



ARTIGO DE REVISÃO

Diagnostic validity of methods for assessment of swallowing sounds: a systematic review[☆]



Karina Veríssimo Meira Taveira^{a,*}, Rosane Sampaio Santos^b,
Bianca Lopes Cavalcante de Leão^c, José Stechman Neto^b, Leandro Pernambuco^d,
Letícia Korb da Silva^e, Graziela De Luca Canto^{f,g} e André Luís Porporatti^f

^a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Departamento de Morfologia, Centro de Biociências, Natal, RN, Brasil

^b Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), Programa de Pós-Graduação em Distúrbios da Comunicação, Curitiba, PR, Brasil

^c Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), Departamento de Odontologia, Curitiba, PR, Brasil

^d Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Departamento de Fonoaudiologia, João Pessoa, PB, Brasil

^e Instituto de Educação Luterana de Santa Catarina, Departamento de Fonoaudiologia, Joinville, SC, Brasil

^f Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Odontologia, Brazilian Centre for Evidence-based Research, Florianópolis, SC, Brasil

^g University of Alberta, Faculty of Medicine and Dentistry, School of Dentistry, Alberta, Canada

Recebido em 26 de setembro de 2017; aceito em 27 de dezembro de 2017

Disponível na Internet em 16 de agosto de 2018

KEYWORDS

Deglutition;
Deglutition disorders;
Diagnosis;
Review

Abstract

Introduction: Oropharyngeal dysphagia is a highly prevalent comorbidity in neurological patients and presents a serious health threat, which may lead to outcomes of aspiration pneumonia, ranging from hospitalization to death. This assessment proposes a non-invasive, acoustic-based method to differentiate between individuals with and without signals of penetration and aspiration.

Objective: This systematic review evaluated the diagnostic validity of different methods for assessment of swallowing sounds, when compared to videofluoroscopy swallowing study to detect oropharyngeal dysphagia.

Methods: Articles in which the primary objective was to evaluate the accuracy of swallowing sounds were searched in five electronic databases with no language or time limitations. Accuracy measurements described in the studies were transformed to construct receiver operating

DOI se refere ao artigo: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2017.12.008>

[☆] Como citar este artigo: Taveira KV, Santos RS, Leão BL, Stechman Neto J, Pernambuco L, Silva LK, et al. Diagnostic validity of methods for assessment of swallowing sounds: a systematic review. Braz J Otorhinolaryngol. 2018;84:638–52.

* Autor para correspondência.

E-mails: karinnavm@hotmail.com, karinna@cb.ufrn.br (K.V. Taveira).

A revisão por pares é da responsabilidade da Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

characteristic curves and forest plots with the aid of Review Manager v. 5.2 (The Nordic Cochrane Centre, Copenhagen, Denmark). The methodology of the selected studies was evaluated using the Quality Assessment Tool for Diagnostic Accuracy Studies-2.

Results: The final electronic search revealed 554 records, however only 3 studies met the inclusion criteria. The accuracy values (area under the curve) were 0.94 for microphone, 0.80 for doppler, and 0.60 for stethoscope.

Conclusion: Based on limited evidence and low methodological quality because few studies were included, with a small sample size, from all index testes found for this systematic review, doppler showed excellent diagnostic accuracy for the discrimination of swallowing sounds, whereas microphone-reported good accuracy discrimination of swallowing sounds of dysphagic patients and stethoscope showed the best screening test.

© 2018 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PALAVRAS-CHAVE

Deglutição;
Distúrbios de
deglutição;
Diagnóstico;
Revisão

Validade diagnóstica dos métodos de avaliação dos sons de deglutição: uma revisão sistemática

Resumo

Introdução: A disfagia orofaríngea é uma comorbidade altamente prevalente em pacientes neurológicos e representa uma séria ameaça à saúde, pode levar a desfechos como pneumonia por aspiração, hospitalização e até morte. A avaliação propõe um método não invasivo, acústico, para diferenciar entre indivíduos com e sem sinais de penetração e aspiração.

Objetivo: Esta revisão sistemática analisou a validade diagnóstica de diferentes métodos para avaliação dos sons de deglutição, quando comparados com a videofluoroscopia da deglutição para detectar disfagia orofaríngea.

Método: Artigos nos quais o objetivo principal era avaliar a acurácia dos sons de deglutição foram pesquisados em cinco bancos de dados eletrônicos sem limitações de idioma ou tempo de publicação. As medidas de acurácia descritas nos estudos foram transformadas para construir curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic*) e gráfico em floresta (*forest plot*) com o auxílio do *software* Review Manager v. 5.2 (The Nordic Cochrane Centre, Copenhagen, Dinamarca). A metodologia dos estudos selecionados foi avaliada com a ferramenta Avaliação da Qualidade de Estudos de Acurácia de Testes Diagnósticos-2.

Resultados: A busca eletrônica final resultou na identificação de 554 artigos; no entanto, apenas três estudos preencheram os critérios de inclusão. Os valores de acurácia (área abaixo da curva) foram 0,94 para microfone, 0,80 para doppler e 0,60 para estetoscópio.

Conclusão: Baseado nas evidências limitadas e da baixa qualidade metodológica, pois foram poucos os estudos incluídos, e com pequeno tamanho amostral, de todos os testes diagnósticos (*index testes*) encontrados para essa revisão sistemática o doppler mostrou excelente acurácia diagnóstica na discriminação dos sons de deglutição, o microfone demonstrou uma boa acurácia na discriminação dos sons de pacientes disfágicos e o estetoscópio revelou o melhor teste de triagem.

© 2018 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

Sabe-se que a deglutição é um intrincado mecanismo neuromuscular que requer uma sequência de atividades biomecânicas, resulta na passagem de líquidos e sólidos por todo o caminho da boca até o estômago que evita a via aérea.^{1,2} A disfagia pode trazer consequências sérias e potencialmente fatais para a saúde, que afetam negativamente o bem-estar, a segurança e a qualidade de vida dos pacientes.^{3,4} A aspiração é uma das manifestações

mais graves da disfagia orofaríngea e pode ser a causa de subnutrição, infecção nas vias aéreas, internação hospitalar prolongada e, finalmente, mortalidade.⁵ As medidas de prevalência da disfagia divergem, dependem da etiologia e da idade do paciente, mas estimativas de até 38% para prevalência ao longo da vida foram relatadas em indivíduos acima de 65 anos.⁶

Para evitar resultados de saúde desfavoráveis, a detecção inicial da disfagia é crucial, bem como o encaminhamento precoce para o diagnóstico e tratamento com vistas a

minimizar as ameaças à saúde. O teste denominado videofluoroscopia da deglutição (VFD), que consiste em pedir ao paciente para engolir diferentes alimentos e líquidos que contenham um agente de contraste radiopaco, enquanto é observado por um profissional treinado, é frequentemente considerado como a referência padrão para determinar casos de disfagia.⁷⁻¹¹ Para esse teste, um profissional treinado observa os dados cinemáticos aos raios X para deficiência fisiológica de deglutição e subsequente direcionamento errado do material engolido.^{12,13} No entanto, as repetições frequentes do teste VFD não são recomendadas devido à sua alta exposição à radiação.¹⁴

Foi proposto um método não invasivo para a análise da deglutição através de meio acústico. Microfones e/ou acelerômetros são usados para gravar sons da respiração e da deglutição, os quais são examinados em seguida com métodos de processamento de sinais digitais. Os sons da deglutição têm sido amplamente associados às reverberações faríngeas decorrentes da abertura e do fechamento das válvulas (válvulas orofaríngeas, laringeas e esofágicas), ação de inúmeras bombas (bombas faríngeas, esofágicas e respiratórias) e vibrações do trato vocal.¹⁵

A literatura sobre os sons da deglutição como complemento da avaliação clínica da disfagia tem mostrado resultados promissores.^{16,17} Não há estudos que correlacionem a sua acurácia diagnóstica como um método para a detecção de sons da deglutição. Com base no exposto acima, o objetivo desta revisão sistemática foi responder a seguinte pergunta: "Qual é a validade diagnóstica de diferentes métodos para avaliação de sons da deglutição, quando comparados com o teste VFD para detectar a disfagia orofaríngea?"

