

Artigos de revisão

Espectroscopia de luz próxima ao infravermelho e processamento sensorial auditivo em lactentes

Near – infrared spectroscopy and auditory sensory processing in infants

Aline Almeida Fontes⁽¹⁾

Débora Marques de Miranda⁽¹⁾

Luciana Macedo de Resende⁽¹⁾

⁽¹⁾ Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte (MG) – Brasil.

Fonte de auxílio: Trabalho realizado no curso de Pós – Graduação em Ciências Fonoaudiológicas, Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil, com bolsa concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Conflito de interesses: inexistente

Recebido em: 30/12/2015
Aceito em: 30/05/2016

Endereço para correspondência:
Luciana Macedo de Resende
Av. Alfredo Balena, 190 – sala 249
Belo Horizonte – MG – Brasil
CEP: 30130-100
E-mail: lucianamr@medicina.ufmg.br

RESUMO

Objetivo: revisar sistematicamente, por meio de busca nas plataformas Medline e Lilacs o uso da espectroscopia de luz próxima ao infravermelho (NIRS) como instrumento para a avaliação da audição a nível cortical em lactentes.

Métodos: foi realizada uma revisão integrativa baseada nos critérios estabelecidos pela *Cochrane Handbook*, passando pelas etapas de definição da questão norteadora (o tema a ser pesquisado), definição das bases de dados para localização dos estudos, seleção e análise crítica dos artigos. A pesquisa bibliográfica foi realizada no período de setembro a dezembro de 2014. Os critérios de inclusão utilizados foram: artigos publicados nos idiomas inglês, português e espanhol, com a população infantil (bebês de 0 a 24 meses) e tipo de estudo (coorte, caso controle, transversal).

Resultados: foram identificados 1674 artigos e 12 atenderam os critérios de inclusão deste estudo. Todos os artigos utilizaram o estímulo auditivo para medir alterações na hemodinâmica cerebral, porém com áreas cerebrais de interesse diferentes. E foram agrupados em três categorias quanto ao tipo de estímulo: apenas sons vocais, sons vocais e outros estímulos auditivos e sons não vocais.

Conclusão: a NIRS é um instrumento eficaz para investigação da audição a nível cortical na população infantil.

Descritores: Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho; Hemodinâmica; Percepção Auditiva; Audição; Sistema Nervoso Central

ABSTRACT

Purpose: to systematically review, through the search in the Medline and Lilacs database, the use of near-infrared spectroscopy (NIRS) as a tool to evaluate the auditory function at the cortical level in infants.

Methods: integrative review based on the criteria established by the Cochrane Handbook including the definition of the guiding question (theme to be researched), definition of the database to locate the articles, and selection and critical analysis of the articles. The bibliographic search was performed from September to December 2014. The inclusion criteria were: articles published in English, Portuguese and Spanish related to the child population (infants aged from 0 to 24 months) and type of study (cohort, case-control, cross-sectional).

Results: 1674 articles were identified and 12 met the inclusion criteria of this study. In all articles, the auditory stimulation was used to measure brain hemodynamic changes, but in different areas of interest of the brain. They were grouped into three categories according to the type of stimulus: only vocal sounds, vocal sounds and other auditory stimuli and non-vocal sounds.

Conclusion: NIRS is an effective tool for the evaluation of the auditory function at the cortical level in the child population.

Keywords: Spectroscopy, Near-Infrared; Hemodynamics; Auditory Perception; Hearing; Central Nervous System

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do Sistema Auditivo inicia-se na vida intra-uterina e seu amadurecimento ocorre durante a infância e adolescência. A integridade do sistema auditivo periférico e central é pré-requisito para aquisição e desenvolvimento da fala e linguagem. É importante que a audição do bebê, tanto a nível periférico como central, seja investigada nos primeiros meses de vida, para que transtornos da audição sejam detectados o mais precocemente possível, evitando assim consequências no desenvolvimento global da criança.

Avaliar a audição impõe desafios. Existe uma diversidade de técnicas não invasivas que detectam atividade cortical em resposta a estímulos sonoros, mas que possuem limitações quando aplicadas na população infantil. A Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho (Near-infrared spectroscopy, NIRS) é uma ferramenta promissora e vem sendo utilizada para avaliar a ativação funcional do cérebro em crianças. Essa tecnologia usa fontes de luz visível na faixa do espectro eletromagnético do infravermelho próximo e avalia componentes moleculares fotossensíveis do tecido biológico^{1,2}.

