

ATIVAÇÃO DO SISTEMA DE NEURÔNIOS-ESPELHO AOS 6 MESES: Um estudo de fNIRS

Bárbara Agostinha dos Santos Camisa Nova (IC) e Ana Alexandra Caldas Osório (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

A compreensão das intenções subjacentes às ações dos outros depende, entre vários aspectos, do funcionamento de um sistema cerebral denominado de sistema de neurônios-espelho (SNE). Estudos em adultos mostraram que uma rede similar de neurônios é ativada quando executamos uma ação motora e também quando observamos essa ação sendo executada, envolvendo principalmente o córtex motor primário. Porém, pouco se sabe ainda sobre funcionamento do SNE em amostras infantis. A técnica de Espectroscopia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS) permite a aferição da atividade cerebral na região de interesse, mediante mudanças na concentração de hemoglobina oxigenada (HbO₂) e desoxigenada (HbR). Assim, o presente estudo pretendeu averiguar a ativação de uma importante região do sistema de neurônios-espelho, o córtex motor primário, em bebês de 6 meses, nascidos a termo e sem queixas de desenvolvimento. Participaram deste estudo 12 bebês, dos quais apenas 7 bebês (4 meninos; 57,14%) tiveram dados válidos para análise. A tarefa foi dividida em duas fases: na Fase de Observação, o bebê observava a mão da pesquisadora pegando uma bola e a retirando do cenário, e na Fase de Execução, o bebê foi encorajado a pegar e explorar alguns objetos/brinquedos apresentados a ele. Os resultados mostraram que, na Fase de Execução, individualmente, todos os bebês apresentaram ativação significativa em canais localizados sobre a região sensório-motora. Por sua vez, na Fase de Observação, não se registrou qualquer ativação estatisticamente significativa em resposta à ação motora observada.

Palavras-chave: Observação ações motoras. Execução ações motoras. fNIRS.

ABSTRACT

The understanding of the intentions underlying others' actions depends, amongst other aspects, on the functioning of a brain system known as mirror-neuron system (MNS). Studies with adults showed that a similar neural network is activated when we execute a motor action and also when we observe that motor action being performed by others, mainly involving the primary motor cortex. However, little is known about the functioning of the MNS in infant samples. The Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) technique allows the measurement brain activity in the targeted area, through changes in the concentration of oxygenated (HbO₂) and deoxygenated hemoglobin (HbR). Thus, the present study intended to examine the activation of an important brain area of the mirror-neuron system, the primary motor cortex, in 6-month-old infants, born full term and with no developmental problems. Participants were 12 infants, of which only seven (4 boys; 57,14%) had valid data to analyze. The task was divided into Observation Phase, in which the infant observed the tester's hand grasping a ball and removing it from the scene; and the Execution Phase, in which the infant was encouraged to grasp and explore some objects/toys that were presented. Results showed that, in the Execution Phase, all infants, individually presented at least one channel, placed over on the sensorymotor region, with significant activation. In turn, in the Observation Phase, no statistically significant brain activity was registered in response to the observed motor action.

Keywords: Observation of motor actions. Execution of motor actions. fNIRS.

1. INTRODUÇÃO

Estudos sobre o desenvolvimento do Sistema de Neurônios-Espelho (SNE), um sistema neural que se pressupõe contribuir para a compreensão das intenções subjacentes aos comportamentos e ações dos outros, são frequentes em adultos, mas ainda escassos em amostras infantis.

Este estudo busca examinar a compreensão das intenções subjacentes às ações dos outros em bebês de seis meses de idade, por meio da utilização da técnica de Espectroscopia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS). Através da aplicação de uma tarefa de observação e de execução de ações motoras, o presente estudo permitirá analisar se aos 6 meses de vida já se verifica a ativação de regiões cerebrais associadas ao funcionamento do sistema de neurônios-espelho. Mais especificamente, o córtex motor primário é a região que consistentemente tem sido associada ao funcionamento do sistema de neurônios-espelho, desde fases precoces do desenvolvimento humano. Assim, será examinada a ocorrência de ativação no córtex motor primário durante a observação de uma ação motora sendo realizada por outra pessoa e durante a execução de uma ação motora pelo próprio bebê. A presença de uma sobreposição de áreas cerebrais ativadas durante a observação e execução de uma ação motora será indicativa da existência de um padrão de ativação semelhante ao observado em adultos, sugerindo que um sistema neural de espelhamento de ações motoras próprias e dos outros pode ocorrer desde os 6 meses de idade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão das ações e intenções subjacentes aos comportamentos que observamos nos outros – por exemplo, compreender que quando alguém pega uma colher com comida e abre a boca, a intenção subjacente a essa ação é pegar a colher para comer – depende, entre outros aspectos, do funcionamento de um sistema denominado de sistema de neurônios-espelho (SNE) (FOGASSI et al., 2005; CHAMPOUX et al., 2009). A evidência disponível indica tratar-se de uma rede de neurônios que é ativada quando executamos uma ação motora, mas também quando observamos essa ação sendo executada por outros – envolvendo principalmente regiões do córtex frontal e do lobo parietal (RIZZOLATTI & CRAIGHERO, 2004; IACOBONI et al., 2005; MUKAMEL et al., 2010).