Método

Protocolo e registro

A declaração Prisma¹⁸ foi usada para guiar a execução desta revisão sistemática e o protocolo foi registrado no banco de dados *International Prospective Register of Systematic Reviews* (Prospero) (Registro nº CRD42016052771).

Critérios de elegibilidade

Incluimos estudos de validade diagnóstica que usaram diferentes métodos de avaliação de sons da deglutição comparados com o padrão de referência: Videofluoroscopia da Deglutição (VFD). Diferentes métodos para avaliar os sons da deglutição incluem ultrassom, análise acústica, ausculta cervical, sinais de acelerômetro na deglutição e efeito Doppler. Foram incluídos estudos publicados em todos os idiomas, sem restrições de idade e sexo dos pacientes e tempo de publicação.

Critérios de exclusão

Foram excluídos artigos da revisão com base nos seguintes critérios: 1) Estudos com animais; 2) Estudos que não usaram ultrassonografia, análise acústica, ausculta cervical, sinais de acelerômetro para análise da deglutição ou

efeito Doppler; 3) Estudos que não compararam métodos diagnósticos da deglutição tanto para o grupo controle quanto para o grupo disfágico com o uso da VFD como padrão de referência; 4) Estudos que não apresentaram medidas de validade (sensibilidade e especificidade) ou não apresentaram dados suficientes para o seu cálculo; 5) Revisões, cartas, conferências, resumos, opiniões pessoais.

Fontes de informação

Uma pesquisa computadorizada da literatura foi conduzida em cinco bases de dados principais: Cochrane, *Latin American and Caribbean Health Sciences* (Lilacs), PubMed (inclusive Medline), Scopus, *Web of Science*; e três bancos de dados da literatura cinzenta (*Google Scholar*, *OpenGrey* e *ProQuest Dissertation and Thesis*). Informações adicionais sobre as estratégias de busca são fornecidas no [apêndice 1](#). Além disso, as listas de referências dos artigos selecionados foram examinadas para obtenção de literatura adicional. Artigos relevantes sobre esse assunto também foram solicitados a especialistas da área. As referências foram verificadas e os itens duplicados foram removidos com o auxílio do *software* EndNote Basic X7® (Thompson Reuters, Nova York, NY, EUA). Todas as pesquisas foram feitas em 8 de outubro de 2016. Uma pesquisa atualizada com as mesmas combinações de palavras para cada banco de dados mencionado acima foi feita em 25 de janeiro de 2017.

Seleção de estudos

Dois revisores independentes fizeram o primeiro corte pré-seletivo, escolheram os artigos pelo título e resumo. Estudos que pareciam não preencher os critérios de elegibilidade foram excluídos. Em seguida, de forma independente, eles selecionaram textos completos a partir desse conjunto inicial de artigos. Todas as discordâncias foram resolvidas por meio de discussão ou encaminhamento para um terceiro revisor (B.L.C.L.).

Processo de coleta de dados

A extração de dados foi feita por um dos pesquisadores e verificada por um segundo. As discordâncias foram resolvidas por meio de discussão. Um terceiro pesquisador era solicitado quando necessário, para tomar a decisão final.

Itens dos dados

Os dados coletados foram: autores do estudo, ano de publicação, país, desenho do estudo, idade média e faixa etária, tamanho da amostra, número de pacientes, número de observações, teste diagnóstico (*index test*), teste de referência, descrição, desfechos e conclusões. Foram feitas tentativas para contatar os autores e recuperar quaisquer dados não publicados caso os dados necessários estivessem incompletos.

Risco de viés em estudos individuais

Os estudos incluídos foram avaliados quanto à qualidade metodológica com a ferramenta Avaliação da Qualidade de Estudos de Acurácia de Testes Diagnósticos-2 (Quadas-2).¹⁹ Os seguintes quatro domínios metodológicos foram medidos para cada teste: seleção do paciente, teste diagnóstico (*index test*), padrão de referência, fluxo de pacientes ao longo do estudo e cronograma dos testes.

Dois revisores independentes usaram critérios de avaliação crítica para analisar todos os artigos incluídos, marcaram cada critério com “sim”, “não” ou “incerto”. Quando necessário, as discordâncias foram resolvidas através de discussão com um terceiro pesquisador. Os gráficos de risco de viés para todos os estudos incluídos foram gerados por meio do *software* Review Manager 5.3 (RevMan 5.3, The Nordic Cochrane Centre, Copenhagen, Dinamarca).

Sumário das medidas

A sensibilidade e a especificidade dos testes diagnósticos foram os principais resultados avaliados. Valor Preditivo Positivo (VPP), Valor Preditivo Negativo (VPN), Razão de Verossimilhança Positiva (RV+), Razão de Verossimilhança Negativa (RV-), *odds ratio* diagnóstico (ORD) e índice de Youden foram desfechos secundários. Os valores de corte usados para interpretar esses dados são apresentados no [apêndice 2](#).

Síntese dos resultados

As diretrizes da Colaboração Cochrane²⁰ foram usadas para combinar resultados individuais por meio de uma revisão sistemática, com estimativa da máxima verossimilhança restrita (REML, do inglês *Restricted Maximum-Likelihood*) e o método de DerSimonian. Todas as análises estatísticas foram brutas, sem ajuste para potenciais fatores de confusão. Alguns dos dados necessários não foram especificados nos artigos, então nós os calculamos. O *software* Review Manager 5.3 (RevMan 5.3, The Nordic Cochrane Centre, Copenhagen, Dinamarca) foi usado para construir curvas ROC (*Receptor Operating Characteristic*) e gráficos em floresta. A heterogeneidade dentro dos estudos foi avaliada, consideraram-se as características clínicas, metodológicas e estatísticas ou usaram-se índices de inconsistência (I^2), enquanto um valor superior a 50% foi considerado um indicador de heterogeneidade substancial entre os estudos e um efeito aleatório foi aplicado. O nível de significância foi estabelecido em 5%.²¹

Risco de viés entre os estudos

Foram analisadas a heterogeneidade clínica, metodológica e estatística entre os estudos.

Resultados

Seleção dos estudos

As pesquisas sistemáticas apresentaram 554 resultados, como mostrado na [figura 1](#) – Prisma. Após a remoção das duplicatas, uma avaliação abrangente de 355 resumos foi feita e 330 artigos foram excluídos, resultaram em 25 artigos para a leitura do texto completo. As buscas na literatura cinzenta identificaram 253 estudos, dos quais nenhum foi selecionado. Da mesma forma, após a busca manual das listas de referência e artigos fornecidos por especialistas, nenhum estudo adicional foi incluído.

Portanto, 25 artigos foram recuperados para leitura de texto completo. Vinte e dois deles foram excluídos ([apêndice 3](#)). Portanto, três estudos permaneceram e foram incluídos na síntese qualitativa.

Características dos estudos

Os três estudos incluídos foram publicados em 2004, 2013 e 2015. Eles foram feitos no Brasil,²² Japão²³ e na Inglaterra.²⁴ O tamanho da amostra variou de 10 a 30 pacientes saudáveis e 14 a 70 pacientes disfágicos. Os testes diagnósticos (*index tests*) usados foram microfone,²³ estetoscópio com um microfone inserido na bifurcação do tubo²⁴ e Doppler.²²

As consistências e viscosidades do material usado para fazer o teste de referência também variaram. Abdulmassih et al.²² usaram três consistências, líquida, 70 mL de água e 30 mL de 100% sulfato de bário; pudim, 70 mL de água, 30 mL de sulfato de bário; sólida, biscoitos “clube social” embebidos em bário durante o teste de referência. Jayatilake et al.²³ usaram deglutição de água no grupo saudável e 3 mL de água misturada com 25% de bário no grupo disfágico, durante o teste de referência; Leslie et al.²⁴ usaram duas consistências com três bólus cada, de 5 e 20 mL de sulfato de bário fino e 5 mL de iogurte durante o teste de referência. Os volumes de bólus líquidos no teste de referência variaram de 3²⁴ a 70 mL.²² O tamanho dos bólus sólidos foi definido em biscoitos “clube social” embebidos em bário. As características dos estudos incluídos são mostradas na [tabela 1](#).