Parte da luz próxima ao infravermelho é desviada e outra parcela é absorvida pelo tecido estudado. A mudança na oxigenação sanguínea em resposta a um estímulo funciona refletindo indiretamente em um índice de ativação neural, que será lido através do caminho do feixe de luz. Na região onde ocorre a ativação cortical, o fluxo e volume do sangue são alterados, o que permite monitorar de forma não invasiva as concentrações de oxiemoglobina (HbO₂) e deoxiemoglobina (HHb)³⁻⁶.

O sistema NIRS é composto por fonte de laser, detector, tela de monitor e conversor óptico. As fontes e detectores são posicionados no escalpo, gerando uma trajetória da luz entre a fonte e o detector em forma de banana. A distância entre fonte-detector e espessura dos tecidos é importante na determinação da profundidade de penetração da luz e resolução espacial^{1,5}.

Essa tecnologia de imagem cerebral é portátil, silenciosa, menos sensível à movimentação do indivíduo avaliado, permitindo que a criança seja avaliada acordada e acomodada no colo dos pais. Possui boa resolução espacial e melhor resolução temporal quando comparada com Ressonância Magnética Funcional. Tem sido empregada com êxito na apresentação de estímulos auditivos para investigação das

competências auditivas em recém – nascidos e lactentes jovens^{2,7-10}.

A população infantil frequentemente apresenta um melhor acoplamento dos optodos na cabeça, redução de artefatos no sinal e aumento da penetração da luz no córtex, por apresentar cabelo, pele e crânio mais finos que a população adulto⁵.

Ainda que muitas pesquisas venham sendo realizadas com a NIRS associada a estímulos auditivos na população infantil, no Brasil o uso da tecnologia ainda é incipiente mesmo na avaliação de população lactente. O objetivo desta pesquisa foi investigar por meio de uma revisão integrativa da literatura o uso da Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho (NIRS) como instrumento para a avaliação da audição a nível cortical em lactentes.

MÉTODOS

Foi realizada uma revisão integrativa, método que propicia a reunião de estudos para o aprofundamento do tema analisado, aponta as lacunas do estudo para realização de novas pesquisas, possibilita a síntese do assunto investigado e evidências para as práticas clínicas¹¹⁻¹³.

Esta revisão foi baseada nos critérios estabelecidos pela *Cochrane Handbook*, passando pelas seguintes etapas: definição da questão norteadora (o tema a ser pesquisado), definição das bases de dados para localização dos estudos, seleção e análise crítica dos artigos^{12,14}.

A questão norteadora do estudo foi: A NIRS pode ser utilizada como ferramenta auxiliar na investigação e avaliação da audição a nível cortical em lactentes?

Para o levantamento bibliográfico, foram utilizadas a Biblioteca Virtual em Saúde e PubMed para a pesquisa nas bases de dados *Lilacs* e *Medline*. Os idiomas usados para a busca dos artigos foram português, inglês e espanhol. Considerou-se para a pesquisa os últimos 07 anos.

Foi utilizada a seguinte combinação de descritores e palavras-chaves encontradas a partir dos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): “*Spectroscopy, Near-Infrared*”, “*Electrophysiology*”, “*Speech Perception*”, “*Hearing*”, “*Auditory córtex*”, “*Auditory Diseases Central*” e seus respectivos correspondentes em português e espanhol. Combinados com os marcadores booleanos “AND” e “OR”.

Nesta revisão, foram incluídos artigos publicados nos idiomas inglês, português e espanhol; tipo de estudo (coorte, caso controle, transversal);

disponibilizados na íntegra em meio digital; artigos com público alvo infantil (bebês de 0 a 24 meses) e limite temporal (2009 a 2015).

Foram excluídos os artigos de revisão e metanálise, citações repetidas nas bases de dados, artigos que não apresentavam os aspectos relacionados ao NIRS e/ou estimulação auditiva definidos no objetivo desta revisão, artigos que avaliaram população com idade média maior que 24 meses.

A avaliação dos artigos a serem incluídos na pesquisa foi realizada com a leitura dos títulos e resumos, em seguida com a pré-seleção e inclusão dos artigos considerados relevantes. A partir daí foi realizada a leitura na íntegra dos artigos pré-selecionados, e incluídos nesta pesquisa os artigos que

estavam em concordância com o tema deste estudo (Figura 1).

RESULTADOS

Por meio da busca, foram identificados 1674 artigos. Destes, 63 foram selecionados para análise dos títulos e resumos. A partir desta pré-seleção, 24 artigos foram selecionados para leitura completa do texto e análise detalhada. Foram identificados dois artigos por meio das referências dos textos lidos na íntegra e foram incluídos, elevando o número total de artigos completos revistos para 26. Das 26 publicações lidas na íntegra, 12 respondiam a pergunta norteadora deste estudo (Figura 1).

