percepção do bolo alimentar, alterando assim o disparo do reflexo de deglutição (ANDRADE, 2012). A comparação proposta por este estudo entre tempo de deglutição normal e disfágica contribui quantitativamente para a identificação de indicadores de alterações no processo de deglutição. Outro importante aspecto a ser considerado é a contribuição desta análise temporal em crianças, a qual é pouco explorada na população pediátrica (WECKMUELLER *et al.*, 2011).

8.2.1 Interpretação da Análise do Tempo do “Gap”

Um breve período de pausa respiratória durante a deglutição orofaríngea foi a definição encontrada para apneia da deglutição (LOCH *et al.*, 1982). Este evento interrompe o fluxo de ar, aparentemente de maneira preventiva, a partir do início do

esforço da deglutição, marcando o início da fase faríngea deste processo. Nos casos em que se observa penetração laríngea de corpo estranho, ocorre uma apneia defensiva com desconforto respiratório e posterior esforço para expulsão deste corpo estranho (tosse). De forma geral a deglutição é seguida de uma fase expiratória, provavelmente como um mecanismo protetor para possíveis aspirações (COSTA *et al.*, 1998a; COSTA; LEMME, 2010).

Alguns estudos de ACD identificaram neste momento de apneia um período de latência entre o final do pico da deglutição e o início do discreto som final seguido de respiração (MACKOWIAK *et al.*, 1967; CHICHERO; MURDOCH, 2003; MORINIÈRE *et al.*, 2006; LESLIE *et al.*, 2007; MORINIÈRE *et al.*, 2008). Genericamente, latência é definida como um “atraso” entre a aplicação de um estímulo e a resposta do sistema; neste caso a aplicação do estímulo seria a passagem do bolo alimentar. Esta latência, segundo a literatura, teria relação direta com a apneia da deglutição e foi apresentada como uma variável que se relaciona com a idade dos sujeitos avaliados, com o volume e a viscosidade dos alimentos testados, comprovando um paralelismo com os estudos sobre apneia da deglutição (MORINIÈRE *et al.*, 2008).

No presente estudo este período de latência foi denominado “Gap” e apresentou-se com duração maior nos sinais de crianças com DOF (G1 = $0,266 \pm 0,025s$ e G2 = $0,223 \pm 0,033s$) do que naqueles sinais de crianças sem DOF (G3 = $0,117 \pm 0,017s$). Em estudos com adultos normais com idade entre 18 e 63 anos foram apontados valores médios de “Gap” entre 0,190 e 0,240 segundos (CHICHERO; MURDOCH, 2003; MORINIÈRE *et al.*, 2008). Valores em torno de 0,290 segundos foram relatados para idosos (MORINIÈRE *et al.*, 2008). Até o momento não existem estudos comparando este período de latência entre deglutições normais e disfágicas. Cabe salientar que nosso estudo é o primeiro a detectar este componente da deglutição em crianças e a comparar este intervalo entre pacientes com e sem aspiração.

Apneia da deglutição e “Gap” são entidades distintas, sendo que o “Gap” é um componente do período da apneia da deglutição. Estudos avaliaram a duração do período total de apneia da deglutição (os quais diferem daqueles estudos que avaliaram o período de latência entre final do pico da deglutição e discreto som final, como em nosso estudo) em indivíduos normais e com DOF e aspiração. Utilizaram instrumentos combinados como eletromiografia, VFD, cânula de captação do fluxo

de ar nasal e microfone fixado ao pescoço para analisar a apneia da deglutição (SELLEY *et al.*, 1994; KLAHN *et al.*, 1999; PERLMAN *et al.*, 2000; HISS *et al.*, 2001; BUTLER *et al.*, 2007; PLONK *et al.*, 2011). Estas pesquisas apresentam tempos totais de apneia da deglutição de líquidos em adultos jovens normais, variando entre 0,600 a 0,788 segundos (SELLEY *et al.*, 1994; KLAHN *et al.*, 1999; PERLMAN *et al.*, 2000; HISS *et al.*, 2001; PLONK *et al.*, 2011). Alguns destes estudos verificaram que idosos apresentam tempo maior de apneia da deglutição, variando entre 0,960 e 1,10 segundos, (HISS *et al.*, 2001; BUTLER *et al.*, 2007; PLONK *et al.*, 2011). A diferença encontrada entre as idades foi justificada pelas modificações anatômicas e fisiologias que o avanço da idade traz para a deglutição (HISS *et al.*, 2001) e como um mecanismo compensatório de prevenção da aspiração devido a deglutição ser mais lenta em idosos (PLONK *et al.*, 2011).

As alterações de deglutição, como as analisadas em nosso estudo com crianças, também podem estar associadas às variações no tempo total de apneia da deglutição. Butler e colaboradores (2007) analisaram os tempos de apneia da deglutição de indivíduos com acidente vascular encefálico e DOF, comparando-os com adultos normais. Os pacientes com DOF e aspiração apresentam tempo de apneia da deglutição duas vezes maior que os controles. Contudo, esta constatação não esclareceu se este aumento no tempo foi decorrente de um processo de proteção da via aérea ou de má adaptação das estruturas (BUTLER *et al.*, 2007). Este tempo aumentado e observado nos pacientes disfágicos poderia ser reflexo de uma resposta fisiológica para promover maior tempo de fechamento da via aérea, num esforço de proteção contra a aspiração ou ocorreu devido uma desorganização do sistema causada pela lesão neurológica (BUTLER *et al.*, 2007).

Embora exista uma diferença entre os conceitos de “Gap” e tempo total da apneia da deglutição, os nossos resultados são compatíveis com os achados descritos na literatura, visto que o “Gap” está contido no tempo total da apneia da deglutição. Desta forma, as crianças com DOF e aspiração, apresentaram aumento na duração do “Gap”, o qual está relacionado a um parâmetro fisiológico da deglutição que pode ser utilizado para determinar se um paciente com DOF possui adequada proteção de vias aéreas durante a deglutição (HISS *et al.*, 2001). Além disso, a união das informações de tempos de duração da deglutição e de “Gap” maiores para sinais de deglutição das crianças com aspiração auxilia-nos a inferir

que estes valores podem ser futuros parâmetros para identificação de pacientes com risco de aspiração.

8.2.2 Interpretação do Segmento Pós-deglutição através do RMS (*root mean square*)

O final da deglutição (marcado pela apneia da deglutição e pela liberação da pressão de ar subglótica – discreto som final) é geralmente seguido de uma expiração complementar. É um fenômeno que surge consistentemente em indivíduos sem dificuldades de deglutição (COSTA *et al.*, 1998a; CICHERO; MURDOCH, 2003; LESLIE *et al.*, 2007). As características deste som pós-deglutição (som respiratório) são particularmente distintas daquelas do som da deglutição e de outros sons, como vocalizações e tosse, por exemplo (LOGAN *et al.*, 1967). O espectro de frequências do sinal da deglutição contem componentes de maior frequência em comparação ao da respiração, garantindo a diferenciação entre eles (SHIRAZI *et al.*, 2012).

Identificamos neste estudo com crianças, por meio da DPE mensurada pelo RMS (valor quadrático médio) do segmento pós-deglutição, um valor de RMS (*root mean square*) significativamente maior ($G1 = 3330,8 \pm 405,7 \text{ 1}/\sqrt{\text{Hz}}$) para a aspiração de líquidos em comparação ao valor da respiração pós-deglutição ($G2 = 720,55 \pm 121,6 \text{ 1}/\sqrt{\text{Hz}}$ e $G3 = 890,3 \pm 179,4 \text{ 1}/\sqrt{\text{Hz}}$). A explicação para esta diferença pode estar no fato de os sinais de aspiração representar a existência de partículas na via aérea que modificam a turbulência do fluxo de ar durante a respiração pós-deglutição. O espectro do sinal deste som apresentou maior DPE, pois estas partículas aumentariam a energia sonora produzida muito provavelmente pelas modificações no padrão do fluxo de aéreo (SHIRAZI *et al.*, 2012; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012). Assim, quanto maior o valor de RMS encontrado a probabilidade de estarmos detectando aspiração também seria maior. Estas relações foram descritas na literatura para frequências até 300Hz (SHIRAZI *et al.*, 2012). Nosso estudo apresentou resultados semelhantes e que são válidos até 6.000Hz, indicando a análise de uma banda de frequência mais ampla.

Nos últimos anos, o interesse na identificação dos sons da aspiração traqueal direcionou a análise das características deste segmento pós-deglutição apresentada em grupos de pacientes com e sem aspiração (SANTAMATO *et al.*, 2009; SHIRAZI

et al., 2012; SHIRAZI; MOUSSAVI, 2012), demonstrando acurácia em torno de 86% ao identificar aspiração silenciosa (SHIRAZI *et al.*, 2012). A análise da DPE dos sons da respiração no segmento pós-deglutição, na presente pesquisa, demonstrou notável variação quando se identificava aspiração. Nossos resultados indicam que o método empregado (cálculo do RMS) relacionou a magnitude dos sons da respiração à aspiração, pois esta possui maior DPE do que aquela de pacientes que não aspiram.

8.3 LIMITAÇÕES E ASPECTOS POSITIVOS DO ESTUDO

O presente trabalho, devido ao reduzido número de sinais analisados (e de pacientes com aspiração) é considerado como um estudo preliminar da detecção de parâmetros para identificação de deglutição com DOF e da aspiração. Contudo, salienta-se que as diferenças entre os valores da DPE, mensurada pelo RMS, na detecção e diferenciação da respiração e da aspiração no segmento pós-deglutição é robusta o suficiente para garantir o investimento neste instrumento e neste parâmetro de avaliação do risco de aspiração.

Por se tratar de uma amostra de crianças com comprometimentos diversos, observa-se o limite da utilização desta técnica pelas dificuldades operacionais e perda de sinais. As crianças apresentaram reduzida colaboração, além das mudanças de postura de difícil controle, assim como vocalizações indesejadas. A aplicação de mecanismos para eliminar estas interferências nos sinais captados pode ser útil para viabilizar a utilização deste instrumento nesta população. Em contraponto, ao levar em consideração a ACD como um método minimamente invasivo e complementar à avaliação clínica a beira do leito, mais uma vez os resultados apontam um futuro promissor para a utilização desta técnica em crianças.