Estudos com adultos, usando diferentes técnicas de neuroimagem (por exemplo: fMRI, fNIRS, MEG), revelam uma ativação consistente no córtex motor primário tanto durante a execução quanto durante a observação da mesma ação motora sendo realizada por outra pessoa (por exemplo, RIZOLATTI et al., 2001; SHIMADA & HIRAKI, 2006). Ainda nessa linha, pesquisa em adultos também sugerem o envolvimento deste sistema em habilidades centrais

na cognição social e compreensão das ações dos outros e intencionalidade, como por exemplo a empatia (RIZZOLATTI & CRAIGHER, 2005; SCHULTE-RUTHER et al., 2007; BAIRD et al., 2011). Ademais, indivíduos com Transtorno do Espectro Autista (TEA), que apresentam sérios comprometimentos em habilidades de interação social, tendem também a apresentar alterações no funcionamento do sistema de neurônios-espelho, caracterizadas por reduzida atividade em áreas cerebrais que compreendem o SNE ou padrões atípicos de ativação cerebral (OBERMAN et al., 2005; DAPRETTO et al., 2006; MARTINEAU et al., 2008; PERKINS et al., 2010).

No entanto, estudos investigando o funcionamento do sistema de neurônios-espelho na primeira infância são ainda escassos. Por exemplo, usando EEG, Nystrom (2008) avaliou a dessincronização μ e as respostas de potenciais relativos a eventos (ERP, do inglês Event Related Potentials) durante a observação de vídeos de ações motoras direcionadas e não direcionadas a metas, tendo observado uma amplitude de ERP significativamente maior para a observação de ações direcionadas (porém, as diferenças na dessincronização μ não foram significativas). O mesmo autor e sua equipe propuseram um experimento semelhante em bebês de 8 meses, desta vez com a observação de estímulos ao vivo (versus em vídeo), demonstrando uma amplitude de ERP significativamente maior bem como o esperado padrão de dessincronização μ face às ações direcionadas a metas (NYSTROM et al., 2011). Também Southgate e Colaboradores (2009), em um estudo com eletroencefalografia (EEG), demonstraram que, aos 9 meses de idade, bebês com desenvolvimento típico já são capazes de compreender e antecipar ações motoras, o que poderá ser indicativo da existência do referido SNE. Ressalta-se que o equipamento utilizado nos estudos citados, EEG, oferece uma excelente resolução temporal, porém possui uma resolução espacial pobre. Por sua vez, a técnica de fNIRS possibilita um bom equilíbrio entre resolução espacial e temporal. Um estudo com 12 bebês (usando a técnica de fNIRS) mostrou que, entre 6 e 7 meses de idade, se registrou uma ativação na região do córtex motor na sequência da observação de ações motoras realizadas por outra pessoa e na execução das mesmas ações pelo bebê, permitindo verificar, à semelhança dos adultos, a ativação de uma área cerebral comum para processar ações motoras que são executadas e observadas (Shimada & Hiraki, 2006).

Considerando os estudos prévios realizados com amostras de bebês com até 12 meses de idade, esperamos que bebês de 6 meses apresentem uma sobreposição da ativação do córtex motor primário durante a execução de ações motoras como também durante a observação de ações motoras sendo executadas ao vivo, por outra pessoa.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Participantes

Este estudo faz parte de um projeto de pesquisa maior, com desenho longitudinal, que avalia o desenvolvimento socioemocional dos bebês durante o primeiro ano de vida. Participaram dessa pesquisa, até ao momento, 12 bebês, nascidos a termo e sem relato de queixas de desenvolvimento, que foram avaliados aos 6 meses. No entanto, apenas foi possível analisar os dados de sete bebês: dois bebês foram excluídos porque não foi possível a aplicação da tarefa principal deste estudo e três outros bebês não tiveram ensaios válidos suficientes para inclusão nas análises estatísticas. Assim, a amostra final incluída neste estudo foi composta por sete bebês (quatro meninos; 57.14%) que tinham, em média, 6.31 meses ($DP = 0.37$) no momento da avaliação. A idade gestacional dos bebês variou entre 38 e 41 semanas ($M = 39.43$; $DP = 0.98$) e o peso médio ao nascimento foi de 3069 gramas ($DP = 337$).