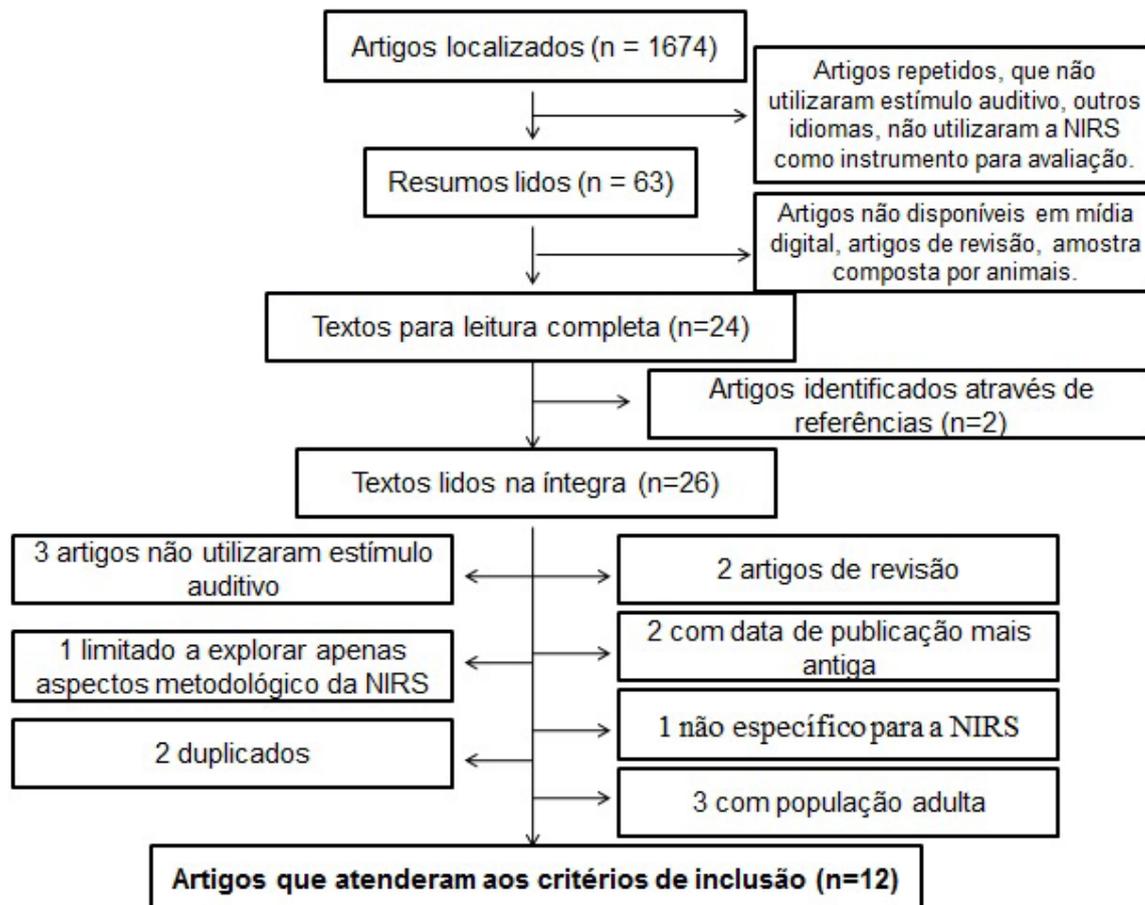


Figura 1. Fluxograma da revisão de literatura

Dentre as publicações localizadas, muitas foram excluídas, pois consistiam artigos que não utilizaram a NIRS como ferramenta para avaliação, artigos que não utilizaram estímulo auditivo para medir a hemodinâmica cerebral, artigos que continham amostra com idade média acima de 24 meses, artigos de revisão, artigos repetidos, artigos não disponíveis em mídia digital, artigos que se limitavam a descrever a técnica da espectroscopia, outros idiomas e estudos realizados com animais.

Constatou-se que os artigos selecionados que se enquadravam nos critérios de inclusão deste estudo encontram-se distribuídos em anos diferentes: dois em 2009 (16,60%), um em 2010 (8,33%), cinco em 2011 (41,66), quatro em 2012 (33,30 %) e nenhum nos anos de 2013, 2014 e 2015. Vale ressaltar que foram encontrados artigos publicados nos anos de 2013 a 2015, porém nenhum utilizou estímulo auditivo e apresentou amostra com idade média de até 24 meses. Todos foram publicados em diferentes periódicos estrangeiros: *Frontiers Psychology*, com 02 artigos; *Developmental Neuropsychol*, *The Journal of Neuroscience*, *Cerebral Cortex*, *Neuron*, *PLoS ONE*, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *Journal of Cognitive Neuroscience*, *Neuro Image*, *Human Brain Mapping* e *Brain and Language*, com 01 artigo científico em cada periódico.