9 CONCLUSÃO

Crianças com DOF apresentaram tempo de deglutição e “Gap” maiores que as crianças com deglutição normal. O som do segmento pós-deglutição com aspiração de líquido apresenta maior DPE em comparação ao som do segmento pós-deglutição com respiração, provavelmente devido à presença de partículas de alimento no fluxo aéreo.

A ACD apresentou capacidade em detectar a diferença de uma deglutição com e sem aspiração. Estudos com delineamentos apropriados são necessários para avaliar a acurácia desta ferramenta na detecção de aspiração em crianças com DOF.

REFERÊNCIAS

- ABELLA, M.; FORMOLO, J.; PENNEY, D.G. Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes. *J. Acoust. Soc. Am.* 1992;91:2224-2228.
- ALMEIDA, S.T.; FERLIN, E.L.; PARENTE, M.A. et al. Assessment of swallowing sounds by digital cervical auscultation in children. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2008 Apr;117(4):253-8.
- AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION. 2001. *Roles of Speech-Language Pathologists in Swallowing and Feeding Disorders: Technical Report* [Technical Report]. Available from www.asha.org/policy.
- ANDRADE, C.R.F. Processo Motor – Padrão de organização da Mastigação e Deglutição. In: ANDRADE, C.R.F.; LIMONGI, S.C.O. (org.). *Disfagia: Prática baseada em evidências*. São Paulo: Sarvier, 2012. Parte 1, Cap. 3, 24-31 p.
- ARVEDSON, J.C. Assessment of pediatric dysphagia and feeding disorders: clinical and instrumental approaches. *Dev Disabil Res Rev.* 2008;14(2):118-27.
- ARVEDSON, J.; BRODSKY, L. *Pediatric Swallowing and Feeding: Assessment and Management*. 1st ed. San Diego, Califórnia: Singular Publishing Group, Inc., 1993. 470 p.
- AUSTRALIAN NURSING JOURNAL. *Identification and management of dysphagia in children with neurological impairments*. Published by Blackwell Publishing. May 11, v. 18, n. 10, p. 31-34.
- BALASUBRAMANIAM, R.K.; BHAT, J.S. Cervical Auscultation: A Systematic Review. *Advances in Life Science and Technology.* 2012;6. ISSN 2225-062X (Online).
- BARLOW, S.M. Oral and respiratory control for preterm feeding. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2009 June 17;(3):179-186.
- BOIRON, M.; ROULEAU, P.; METMEN, E.H. Exploration of pharyngeal swallowing by audiosignal recording. *Dysphagia.* 1997;12:86-92.
- BORR, C.; HIELSCHER-FASTABEND, M.; LÜCKING, A. Reliability and validity of cervical auscultation. *Dysphagia.* 2007 Jul;22(3):225-34.
- BURLOW, A.K. et al. Classifying complex pediatric feeding disorders. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 27: 143-147, 1998.
- BUTLER, S.G.; STUART, A.; PRESSMAN, H. et al. Preliminary investigation of swallowing apnea duration and swallow/respiratory phase relationships in individuals with cerebral vascular accident. *Dysphagia.* 2007 Jul;22(3):215-24. Epub 2007 Apr 18.

- CASTELL, J.A.; CASTELL, D.O. Upper esophageal sphincter/pharyngeal manometry. *Gullet*. 1992;2:139-144.
- CHAU, T.; CHAU, D.; CASAS, M. et al. Investigating the stationarity of paediatric aspiration signals. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2005 Mar;13(1):99-105.
- CHICERO, J.A.Y.; MURDOCH, B.E. Detection of swallowing sounds: methodology revisited. *Dysphagia*. 2002a;17:40-49.
- CICHERO, J.A.Y.; MURDOCH, B.E. What happens after the swallow? Introducing the glottal release sound. *Journal of medical Speech-Language Pathology*, 2003;11(1):31-41.
- CICHERO, J.A.; MURDOCH, B.E. The physiologic cause of swallowing sounds: answers from heart sounds and vocal tract acoustics. *Dysphagia*. 1994;13:39-52.
- CICHERO, J.A.Y; MURDOCH, B.E. Acoustic signature of the normal swallow: characterization by age, gender and bolus volume. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol*. 2002b;111:623-632.
- CLINICAL Practice Guideline: The Guideline Technical Report. Motor Disorders, Assessment and Intervention for Young Children (Age 0-3 Years). 8½" x 11", 422 pages. Publication No. 4963. 2006. Available: http://www.nyhealth.gov/community/infants_children/early_intervention/.
- COOPER-BROWN, L.; COPELAND, S.; DAILEY, S. et al. Feeding and swallowing dysfunction in genetic syndromes. *Dev Disabil Res Rev*. 2008;14(2):147-57.
- COSTA, M.M.; LEMME, E.M. Coordination of respiration and swallowing: functional pattern and relevance of vocal folds closure. *Arq Gastroenterol*. 2010 Jan-Mar;47(1):42-8.
- COSTA, M.M.B. *Deglutição e Disfagia: Anatomia-Fisiologia-Videofluoroscopia (Conceitos Básicos)*. Material Instrucional, Curso de Extensão, Rio de Janeiro, 2009.
- COSTA, M.M.B.; NOVA, J.L.; CARLOS, M.T. et al. Videofluoroscopia: um novo método. In: FILHO, E.M. et al. *Disfagia. Abordagem Multidisciplinar*. São Paulo: Frôntis Editorial, 1998b. p. 43-58.
- COSTA, M.M.B.; SILVA, R.; LEMME, E. et al. Apnéia da deglutição no homem adulto. *Arq Gastroenterol*. 1998a Jan-Mar; 35(1).
- DAS, A.; REDDY, N.P.; NARAYANAN, J. Hybrid fuzzy logic committee neural networks for recognition of swallow acceleration signals. *Comput Methods Programs Biomed*. 2001 Feb;64(2):87-99.
- DELZELL, P.B.; KRAUS, R.A.; GAISIE, G. et al. Laryngeal penetration: a predictor of aspiration in infants? *Pediatr Radiol*. 1999 Oct;29(10):762-5.

- DEMATTEO, C.; MATOVICH, D.; HJARTARSON, A. Comparison of clinical and videofluoroscopic evaluation of children with feeding and swallowing difficulties. *Dev Med Child Neurol*. 2005 Mar;47(3):149-57.
- DOUGLAS, C.R. *Patofisiologia Oral*. São Paulo: Pancast, 1998. 657p.
- FONTANA, J.M.; MELO, P.L.; SAZONOV, E.S. Swallowing detection by sonic and subsonic frequencies: a comparison. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2011;6890-3.
- FRIEDMAN, B.; FRAZIER, J.B. Deep laryngeal penetration as a predictor of aspiration. *Dysphagia*. 2000 Summer;15(3):153-8.
- FURKIM, A.M.; SILVA, R.G. *Programa de Reabilitação em Disfagia Neurogênica*. São Paulo: Frôntis Editorial, 1999. 52p.
- FURKIM, A.M.; DUARTE, S.T.; SACCO, A.F.B. et al. O uso da ausculta cervical na inferência de aspiração traqueal em crianças com paralisia cerebral. *Revista CEFAC*, v. 11, n. 4, p. 624-629.
- FUSSI, C.; FURKIM, A.M. Disfagias Infantis. In: Furkim, A.M.; Santini, C.R.Q.S. org. *Disfagias Orofaríngeas*. Barueri-SP: Pró-Fono, 2008. Cap. 8, p. 89-114.
- GISEL, E. Interventions and outcomes for children with dysphagia. *Dev Disabil Res Rev*. 2008;14(2):165-73.
- HAMLET, S.L.; PATTERSON, R.L.; FLEMING, S.M. et al. Sounds of swallowing following total laryngectomy. *Dysphagia*. 1992;7(3):160-5.
- HAMLET, S.; NELSON, R.; PATTERSON, R. Sounds of swallowing. *J. Acoust. Soc. Am*. 83: 23, 1988.
- HAMLET, S.; PENNEY, D.G.; FORMOLO, J. Stethoscope acoustics and cervical auscultation of swallowing. *Dysphagia*. 10:27-31, 1995.
- HAMLET, S.L.; NELSON, R.J.; PATTERSON R.L. Interpreting the sounds of swallowing: fluid flow through the cricopharyngeus. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol*. 99:749-752, 1990.
- HANNA, F.; MOLFENTER, S.M.; CLIFFE, R.E. et al. Anthropometric and demographic correlates of dual-axis swallowing accelerometry signal characteristics: a canonical correlation analysis. *Dysphagia*. 2010 Jun;25(2):94-103.
- HISS, S.G.; TREOLE, K.; STUART, A. Effects of age, gender, bolus volume, and trial on swallowing apnea duration and swallow/respiratory phase relationships of normal adults. *Dysphagia*. 2001 Spring;16(2):128-35.

HUNGRIA, H. *Otorriolaringologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1991. 488p.

JADCHERLA, S.R.; GUPTA, A.; STONER, E. et al. Pharyngeal swallowing: defining pharyngeal and upper esophageal sphincter relationships in human neonates. *J Pediatr*. 2007 Dec;151(6):597-603. Epub 2007 Aug 23.

JADCHERLA, S.R.; HOGAN, W.J.; SHAKER, R. Physiology and pathophysiology of glottic reflexes and pulmonary aspiration: from neonates to adults. *Semin Respir Crit Care Med*. 2010 Oct;31(5):554-60.

JADCHERLA, S.R.; STONER, E.; GUPTA, A. et al. Evaluation and management of neonatal dysphagia: impact of pharyngoesophageal motility studies and multidisciplinary feeding strategy. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2009 Feb;48(2):186-92.

KIM, C.H. et al. Effect of viscosity on oropharyngeal and esophageal emptying in man. *Dig. Dis. Sci*. 1994;39:189-192.

KLAHN, M.S.; PERLMAN, A.L. Temporal and durational patterns associating respiration and swallowing. *Dysphagia*. 1999 Summer;14(3):131-8.

LANGMORE, S.E.; SCHATZ, K.; OLSEN, N. Fiberoptic endoscopic examination of swallowing safety: a new procedure. *Dysphagia*. 1988;2(4):216-9.

LAU, C. Development of oral feeding skills in the preterm infant. *Arch Pediatr*. 2007;14(S1): S35-S41.

LEBEL, D.; PAREL, C.L.; THOUVENOT, J. Exploration de la déglutition à partir de son signal sonore. *Arch. Int. Physiol. Biochim*. 1990;98:75-86.