As mães desses bebês tinham entre 25 e 43 anos ($M = 31.71$; $DP = 6.02$). As mães eram majoritariamente casadas ($n = 6$; 85.71%) e estavam empregadas ($n = 4$; 57.14%). Duas mães estavam desempregadas e uma mãe era estudante. A grande maioria das mães tinham ensino superior completo ($n = 3$; 42.85%) ou estudos pós-graduados como mestrado ou doutorado ($n = 2$; 28.57%). Para quatro mães o parto foi normal (57.14%), enquanto as restantes fizeram cesárea ($n = 3$; 42.85%). Por fim, o bebê era primeiro filho/a para 4 das mães (57.85%).

Eram critérios de inclusão no estudo bebês nascidos a termo (≥ 37 a < 42 semanas de gestação), a mãe ter tido acompanhamento pré-natal durante a gravidez e idade igual ou superior a 18 anos de idade à data do nascimento do bebê. Por outro lado, foram aplicados os seguintes critérios de exclusão: gravidez gemelar, complicações médicas durante a gravidez (ex. anemia grave, diabetes, convulsão, hipertensão arterial, toxoplasmose ou rubéola na mãe), muito baixo peso ao nascimento ($\leq 1.500g$), problemas no parto (anóxia/hipóxia, circular de cordão, APGAR inferior a 7), presença de doença genética associada a sintomas de TEA (já diagnosticada) ou a atraso de desenvolvimento, deficiência visual e/ou auditiva.

3.2 Avaliação neuroimagiológica do processamento da percepção de ações motoras

A avaliação do processamento neural da observação e execução de ações motoras ocorreu por meio da técnica Espectroscopia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS), que permite de forma não-invasiva monitorar mudanças de fluxo de hemoglobina oxigenada (oxi-Hb) e desoxigenada (desoxi-Hb), fornecendo assim um índice da atividade cerebral.

No estudo utilizamos o sistema Brainsight NIRS, utilizando dois comprimentos de onda contínuos de 705 e 803 nm. Foram utilizadas 8 fontes e 16 detectores de luz que, depois de pareados, deram origem a 28 canais de dados, sendo 14 em cada hemisfério. Os optodos

estavam posicionados a uma distância média de 28.4 mm ($DP = 1.11$) entre si, de forma a cobrir a região temporal e sensório-motora de ambos os hemisférios. Este estudo analisará apenas os dados dos canais localizados sobre a região sensório-motora (bilateralmente).

3.3 Paradigma experimental de observação e execução de ações motoras

O paradigma experimental aplicado foi dividido em 2 fases – Fase de Observação e Fase de Execução, as quais são descritas a seguir.

Fase de observação - o bebê observou uma mão avançando dentro de uma caixa e pegando lentamente em uma bola, retirando-a de seguida do cenário. Esta ação ocorreu ao vivo e foi realizada por uma pesquisadora escondida atrás de uma cortina, de forma a que apenas a sua mão fosse visível. Cada ação motora que o bebê visualizou durou 4 segundos (condição experimental), seguida por 10-14 segundos (intervalos randomizados) de condição controle – em que o bebê observou uma bola pendurada em movimento oscilatório do pêndulo. O procedimento contou com 30 ensaios, em que metade das vezes a mão da pesquisadora surgiu do lado direito e nas restantes vezes surgiu do lado esquerdo da caixa. A cada 10 ensaios realizados foi feita uma breve pausa para avaliar o estado do bebê e se era possível continuar o procedimento. Se o bebê mostrasse sinais de cansaço ou irritação (por exemplo, choro), e não fosse possível acalmá-lo, a tarefa era interrompida de imediato. A tarefa terminava quando aplicados os 30 ensaios ou se o estado do bebê não permitisse a sua continuação. A tarefa teve uma duração aproximada de 11 minutos e foi filmada em vídeo para posteriormente ser visualizado para fins de identificação dos ensaios com dados NIRS válidos.

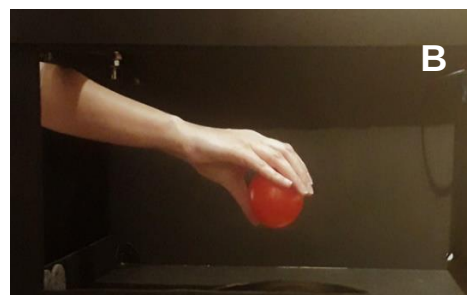


Figura 1. Fase de Observação: A) Condição controle; B) Condição Experimental.