Foi possível observar grande variação no tamanho amostral (12 a 112 crianças) dos estudos, variação na idade de inclusão (1,14 dias a 16 meses) e perda amostral em todos os artigos. A perda na amostra segundo o reportado foi decorrente de artefatos no sinal devido ao choro e movimentos do bebê, obstrução do cabelo, mau posicionamento da sonda, incapacidade de obter mais de um bloco de tentativas e falha na obtenção de sinais ópticos.

Em relação à metodologia da técnica, todos os artigos utilizaram o equipamento NIRS de onda contínua, com múltiplos canais, de seis a 94; com distância fonte-detector de dois a três cm, e todos utilizaram o sistema internacional 10-20 de eletroencefalografia para posicionamento dos optodos. Foram observadas metodologias diferentes quanto a aplicação da técnica, coleta e análise dos resultados. Porém 66% dos artigos utilizaram entre as técnicas estatística para análise de dados a ANOVA, análise de variância.

Todos os artigos utilizaram o estímulo auditivo para medir por meio da NIRS alterações na hemodinâmica cerebral, porém com áreas cerebrais de interesse diferentes. Constatou-se que dos artigos

inclusos, todos investigaram a região temporal e a maioria observou associação com ativação de outras regiões: cinco se interessaram pela região temporal e frontal (41,66%); cinco pelas regiões temporal, frontal e parietal (41,66%); um pelas regiões temporal, frontal e occipital (8,34%) e um apenas pela região temporal (8,34%).

Considerando que muitos dos artigos utilizaram a fala como estímulo auditivo, optou-se por agrupá-los em três categorias variáveis quanto ao tipo de estímulo: apenas sons vocais (25%), sons vocais e outros estímulos auditivos (Sons de animais; ruídos ambiental; músicas e tons puros; 41,66%) e sons não vocais (tons puros – 33,33%). (Figura 2)

Foi possível observar semelhança nos estudos que utilizaram a fala como estímulo auditivo, pois associaram sons de fala a outros estímulos sonoros, dentre eles estímulo audiovisual, sons de macacos, sons ambientais, sons musicais e fala com diferenças fonêmicas e prosódicas, denotando o interesse de estudo por diversas áreas cerebrais citadas.

O tempo dos estímulos variou de cinco a 60 segundos, e a intensidade de 45 a 75 dBNPS, o que revela que não há uma padronização na aplicação da NIRS quanto ao tempo e intensidade de estímulo necessário para que haja variação na oxigenação na região cerebral de interesse.

Nos estudos que utilizaram apenas sons vocais como estímulo, pode-se observar que todos os artigos investigaram a hemodinâmica da região frontal e temporal, com exceção de 01 estudo¹⁵ que além dessas duas áreas, investigou a região parietal. Foram analisadas as respostas hemodinâmicas cerebrais quanto à discriminação da fala¹⁶, percepção dos contrastes fonéticos¹⁶ e prosódicos¹⁵, desenvolvimento da lateralidade hemisférica para fala¹⁵ e influência da voz materna no reconhecimento da fala¹⁷. Os principais resultados evidenciaram que mudanças fonêmicas ativam região frontal inferior, parietal inferior e região temporal direita; e ocorre ativação principalmente na região temporal direita para contrastes prosódicos¹⁵. Todos esses de forma observável por meio de variação da oxigenação detectada por meio do NIRS. Em recém-nascidos, observou-se que diferentes estruturas silábicas provocaram ativação nas regiões frontais e temporais¹⁶. Essas mesmas regiões são ativadas em resposta a familiaridade no reconhecimento da voz materna¹⁷.

Os trabalhos que utilizaram sons vocais e outros estímulos investigaram respostas hemodinâmicas