LEE, J.; BLAIN, S.; CASAS, M. et al. A radial basis classifier for the automatic detection of aspiration in children with dysphagia. *J Neuroeng Rehabil*. 2006b Jul 17;3:14.

LEE, J.; BLAIN, S.; CASAS, M. et al. A radial basis function classifier for pediatric aspiration detection. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2006a;1:3553-6.

LEE, J.; SEJDIĆ, E.; STEELE, C.M. et al. Effects of liquid stimuli on dual-axis swallowing accelerometry signals in a healthy population. *Biomed Eng Online*. 2010 Feb 4;9:7.

LEE, J.; STEELE, C.M.; CHAU, T. Classification of healthy and abnormal swallows based on accelerometry and nasal airflow signals. *Artif Intell Med*. 2011 May;52(1):17-25.

LEE, J.; STEELE, C.M.; CHAU, T. Swallow segmentation with artificial neural networks and multi-sensor fusion. *Med Eng Phys*. 2009 Nov;31(9):1049-55.

- LEE, J.; STEELE, C.M.; CHAU, T. Time and time-frequency characterization of dual-axis swallowing accelerometry signals. *Physiol Meas*. 2008 Sep;29(9):1105-20.
- LEFTON-GREIF, M.A. Pediatric dysphagia. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2008 Nov;19(4):837-51.
- LEFTON-GREIF, M.A.; CARROLL, J.L.; LOUGHLIN, G.M. Long-term Follow-up of Oropharyngeal Dysphagia in Children without Apparent Risk Factors. *Pediatr Pulmonol*. 2006;41:1040-1048.
- LESLIE, P.; DRINNAN, M.J.; ZAMMIT-MAEMPEL, I. et al. Cervical auscultation synchronized with images from endoscopy swallow evaluations. *Dysphagia*. 2007 Oct;22(4):290-8.
- LESLIE, P.; DRINNAN, M.J.; FINN, P. et al. Reliability and validity of cervical auscultation: a controlled comparison using videofluoroscopy. *Dysphagia*. 2004. 19:231-240.
- LOCH, W.E.; LOCH, W.E.; REIRIZ, H.M. et al. Swallow apnea--rhinomanometric manifestation and classification. *Rhinology*. 1982 Dec;20(4):179-91.
- LOGAN, W.; KAVANAGH, J.; WORNALL, A. Sonic correlates of human deglutition. *J. Appl. Physiol*. 1967;23:279-284.
- MACKOWIAK, R.; BRENMAN, H.; FRIEDMAN, M. Acoustic profile of deglutition. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med*. 125:1149-1152,1967.
- MARCHESAN, I. Q. O que se considera normal na deglutição. In: JACOBI, J. S.; Levy, D.S.; SILVA, L.M.C. (org.) *Disfagia: Avaliação e Tratamento*. Rio de Janeiro: Revinter, 2003. p. 3-17.
- MARRARA, J.L.; DUCA, A.P.; DANTAS, R.O. et al. Deglutição em crianças com alterações neurológicas: avaliação clínica e videofluoroscópica. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, v. 20, n. 4, p. 231-6, out./dez. 2008.
- MCKAIG, T.N. Ausculta cervical e torácica. In: FURKIM, A.M.; SANTINI, C. S. (org.) *Disfagias Orofaríngeas*. São Paulo: Pró-Fono,1999. p. 171-188.
- MEREY, C.; KUSHKI, A.; SEJDIĆ, E. et al. Quantitative classification of pediatric swallowing through accelerometry. *J Neuroeng Rehabil*. 2012 Jun; 9;9:34.
- MILLER, C.K.; WILLGING, J.P. Advances in the evaluation and management of pediatric dysphagia. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2003 Dec;11(6):442-6.

MILLER, C.K. Updates on pediatric feeding and swallowing problems. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2009 Jun;17(3):194-9.

MOLINA, O.F. *Fisiopatologia Craniomandibular – Oclusão e ATM.* São Paulo: Pancast, 1989. 595p.

MORGAN, A.T.; DODRILL, P.; WARD, E.C. Interventions for oropharyngeal dysphagia in children with neurological impairment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012 Oct 17;10:CD009456.

MORINIÈRE, S.; BEUTTER, P.; BOIRON, M. Sound component duration of healthy human pharyngoesophageal swallowing: a gender comparison study. *Dysphagia.* 2006 Jul;21(3):175-82.

MORINIÈRE, S.; BOIRON, M.; ALISON, D. et al. Origin of the sound components during pharyngeal swallowing in normal subjects. *Dysphagia.* 2008 Sep;23(3):267-73.

MOYERS, R.E.; CARLSON, D.S. In: ENLOW, D.H. *Crescimento Facial.* Rio de Janeiro: Artes Médicas, 1993. p. 260-271

NETTER, F.H. Atlas de Anatomia Humana. Porto Alegre: Artes Médicas Sul Ltda, 1998.

NIKJOO, M.S.; STEELE, C.M.; SEJDIĆ, E. et al. Automatic discrimination between safe and unsafe swallowing using a reputation-based classifier. *Biomed Eng Online.* 2011 Nov 15;10:100.

PATATAS, O.H.G.; GONÇALVES, M.I.R.; CHIARI, B.M. et al. Parâmetros de duração dos sinais acústicos da deglutição de indivíduos sem queixa. *Rev. Soc. Bras. Fonoaudiol.* 2011;16(3): 282-90.

PERLMAN, A.L.; ETTEMA, S.L.; BARKMEIER, J. Respiratory and acoustic signals associated with bolus passage during swallowing. *Dysphagia.* 2000 Spring;15(2):89-94.

PIRES, E.C.; SASSI, F.C; MANGILLI, L.D. et al. Alimentos na consistência líquida e deglutição: uma revisão crítica da literatura. *Rev. soc. bras. fonoaudiol*, São Paulo, v. 17, n. 4, Dec. 2012.

PLAXICO, D.T.; LOUGHLIN, G.M. Nasopharyngeal Reflux and Neonatal Apnea. *Am J Dis Child*, 1981;135:793-794.

PLONK, D.P.; BUTLER, S.G.; GRACE-MARTIN, K. et al. Effects of chemesthetic stimuli, age, and genetic taste groups on swallowing apnea duration. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2011 Oct;145(4):618-22.

PRASSE, J.E.; KIKANO, G.E. An overview of pediatric dysphagia. *Clin Pediatr (Phila).* 2009 Apr;48(3):247-51.

-
- REDDY, N.P.; KATAKAM, A.; GUPTA, V. et al. Measurements of acceleration during videofluorographic evaluation of dysphagic patients. *Med Eng Phys.* 2000 Jul;22(6):405-12.
- REYNOLDS, E.W.; VICE, F.L., BOSMA, J.F. et al. Cervical accelerometry in preterm infants. *Dev. Med. Child Neurol.* 2002;44:587-592.
- REYNOLDS, E.W.; VICE, F.L.; GEWOLB, I.H. Cervical accelerometry in preterm infants with and without bronchopulmonary dysplasia. *Dev Med Child Neurol.* 2003 Jul;45(7):442-6.
- REYNOLDS, E.W.; VICE, F.L.; GEWOLB, I.H. Variability of swallow-associated sounds in adults and infants. *Dysphagia.* 2009 Mar;24(1):13-9.
- RICHTER, G.T. Management of oropharyngeal dysphagia in the neurologically intact and developmentally normal child. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2010 Dec;18(6):554-63.
- ROMMEL, N. Assessment techniques for babies, infants and children. In: Cichero & Murdoch. *Dysphagia: Foundation, Theory, and Practice.* Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons. 2006. p. 466-486.
- ROSENBEK, J.C.; ROBBINS, J.A.; ROECKER, E.B. et al. A penetration-aspiration scale. *Dysphagia.* 1996 Spring;11(2):93-8.
- SANTAMATO, A.; PANZA, F.; SOLFRIZZI, V. et al. Acoustic analysis of swallowing sounds: a new technique for assessing dysphagia. *J Rehabil Med.* 2009 Jul;41(8):639-45.
- SEJDIĆ, E.; FALK, T.H.; STEELE, C.M. et al. Vocalization removal for improved automatic segmentation of dual-axis swallowing accelerometry signals. *Med Eng Phys.* 2010a Jul;32(6):668-72.
- SEJDIĆ, E.; KOMISAR, V.; STEELE, C.M. et al. Baseline characteristics of dual-axis cervical accelerometry signals. *Ann Biomed Eng.* 2010b Mar;38(3):1048-59.
- SEJDIĆ, E.; STEELE, C.M.; CHAU, T. A procedure for denoising dual-axis swallowing accelerometry signals. *Physiol Meas.* 2010c Jan;31(1):N1-9.
- SEJDIĆ, E.; STEELE, C.M.; CHAU, T. Segmentation of dual-axis swallowing accelerometry signals in healthy subjects with analysis of anthropometric effects on duration of swallowing activities. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2009 Apr;56(4):1090-7.
- SELLEY, W.G.; ELLIS, R.E.; FLACK, F.C. et al. The synchronization of respiration and swallow sounds with videofluoroscopy during swallowing. *Dysphagia.* 1994 Summer;9(3):162-7.

SHARP, W.G.; JAQUESS, D.L.; MORTON, J.F. et al. Pediatric feeding disorders: a quantitative synthesis of treatment outcomes. *Clin Child Fam Psychol Rev.* 2010 Dec;13(4):348-65.

SHEIKH, S.; ALLEN, E.; SHELL, R. et al. Chronic aspiration without gastroesophageal reflux as a cause of chronic respiratory symptoms in neurologically normal infants. *Chest.* 2001;120:1190-1195.

SHIRAZI, S.; BUCHEL, C.; DAUN, R. et al. Detection of swallows with silent aspiration using swallowing and breath sound analysis. *Med Biol Eng Comput.* 2012 Dec;50(12):1261-8.

SHIRAZI, S.; MOUSSAVI, Z. Silent aspiration detection by breath and swallowing sound analysis. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012;2012:2599-602.

SHIRAZI, S.S.; MOUSSAVI, Z.M. Acoustical modeling of swallowing mechanism. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2011 Jan;58(1):81-7.

SMITH, C.H.; LOGEMANN, J.A.; COLANGELO, L.A. et al. Incidence and patient characteristics associated with silent aspiration in the acute care setting. *Dysphagia.* 1999 Winter;14(1):1-7.