Um ensaio (condição experimental + condição controle) era considerado inválido se: (a) a mãe tocasse de forma ativa (ex., acariciar, movimentar) no bebê; (b) o bebê puxasse as fibras ou mexesse na touca NIRS; (c) o bebê não olhasse para o estímulo durante o período experimental - mão pega a bola - durante os últimos 3 segundos da ação motora realizada pela pesquisadora e olhasse menos de 40% do tempo para o estímulo durante o período de

controle (bola em movimento de pêndulo); (d) o bebê chorasse de forma intensa e prolongada (ensaios em que o bebê teve um choro rápido e pouco intenso, se acalmando e parando de chorar quase de imediato eram permitidos). Para ser incluído na análise de dados, cada participante obrigatoriamente tinha que ter no mínimo 3 ensaios com boa qualidade na condição experimental e na condição controle. (Lloyd-Fox et al., 2015). Nos bebês da nossa amostra foram administrados entre 9 e 30 ensaios ($M = 18$, $DP = 8.93$) na fase de observação e considerados válidos 3 a 14 ensaios ($M = 6.86$, $DP = 3.72$).

Fase de execução - foi desenhada para identificar as áreas cerebrais ativadas quando o próprio bebê executa uma ação de preensão de objeto. A tarefa também foi administrada em um formato de ensaio, por meio de uma cesta com objetos/ brinquedos, com as mãos da pesquisadora por de baixo da cesta e sendo orientada a não tocar em nenhum dos itens dentro da cesta, a fim de que o bebê não associar nenhuma ação motora (mão + objeto/ brinquedo) na entrega e retirada do mesmo. Os bebês foram encorajados a pegar e explorar o objeto/brinquedo colorido durante aproximadamente 13/14 segundos, seguidos por um período sem brinquedos em intervalos randomizados de 15 a 20 segundos entre cada apresentação de brinquedo.

A tarefa de execução teve uma duração aproximada de 5 minutos e foi filmada em vídeo. Posteriormente, o vídeo foi codificado para identificação dos ensaios válidos. Foram excluídos os ensaios (que inclui o período experimental – bebê pega e explora o brinquedo – e o período sem brinquedos) em que: (a) a mãe tocou de forma ativa no bebê; (b) o bebê puxou as fibras ou mexeu nos optodos NIRS; (c) o bebê chorou de forma intensa e prolongada (foram incluídos ensaios em que o bebê teve um choro rápido e pouco intenso, se acalmando e parando de chorar quase de imediato); ou (d) o bebê se mexeu demasiado durante o período de baseline (sem brinquedos). Para ser incluído na análise de dados, cada participante precisava ter no mínimo 3 ensaios com boa qualidade na condição experimental e na condição sem brinquedos (Lloyd-Fox et al., 2015). Nos bebês da nossa amostra foram administrados 8 e 10 ensaios ($M = 9.43$, $DP = 0.79$) na fase de execução, sendo considerados válidos entre 3 e 7 ensaios ($M = 4.43$, $DP = 1.62$).

Durante toda a administração deste paradigma, o bebê estava sentado em uma cadeira de bebê (*Bumbo multi assento*) com a mãe sentada do seu lado. Ressalta-se que o fNIRS se caracteriza por ser uma técnica não invasiva que permite coleta de dados em ambientes relativamente ecológicos. A tarefa era imediatamente interrompida se o bebê chorasse sem se acalmar, sendo realizada uma pausa após a qual a tarefa seria retomada se e quando o estado do bebê o permitisse. Ao longo de toda a sessão, a mãe podia suprir

quaisquer necessidades demonstradas pelo bebê, como por exemplo fome, sono, necessidade de trocar a fralda.

3.4 Questionário de informações sociodemográficas

Este questionário proporcionou a coleta de informações relativas à gravidez e ao parto, ao estado de saúde do bebê ao nascer (sexo, peso, comprimento, índice de APGAR, perímetro cefálico, bem como idade gestacional), e à família (idades, nível socioeconômico, nível educativo e profissões dos pais).