Risco de viés nos estudos

Embora nenhum estudo tenha preenchido todos os critérios de risco de viés, os métodos dos estudos foram bastante homogêneos e todos apresentaram baixo risco de viés em questão de aplicabilidade ([apêndice 4](#)). Para cada estudo, o item 1 do domínio que discute o risco de viés da seleção de pacientes foi classificado como de alto risco de viés, porque cada estudo recrutou uma amostra experimental, sem randomização dos pacientes. O item 1 do domínio “teste diagnóstico” (*index test*) foi classificado como “incerto” para dois estudos, devido ao resultado da avaliação ou interpretação do teste. Os itens teste de referência, fluxo e cronograma dos três estudos incluídos foram classificados como de “baixo risco”. A [figura 2](#) resume as avaliações do Quadas-2.

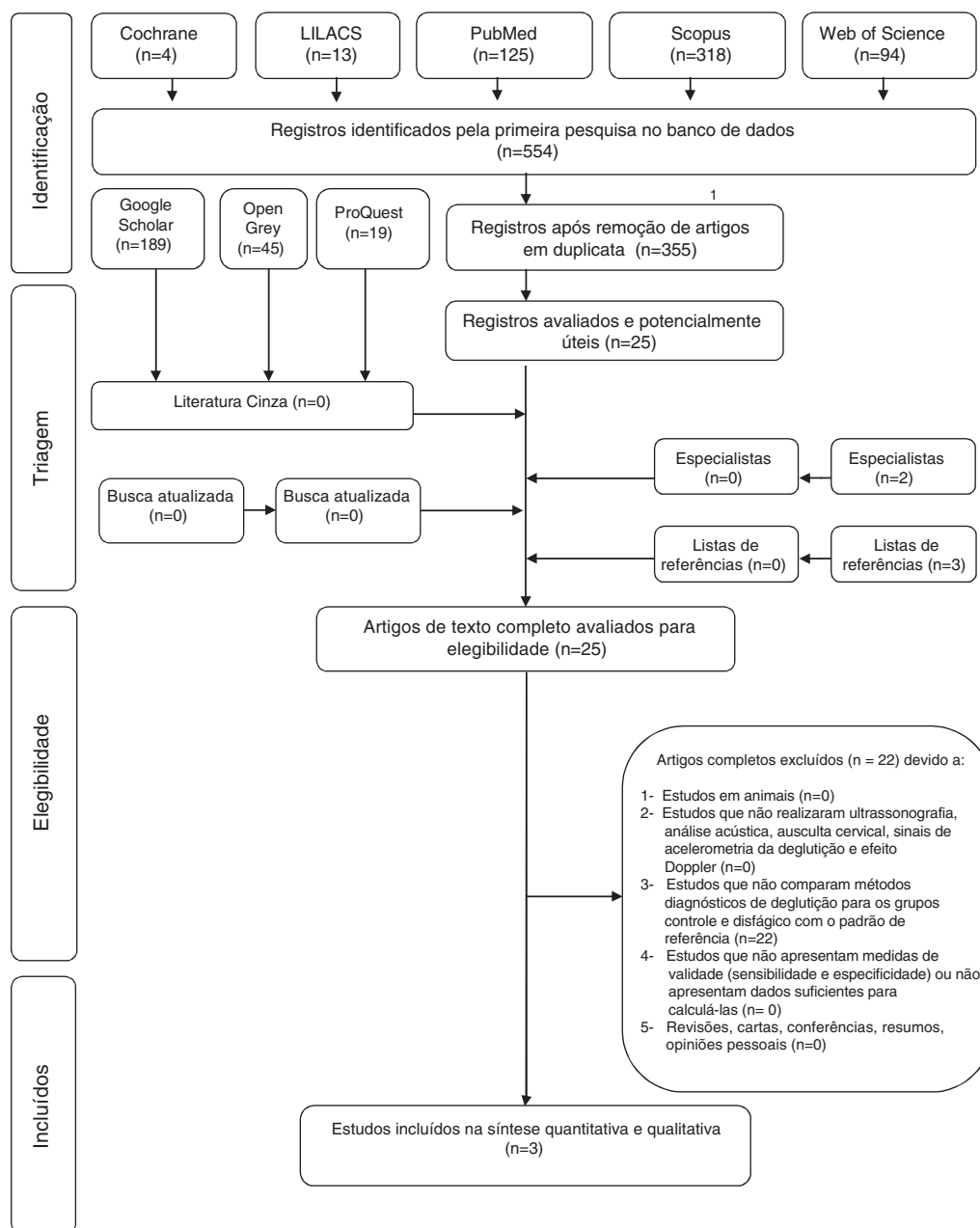
Tabela 1 Resumo das características descritivas e desfechos de interesse dos estudos incluídos (n = 3)

Autor, ano, país	Faixa etária média (anos)	Tamanho da amostra n° de pacientes	Tamanho da amostra n° de observações	Teste diagnóstico (<i>index test</i>)	Teste de referência	Descrição	Desfecho	Conclusão
Abdulmassih et al., 2013, Brasil ¹⁸	46,4 (28-62) saudáveis 44,9 (28-62) disfágicos	30 saudáveis 30 disfágicos	30 saudáveis 30 disfágicos	Doppler	VFD Material de deglutição: líquido, 70 mL água e 30 mL de sulfato de bário 100%; pudim, 70 mL de água, 30 mL de sulfato de bário; sólidos, biscoitos "clube social" embebidos em bário	Análise acústica da deglutição	A prevalência na avaliação dinâmica da deglutição na VFD foi feita por alterações na fase oral de deglutição. A análise de variância das médias encontradas em cada variável - frequência, intensidade e duração da deglutição - mostra que houve correlação significativa quando comparada à curva de um indivíduo saudável.	Em pacientes com AEC, a média da frequência inicial, intensidade inicial e a intensidade final foram maiores e o tempo e a frequência de pico foram menores, demonstrando um padrão de abertura cricofaríngea muito próximo ao encontrado em populações normais
Jayatilake et al., 2015, Japão ¹⁹	(22-39) saudáveis 68,8 disfágicos	15 saudáveis 70 disfágicos	8 saudáveis 31 disfágicos	Microfone	VFD Material de deglutição: grupo saudável, teste de deglutição de água; grupo disfágico, 3 mL de água misturada com bário 25%	Algoritmo de processamento de som da deglutição em tempo real para a avaliação automática, avaliação quantitativa e visualização da capacidade de deglutição	71 deglutições a seco - algoritmo de reconhecimento automático de deglutição atingiu sensibilidade 93,9% em indivíduos saudáveis; o algoritmo detectou automaticamente todos ou alguns dos eventos de deglutição de todos os 31 indivíduos disfágicos e a acurácia geral de detecção para os 92 episódios de deglutição foi de 79,3%	O dispositivo <i>Swallowscope</i> pode analisar os sons da deglutição em tempo real e gerar resultados quantitativos: o número de deglutições e a duração da deglutição, o que pode auxiliar a avaliação à beira do leito e compartilhar os resultados através de um sistema baseado em nuvem. Desempenhos muito bons foram obtidos em termos de valor preditivo positivo e sensibilidade.

Tabela 1 (Continuação)

Autor, ano, país	Faixa etária média (anos)	Tamanho da amostra n° de pacientes	Tamanho da amostra n° de observações	Teste diagnóstico (<i>index test</i>)	Teste de referência	Descrição	Desfecho	Conclusão
Leslie et al., 2004, Inglaterra ²⁰	72 (24-78) saudáveis 78 (65-90) disfágicos	10 saudáveis 14 disfágicos	10 saudáveis 10 disfágicos	Estetoscópio	VFD Material de deglutição: 3 bolos cada de 5, 20 mL de bário fino e 5 mL de iogurte	Análise acústica da deglutição	A comparação com a aspiração / penetração definidas por avaliação radiológica mostrou especificidade de 66%, 62% de sensibilidade e o consenso majoritário proporcionou especificidade de 90%, 80% de sensibilidade para detectar a normalidade da deglutição quando o consenso foi alcançado entre os avaliadores.	Melhorar as taxas em pacientes com desempenho ruim melhoraria a precisão geral dessa técnica na previsão de anormalidades na deglutição. O consenso do grupo identificou corretamente 17 dos 20 cliques, portanto podemos especular que o som da deglutição contém pistas audíveis que, em princípio, permitem uma classificação confiável.