Categorização	Primeiro autor	Ano	Especificação do estímulo	Objetivo principal	Amostra (n)	Principais resultados
Sons vocais	Arimitsu	2011	Fala com diferença fonêmica e prosódica	Determinar o grau de especialização hemisférica de características linguísticas (fonêmica e prosódica) na primeira infância.	17	Lateralização funcional para a área temporal direita para o processamento da prosódia e engajamento bilateral das áreas auditivas para os contrastes fonêmicos.
	Gervain	2012	Fala	Explorar se os neonatos podem discriminar diferentes estímulos gramaticais baseados na repetição.	22	Recém-nascidos apresentam habilidades de percepção e combinação necessárias para aquisição da linguagem.
	Naoi	2012	Fala com diferença fonêmica e prosódica	Examinar os efeitos da fala dirigida para criança (influência da familiaridade) através das respostas hemodinâmicas cerebrais.	26	Fala dirigida para criança aumenta a atividade hemodinâmica na região temporal, quando comparada com a fala dirigida para os adultos. A fala materna dirigida para a criança gera atividade hemodinâmica nas áreas frontais.
Sons vocais e outros estímulos	Bortfeld	2009	Fala e AudioVisual	Avaliar a NIRS como método de avaliação do processamento em regiões corticais específicas em bebês mais velhos, em resposta a estímulos linguísticos.	21	A NIRS é suficientemente sensível para avaliar as bases neurais de processamento perceptual em bebês.
	Minagawa-Kawai	2011	Fala (Língua nativa e não nativa) e ruídos de macacos	Utilizar a NIRS para revisar a questão da lateralização cerebral para sons de fala e não-fala em crianças de 04 meses de idade.	12	Através da análise das respostas hemodinâmicas em crianças de 04 meses de idade, em comparação com o estímulo que não continha a fala, o estudo mostrou claramente maior ativação no hemisfério esquerdo em resposta ao processamento da fala.
	Grossmann	2010	Palavras, sons musicais e ambientais	No experimento 1: Analisar as respostas hemodinâmicas em regiões corticais temporais em decorrência de sons vocais e não vocais, em crianças de 04 e 07 meses de idade. Experimento 2: Medir resposta cortical derivada de estímulos vocais modulados por prosódia emocional em crianças de 07 meses.	16	No experimento 1, verificou-se que crianças de 07 meses de idade apresentaram aumento significativo das respostas hemodinâmicas no córtex temporal superior direito e esquerdo à voz humana quando comparada a sons não-vocal. Nos bebês de 04 meses foi identificado um aumento da resposta hemodinâmica, em resposta ao estímulo não - vocal, no córtex temporal direito. No experimento 2, foi encontrado aumento de resposta hemodinâmica na região temporal direita em resposta a estímulo vocal modulado pela emoção, em crianças de 07 meses de idade.
	Benavides-Varela	2011	Fala e sons musicais	Investigar a capacidade dos recém-nascidos para lembrar palavras	112	Foram identificadas respostas hemodinâmicas correlacionadas com reconhecimento de palavras no cérebro do recém-nascido. O ser humano é capaz de memorizar palavras horas após o nascimento. A memória do recém-nascido para palavras é afetada quando é seguido de estímulos acústicos semelhantes.
	Petitto	2012	Fala e tons puros	Investigar o processamento fonético em bebês bilingues e monolingues	61	O Processamento fonético em bebês bilingues e monolingues é feito com o mesmo tecido cerebral específico para idioma observado em adultos.

Categorização	Primeiro autor	Ano	Especificação do estímulo	Objetivo principal	Amostra (n)	Principais resultados
Sons não vocais	Telkemeyer	2009	Ruídos com diferentes padrões de frequência e modulação.	Investigar a sensibilidade do córtex auditivo para estímulos acústicos com diferentes estruturas temporais em bebês com 03 meses de idade.	31	O córtex auditivo de bebês com 03 meses apresenta sensibilidade diferencial de sinais acústicos com estrutura temporal variada. Os recém-nascidos mostram um aumento de resposta hemodinâmica a modulações acústicas rápidas, especialmente no intervalo de tempo relevante para a percepção de fonemas. O cérebro do recém-nascido mostra uma assimetria funcional para processar modulações acústicas lentas, como a informação prosódica, predominantemente no hemisfério direito. A partir do nascimento o cérebro parece exibir propriedades estruturais e funcionais especialmente ligados a linguagem, a fim de facilitar uma das principais necessidades dos seres humanos, a comunicação.
	Telkemeyer	2011	Tons *	Investigar precursores relevantes da percepção auditiva na decodificação da fala em crianças.	45	Em crianças com 06 meses foi encontrado que as modulações acústicas rápidas levam a maiores respostas hemodinâmicas na região temporal e parietal esquerda, em relação à direita. Já as modulações acústicas lentas levam a respostas hemodinâmicas na região frontal inferior e temporoparietal direita. Em crianças com 03 meses de idade, houve maior aumento da taxa de oxi-Hb na região frontal superior e temporal posterior esquerda para ambas as modulações acústicas.
	Taga	2011	Tons puros	Estudar as fases relacionadas com os sinais da hemodinâmica entre as regiões corticais em bebês durante a estimulação sonora.	18	Houve um aumento da oxi-hemoglobina e uma diminuição da desoxi-Hb foi observado não apenas nas regiões auditivas temporais bilaterais, mas também nas regiões occipital, e pré-frontal.
	Homae	2012	Sons musicais	Examinar a possibilidade de três estímulos distintos temporalmente provocarem ativação cortical diferente em bebês de 03 e 06 meses.	43	Foram encontradas repostas hemodinâmicas a sequência de sons nos dois hemisférios.