SONIES, B.C. Dysphagia: a model for differential diagnosis for adults and children. In: CHERNEY, L.R. *Clinical Management of Dysphagia in Adults and Children.* Maryland: Aspen Publishers, 1994. p. 133-152.

STEELE, C.M.; SEJDIĆ, E.; CHAU, T. Noninvasive detection of thin-liquid aspiration using dual-axis swallowing accelerometry. *Dysphagia.* 2013 Mar;28(1):105-12.

STOECKLI, S.J.; HUISMAN, T.A.; SEIFERT, B. et al. Interrater Reliability of Videofluoroscopic Swallow Evaluation. *Dysphagia.* 2003;18:53-57.

STROUD, A.; LAWRIE, B.; WILES, C. Inter- and intra-rater reliability of cervical auscultation to detect aspiration in patients with dysphagia. *Clin. Rehabil.* 2002;16:640-645.

TAKAHASHI, K.; GROHER, M.; MICHI, K. Methodology for detecting swallowing sounds. *Dysphagia.* 1994a;9:54-62.

TAKAHASHI, K.; GROHER, M.E.; MICHI, K. Symmetry and reproducibility of swallowing sounds. *Dysphagia.* 1994b;9:168-173.

TANAKA, N.; NOHARA, K.; OKUNO, K. et al. Development of a swallowing frequency meter using a laryngeal microphone. *J Oral Rehabil.* 2012 Jun;39(6):411-20.

TUTOR, J.D.; GOSA, M.M. Dysphagia and aspiration in children. *Pediatr Pulmonol.* 2012 Apr;47(4):321-37.

VICE, F.L.; BAMFORD, O.; HEINZ, J.M. et al. Correlation of cervical auscultation with physiological recording during suckle-feeding in newborn infants. *Dev. Med. Child Neurol.* 1995;37:167-179.

VICE, F.L.; HEINZ, J.M.; GIURATI, G. et al. Cervical auscultation of suckle feeding in newborn infants. *Dev. Med. Child Neurol.* 1990;32:760-768.

WALKER, W.P.; BHATIA, D. Towards automated ingestion detection: swallow sounds. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2011;2011:7075-8.

WECKMUELLER, J.; EASTERLING, C.; ARVEDSON, J. Preliminary temporal measurement analysis of normal oropharyngeal swallowing in infants and young children. *Dysphagia.* 2011 Jun;26(2):135-43.

WEIR, K.A.; MCMAHON, S.; TAYLOR, S. et al. Oropharyngeal aspiration and silent aspiration in children. *Chest.* 2011 Sep;140(3):589-97.

WEIR, K.A.; MCMAHON, S.M.; LONG, G. et al. Radiation doses to children during modified barium swallow studies. *Pediatr Radiol.* 2007 Mar;37(3):283-90.

WILLGING, J.P. Endoscopic evaluation of swallowing in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 1995;32(Suppl):S107-S8.

YAMADA, E.K.; SIQUEIRA, K.O.; XEREZ, D. et al. A influência das fases oral e faríngea na dinâmica da deglutição. *Arq. Gastroenterol*, São Paulo, v. 41, n. 1, Mar. 2004.

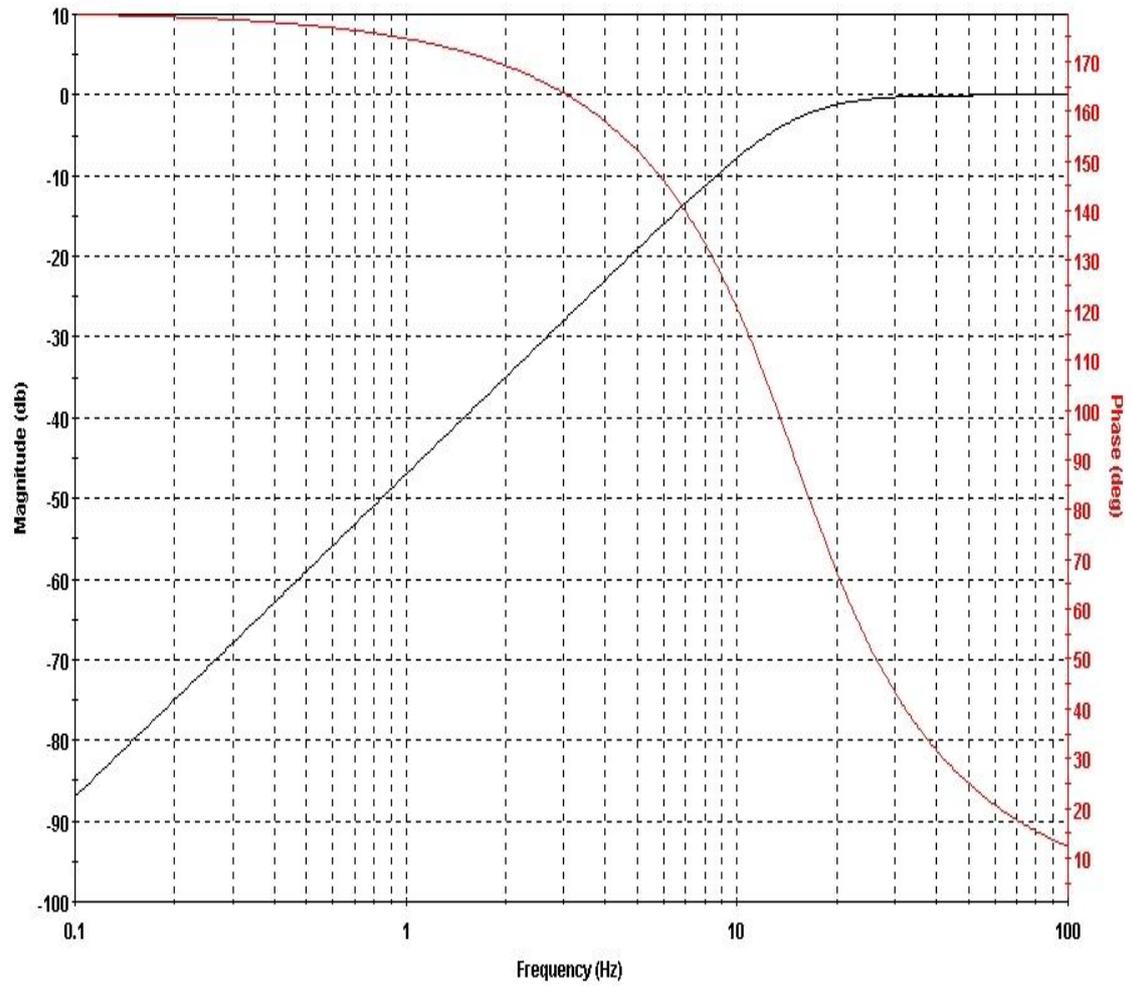
YOUMANS, S.R.; STIERWALT, J.A. An acoustic profile of normal swallowing. *Dysphagia.* Summer 2005;20(3):195-209.

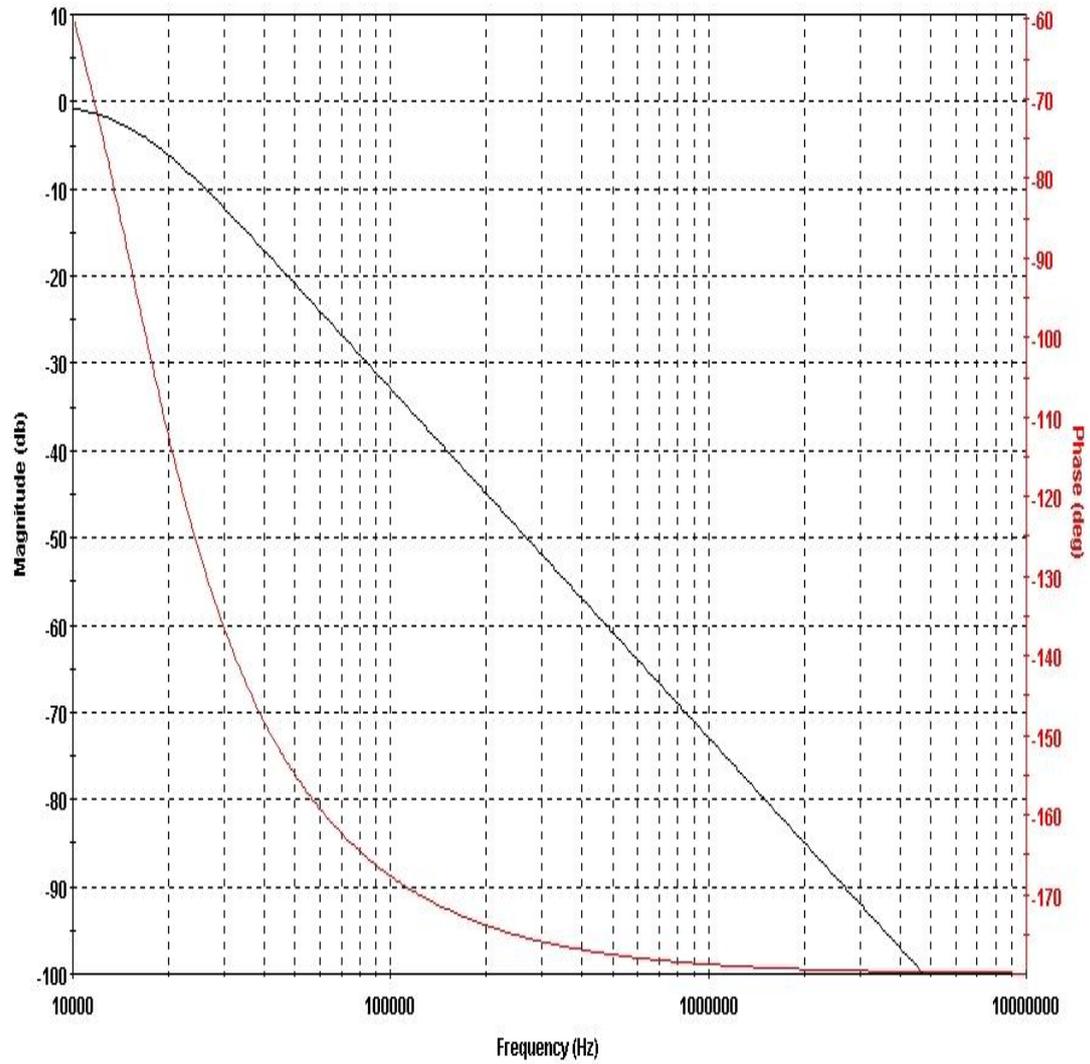
YOUMANS, S.R.; STIERWALT, J.A. Normal swallowing acoustics across age, gender, bolus viscosity, and bolus volume. *Dysphagia.* 2011 Dec;26(4):374-84.