3.5 Procedimento

O recrutamento dos participantes, bebês e suas respectivas mães, ocorreu em creches públicas da cidade de São Paulo e região metropolitana, redes sociais e rede de contatos pessoais. As coletas de dados, ocorreram no Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social da Universidade Presbiteriana Mackenzie, quando os bebês tinham aproximadamente 6 meses, em uma data e horário de acordo com a disponibilidade da família. À chegada ao laboratório, antes ser iniciada a coleta de dados, as mães foram novamente informadas dos objetivos do estudo e quais procedimentos que seriam realizados nessa sessão, e quaisquer dúvidas foram atendidas. Então, as mães assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, autorizando assim a sua participação e do seu bebê. A seguir, iniciou-se a avaliação neuroimagiológica por meio do fNIRS, sendo primeiro realizada a fase de observação e, posteriormente, a fase de execução. Todo o procedimento foi filmado a fim de avaliar quais ensaios das tarefas preenchem os critérios para serem considerados válidos. Por fim, foi realizada uma entrevista à mãe para preenchimento do questionário.

O projeto de pesquisa maior, em que este estudo se inclui, recebeu a aprovação pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade (CAAE: 02631818.1.0000.0084), antes de serem iniciadas as coletas de dados.

3.6 Análise dos dados

Em primeiro lugar, os vídeos da tarefa aplicada foram visualizados para identificação dos ensaios com dados NIRS válidos a serem incluídos nas análises estatísticas, seguindo os critérios anteriormente descritos. Depois, os dados NIRS dos ensaios válidos foram analisados com o software MatLab em uma sequência de passos. Na tarefa de execução, foi calculada a densidade ótica e feita correção de artefatos de movimento utilizando os métodos de interpolação de spline e decomposição de wavelet (NOVI et al., 2020). Depois, foram calculadas as concentrações de hemoglobina através da equação de Beer-Lambert Modificada e foi usado o filtro passa baixa em 1 Hz, a fim de remoção do batimento cardíaco e ruídos com frequência muito alta. Os canais ativados foram identificados através do uso de

um General Linear Model (GLM), que remove atividade fisiológica de baixa frequência, em que a duração do estímulo foi definida como a média da duração de cada ensaio. Nos dados NIRS da tarefa de observação, foi também calculada a densidade ótica e feita correção de artefatos de movimento através dos métodos de interpolação de spline e decomposição de wavelet (NOVI et al., 2020). O cálculo das concentrações foi feito através da equação de Beer-Lambert Modificada. A seguir, foi usado um filtro passa banda em 0.005 e 0.5 Hz a fim de eliminar batimento cardíaco, ruídos com frequência muito alta, e atividade fisiológica de baixa frequência. Por último, foi calculada a média das concentrações de hemoglobina nos ensaios válidos de cada participante, para encontrar a resposta hemodinâmica individual de cada bebê.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os dados NIRS na fase de execução foram analisados através do método Modelo Linear Geral, que testou possíveis diferenças estatisticamente significativas ao nível da concentração de hemoglobina oxigenada (HbO) e desoxigenada (HbR) entre o período em que o bebê pegou e explorou o objeto/brinquedo e o período sem brinquedos. Para um canal ser considerado ativado deve apresentar um aumento significativo de hemoglobina oxigenada acompanhado de uma diminuição simultânea, também significativa, de hemoglobina desoxigenada, sendo que o valor de significância deve ser $< .05$. Assim, foi analisada a resposta neural ao estímulo nos canais 1 a 6, que cobrem a região sensório-motora do hemisfério esquerdo, e nos canais 15 a 20, localizados sobre essa mesma região no hemisfério direito.

Os resultados mostraram que nenhum canal registrou ativação estatisticamente significativa quando os dados NIRS foram analisados considerando o grupo dos bebês. No entanto, quando examinados os padrões de ativação individualmente, podemos observar que todos os bebês apresentaram ativação significativa em pelo menos um dos canais acima referidos, localizados sobre a região sensório-motora (ver Tabela 1). É de salientar que três dos bebês registraram ativação em três ou mais canais.