Figura 2. Principais características dos artigos selecionados para esta revisão.

cerebrais para avaliação do processamento perceptual durante a exposição de estímulos audiovisuais¹⁸; lateralização cerebral para sons de fala e sons não vocais (fala nativa e não nativa, onomatopéias humanas e ruído de macacos)¹⁰; processamento da especificidade vocal e prosódica¹⁹; capacidade de recém-nascido memorizar palavras⁶; processamento para sons linguísticos e não linguísticos em crianças bilíngues e monolíngües²⁰.

Esses estudos demonstraram importantes resultados, dentre eles a utilidade da tecnologia NIRS como

uma ferramenta para monitorar a atividade hemodinâmica em crianças, atividade que foi encontrada em maior proporção na região temporal esquerda em resposta ao estímulo audiovisual quando comparado apenas ao estímulo visual¹⁸; maior lateralização na região temporal esquerda para o processamento da fala em comparação a sons não vocais¹⁰. Demonstram também aumento das respostas hemodinâmicas no córtex temporal direito e esquerdo à voz humana quando comparada a sons não – vocais em crianças de 07 meses, e maior ativação na região temporal

direita em resposta à estímulo vocal modulado pela emoção¹⁹. Em um dos estudos foi observado que os seres humanos são capazes de memorizar palavras horas após o nascimento⁶.

E por fim o conjunto de artigos com uso dos estímulos não – vocais abordou a sensibilidade e ativação do córtex auditivo para estímulos acústicos com diferentes estruturas temporais²¹⁻²³, e relação das respostas hemodinâmicas entre as regiões corticais²⁴. Os resultados desse grupo foram consistentes, pois relatam que o córtex auditivo direito e esquerdo são igualmente sensíveis a modulações acústicas rápidas, enquanto as lentas são preferencialmente processadas pelo córtex auditivo direito^{21,22}. Foi observado aumento nas taxas de oxiemoglobina, respostas hemodinâmicas não só em regiões auditivas temporais bilaterais, mas nas regiões occipital e pré-frontal em decorrência a estimulação com tons puros²⁴, além da região temporo-parietal a diferentes sequências de tons²³.

DISCUSSÃO

O estudo evidenciou que a partir do nascimento e durante o desenvolvimento dos primeiros meses de vida, o cérebro infantil já apresenta sensibilidade diferenciada para o processamento de sinais acústicos, sejam eles vocais ou não, com diferentes propriedades acústicas. Essas diferenças nos estímulos sonoros provocam um padrão diferencial de ativação cerebral e especialização hemisférica na primeira infância²². Esse resultado corrobora com outro estudo que sugere que a criança já é capaz de ter consciência do som, discriminar entre a presença e ausência do som, e efetuar respostas corretas na procura do som entre o período do nascimento e os quatro meses de idade²⁵.

Foi possível observar também que uma das propriedades acústicas que ativam regiões cerebrais diferentes é a variação de estrutura temporal. Um aumento na atividade hemodinâmica decorrente das modulações acústicas rápidas, especialmente no intervalo relevante para a percepção do fonema, foi evidenciando nos recém-nascidos. É demonstrado que essas modulações são processadas bilateralmente de forma simétrica nas regiões temporais do cérebro. Já as modulações acústicas lentas geram maior ativação cortical lateralizada para hemisfério cerebral direito. Apesar de o córtex auditivo decodificar modulações acústicas rápidas, relevantes para decodificação fonêmica dentro do fluxo da fala de forma bilateral, os contrastes fonêmicos ativam preferencialmente o hemisfério esquerdo da região temporal em bebês. Já

os contrastes prosódicos ativaram de forma predominante a região temporal direita^{10,15,21,22}. Reforçando o papel desta região para o processamento sensorial de sinais emocionais da fala. Este mecanismo também é fundamental, pois a organização prosódica da fala facilita a aquisição da linguagem em crianças^{10,15,19}.

Os dados analisados revelam que o bebê já nasce capaz de realizar a discriminação dos sons da fala e seus contrastes fonéticos, como diferentes estruturas gramaticais (sílabas idênticas e sílabas diferentes). A percepção e discriminação da fala, como já foram citadas, ativam de forma consistente áreas temporais do hemisfério esquerdo, evidenciando uma lateralização eficiente para o hemisfério esquerdo, que possui grandes centros da linguagem. Esse reforço da dominância esquerda pode ser considerado um precursor neural para a aquisição da linguagem^{10,16}.