AEC, ataxia espinocerebelar; RSST, teste de deglutição repetitiva de saliva; VFD, videofluoroscopia da deglutição.



¹Adaptado de PRISMA.

Figura 1 Diagrama de fluxo dos critérios de busca na literatura e seleção.¹

Resultados dos estudos individuais

Abdulmassih et al.²² avaliaram a análise acústica da deglutição em 30 pacientes saudáveis e 30 pacientes disfágicos com o uso de Doppler em comparação com a VFD. A análise de variância das médias encontradas em cada variável – frequência, intensidade e duração da deglutição – mostra que houve correlação significativa das diferenças quando comparada com a curva de um indivíduo saudável.

Jayatilake et al.²³ avaliaram o som da deglutição em tempo real em oito indivíduos saudáveis e 31 pacientes disfágicos com um microfone em comparação com a VFD. Em 71

deglutições a seco, o algoritmo de reconhecimento automático da deglutição atingiu sensibilidade 93,9%; o algoritmo detectou automaticamente todos ou alguns dos eventos de deglutição de todos os 31 indivíduos disfágicos e a precisão geral de detecção para os 92 episódios de deglutição foi de 79,3%.

Leslie et al.²⁴ avaliaram a análise acústica da deglutição em 10 indivíduos saudáveis e 10 pacientes disfágicos com um microfone em comparação com a VFD. Quando foi perguntado aos examinadores se a deglutição era normal ou não, a sensibilidade e a especificidade foram bem baixas (sensibilidade 62%, especificidade 66%). Quando o consenso foi

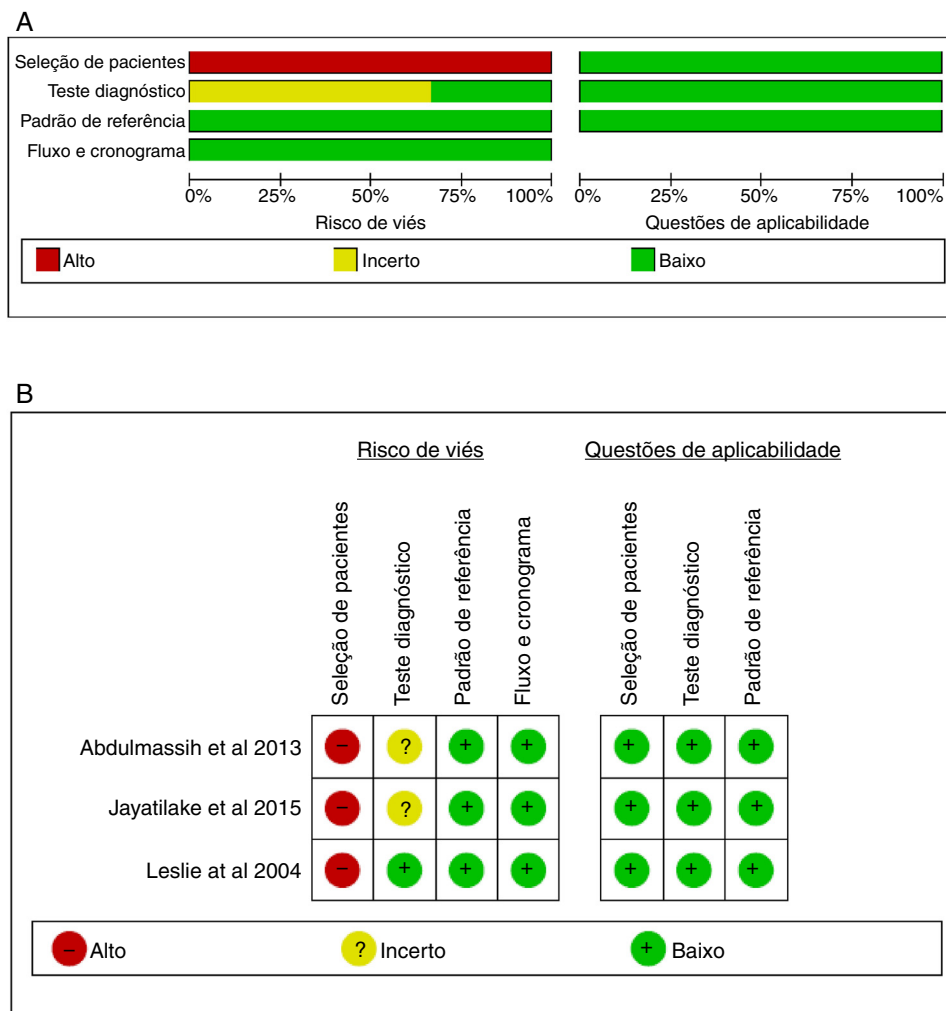


Figura 2 Resultados do Quadas-2 – Avaliação da Qualidade de Estudos de Acurácia de Testes Diagnósticos-2 (A, gráfico de risco de viés, B, resumo do risco de viés).

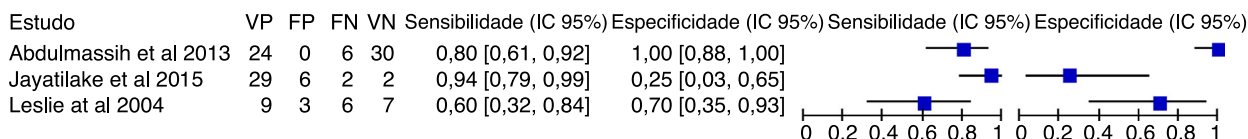


Figura 3 Gráfico em floresta acoplado da sensibilidade e especificidade em estudos comparados de videofluoroscopia da deglutição e sons da deglutição (n = 3).

alcançado entre os avaliadores obteve-se 90% de especificidade, 80% de sensibilidade para detecção da normalidade da deglutição.

Síntese dos resultados

Os três artigos²²⁻²⁴ apresentaram dados suficientes para serem incluídos na revisão sistemática. Uma tabela de validade do teste diagnóstico foi construída com os dados extraídos de cada estudo (tabela 2). Nessa tabela, são apresentadas todas as medidas de prevalência e acurácia (sensibilidade, especificidade, VPP, VPN, RV+, RV-, ORD e índice de Youden). O tamanho total da amostra para essa revisão sistemática foi de 117 indivíduos, 48 indivíduos saudáveis e 69 pacientes disfágicos.

A sensibilidade e a especificidade para diferentes estudos selecionados variaram significativamente. A acurácia diagnóstica (sensibilidade, especificidade e intervalo de confiança de 95%) de cada estudo incluído nesta revisão sistemática é mostrada na figura 3. A sensibilidade e a especificidade para o microfone foram de 94% e 25% (IC 95%: 0,79-0,99), respectivamente²³; a sensibilidade e a especificidade para o Doppler foram de 80% e 100% (IC 95%: 0,61-0,92), respectivamente²²; e a sensibilidade e especificidade do estetoscópio foram de 62% e 66% (IC 95%: 0,32-0,84), respectivamente.²⁴

A ordem dos melhores testes de diagnóstico para pacientes disfágicos foi: microfone, Doppler e estetoscópio. A ordem dos melhores testes de diagnóstico para pacientes saudáveis foi: Doppler, estetoscópio e microfone.

Tabela 2 Dados de validade do teste diagnóstico (n = 3)

Grupo	Autor, ano	Tamanho da amostra de indivíduos disfágicos	Tamanho da amostra de controle	Prevalência (%)	Sensibilidade (%)	Especificidade (%)	VPP	VPN	RV +	RV-	ORD	Índice de Youden
Doppler/ VFD	Abdulmassih et al., 2013 ¹⁸	24	30	50,0 ^a	80,0 ^a	100 ^a	1,00 ^a	0,83 ^a	∞ ^a	0,20 ^a	∞ ^a	0,80 ^a
Microfone/ VFD	Jayatilake et al., 2015 ¹⁹	31	8	79,4	93,9	29,1 ^a	0,83	0,55 ^a	1,32 ^a	0,20 ^a	0,20 ^a	0,23 ^a
Estetoscópio/VFD	Leslie et al., 2004 ²⁰	14	10	58,3 ^a	62,0	66,0	0,71 ^a	0,55 ^a	1,82 ^a	0,57 ^a	3,16 ^a	0,28 ^a

∞, infinito; RV-, razão de verossimilhança negativa; RV +, razão de verossimilhança positiva; VFD, videofluoroscopia da deglutição; VPN, valor preditivo negativo; VPP, valor preditivo positivo.