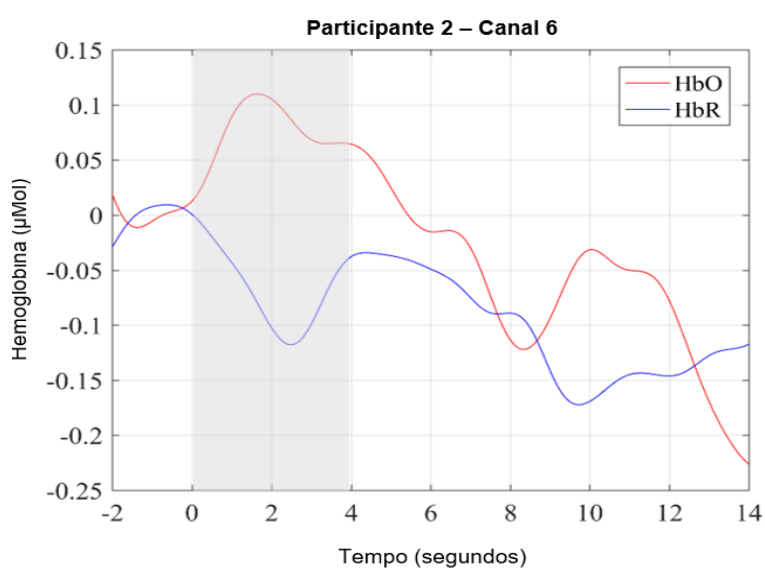
Tal como demonstrado, a seguir, na Tabela 1, alguns bebês registraram ativação em apenas um canal da região sensório-motora enquanto outros bebês tiveram ativação em dois ou mais canais. Uma vez que os canais ativados variam em cada participante e nenhum parece ser consistentemente ativado em todos os bebês, tal pode explicar a ausência de ativação significativa quando os dados NIRS foram analisados em grupo. Além disso, os resultados também mostram que, com exceção de um bebê, a ativação de canais localizados na região sensório-motora do hemisfério direito foi dominante nos participantes da amostra.

Tabela 1 - Fase de execução - canais ativados por participante

Participante	Canal	HbO		HbR	
		Beta	P	Beta	P
1	1 ^a	0.35	< .001	- 0.09	.041
2	3 ^a	0.22	.004	- 0.53	< .001
	6 ^a	0.51	< .001	- 0.30	< .001
	15 ^b	0.18	< .001	- 0.08	.015
	17 ^b	0.35	< .001	- 0.15	< .001
	19 ^b	0.17	< .001	- 0.26	< .001
3	20 ^b	0.20	.022	- 0.10	.010
4	15 ^b	0.50	< .001	- 0.31	< .001
	19 ^b	0.31	< .001	- 0.15	.001
	20 ^b	0.45	< .001	- 0.36	< .001
5	16 ^b	0.67	< .001	- 0.55	< .001
	18 ^b	0.22	< .001	- 0.14	< .001
	20 ^b	0.47	< .001	- 0.10	.014
6	16 ^b	0.26	.010	- 0.74	< .001
7	15 ^b	0.20	.017	- 0.16	.013

^aHemisfério esquerdo; ^bHemisfério direito; HbO = Hemoglobina Oxigenada; HbR = Hemoglobina Desoxigenada.

Por sua vez, na fase de observação, nenhum canal da região sensório-motora (bilateralmente) mostrou ativação estatisticamente significativa ($p < .05$) em resposta à observação de uma ação motora, quando examinados os dados NIRS do grupo ou individualmente. Como exemplo, apresentamos os gráficos da resposta hemodinâmica do participante 2, no canal 6 (ver Figura 1) e do participante 7, no canal 4 (ver Figura 2).

**Figura 1.** Fase Observação - Resposta hemodinâmica do participante 2 no canal 6.

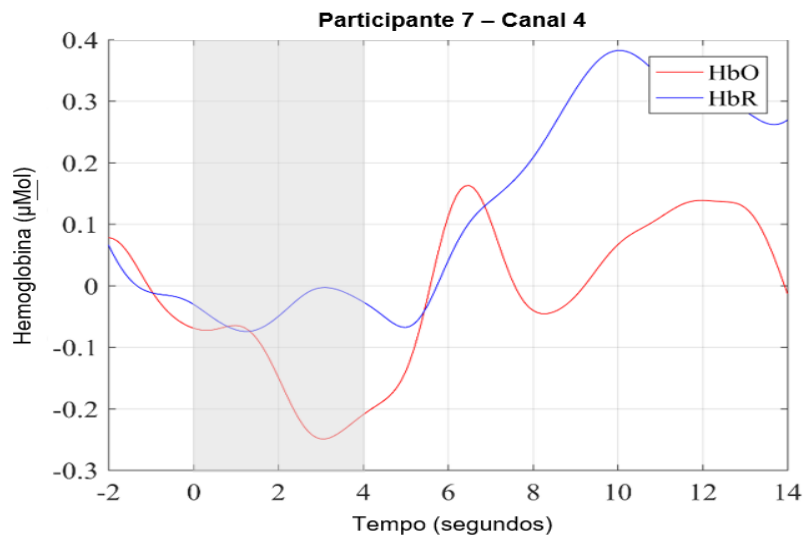


Figura 2. Fase Observação - Resposta hemodinâmica do participante 7 no canal 4.