ZENNER, P.M.; LOSINSKI, O.T.R.; MILLS, R.H. Using cervical auscultation in the clinical dysphagia examination in long-term care. *Dysphagia.* 1995;10:27-31.

ZORATTO, D.C.; CHAU, T.; STEELE, C.M. Hyolaryngeal excursion as the physiological source of swallowing accelerometry signals. *Physiol Meas.* 2010 Jun;31(6):843-55.

APÊNDICE A – FREQUÊNCIA DE CORTE INFERIOR (-3dB) EM 15Hz

APÊNDICE A - Frequência de Corte Inferior (-3dB) em 15Hz

APÊNDICE B – Frequência de Corte Superior (-3dB) em 15.000Hz

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

APÊNDICE C – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Projeto de pesquisa: “Avaliação dos Sons da Deglutição por meio da Ausculta Cervical Digital em Crianças com Disfagia Orofaríngea e Aspiração Traqueal detectada pela Videofluoroscopia da Deglutição”.

Responsáveis pelo projeto: Sheila T. de Almeida e Helena A S Goldani

Local de realização: Hospital de Clínicas de Porto Alegre

Autorizo a Fga. Sheila Tamanini de Almeida a realizar avaliação fonoaudiológica, ausculta cervical digital e acompanhar a videofluoroscopia da deglutição no paciente_____.

O exame da videofluoroscopia da deglutição foi indicado pelo médico que acompanha a criança para auxiliar a esclarecer a dificuldade de alimentação que ele (a) apresenta. Serão realizadas as seguintes avaliações:

- 1) Avaliação Fonoaudiológica: será aplicado um questionário sobre as dificuldades apresentadas pela criança durante a alimentação. Além disso, a fonoaudióloga irá observar as estruturas da boca, pescoço e condições gerais da criança para realização dos exames da deglutição.
- 2) Ausculta Cervical Digital: será colocado um pequeno microfone sobre o pescoço da criança e será fixado na pele com micropore. O microfone estará ligado a um computador que gravará os sons da deglutição da criança durante a videofluoroscopia da deglutição.
- 3) Videofluoroscopia da deglutição: durante este exame a criança irá ingerir alimentos líquido e/ou pastoso e/ou sólido misturados com contraste chamado bário. Este contraste é necessário para marcar a descida do alimento da boca até o estômago da criança. O bário não é absorvido pelos intestinos e será eliminado junto com as fezes da criança. O exame será realizado sob supervisão médica pelo risco de aspiração de contraste para a via aérea. Após o exame, serão fornecidas informações e orientações necessárias para auxiliar no tratamento do problema de deglutição do paciente.

Igualmente, autorizo a utilização dos dados da avaliação para fazer parte desta pesquisa científica, como também à utilização de fotos e/ou filmagem dos exames. Fui esclarecido sobre a garantia do anonimato do paciente e também fui apresentado às opções de participar ou não participar desta pesquisa. Ao assinar este consentimento posso, a qualquer momento, desistir de participar do estudo sem ter prejuízos no atendimento ou nos tratamentos realizados no HCPA.

Porto Alegre, de de 20

Nome do Responsável: _____

Assinatura: _____ Grau de parentesco: _____

Telefone da pesquisadora para possível esclarecimento de dúvidas: 51 99664237

Telefone do Comitê de Ética em Pesquisa/HCPA: 51 33597640

APÊNDICE D - Artigo

Title: Assessment of power spectral density of the tracheal aspiration sound in children with oropharyngeal dysphagia

Short title: Power spectral density of the tracheal aspiration sound

Sheila T de Almeida, MSc¹; Elton L. Ferlin, MSc²; Antônio C. Maciel, MD,PhD; Sérgio G. S. Barros, MD,PhD¹; Helena A.S. Goldani, MD,PhD^{1,4}

1Post-Graduate Program of Sciences in Gastroenterology an Hepatology, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); 2Experimental Engineering Laboratory , Hospital de Clinicas de Porto Alegre (HCPA); 3X-Ray Service, HCPA; 4Pediatric Gastroenterology Unit, HCPA

Financial support – FIPE/HCPA

Conflict of interest: all authors declare no conflict of interest

Corresponding author:

Sheila Tamanini de Almeida, MSc

Post-Graduate Program of Sciences in Gastroenterology an Hepatology, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rua Ramiro Barcelos 2350, CEP 90035-903 Porto Alegre-RS, Brazil . Fax: +55 51 3359 8123

email: tamanini@cpovo.net

Note: article submission in Chest Journal

Abstract

Background: Cervical auscultation (CA) can provide insight into the integrity of airway protection mechanisms and the duration of swallowing sounds. This study aimed to compare the duration of swallowing sounds and the power spectral density (PSD) of breath sounds/aspiration sounds recorded by CA in children with and without tracheal aspiration.

Methods: Twenty-two swallowing signals captured during fluid swallow from patients aged 1-14 yrs who had complaints of OPD and at least 1 episode of aspiration at videofluoroscopic swallow study (VFSS) were analyzed. Those signals were separated in G1 (n=11, aspiration at VFSS), G2 (n=11, no aspiration at VFSS). Another group of swallowing sounds G3 (n=11) comprised children with no complaints of OPD. All children were assessed using a piezoelectric microphone attached to the neck. Generalized estimating equations for multiple comparisons with Bonferroni's post-hoc correction ($p \leq 0.05$) were used for comparison between swallowing signal groups. **Results:** Mean swallowing times were significantly longer in G1 (1.289 ± 0.064 s) and G2 (1.230 ± 0.124 s) than in G3 (0.596 ± 0.057 s) ($p=0.000$). There were no differences in swallowing time between G1 and G2 ($p=1.000$). Mean PSD values for aspiration detected in G1 (3330.8 ± 405.74 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) were statistically greater than mean PSD values for respiration in G2 (720.55 ± 121.61 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) and G3 (890.3 ± 179.45 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) ($p=0.000$ and $p=0.015$ respectively). There were no significant differences in PSD between G2 and G3 ($p=1.000$). **Conclusion:** Children with OPD have a prolonged swallowing time as compared to children without OPD. Post-swallow aspiration detected by CA has a greater PSD than post-swallow respiration.

Keywords: acoustical analysis; swallowing dysfunction; breath sound analysis

Introduction

Oropharyngeal dysphagia (OPD) is defined as a dysfunction of the oral and/or pharyngeal stages of swallowing associated with laryngeal penetration and tracheal aspiration of foods of one or more consistencies.^(1,2,3) The clinical conditions associated with OPD may be categorized into the following groups: neurological disorders, anatomical abnormalities of the aerodigestive tract, genetic conditions, and clinical conditions that interfere with coordination of suckling/swallowing/breathing.⁽⁴⁾ Respiratory complication and recurrent lower respiratory tract infections are indicative of OPD with aspiration.⁽²⁾

Aspiration is defined as the entry of secretions or foreign bodies into the larynx that pass below the vocal folds, with the potential risk for chronic airway disease.⁽⁵⁾ Aspiration may be associated with coughing or choking, or may be entirely asymptomatic (silent aspiration) .^(2,6,7,8) Even when clinically asymptomatic during feeding, children with neurological impairment are at risk of aspiration. Clinical examination and objective assessment are recommended in children with these risk factors.⁽⁸⁾

Objective assessment of suspected cases of lower airway aspiration may include specific imaging modalities, such as a videofluoroscopic swallow study (VFSS) or fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing (FEES) .^(4,9) However, both modalities require specialized equipment and human resources, and will necessarily expose the child to ionizing radiation (VFSS) or an invasive procedure (FEES).

The development of new assessment techniques, such as the use of microphones⁽¹⁰⁻¹²⁾ or dual-axis accelerometers,⁽¹³⁻²⁴⁾ attached to the neck so as to enable digital analysis of swallowing sounds has contributed to a greater understanding of the acoustic signals of swallow and its disorders.⁽²⁵⁾ Most of those studies were conducted in adults and studies in children are scarce.^(15,16,23,26,27) Thus, in the search of detectable markers of aspiration in the pediatric population, this study aimed to compare the swallowing and post-swallowing sounds (power spectral density) captured by a laryngeal microphone in children with and without tracheal aspiration.

Methods

This study was approved by the Research and Ethics Committee of Hospital de Clínicas de Porto Alegre (protocol no. 09/554). Informed and written consent was obtained from parents or caretakers.

Thirty-two children aged 1 to 14 years, who were referred for VFSS were enrolled. Data were collected from April through December 2012. The inclusion criteria for referral to VFSS were at least one of the following symptoms of OPD: difficulty in suckling and/or chewing; choking, coughing, nausea, nasal reflux during feeding; and recurrent chest infection associated with feeding difficulty. The exclusion criteria were inability to take oral feeding due to absence of sucking, chewing, or swallowing reflexes; refusal to eat; decreased level of consciousness; and tracheostomy.

Digital cervical auscultation equipment

An acoustic detector and a preamplifier with filter connected to a computer were used for the cervical digital auscultation. The acoustic detector employed was a piezoelectric microphone with a flat response curve (-3 dB) between 15 Hz and 15,000 Hz. A Butterworth bandpass fourth-order filter design with a low-frequency cutoff at 15 Hz and an upper frequency cutoff at 15,000 Hz and a rejection band attenuation of 12 dB per octave. Acoustic signals were acquired at a sampling rate of 44,100 samples per second and at a 16-bit quantitative level. The program (Raven software, version 1.1) showed 2 different graphical images of the signal: an oscillogram (time in seconds vs amplitude in arbitrary units) in the upper part and a spectrogram (time in seconds vs frequency in hertz) in the lower part. The spectrogram was computed by using the fast Fourier transform with 1,024 samples, a Hanning window, and a superposition level of 50%. The frequency resolution was 43.1 Hz with temporal resolution corresponding to 11.6 ms (or 0.0116 s).

Videofluoroscopic swallow study (VFSS)

VFSS was performed using the Shimatzu-Sonialvision VERSA system. DVD recording equipment was installed to capture VFSS images for subsequent analysis. Images were captured in fluoroscopy mode at an acquisition rate of 30 frames per second. All studies were performed with children in the seated position in an appropriate procedure chair.