^a Dados calculados pelos autores a partir das informações disponíveis no artigo.

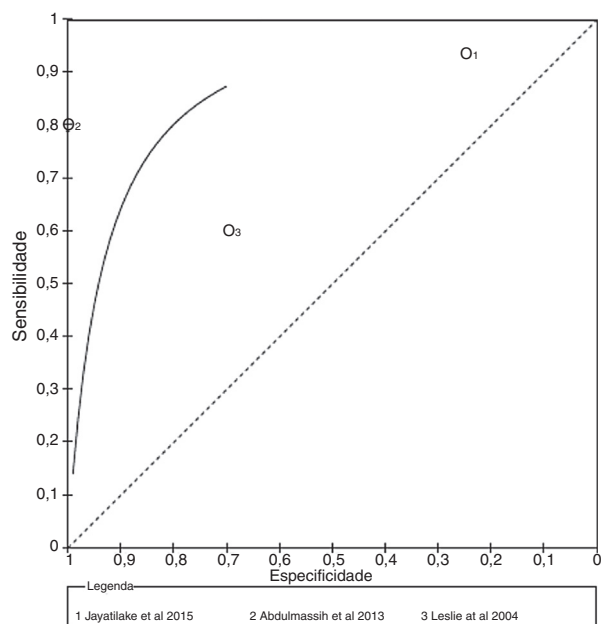


Figura 4 Curvas ROC de sensibilidade e especificidade em estudos comparados de videofluoroscopia da deglutição e sons da deglutição.

Análise adicional

Escolhemos mostrar os resultados da revisão sistemática por meio de curvas ROC (figura 4). Devido às diferenças nos métodos de avaliação dos sons da deglutição, nenhuma medida de ponto de corte foi justificada e, portanto, nenhum efeito de limiar foi possível; assim, uma curva simétrica foi aplicada.

Quanto aos valores de VPP, os valores mais altos foram relatados para o microfone e Doppler,^{22,23} mostraram que essas técnicas foram capazes de discriminar os sons da deglutição sem registros de lesões em 100% do tempo. O Doppler também apresentou o VPN mais alto, diferenciou os pacientes controles daqueles com análise acústica da deglutição em 100% do tempo.²²

Em relação aos valores de RV, os três estudos mostraram RV + maior do que 1,00 para os sons de deglutição com estetoscópio, microfone e Doppler²²⁻²⁴, o que significa que todos os métodos detectaram disfagia.²⁵ O valor RV + mais alto foi relatado para o Doppler (RV + = ∞)²² seguido pelo estetoscópio (RV + = 1.85)²⁴ e o microfone (RV + = 1.32).²³ Valores de RV- mais próximos de 0 foram relatados para o Doppler e o microfone,^{22,23} o que significa uma baixa probabilidade de distúrbio quando ausente no exame.²⁵

Finalmente, o ORD mais alto foi relatado para o Doppler e o estetoscópio,^{22,24} indicou melhor desempenho do teste discriminatório.²⁶ O Doppler apresentou um bom índice de Youden (0,80).²²

Risco de viés entre os estudos

As principais limitações metodológicas em todos os estudos estavam relacionadas aos relatos deficientes para o item do Quadas-2 "risco de viés de seleção do paciente", mostrou escore com alto risco de viés. Além disso, uma concordância

fraca entre os observadores do teste diagnóstico (*index test*) foi relatada em dois estudos, ou foi incerta, resultou em um risco de viés do teste diagnóstico (*index test*).

Discussão

Esta revisão sistemática investigou diferentes métodos de avaliação de sons da deglutição, em comparação com a VFD, em pacientes com disfagia orofaríngea. Enquanto diversos procedimentos de avaliação não instrumentados têm sido adotados em centros médicos de todo o mundo, esforços têm sido feitos para desenvolver métodos aprimorados de avaliação da disfagia com alta sensibilidade e especificidade. Nesta revisão sistemática, o Doppler apresentou boa sensibilidade e especificidade para capturar sons da deglutição e pode ser usado como método de diagnóstico de pacientes disfágicos e indivíduos saudáveis, é um método barato e não invasivo em relação ao padrão de referência VFD. O microfone apresentou alta sensibilidade e baixa especificidade para capturar sons da deglutição e pode ser usado como método de diagnóstico de pacientes disfágicos; o estetoscópio apresentou baixa sensibilidade e baixa especificidade para capturar sons da deglutição e pode ser usado como método de triagem de pacientes disfágicos.

A VFD é um procedimento radiológico, por meio do qual os indivíduos ingerem pequenas quantidades de bólus revestidos com bário, enquanto o indivíduo passa pelo exame de raios X e as imagens resultantes são gravadas em vídeo. O teste VFD permite inspeção visual imediata; entretanto, é demorado, não portátil e resulta em alguma exposição à radiação.²⁷ Devido à exposição à radiação, o procedimento VFD tem duração limitada e não pode ser frequentemente repetido.²⁸ Assim, novas técnicas precisam ser desenvolvidas para ajudar a avaliar o desempenho do mecanismo de deglutição.

Alguns padrões de som característicos e reproduzíveis têm sido relatados como audíveis durante a ausculta da deglutição com estetoscópio,²⁹ microfone^{30,31} ou acelerômetro^{30,32,33} e Doppler.^{22,34}

Encontramos apenas três estudos elegíveis com dados sobre Doppler, microfone e estetoscópio.²²⁻²⁴ Não foram encontrados dados para o acelerômetro. Os valores dos índices de sensibilidade e especificidade dos testes variaram entre os estudos incluídos. As diferenças nesses escores provavelmente refletem o método para captura dos sons da deglutição, a colocação do dispositivo no pescoço para detectar os sons cervicais gerados durante a deglutição e os sons da respiração pré e pós-deglutição examinados, a experiência do observador e assim por diante. Microfones e/ou acelerômetros são usados para gravar os sons da respiração e da deglutição, os quais são analisados então, com técnicas de processamento de sinal digital. A pesquisa sobre o uso de sons de deglutição para complementar a avaliação clínica da disfagia tem mostrado resultados promissores.¹⁶

Os valores VPP e VPN confirmaram os resultados da curva ROC (figura 2). O maior VPP relacionado ao Doppler mostrou menor risco de resultados falso-positivos. Além disso, um VPN elevado observado nas avaliações com Doppler indica também um menor risco de subdiagnóstico. É importante enfatizar que a prevalência de uma doença pode afetar os valores de VPP e VPN. Quando a prevalência é alta, os resultados verdadeiro-positivos são mais prováveis de

ser encontrados na população do que os falso-positivos, o que aumenta o VPP e diminui o VPN, respectivamente.³⁵ Da mesma forma, os valores de ORD dos testes diagnósticos (*index tests*) relatados indicam que o Doppler teve melhor desempenho como teste discriminatório,²² satisfaz os critérios necessários para um excelente teste diagnóstico. Finalmente, os valores RV+ e RV- apresentaram maior precisão diagnóstica para o Doppler,¹⁷ que demonstrou um bom índice de Youden (0,80).²²

Que seja do conhecimento dos autores, esta é a primeira revisão sistemática para validação da sensibilidade e especificidade dos sons da deglutição. Esses valores, em conjunto com os valores de VPP, VPN, RV+, RV-, curva ROC e análises do índice de Youden, foram usados para determinar a acurácia diagnóstica.

Neste estudo, os melhores resultados de acurácia diagnóstica foram relatados com o uso do Doppler para captura do som da deglutição e pode ser usado como método de avaliação de pacientes disfágicos e indivíduos saudáveis, é um método de baixo custo e não invasivo em relação ao padrão de referência VFD.