Os resultados dos artigos aqui revisados corroboram com os achados de outro estudo que denota a existência de uma dominância do hemisfério esquerdo para o processamento da linguagem e percepção dos estímulos da fala, e dominância do hemisfério direito para percepção de estímulos musicais²⁶.

Em relação ao grupo de artigos que utilizaram estímulo auditivo com palavras, foram encontradas respostas hemodinâmicas em decorrência ao reconhecimento de palavras no cérebro dos recém-nascidos^{6,15}. Esta população foi capaz de lembrar as palavras que eram apresentadas seguidas por trecho de música instrumental. Isto sugere que as palavras e músicas são processadas de forma diferente no cérebro do recém-nascido⁶. E que existe uma capacidade precoce para memória auditiva de curto prazo nesses sujeitos¹⁵.

Com relação aos resultados citados acima, outros estudos denotam que nos primeiros meses de vida o bebê já é capaz de selecionar sons da fala, ou seja, de discriminar contrastes fonéticos das línguas que estão ou não habituados a ouvir. O sistema auditivo é capaz de analisar os sons da fala, identificando-os acusticamente e reconhecendo-os como sons da língua a que está exposto^{25,27,28}.

Foi possível evidenciar também que os estímulos auditivos simples (tons puros) desencadeiam resposta hemodinâmica com o aumento na taxa de oxiemoglobina e diminuição da desoxiemoglobina, não apenas em regiões auditivas temporais bilaterais, mas também nas regiões occipital, parietal e pré-frontal. A estimulação auditiva quando é apresentada periodicamente, gera nas regiões temporais, atividade cortical que propaga para regiões vizinhas, gerando atividade

espontânea. Esses resultados evidenciam a existência de conectividade cortical de curta distância nessas regiões²⁴.

Todos os artigos aqui citados utilizaram o método NIRS para localizar a atividade hemodinâmica em resposta a estimulação sensorial, proporcionando uma resolução espacial suficiente para medir as repostas evocadas em diversas áreas cerebrais. Este método vem sendo empregado para estudar o desenvolvimento funcional do córtex em crianças e adultos. Portanto, NIRS é uma técnica útil a este respeito, não invasiva, de fácil aplicação, tolerante a movimento leve, e que pode ser um complemento a outras técnicas existentes como a eletroencefalograma, magnetoencefalografia, ressonância magnética funcional, para estudar o desenvolvimento cerebral em crianças^{2,3,15,16}.

Estudos de longo prazo com crianças e adultos são necessários para que as respostas da hemodinâmica cerebral para estímulo auditivo, nas diferentes áreas corticais sejam padronizadas, a fim de nortear novas pesquisas com o uso da NIRS e auxiliar no diagnóstico precoce de alterações no sistema auditivo a nível cortical.

CONCLUSÃO

Esta revisão mostra que a NIRS permite a investigação e compreensão da percepção auditiva e alguns de seus componentes, como a detecção, sensação sonora, discriminação, atenção e memorização dos sons, ou seja, do processamento sensorial auditivo na população infantil. Por esse motivo, conclui-se que a NIRS é uma ferramenta eficaz para avaliação da audição a nível cortical em lactentes, e pode ser utilizada associada a outros métodos já existentes e padronizados de avaliação auditiva.