Study procedure

Patients had an initial assessment by a speech–language pathologist. This stage comprised a clinical interview with a focus on dietary intake, and structural and functional assessment of the oral sensory motor system and swallowing. Within 24 hours of this assessment, patients underwent VFSS, which was performed by two speech–language pathologists experienced in fluoroscopic study of swallowing and a radiologist. DCA was performed simultaneously during VFSS.

During the VFSS, the child was offered boluses of fluid, semisolid, and solid food mixed with liquid barium at a 3:1 ratio. The microphone was attached to the neck over the lateral border of the trachea, immediately inferior to the cricoid cartilage, as identified by manual palpation during swallowing of saliva ^(28,29) (Figure 1).

The dynamics of swallowing was observed in real time and swallowing sounds were continuously captured by the microphone and registered on a computer workstation. Upon identification of aspiration on VFSS an event marker was immediately registered on the DCA recording screen for further analysis (Figure 1). Aspiration events that had no consensus agreement within the 3 examiners were discarded from the study.

Figure 1

Swallowing was classified on a modified version of the *Penetration-Aspiration Scale*.⁽⁵⁾ On this scale, a food penetration event is defined as entry of material into the larynx without passing below the vocal folds, whereas aspiration is defined as entry of material into the airway passing below the vocal folds. Table 1 shows the classification scale employed in the study.

Table 1

Analysis of swallowing sounds

The distribution of patients and the swallowing sounds are shown on the flow chart (Figure 2). VFSS images of all 32 patients, simultaneously with DCA sound signals were analyzed to determine the physiological and pathological events shown on fluoroscopy and to compare them with the recorded sounds. Patients who corresponded to levels 1 or 2 on the adapted *Penetration-Aspiration Scale*⁽⁵⁾ (Table 1) were excluded from analysis as only patients with aspiration (level 3) underwent the analysis (Figure 2).

Figure 2

Nine patients with level 3 had the analysis of swallowing sounds performed. Out of them, one was excluded due to interference in the signal and 8 patients were finally analyzed who provided the swallowing sounds for assessment. In total 22 swallowing sounds were randomly evaluated and separated into 2 groups: Group 1 with 11 swallowing signals with aspiration; and Group 2 with 11 swallowing signals with no aspiration.

Other 11 swallowing signals taken as controls were selected from a preexisting database compiled during a previous study of DCA⁽²⁷⁾ which assessed children between the ages of 3 and 14 years with no complaints suggestive of OPD and no neurological impairment. These signals were matched by age and gender with those of children assessed

in the present study. These signals were also detected by the same DCA equipment as used in this present study, This group was named Group 3.

A visual and auditory comparative analysis of the 33 signals and selection of the component sounds of swallowing was carried out. These components were determined consensually by two experienced examiners based on previous studies that employed this method^(25,27,30-32) (Figure 3). The following parameters were established for analysis: a) acoustic landmarks of the onset and end of swallowing: the signal began when the sound spectrum first deviated from zero (in amplitude) on the x-axis (discrete initial sound) and ended when the spectrum returned to the zero point (discrete final sound) on the x-axis, followed by respiration or aspiration; b) acoustic landmark of the post-swallow segment (respiration or aspiration): signal detected immediately subsequent to deglutition, corresponding to the latency between swallows.

Figure 3

Study variables

The following variables were analyzed in each of the segments of interest:

I. Delta t of swallowing: corresponds to the duration of swallow in seconds;

II. RMS (root mean square): statistical measurement of the magnitude of a power variable (mean power), which referred, in this study, to the power spectral density (PSD) – expressed in $1/\sqrt{\text{Hz}}$ – of the sound signal corresponding to the post-swallow segment (respiration or aspiration).

Statistical analysis

For characterization of the overall sample, clinical examination and VFSS findings were expressed as absolute frequencies, mean \pm standard deviation, and median (25th-75th

percentile) as appropriate. The nonparametric Mann-Whitney U test was used for independent group comparisons. Generalized estimating equations for multiple comparisons with Bonferroni's post-hoc correction ($p \leq 0.05$) were used for comparison between swallowing signal groups (G1, G2 and G3).

Results

Table 2 outlines the characteristics of the patients referred for VFSS. Median age (25th-75th percentile) of all patients referred for VFSS was 69 months (35-120) whereas the median age from the patients who finally had the swallowing sounds analyzed (level 3 on scale) was 48 months (15-134) for group G1 and G2 and 48 months (36-128) for group G3. There was no significant difference between the age of patients at level 3 on VFSS and controls ($p=1.000$).

Table 2

Swallowing sound signals

The variables chosen for assessment of the 33 pooled swallowing signals of G1 (dysphagic swallowing with aspiration), G2 (dysphagic swallowing without aspiration), and G3 (normal swallowing in children with no complaints of OPD) yielded the following findings after generalized estimating equation analysis with Bonferroni correction:

- I. Delta t of swallowing: the mean duration of swallow, in seconds, was significantly greater in G1 (1.289 ± 0.064 s) and G2 (1.230 ± 0.124 s) as compared with G3 (0.596 ± 0.057 s) ($p < 0.001$). There were no significant difference in mean duration of swallow between G1 and G2 ($p=0.999$) (Figure 4).
- II. RMS of sounds in the post-swallow segment (respiration and aspiration): the mean RMS value of aspiration in G1 (3330.8 ± 405.7 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) was significantly greater than the mean

RMS values of respiration in G2 (720.55 ± 121.6 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) and in G3 (890.3 ± 179.4 $1/\sqrt{\text{Hz}}$) ($p < 0.001$). There were no significant differences in RMS values between G2 and G3 ($p = 0.999$) (Figure 5).

Figure 4

Figure 5

Discussion

This study assessed parameters for analysis of aspiration in children by comparing the swallowing signals of children with and without complaints suggestive of OPD. This is the first study to show the DCA findings assessed by a microphone simultaneously with VFSS in this age group. This study showed that children with OPD symptoms had a higher swallowing time than those without OPD symptoms. It also showed that post-swallow PDE was higher in the swallowing sounds with aspiration than those with no aspiration

In regard of this study population, the majority had neurologic disorders (37.5% of patients had cerebral palsy and 9.4% had neuromuscular diseases) and genetic syndromes (28.1%). This is consistent with the literature, in which cerebral palsy is the most common neurological cause and that associated with the greatest impact on OPD.^(3,4,6,33) Children with genetic syndromes often exhibit feeding difficulties and impaired swallowing, which can be particularly challenging to manage when associated with behavioral issues.^(3,34) Children with complex clinical conditions can also exhibit impaired deglutition without a definite underlying etiology for OPD.^(2,35)

The majority of patients in our sample had trouble with the fluid consistency (Figure 1). Among the various food consistencies, fluid is the most often associated with aspiration across different subject groups.^(8,36) Fluid aspiration has been identified in approximately

30%, and laryngeal penetration in 52% of patients previously assessed. When given solids, 8% of children aspirated and 13.3% exhibited laryngeal penetration.⁽³⁷⁾

In our sample, the swallowing sounds of children with no complaints indicative of OPD had a mean duration of 0.596 ± 0.057 s. This is within the range reported in previous studies of normal adults.^(28,38-41) A preliminary study that assessed swallow times in healthy children via VFSS identified pharyngeal transit times in the range of 0.110s to 0.700s for children between the ages of 24 and 48 months. Furthermore, comparison of these values with those of younger children yielded no significant differences. All subjects assessed had pharyngeal transit times of <1 s as did those with normal swallowing signals in the present study.⁽⁴²⁾

In this study, children with complaints indicative of OPD had mean transit time of >1 s (1.230 ± 0.124 s in the absence of aspiration, 1.289 ± 0.064 s in the presence of aspiration). In an adult study, Santamato et al. (2009) found significantly greater values during fluid swallowing in patients with OPD and aspiration as compared with normal swallowing signals.⁽¹⁰⁾ Shirazi and Moussavi (2011) proposed an acoustic model of swallowing for analysis of the origin of deglutition dysfunction in patients with neurological disorder. The authors suggest that both peripheral and central signals may alter the swallowing mechanism, interfering with oral and pharyngeal transit time as well as with airway protection mechanisms.⁽²⁰⁾ The comparison between normal and dysphagic swallowing times proposed by our study provides a qualitative contribution towards identification of parameters that can be used as markers of abnormal changes in the swallowing process. This type of analysis is little explored in the pediatric population⁽⁴²⁾ and to our knowledge this is the first study to address it.

In this study, the PSD of post-swallowing sounds, as measured by the RMS method, was significantly greater in fluid aspiration than in post-swallowing respiration. This difference may be explained by the fact that the sounds of tracheal aspiration represent the presence of particles in the airway, which alter the turbulence of air flow during post-swallowing respiration. The signal spectrum of this sound exhibited greater density because the

above-mentioned particles would be expected to increase the audio power, most probably by modifying airflow patterns.^(11,12) Therefore, the higher the RMS value obtained, the greater the probability that aspiration is being detected. These relationships have been described in the literature for frequencies up to 300Hz.⁽¹¹⁾ In our study, similar results (valid up to 6000Hz) were obtained. Analysis of the PSD of breathing sounds showed marked variation in RMS values in the presence of aspiration. The audio power of breath sounds associated with aspiration is greater than that of patients who do not aspirate,⁽¹²⁾ as demonstrated here in as well.

The small number of signals analyzed (and the small number of patients with aspiration) can be considered a limitation of this study. However, the differences found in RMS values used to detect and distinguish the power spectral densities of respiration and aspiration in the post-swallowing period were robust enough to support further studies to ensure this parameter as a marker of aspiration risk. Children were largely uncooperative, and controlling for changes in position and untoward vocalizations was extremely challenging. Nonetheless, DCA is a minimally invasive modality meant to help bedside clinical examination.

In conclusion this study found a longer swallowing time in children with complaints of OPD as compared with controls. The post-swallowing sound in the presence of fluid aspiration had greater audio power than that with respiration, probably due to the presence of food particles in the air flow. Further studies to assess the accuracy of DCA for the detection of aspiration in children with OPD are needed.

References

1. Miller CK, Willging JP. Advances in the evaluation and management of pediatric dysphagia. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2003 Dec;11(6):442-6.