Algumas limitações metodológicas desta revisão devem ser consideradas. Primeiro, foram usados diferentes métodos de captura de sons da deglutição. Além disso, 22 estudos tiveram que ser excluídos devido à falta de métodos diagnósticos de deglutição para comparação dos grupos controle e disfágico com o teste de referência, possivelmente devido ao risco de exposição à radiação em pacientes saudáveis. Finalmente, em relação ao risco de viés dos estudos incluídos, não há informação não há informação sobre cegamento na maioria dos estudos. Além disso, a maior parte dos estudos não informou se os resultados do

método padrão de referência foram interpretados sem o conhecimento dos resultados dos testes diagnósticos (*index tests*).

Estudos que não compararam o teste diagnóstico (*index test*) com o teste de referência não foram incluídos, pois apenas um teste de referência aceitável pode demonstrar a relevância clínica e reduzir os riscos de achados falso-positivos, bem como os falso-negativos. Estudos que não tinham métodos de comparação de diagnóstico da deglutição para o grupo controle e grupo disfágico com o teste de referência também foram excluídos.

Conclusão

Com base nas evidências limitadas e de baixa qualidade metodológica, pois foram poucos os estudos incluídos, e no pequeno tamanho amostral, para todos os testes indexados encontrados nessa revisão sistemática, o Doppler mostrou excelente precisão diagnóstica na discriminação dos sons de deglutição, enquanto o microfone relatou boa sensibilidade para discriminar os sons da deglutição de pacientes disfágicos e o estetoscópio apresentou o melhor teste de triagem para os sons de deglutição. Estudos adicionais são fortemente recomendados com diferentes métodos de avaliação dos sons da deglutição e com amostras mais representativas. Estudos adicionais sobre esse tópico, com um grupo de controle pareado, também são recomendados.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Apêndice 1. Estratégia de pesquisa dos bancos de dados

Banco de dados	Pesquisa (8 de outubro de 2016; atualizada em 25 de janeiro de 2017)
Cochrane	“deglutition” OR “deglutitions” OR “swallowing” OR “swallowings” OR “swallows” OR “swallow” in Title, Abstract, Keywords and videofluoroscopy OR “Videofluoroscopy Swallowing Study” OR VFSS OR “videofluoroscopy study” OR “swallowing videofluoroscopy” OR videofluoroscopic OR “videofluoroscopic swallowing” OR “videofluoroscopic swallowing study” OR fluoroscopy OR fluoroscopies in Title, Abstract, Keywords and ultrasonography OR ultrasound OR ultrasonics OR “duplex doppler ultrasonography” OR “doppler duplex ultrasonography” OR “acoustic analysis” OR “acoustical analysis” OR auscultation OR “cervical auscultation” OR accelerometry OR “swallowing accelerometry signals” OR “swallowing sounds” OR “swallow sounds” OR “signal processing” OR acoustics OR acoustic OR “doppler effect” OR “doppler shift” OR “sonar doppler” OR microphone in Title, Abstract, Keywords in Trials’
Lilacs	(tw:(“deglutition” OR “deglutitions” OR “swallowing” OR “swallowings” OR “swallows” OR “swallow”)) AND (tw:(videofluoroscopy OR “videofluoroscopy swallowing study” OR vfss OR “videofluoroscopy study” OR “swallowing videofluoroscopy” OR videofluoroscopic OR “videofluoroscopic swallowing” OR “videofluoroscopic swallowing study” OR fluoroscopy OR fluoroscopies)) AND (tw:(ultrasonography OR ultrasound OR ultrasonics OR “duplex doppler ultrasonography” OR “doppler duplex ultrasonography” OR “acoustic analysis” OR “acoustical analysis” OR auscultation OR “cervical auscultation” OR accelerometry OR “swallowing accelerometry signals” OR “swallowing sounds” OR “swallow sounds” OR “signal processing” OR acoustics OR acoustic OR “doppler effect” OR “doppler shift” OR “sonar doppler” OR microphone))

PubMed	(“deglutition”[MeSH Terms] OR “deglutition”[All Fields] OR “deglutitions”[All Fields] OR “swallowing”[All Fields] OR “swallowings”[All Fields] OR “swallows”[MeSH Terms] OR “swallows”[All Fields] OR “swallow”[All Fields]) AND (videofluoroscopy[All Fields] OR “videofluoroscopy swallowing study”[All Fields] OR VFSS OR “videofluoroscopy study”[All Fields] OR “swallowing videofluoroscopy”[All Fields] OR videofluoroscopic[All Fields] OR “videofluoroscopic swallowing”[All Fields] OR “videofluoroscopic swallowing study”[All Fields] OR fluoroscopy[MeSH Terms] OR fluoroscopy[All Fields] OR fluoroscopies) AND (ultrasonography[Subheading] OR ultrasonography[All Fields] OR ultrasound[All Fields] OR ultrasonography[MeSH Terms] OR ultrasound[All Fields] OR ultrasonics[MeSH Terms] OR ultrasonics[Text Word] OR ultrasonics[All Fields] OR “duplex doppler ultrasonography”[All Fields] OR “doppler duplex ultrasonography”[All Fields] OR “acoustic analysis”[All Fields] OR “acoustical analysis”[All Fields] OR auscultation[MeSH Terms] OR auscultation[All Fields] OR “cervical auscultation”[All Fields] OR accelerometry[MeSH Terms] OR accelerometry[All Fields] OR “swallowing accelerometry signals”[All Fields] OR “swallowing sounds”[All Fields] OR “swallow sounds”[All Fields] OR “signal processing”[All Fields] OR acoustics[MeSH Terms] OR acoustics[All Fields] OR acoustic[All Fields] OR “doppler effect”[MeSH Terms] OR doppler effect[Text Word] OR “doppler effect”[All Fields] OR “doppler shift” OR “shift, doppler” OR “effect, doppler” OR “sonar doppler”[All Fields] OR microphone[All Fields])
Scopus	(TITLE-ABS-KEY(“deglutition” OR “deglutitions” OR “swallowing” OR “swallowings” OR “swallows” OR “swallow”) AND TITLE-ABS-KEY(videofluoroscopy OR “Videofluoroscopy Swallowing Study” OR VFSS OR “videofluoroscopy study” OR “swallowing videofluoroscopy” OR videofluoroscopic OR “videofluoroscopic swallowing” OR “videofluoroscopic swallowing study” OR fluoroscopy OR fluoroscopies) AND TITLE-ABS-KEY(ultrasonography OR ultrasound OR ultrasonics OR “duplex doppler ultrasonography” OR “doppler duplex ultrasonography” OR “acoustic analysis” OR “acoustical analysis” OR auscultation OR “cervical auscultation” OR accelerometry OR “swallowing accelerometry signals” OR “swallowing sounds” OR “swallow sounds” OR “signal processing” OR acoustics OR acoustic OR “doppler effect” OR “doppler shift” OR “sonar doppler” OR microphone))
Web of Science	Tópico:(“deglutition” OR “deglutitions” OR “swallowing” OR “swallowings” OR “swallows” OR “swallow”) AND Tópico: (videofluoroscopy OR “Videofluoroscopy Swallowing Study” OR VFSS OR “videofluoroscopy study” OR “swallowing videofluoroscopy” OR videofluoroscopic OR “videofluoroscopic swallowing” OR “videofluoroscopic swallowing study” OR fluoroscopy OR fluoroscopies)AND Tópico: (ultrasonography OR ultrasound OR ultrasonics OR “duplex doppler ultrasonography” OR “doppler duplex ultrasonography” OR “acoustic analysis” OR “acoustical analysis” OR auscultation OR “cervical auscultation” OR accelerometry OR “swallowing accelerometry signals” OR “swallowing sounds” OR “swallow sounds” OR “signal processing” OR acoustics OR acoustic OR “doppler effect” OR “doppler shift” OR “sonar doppler” OR microphone))
Google Scholar	“deglutition OR swallowing:videofluoroscopy”
Open Grey	swallowing OR deglutition AND videofluoroscopy AND “acoustic analysis”
ProQuest	swallowing OR deglutition AND videofluoroscopy AND “acoustic analysis”