REFERÊNCIAS

1. Lima A, Bakker J. Near-infrared spectroscopy for monitoring peripheral tissue perfusion in critically ill patients. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2011;23(3):341-51.
2. Sevy ABG, Bortfeld H, Huppert TJ, Beauchamp MS, Tonini RS, Oghalai JS. Neuroimaging with near-Infrared spectroscopy demonstrates speech-evoked activity in the auditory cortex of deaf children following cochlear implantation. *Hear Res*. 2010;270(1-2):39-47.
3. Lloyd-Fox S, Blasi A, Elwell CE. Illuminating the developing brain: the past, present and future of functional near infrared spectroscopy. *NeurosciBiobehav Rev* 2010;34(3):269-84.
4. Bortfeld H, Fava E, Boas DA. Identifying Cortical Lateralization of Speech Processing in Infants Using Near-Infrared Spectroscopy. *Dev Neuropsychol*. 2009;34(1):52-65.
5. Gervain J, Werker JF, Nelson CA, Csibra G, Sarah LF et al. Near-infrared spectroscopy: A report from the McDonnell infant methodology consortium. *Dev Cogn Neurosci*. 2011;1(1):22-46.
6. Benavides-Varela S, Gomes DM, Macagno F, Bion RAH, Peretz I, Mehler J. Memory in the Neonate brain. *PLoS ONE* 2011;11(6):e27497.
7. Sakatani K, Chen S, Lichty W, Zuo H, Wang Y. Cerebral blood oxygenation changes induced by auditory stimulation in newborn infants measured by near infrared spectroscopy. *Early Hum. Dev*. 1999;3(55):229-36.
8. Zaramella P, Freato F, Amigoni A, Salvador S, Marangoni P, Suppiej A et al. Brain auditory activation measured by near-infrared spectroscopy (NIRS) in neonates. *Pediatr. Res*. 2011;49(2):213-9.
9. Kotilahti K, Nissila I, Huotilainen M, Makela R, Gavrielides N, Nojonen T et al. Bilateral hemodynamic responses to auditory stimulation in newborn infants. *Neuroreport*. 2005;16(12):1373-7.
10. Minagawa-Kawai Y, Lely HVD, Ramus F, Sato Y, Mazuka R, Dupoux E. Optical brain imaging reveals general auditory and language-specific processing in early infant development. *Cereb Cortex*. 2011;21(2):254-61.
11. Botelho LLR, Cunha CCA, Macedo M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *Gestão e sociedade*. 2011;5(11):121-36.
12. Souza MT, Silva MD, Carvalho R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. *Einstein*. 2010;8(1Pt1):102-6.
13. Mendes KDS, Silveira RCCP, Galvão CM. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na Enfermagem. *Texto&contextoenferm*. 2008;17(4):758-64.
14. Higgins JPT, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0 [updated March 2011]*. The Cochrane Collaboration, 2011. Available from www.cochrane-handbook.org.

15. Arimitsu T, Uchida-Ota M, Yagihashi T, Kojima S, Watanabe S, Hokuto I et al. Functional hemispheric specialization in processing phonemic and prosodic auditory changes in neonates. *Frontiers in Psychology*. 2011;202(2):61-70.
16. Gervain J, Berent I, Werker JF. Binding at birth the newborn brain detects identity relations and sequential position in speech. *J CognNeurosci*. 2012;24(3):564-74.
17. Naoi N, Minagawa-Kawai Y, Kobayashi A, Takeuchi K, Nakamura K, Yamamoto J, Kojima S. Cerebral responses to infant-directed speech and the effect of talker familiarity. *NeuroImage*. 2012;59(2):1735-44.
18. Bortfeld H, Fava E, Boas DA. Identifying Cortical Lateralization of Speech Processing in Infants Using Near-Infrared Spectroscopy. *Dev Neuropsychol*. 2009;34(1):52-65.
19. Grossmann T, Oberecker R, Koch SP, Friederici AD. The Developmental Origins of Voice Processing in the Human Brain. *Neuron*. 2010;65(6):733-5.
20. Petitto LA, Berens MS, Kovelman I, Dubins MH, Jasinska K, Shalinsky M. The Perceptual Wedge hypothesis as the basis for bilingual babies phonetic processing advantage: New insights from fNIRS brain imaging. *Brain Lang*. 2012;121(2):130-43.
21. Telkemeyer S, Rossi S, Koch SP, Nierhaus T, Steinbrink J, Poeppel D et al. Sensitivity of Newborn Auditory Cortex to the Temporal Structure of Sounds. *J Neurosci*. 2009;29(47):14726-33.
22. Telkemeyer S, Rossi S, Nierhaus T, Steinbrink J, Obrig H, Wartenburger I. Acoustic processing of temporally modulated sounds in infants: evidence from a combined near-infrared spectroscopy and EEG study. *Frontiers Psychology*. 2011;62(2):28-27.
23. Homae F, Watanabe H, Nakano T, Taga G. Functional Development in the Infant Brain for Auditory Pitch Processing. *Human Brain Mapping*. 2012;33(3):596-608.
24. Taga G, Watanabe H, Homae F. Spatiotemporal properties of cortical haemodynamic response to auditory stimuli in sleeping infants revealed by multi-channel near-infrared spectroscopy. *Phil Trans R Soc. A*. 2011;369(1955):4495-511.
25. Russo ICP, Santos TMM. A audição e o desenvolvimento da linguagem. In: Russo ICP, Santos TMM. *Audiologia infantil*. São Paulo: Cortez, 1994. p.15-27.
26. Teixeira CF, Griz SMS. Sistema auditivo central. In: Bevilacqua MC, Martinez MA. (Org) *Tratado de audiolgia*. São Paulo: Santos, 2011. p.17-27.
27. Polka L, Werker JF. Developmental changes in perception of nonnative vowel contrasts. *J. Exp. Psychol*. 1994;20(2):421-35.
28. Werker JF, Fennel CT. Listening to sounds versus listening to words: Early steps in word learning. In: Hall DG, Waxman SR. *Weaving a lexicon*. Cambridge: Mit Press, 2004. p.79-109.