2. Richter GT. Management of oropharyngeal dysphagia in the neurologically intact and developmentally normal child. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2010 Dec;18(6):554-63.
3. Morgan AT, Dodrill P, Ward EC. Interventions for oropharyngeal dysphagia in children with neurological impairment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012 Oct 17;10:CD009456.
4. Lefton-Greif MA. Pediatric dysphagia. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2008 Nov;19(4):837-51.
5. Rosenbek JC, Robbins JA, Roecker EB, Coyle JL, Wood JL. A penetration-aspiration scale. *Dysphagia.* 1996 Spring;11(2):93-8.
6. Prasse JE, Kikano GE. An overview of pediatric dysphagia. *Clin Pediatr (Phila).* 2009 Apr;48(3):247-51.
7. Tutor JD, Gosa MM. Dysphagia and aspiration in children. *Pediatr Pulmonol.* 2012 Apr;47(4):321-37.
8. Weir KA, McMahon S, Taylor S, Chang AB. Oropharyngeal aspiration and silent aspiration in children. *Chest.* 2011 Sep;140(3):589-97.
9. Langmore SE, Schatz K, Olsen N. Fiberoptic endoscopic examination of swallowing safety: a new procedure. *Dysphagia.* 1988;2(4):216-9.
10. Santamato A, Panza F, Solfrizzi V, et al. Acoustic analysis of swallowing sounds: a new technique for assessing dysphagia. *J Rehabil Med.* 2009 Jul;41(8):639-45.
11. Shirazi S, Buchel C, Daun R, Lenton L, Moussavi Z. Detection of swallows with silent aspiration using swallowing and breath sound analysis. *Med Biol Eng Comput.* 2012 Dec;50(12):1261-8.
12. Shirazi S, Moussavi Z. Silent aspiration detection by breath and swallowing sound analysis. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2012;2012:2599-602.
13. Reddy NP, Katakam A, Gupta V, Unnikrishnan R, Narayanan J, Canilang EP. Measurements of acceleration during videofluorographic evaluation of dysphagic patients. *Med Eng Phys.* 2000 Jul;22(6):405-12.

14. Das A, Reddy NP, Narayanan J. Hybrid fuzzy logic committee neural networks for recognition of swallow acceleration signals. *Comput Methods Programs Biomed.* 2001 Feb;64(2):87-99.
15. Chau T, Chau D, Casas M, Berall G, Kenny DJ. Investigating the stationarity of paediatric aspiration signals. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2005 Mar;13(1):99-105.
16. Lee J, Blain S, Casas M, Kenny D, Berall G, Chau T. A radial basis function classifier for pediatric aspiration detection. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2006;1:3553-6.a.
17. Lee J, Steele CM, Chau T. Swallow segmentation with artificial neural networks and multi-sensor fusion. *Med Eng Phys.* 2009 Nov;31(9):1049-55.
18. Zoratto DC, Chau T, Steele CM. Hyolaryngeal excursion as the physiological source of swallowing accelerometry signals. *Physiol Meas.* 2010 Jun;31(6):843-55.
19. Sejdić E, Komisar V, Steele CM, Chau T. Baseline characteristics of dual-axis cervical accelerometry signals. *Ann Biomed Eng.* 2010 Mar;38(3):1048-59.b.
20. Shirazi SS, Moussavi ZM. Acoustical modeling of swallowing mechanism. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2011 Jan;58(1):81-7.
21. Lee J, Steele CM, Chau T. Classification of healthy and abnormal swallows based on accelerometry and nasal airflow signals. *Artif Intell Med.* 2011 May;52(1):17-25.
22. Nikjoo MS, Steele CM, Sejdić E, Chau T. Automatic discrimination between safe and unsafe swallowing using a reputation-based classifier. *Biomed Eng Online.* 2011 Nov 15;10:100.
23. Merey C, Kushki A, Sejdić E, Berall G, Chau T. Quantitative classification of pediatric swallowing through accelerometry. *J Neuroeng Rehabil.* 2012 Jun 9;9:34.
24. Steele CM, Sejdić E, Chau T. Noninvasive detection of thin-liquid aspiration using dual-axis swallowing accelerometry. *Dysphagia.* 2013 Mar;28(1):105-12.
25. Reynolds EW, Vice FL, Gewolb IH. Variability of swallow-associated sounds in adults and infants. *Dysphagia.* 2009 Mar;24(1):13-9.

-
26. Lee J, Blain S, Casas M, Kenny D, Berall G, Chau T. A radial basis classifier for the automatic detection of aspiration in children with dysphagia. *J Neuroeng Rehabil.* 2006 Jul 17;3:14.b.
 27. Almeida ST, Ferlin EL, Parente MA, Goldani HA. Assessment of swallowing sounds by digital cervical auscultation in children. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2008 Apr;117(4):253-8.
 28. Takahashi K, Groher M, Michi K. Methodology for detecting swallowing sounds. *Dysphagia.* 9: 54-62, 1994.
 29. Chicero JAY, Murdoh BE. Detection of swallowing sounds: methodology revisited. *Dysphagia.* 17:40-49, 2002.a.
 30. Vice FL, Heinz JM, Giuriati G, Hood M, Bosma JF. Cervical auscultation of suckle feeding in newborn infants. *Dev. Med. Child Neurol.* 32:760-768, 1990.
 31. Reynolds EW, Vice FL, Bosma JF, Gewolb IH. Cervical accelerometry in preterm infants. *Dev. Med. Child Neurol.* 44:587-592, 2002.
 32. Morinière S, Boiron M, Alison D, Makris P, Beutter P. Origin of the sound components during pharyngeal swallowing in normal subjects. *Dysphagia.* 2008 Sep;23(3):267-73.
 33. Gisel E. Interventions and outcomes for children with dysphagia. *Dev Disabil Res Rev.* 2008;14(2):165-73.
 34. Cooper-Brown L, Copeland S, Dailey S, et al. Feeding and swallowing dysfunction in genetic syndromes. *Dev Disabil Res Rev.* 2008;14(2):147-57.
 35. Sheikh S, Allen E, Shell R. et al. Chronic aspiration without gastroesophageal reflux as a cause of chronic respiratory symptoms in neurologically normal infants. *Chest* 2001; 120:1190–1195.
 36. Pires EC, Sassi FC, Mangilli LD, Limongi SCO, Andrade, CRF. Alimentos na consistência líquida e deglutição: uma revisão crítica da literatura. *Rev. Soc. Bras. Fonoaudiol.* 2012; 17(4): 482-488.
 37. DeMatteo C, Matovich D, Hjartarson A. Comparison of clinical and videofluoroscopic evaluation of children with feeding and swallowing difficulties. *Dev Med Child Neurol.* 2005 Mar;47(3):149-57.

-
38. Mackrowiak R, Brenman H, Friedman M. Acoustic profile of deglutition. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1967;125:1149-1152.
 39. Logan W, Kavanagh J, Wornall A. Sonic correlates of human deglutition. *J. Appl. Physiol.* 1967; 23:279-284.
 40. Boiron M, Rouleau P, Metmen EH. Exploration of pharyngeal swallowing by audiosignal recording. *Dysphagia.* 1997; 12:86-92.
 41. Cichero JAY, Murdoch BE. Acoustic signature of the normal swallow: characterization by age, gender and bolus volume. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 2002; 111:623-632.
 42. Weckmueller J, Easterling C, Arvedson J. Preliminary temporal measurement analysis of normal oropharyngeal swallowing in infants and young children. *Dysphagia.* 2011 Jun;26(2):135-43.

FIGURE LEGENDS

Figure 1 -.VFSS images on lateral view. 1: Microphone placement on the neck. 2: swallowing of barium fluid bolus with no airway penetration/aspiration; 3: swallowing of barium fluid bolus with entry of barium contrast into the airway passing the level of the vocal folds (tracheal aspiration).

Table 1. Classification of swallowing during videofluoroscopic swallow study.⁽⁵⁾

Figure 2. Flowchart of classification of patients according to the events of penetration and aspiration in the analysis during videofluoroscopic swallow study and characterization of selected groups for multiple comparisons.

Figure 3. Graphical representation for visual and auditory analysis of swallowing sound (left: oscillogram; right: spectrogram) of patients I, II, and III. Acoustic landmarks of the onset and end of swallowing (A) and post-swallow segment (B) are identified. Swallowing and post-swallow segment with aspiration in a G1 patient (I), and without aspiration in G2 (II) and G3 (III) patient.

Table 2. Characteristics of patients assessed by videofluoroscopic swallow study and digital cervical auscultation

Figure 4. Mean duration of swallowing (t) in seconds (s). Mean times were significantly longer in G1 and G2 than in G3.

Figure 5. RMS values for the post-swallow segment ($1/\sqrt{\text{Hz}}$). Values were significantly greater in G1 than in G2 and G3.

Figura 1

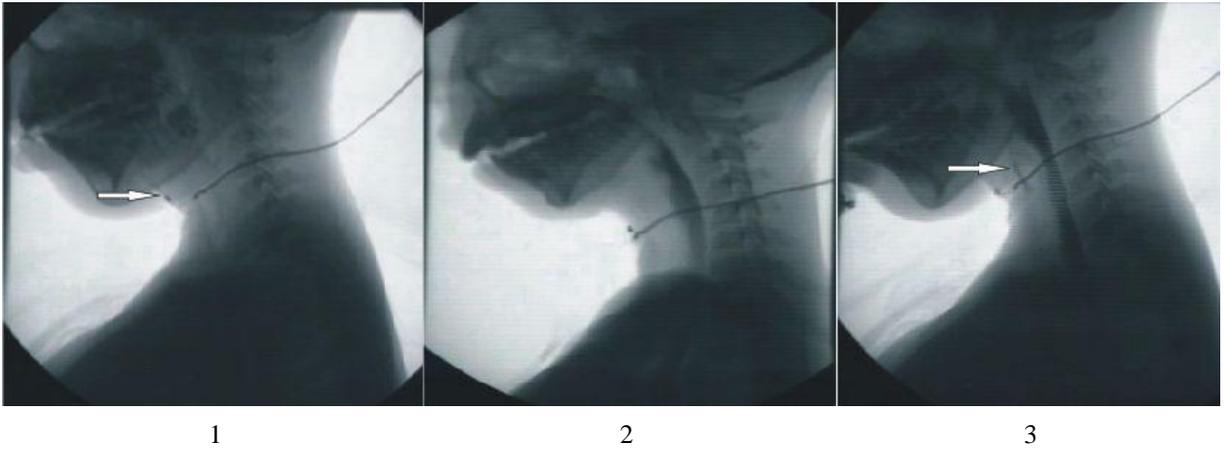


Table 1

Level 1. Contrast does not enter the airway.