Apêndice 2. Indicadores de teste extraídos de De Luca Canto et al.³⁶

Indicadores de teste	Análise de dados	Referências
DOR	O valor de um ORD varia de 0 a infinito, com valores maiores indicando melhor desempenho do teste discriminatório. Um valor de 1 significa que um teste não discrimina entre pacientes com o distúrbio e pacientes sem o distúrbio. Valores inferiores a 1 ponto significam interpretação inadequada do teste (mais testes negativos entre os pacientes).	Glas et al. ³⁷
RV	> 1 – diagnóstico de interesse 0 e 1 – contra o diagnóstico de interesse 0 – menos provável a doença	McGee ²⁵
Sensibilidade	= 1 – falta de valor diagnóstico 80% excelente, 70% -80% bom, 60% -69% razoável, < 60% ruim	Não existe consenso na literatura a este respeito
Especificidade	90% excelente, 80% -90% bom, 70% -79% razoável, < 70% ruim	Não existe consenso na literatura a este respeito
Índice de Youden	Os valores do Índice de Youden próximos a 1 indicam alta acurácia; o valor igual a zero equivale a uma estimativa sem informações e indica que um teste não tem valor diagnóstico.	Deeks et al. ³⁸

Apêndice 3. Artigos excluídos e motivos da exclusão (n = 22)

Autor, Ano	Razão para exclusão
Dudik et al., 2016 ³⁹	3
Dudik et al., 2015 ⁴⁰	3
Dudik et al., 2016 ⁴¹	3
Frakking et al., 2016 ⁴²	3
Frakking et al., 2016 ⁴³	3
Golabbakhsh et al., 2014 ⁴⁴	3
Lee et al., 2006 ⁴⁵	3
Mérey et al., 2012 ⁴⁶	3
Morinière et al., 2011 ⁴⁷	3
Movahedi et al., 2016 ⁴⁸	3
Nikjoo et al., 2011 ³²	3
Reddy et al., 2000 ⁴⁹	3
Sejdic et al., 2014 ⁵⁰	3
Seidic et al., 2013 ⁵¹	3
Selley et al., 1994 ⁵²	3
Spadotto et al., 2009 ⁵³	3
Spadotto et al., 2008 ⁵⁴	3
Steele et al., 2013 ⁵⁵	3
Stroud et al., 2002 ⁵⁶	3
Tanaka et al., 2012 ⁵⁷	3
Zoratto et al., 2010 ⁵⁸	3
Lazareck et al., 2004 ⁵⁹	3

Critérios de exclusão: (1) Estudos com animais; (2) Estudos que não fizeram ultrassonografia, análise acústica, ausculta cervical, sinais de acelerometria para análise da deglutição ou efeito Doppler; (3) Estudos que não compararam métodos de diagnóstico da deglutição para ambos os grupos controle e disfágico com o padrão de referência (videofluoroscopia); (4) Estudos que não apresentaram medidas de validade (sensibilidade e especificidade) ou não apresentaram dados suficientes para calculá-los; 5) Revisões, cartas, conferências, resumo, opiniões pessoais.

Apêndice 4. Risco de viés em estudos individuais. Os critérios Quadas-2 foram cumpridos

Item	Abdulmassih et al., 2013 ¹⁸	Jayatilake et al., 2015 ¹⁹	Leslie et al., 2004 ²⁰
Domínio 1: Seleção de paciente			
Foi uma amostra consecutiva ou aleatória de pacientes incluídos?	N	N	N
Um desenho de caso-controle foi evitado?	N	N	N
O estudo evitou exclusões inadequadas?	S	S	S
A seleção de pacientes pode ter introduzido viés?	A	A	A
Questões relativas à aplicabilidade: Existe a preocupação de que os pacientes e as configurações incluídas não correspondem à questão da revisão?	B	B	B
Domínio 2: Teste diagnóstico (Index Test)			
Os resultados do teste diagnóstico (<i>index test</i>) foram interpretados sem o conhecimento dos resultados do padrão de referência?	I	I	I
Se um limiar foi usado, ele foi pré-especificado?	S	S	S
A condução ou a interpretação do teste diagnóstico (<i>index test</i>) podem ter introduzido um viés?	I	I	B
Questões relativas à aplicabilidade: Há preocupações de que o teste diagnóstico (<i>index test</i>), a sua condução ou interpretação diferem da questão da revisão?	B	B	B

	Item	Abdulmassih et al., 2013 ¹⁸	Jayatilake et al., 2015 ¹⁹	Leslie et al., 2004 ²⁰
Domínio 3: Padrão de referência	O padrão de referência provavelmente classificará corretamente a condição-alvo?	S	S	S
	Os resultados do padrão de referência foram interpretados sem o conhecimento dos resultados do teste diagnóstico (<i>index test</i>)?	I	I	I
	O padrão de referência, a sua condução ou interpretação podem ter introduzido viés?	B	B	B
	Questões relativas à aplicabilidade: Há preocupações de que a condição-alvo, conforme definido pelo padrão de referência, não coincida com a questão?	B	B	B
Domínio 4: Fluxo e tempo	Existe um intervalo apropriado entre o(s) teste(s) diagnóstico(s) (<i>index tests</i>) e o padrão de referência?	S	S	S
	Todos os pacientes receberam o mesmo padrão de referência?	S	S	S
	Todos os pacientes foram incluídos na análise?	S	N	N
	O fluxo de pacientes pode ter introduzido o viés?	B	B	B

N, não; PI, incerto; Risco: B, baixo; A, alto; I, incerto; S, sim.

Referências

- Logemann JA. Evaluation and treatment of swallowing disorders. *Nat Student Speech Lang Hear Assoc J.* 1984;38-50.
- Miller AJ. The neurobiology of swallowing and dysphagia. *Dev Disabil Res Rev.* 2008;14:77-86.
- Sura L, Madhavan A, Carnaby G, Crary MA. Dysphagia in the elderly: management and nutritional considerations. *Clin Interv Aging.* 2012;7:287-98.
- Chen PH, Golub JS, Hapner ER, Johns MM. Prevalence of perceived dysphagia and quality-of-life impairment in a geriatric population. *Dysphagia.* 2009;24:1-6.
- Smithard DG, O'Neill PA, Parks C, Morris J. Complications and outcome after acute stroke. Does dysphagia matter? *Stroke.* 1996;27:1200-4.
- Roy N, Stemple J, Merrill RM, Thomas L. Dysphagia in the elderly: preliminary evidence of prevalence, risk factors, and socioemotional effects. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2007;116:858-65.
- Martin-Harris B, Brodsky MB, Michel Y, Castell DO, Schleicher M, Sandidge J, et al. MBS measurement tool for swallow impairment - MBSImp: establishing a standard. *Dysphagia.* 2008;23:392-405.
- Logemann JA. *Manual for the videofluorographic study of swallowing.* 2nd ed. Austin (TX): Pro-Ed; 1998.
- Jung SH, Lee LK, Hong JB, Han TR. Validation of clinical dysphagia scale: based on videofluoroscopic swallowing study. *J Korean Acad Rehabil Med.* 2005;29:343-50.
- McCullough GHWR, Rosenbek JC, Mills RH, Webb WG, Ross KB. Inter- and intrajudge reliability for videofluoroscopic swallowing evaluation measures. *Dysphagia.* 2001;16:110-8.
- Scott APA, Bench J. A study of interrater reliability when using videofluoroscopy as an assessment of swallowing. *Dysphagia.* 1998;13:223-7.
- Ian JC, Petter JK. American gastroenterological association technical reviewon management of oropharyngeal dysphagia. *Gastroenterology.* 1999;455-78.
- Rugiu M. Role of videofluoroscopy in evaluation of neurologic dysphagia. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2007;27:306-16.
- Bours GJ, Speyer R, Lemmens J, Limburg M, de Wit R. Bedside screening tests vs. videofluoroscopy or fibreoptic endoscopic evaluation of swallowing to detect dysphagia in patients with neurological disorders: systematic review. *J Adv Nurs.* 2009;65:477-93.
- Cichero JA, Murdoch BE. The physiologic cause of swallowing sounds: answers from heart sounds and vocal tract acoustics. *Dysphagia.* 1998;13:39-52.
- Pehlivan M, Yuceyar N, Ertekin C, Celebi G, Ertaş M, Kalayci T, et al. An electronic device measuring the frequency of spontaneous swallowing: digital phagometer. *Dysphagia.* 1996;11:259-64.
- Lazareck LJ, Moussavi ZMK. Classification of normal and dysphagic swallows by acoustical means. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2004;51:2103-12.
- David MAL, Alessandro L, Jennifer T, Douglas GA, The PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;7:1-6.
- Whiting PF, Rutjes AW, Westwood ME, Mallett S, Deeks JJ, Reitsma JB, et al. QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies. *Ann Intern Med.* 2011;155:529-36.
- Macaskill PGC, Deeks J, Harbord R, Takwoingi Y. Chapter 10: Analysing and presenting results. In: Collaboration C, editor. *Cochrane handbook for systematic reviews of diagnostic test accuracy version 1.0.* England: Birmingham; 2010.
- Deeks J, Gatsonis C. The Cochrane Collaboration. *Cochrane handbook for systematic reviews of diagnostic test accuracy version 1.0.* Available from: <http://srdta.cochrane.org/>.
- Abdulmassih EM, Teive HA, Santos RS. The evaluation of swallowing in patients with spinocerebellar ataxia and oropharyngeal dysphagia: a comparison study of videofluoroscopic and sonar Doppler. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2013;17:66-73.
- Jayatilake D, Ueno T, Teramoto Y, Nakai K, Hidaka K, Ayuzawa S, et al. Smartphone-based real-time assessment of swallowing ability from the swallowing sound. *IEEE J Transl Eng Health Med.* 2015;3:2900310.
- Leslie P, Drinnan MJ, Finn P, Ford GA, Wilson JA. Reliability and validity of cervical auscultation: a controlled comparison using videofluoroscopy. *Dysphagia.* 2004;19:231-40.
- McGee S. Simplifying likelihood ratios. *J Gen Intern Med.* 2002;17:647-50.
- Glas ASLJ, Prins MH, Bonsel GJ, Bossuyt PM. The diagnostic odds ratio: a single indicator of test performance. *J Clin Epidemiol.* 2003;56:1129-35.
- Palmer JB, Kuhlemeier KV, Tippet DC, Lynch C. A protocol for the videofluorographic swallowing study. *Dysphagia.* 1993;8:209-14.