Nos gráficos, a área cinza indica a condição experimental (período entre 0 e 4 segundos) em que o bebê observa uma mão pegando uma bola, seguido do período de controle, entre 4 e 14 segundos, em que o bebê observa a bola em movimento oscilatório de pêndulo. A linha vermelha indica as mudanças de hemoglobina oxigenada (HbO) e a linha azul indica a hemoglobina desoxigenada (HbR). Como podemos observar, no gráfico do participante 2 (Figura 1), no momento de início da estimulação (0 segundos no gráfico) já se verifica um aumento de HbO acompanhado de uma diminuição de HbR, que ocorre até aos 2 segundos aproximadamente (ainda durante o período de estimulação) e, em seguida, se observa uma diminuição significativa de HbO mantendo-se em valores negativos durante a restante duração da tarefa. Por sua vez, no gráfico do participante 7 (Figura 2), observamos que durante o período da estimulação (condição experimental) tanto HbO quanto HbR registraram valores negativos, sendo que durante a condição controle (período entre 4 a 14 segundos no gráfico) se observa um aumento, para valores positivos de concentração de hemoglobina, tanto de HbO quanto de HbR, sendo mais acentuado em HbR.

Retomamos o objetivo do presente trabalho, que consistiu em examinar a ocorrência da ativação no córtex motor primário durante a observação de uma ação motora e durante a execução de uma ação motora por bebês de 6 meses. A nossa hipótese era de que seria possível detectar uma sobreposição da ativação nesta importante região do Sistema de Neurônios-Espelhos (SNE). Embora tenhamos observado a ativação esperada de canais localizados sobre o córtex motor primário durante a fase de execução em cada um dos bebês, não foi possível detectar um padrão semelhante de ativação durante a fase de observação. Assim, os nossos dados não suportam o envolvimento desta região cerebral na compreensão de ações motoras simples, realizadas ao vivo, por bebês de 6 meses. O estudo pioneiro de

Shimada e Hiraki (2006), com fNIRS, havia demonstrado essa sobreposição quando se observou uma ação motora e quando se executou uma ação motora com bebês de 6-7 meses. No entanto, destaca-se que a idade média da amostra era de praticamente 7 meses. Assim, em um período de desenvolvimento e maturação cerebral tão acelerados (OUYANG et al., 2019), algumas semanas podem fazer muita diferença nos resultados obtidos. Efetivamente, os estudos de Nystrom e colaboradores (NYSTROM, 2008; NYSTROM et al., 2011) com EEG mostraram uma importante consolidação do Sistema de Neurônios-Espelhos entre os 6 e os 8 meses de idade, reforçando a hipótese inicial deste estudo.

Por fim, este estudo tem algumas limitações que devem ser consideradas como a tamanho da amostra, apesar do estudo ter sido realizado com 12 bebês, apenas sete bebês tiveram ensaios válidos para análise. Tal pode ter influenciado os resultados, como por exemplo, quando analisados os dados da fase de execução considerando o grupo como um todo, nenhum canal se destacou como ativado simultaneamente em todos os bebês, mas individualmente todos mostraram canais ativados na região sensório-motora. Assim, são necessários novos estudos com uma amostra maior de bebês que possa estabelecer um padrão de resultados mais robusto quando feita uma análise grupal dos participantes. Também o tipo de objeto usado na fase de observação de uma ação motora deve ser analisado, de forma a usar um objeto que resulte em um maior engajamento dos participantes, focando a sua atenção na tarefa que está ocorrendo. Evidencia-se ainda a escassez de publicações sobre as evidências da ativação do SNE em amostras infantis. Apesar do estudo de Shimada e Hiraki (2006), que registrou a sobreposição da ativação na região sensório-motora em bebês de 6 meses de idade quando observam e quando executam uma ação motora, o presente estudo não encontrou essa sobreposição, pelo que é de extrema relevância que futuras pesquisas continuem a explorar esta temática.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo possibilitou desenvolver conhecimento, de grande utilidade para a área do neurodesenvolvimento infantil, com publicações ainda escassas nesta temática. Além disso, proporcionou experiência no uso da técnica de Espectroscopia Funcional de Infravermelho Próximo (fNIRS) em amostras infantis, que consiste em uma técnica não invasiva adequada para coleta de dados em ambientes relativamente ecológicos.

Mais trabalhos são necessários, a fim de acompanhar longitudinalmente, em uma amostra maior, os padrões de funcionamento do sistema de neurônios-espelho no primeiro ano de vida, como esse sistema se desenvolve ao longo do tempo, como se relaciona com o desenvolvimento social mais tarde, e quais variáveis podem explicar as diferenças individuais encontradas.

6. AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Rickson Coelho Mesquita, Sergio Luiz Novi Junior e Giovanni Hering Scavariello, do Instituto de Física *Gleb Wataghin* da Universidade de Campinas (UNICAMP) pelo seu apoio na análise dos dados NIRS. Agradeço também à Dra. Vera Lúcia Esteves Mateus pelo essencial suporte teórico, técnico e prático durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- BAIRD, Ameet D. et al. Mirror neuron system involvement in empathy: a critical look at the evidence. **Social neuroscience**, v. 6(4), p. 327-335, 2011.
- CHAMPOUX, François; LEPAGE, Jean-François; DÉSY, Marie-Christine; LORTIE, MéliSSa; & THÉORET, Hugo. The Neurophysiology of Early Motor Resonance. **Mirror Neuron Systems**, vol. J. A. Pineda (ed), p. 63-76, 2009.
- DAPRETTO, Mirella. et al. Understanding emotions in others: Mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. **Nature Neuroscience**, v.9, p. 28-30, 2006.
- FOGASSI, Leonardo et al. Parietal lobe: From action organization to intention understanding. **Science**, v. 308, p. 662-667, 2005.
- IACOBONI, Marco. et al. Grasping the of other with one's own mirror neuron system. **PLoS Biology**, v. 79, n.3, 2005.
- LLOYD-FOX, Sarah. et al. Cortical Activation to action perception is associated with action production abilities in Young infants. **Cerebral Cortex**, v. 25, p. 289-297, 2015.
- MARTINEAU, Joëlle. et al. Impaired cortical activation in autistic children: Is the mirror neuron system involved? **International Journal of Psychophysiology**, v.68, p.35-40, 2008.
- MUKAMEL, Roy. et al. Single neuron responses in humans during execution and observation of actions. **Current Biology**, v. 20, p. 750-756, 2010.
- NOVI, Sergio L. et al. Functional near-infrared spectroscopy for speech protocols: characterization of motion artifacts and guidelines for improving data analysis. **Neurophotonics**, v. 7(1), 015001, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1.NPh.7.1.015001>.
- NYSTRÖM, Pär. The infant mirror neuron system studied with high density EEG. **Social Neuroscience**, v. 3(3-4), p. 334-347, 2008.
- NYSTRÖM, Pär; LJUNGHAMMAR, Therese; ROSANDER, Kerstin, & VON HOFSTEN, Claes. Using mu rhythm desynchronization to measure mirror neuron activity in infants. **Developmental science**, v.14(2), p. 327-335, 2011.
- OBBERMAN, Lindsay M; HUBBARD, Edward M.; MCCLEERY, Joseph P; ALTSCHULER, Eric L; RAMACHANDRAN, Vilayanur S., & PINEDA, Jaime A. EEG evidence for mirror neuron

dysfunction in autism spectrum disorders. **Cognitive Brain Research**, v. 24, p. 190-198, 2005.

OUYANG, Minhui; DUBOIS, Jessica; YU, Qinlin; MUKHERJEE, Pratik & HUANG, Hao. Delineation of early brain development from fetuses to infants with diffusion MRI and beyond. **Neuroimage**, v. 185, p. 836-850, 2019.

PERKINS, Tom et al. Mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. **Journal of Clinical Neuroscience**, v.17, p 1239-1243, 2010.

RIZZOLATTI, Giacomo; CRAIGHERO, Laila. Mirror neuron: a neurological approach to empathy. **Neurobiology od human values**, p. 107-153, 2005.

RIZZOLATTI, Giacomo; CRAIGHERO, Laila. The mirror-neuron system. **Annual Review of Neuroscience**, v. 27, p. 169-192, 2004.

RIZZOLATTI, Giacomo; FOGASSI, Leonardo, & GALLESE, Vittorio. Neuropsychological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. **Nature reviews neuroscience**, vol 2 (9), p. 661-670, 2001.

SCHULTE-RÜTHER, Martin, MARKOWITSCH, Hans J., FINK, Gereon R., & PIEFKE, Martina. Mirror neuron and theory of mind mechanisms involved in face-to-face interactions: a functional magnetic resonance imaging approach to empathy. **Journal of cognitive neuroscience**, vol 19(8), p. 1354-1372, 2007.

SHIMADA, Sotaro; HIRAKI, Kazuo. Infant's brain responses to live and televised action. **Neuroimage**, v. 32, p. 930-939, 2006.

SOUTHGATE, Victoria et al. Predictive motor activation during action observation. **Human infants. Biology Letters**, p. 769–772, 2009.