Level 2. Contrast enters airway and reaches the vocal folds, but does not passes vocal folds.

Level 3. Contrast enters airway and passes below the vocal folds.

Figure 2

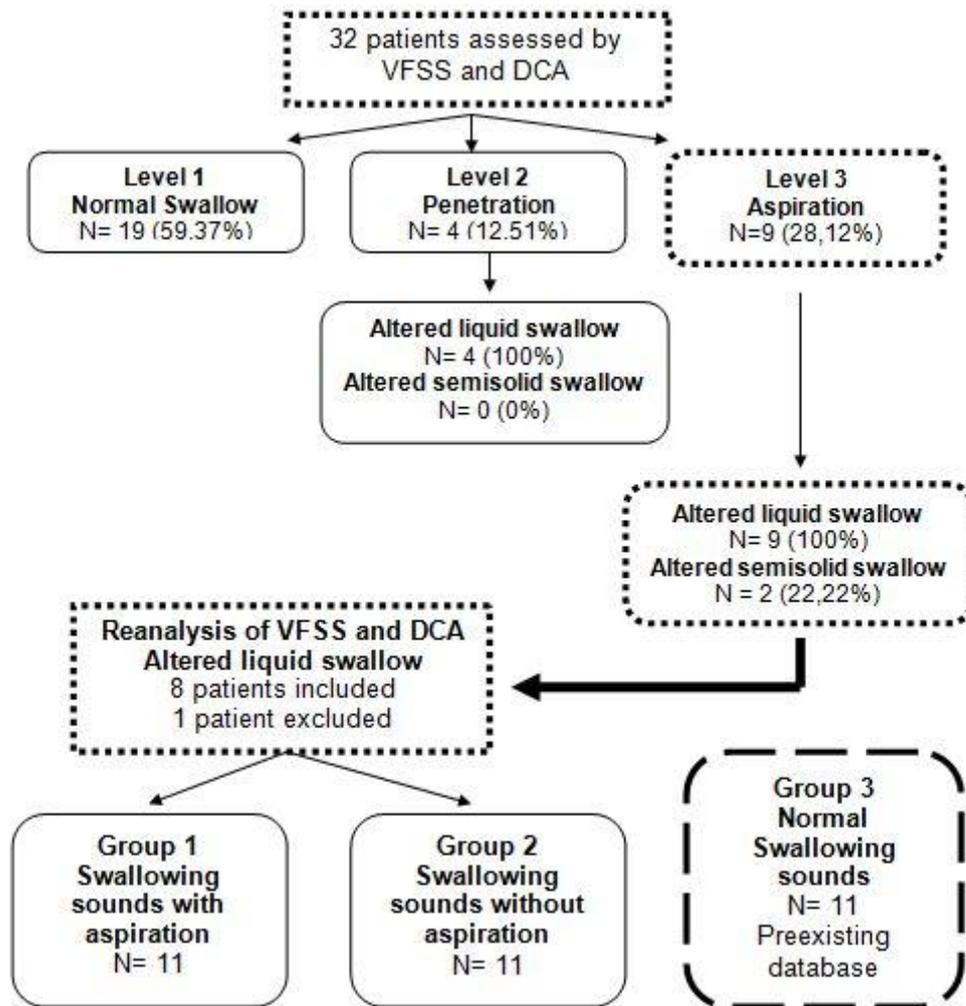


Figura 3

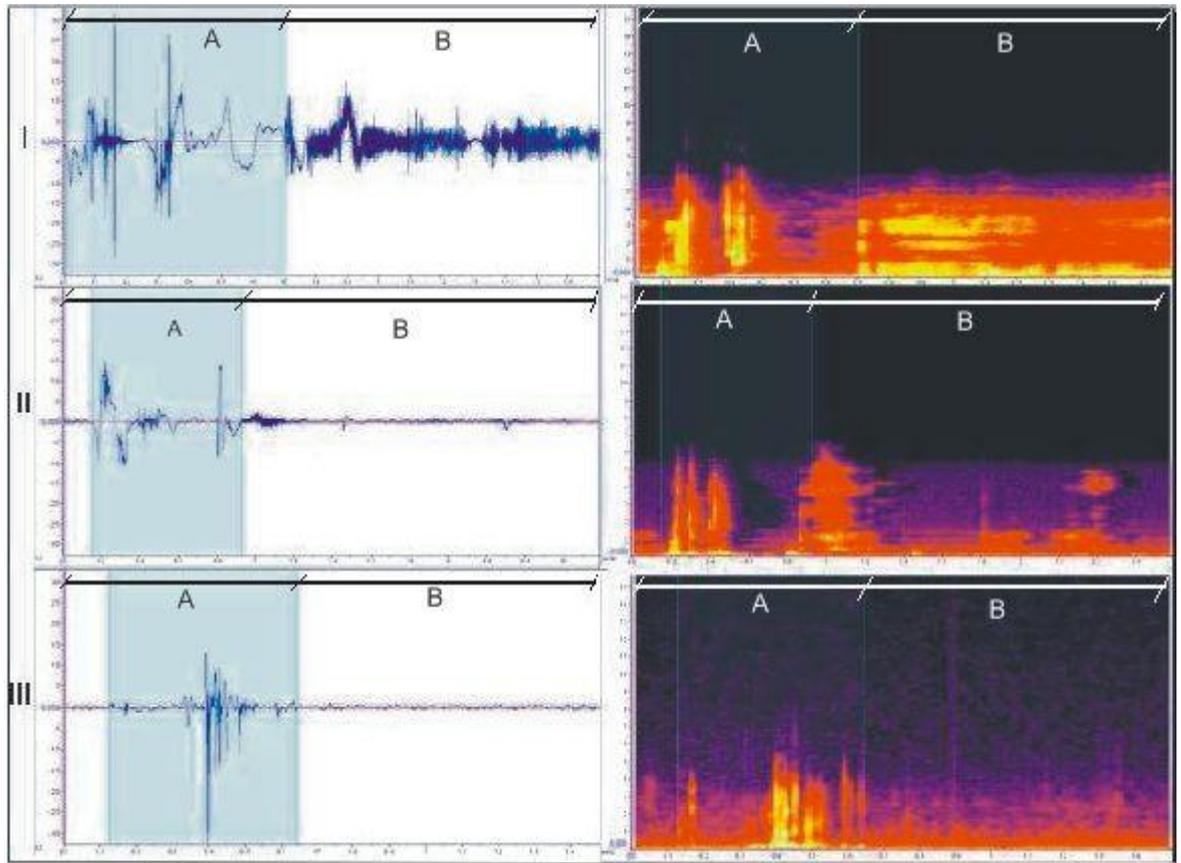


Tabela 2

Variable	Total of patients assessed N=32	Patients of level 3 on VFSS N=8	Controls N=11	p
Age, median (25th -75th percentile)	69 months (35-120)	48 months (15-134)	48 months (36-128)	0.999*
Sex n(%)				
Male	16 (50)	4 (50)	6 (54,5)	
Underlying conditions, n (%)				
Cerebral palsy	12 (37,5)	5(62,5)	-	
Genetic syndromes	9 (28,1)	2(25)	-	
Neuromuscular disease	3 (9,3)	-	-	
Other	8 (25)	1(12,5)	-	
History of recurrent pneumonia, n (%)				
Yes	22 (68,8)	—	—	
No	10 (31,2)			
Feeding route at the time of assessment, n(%)				
Nasoenteric and oral	3 (9,4)	—	—	
Exclusively oral	29 (90,6)	8(100)	11(100)	

*Mann-Whitney U test

Figura 4

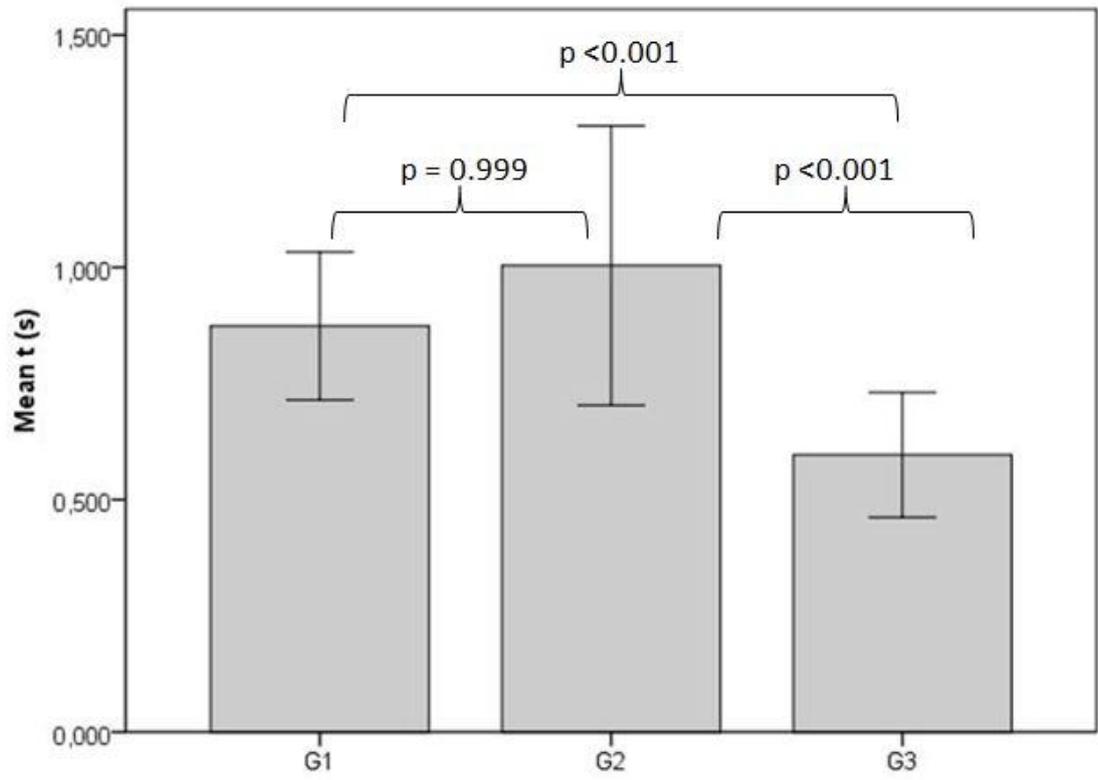


Figura 5