28. Ramsey DJC, Smithard DG, Kalra L. Early assessments of dysphagia and aspiration risk in acute stroke patients. *Stroke*. 2003;34:1252–7.
29. Dempsey JE, Vice FL, Bosma JF. Combination of cervical auscultation and videoradiography in evaluation of oral and pharyngeal dysphagia. *Abstr Symp Dysphagia*. 1990.
30. Cichero JA, Murdoch BE. Detection of swallowing sounds: methodology revisited. *Dysphagia*. 2002;17:40–9.
31. Sarraf SS, 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;50:1261–8.
32. Nikjoo MS, Steele CM, Sejdic E, Chau T. Automatic discrimination between safe and unsafe swallowing using a reputation-based classifier. *Biomed Eng Online*. 2011;10:100.
33. Dudik JM, Kurosu A, Coyle JL, Sejdić E. A comparative analysis of DBSCAN, K-means, and quadratic variation algorithms for automatic identification of swallows from swallowing accelerometry signals. *Comput Biol Med*. 2015;59:10–8.
34. Lagos HN, Santos RS, Abdulmassih EM, Gallinea LF, Langone M. Characterization of swallowing sounds with the use of sonar Doppler in full-term and preterm newborns. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2013;17:383–6.
35. Last JM. *A dictionary of epidemiology*. 2nd ed. New York: Oxford University Press; 1988.
36. De Luca Canto G, Pachêco-Pereira C, Aydinov S, Major PW, Flores-Mir C, Gozal D. Diagnostic capability of biological markers in assessment of obstructive sleep apnea: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Sleep Med*. 2015;11:27–36.
37. Glas AS, Lijmer JG, Prins MH, Bossel GJ, Bossuyt PM. The diagnostic odds ratio: a single indicator of test performance. *J Clin Epidemiol*. 2003;56:1129–35.
38. Deeks JJ, Bossuyt P, Gatsonis C, editors. *Cochrane handbook for systematic reviews of diagnostic test accuracy version 1.0*. The Cochrane Collaboration. 2010. Available from: <http://srdta.cochrane.org/>
39. Dudik JM, Coyle JL, Ei-Jaroudi A, Sun MG, Sejdic E. A matched dual-tree wavelet denoising for tri-axial swallowing vibrations. *Biomed Signal Process Control*. 2016;27:112–21.
40. Dudik JM, Kurosu A, Coyle JL, Sejdic E. A comparative analysis of DBSCAN, K-means, and quadratic variation algorithms for automatic identification of swallows from swallowing accelerometry signals. *Comput Biol Med*. 2015;59:10–8.
41. Dudik JM, Kurosu A, Coyle JL, Sejdic E. A statistical analysis of cervical auscultation signals from adults with unsafe airway protection. *J Neuroeng Rehabil*. 2016;13:7.
42. Frakking T, Chang A, O'Grady K, David M, Weir K. Aspirating and nonaspirating swallow sounds in children: a pilot study. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2016;125:1001–9.
43. Frakking TT, Chang AB, O'Grady KF, David M, Weir KA. Reliability for detecting oropharyngeal aspiration in children using cervical auscultation. *Int J Speech Lang Pathol*. 2016:1–9.
44. Golabbakhsh M, Rajaei A, Derakhshan M, Sadri S, Taheri M, Adibi P. Automated acoustic analysis in detection of spontaneous swallows in Parkinson's disease. *Dysphagia*. 2014;29:572–7.
45. 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;3:14.
46. Merey C, Kushki A, Sejdic E, Berall G, Chau T. Quantitative classification of pediatric swallowing through accelerometry. *J Neuroeng Rehabil*. 2012;9:34.
47. Moriniere S, Boiron M, Brunereau L, Beutter P, Patat F. Pharyngeal swallowing sound profile assessed after partial and total laryngectomy. *Dysphagia*. 2011;26:366–73.
48. Movahedi F, Kurosu A, Coyle JL, Perera S, Sejdic E. Anatomical directional dissimilarities in tri-axial swallowing accelerometry signals. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2017;25:477–558.
49. 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;22:405–12.
50. Sejdic E, Dudik JM, Kurosu A, Jestrovic I, Coyle JL. Understanding differences between healthy swallows and penetration-aspiration swallows via compressive sensing of tri-axial swallowing accelerometry signals. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*. 2014:9190.
51. Sejdic E, Steele CM, Chau T. Classification of penetration-aspiration versus healthy swallows using dual-axis swallowing accelerometry signals in dysphagic subjects. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2013;60:1859–66.
52. Selley WG, Ellis RE, Flack FC, Bayliss CR, Chir B, Pearce VR. The synchronization of respiration and swallow sounds with videofluoroscopy during swallowing. *Dysphagia*. 1994;9:162–7.
53. Spadotto AA, Gatto AR, Guido RC, Montagnoli AN, Cola PC, Pereira JC, et al. Classification of normal swallowing and oropharyngeal dysphagia using wavelet. *Appl Math Comput*. 2009;207:75–82.
54. Spadotto AA, Papa JP, Gatto AR, Cola PC, Pereira JC, Guido RC, et al. Denoising swallowing sound to improve the evaluator's qualitative analysis. *Comput Electr Eng*. 2008;34:148–53.
55. Steele CM, Sejdić E, Chau T. Noninvasive detection of thin-liquid aspiration using dual-axis swallowing accelerometry. *Dysphagia*. 2013;28:105–12.
56. Stroud AE, Lawrie BW, Wiles CM. Inter- and intra-rater reliability of cervical auscultation to detect aspiration in patients with dysphagia. *Clin Rehabil*. 2002;16:640–5.
57. Tanaka N, Nohara K, Okuno K, Kotani Y, Okazaki H, Matsumura M, et al. Development of a swallowing frequency meter using a laryngeal microphone. *J Oral Rehabil*. 2012;39:411–20.
58. Zoratto DCB, Chau T, Steele CM. Hyolaryngeal excursion as the physiological source of swallowing accelerometry signals. *Physiol Meas*. 2010;31:843–55.
59. Lazareck L, Moussavi Z. Classification of normal and dysphagic swallows by acoustical means. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2004;51:2103–12.