



QUANTIFICAÇÃO DOS CORRELATOS FUNCIONAIS DA NEUROPLASTICIDADE DURANTE O APRENDIZADO DE TAREFAS LÓGICAS USANDO TREINAMENTO COGNITIVO

Palavras-Chave: Neuroplasticidade, Aprendizado, Treinamento Cognitivo

Autores/as:

PEDRO GRIMALDI SEMEGHINI MARTINI[IFGW/UNICAMP], **GIOVANI GRISOTTI MARTINS** [IFGW/UNICAMP], **LUÍS FELIPE BORTOLLETO** [IFGW/UNICAMP]

Prof. Dr. RICKSON COELHO MESQUITA (orientador/a) [IFGW/UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

A aquisição do aprendizado está associada com a assimilação, compreensão e retenção de informações ou experiências que podem resultar em uma mudança no comportamento, pensamento ou capacidades do aprendiz. Essa aquisição frequentemente demanda atenção e prática até que o novo comportamento seja assimilado efetivamente. Treinamentos longitudinais, isto é, avaliados ao longo do tempo, como a resolução de exercícios lógicos, desencadeiam mecanismos de aprendizagem. O entendimento dos processos cognitivos envolvidos no aprendizado pode ter um impacto direto na educação e em quais seriam as melhores condições para promover a aprendizagem [1,2], além de mitigar os efeitos do envelhecimento na cognição, e com isso prevenir ou retardar o desenvolvimento de doenças neurológicas, tais como a demência [3]. No entanto, pouco se sabe sobre os mecanismos do aprendizado durante um treinamento cognitivo.

Do ponto de vista fundamental, estes mecanismos ocorrem no nível neural, por meio da neuroplasticidade e seus correlatos funcionais, que podem ser observáveis com técnicas de neuroimagem. Em especial, a espectroscopia funcional no infravermelho próximo (fNIRS) é uma técnica atrativa para estudar tais processos devido à sua portabilidade e possibilidade de uso em ambientes naturais. A fNIRS é capaz de inferir a atividade cerebral utilizando luz no infravermelho próximo (~ 700 – 900 nm) a partir do escalpo [4,5]. Neste contexto, o presente projeto visa avaliar como a atividade cerebral muda durante o aprendizado de uma tarefa lógica da vida real – especificamente, o jogo de Sudoku – por meio do uso da fNIRS.

METODOLOGIA:

Recrutamos 5 participantes saudáveis (2 homens), com idade de (21 ± 1) anos e escolaridade no ensino superior, que nunca tenham jogado Sudoku ou não tenham jogado há mais de 1 ano. Os participantes tiveram o objetivo de aprender o jogo e resolver os problemas de um aplicativo de celular que apresenta jogos de Sudoku ao longo de dez sessões com dificuldade crescente realizadas em dias diferentes. As coletas foram realizadas no HC e todo o protocolo experimental foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da UNICAMP (Prot. CAAE: 47636821.5.0000.5404).

A cada sessão, os participantes realizaram cinco jogos de Sudoku distintos, com dificuldade similar, os quais alternam entre matrizes 2×2 e 3×2 . Das dez sessões para cada voluntário, seis foram medidas utilizando fNIRS, espaçadas em duas sessões iniciais, duas intermediárias e duas finais das coletas. Para as demais sessões não medidas com técnicas de neuroimagem, foram coletados os tempos de execução de cada jogo de Sudoku do participante e dados de percepção de esforço e atenção.

De forma simples, a grandeza física obtida por um equipamento de fNIRS é a intensidade luminosa capturada pelos detectores posicionados na cabeça, cuja luz provém das fontes. Cada par fonte-detector presente na touca constitui um canal, a partir do qual é possível extrair informações fisiológicas do cérebro. Baseamos o comportamento da luz no tecido biológico por meio da Lei de Beer-Lambert modificada, a qual modela o comportamento da intensidade luminosa ao longo do tempo dentro do tecido biológico [8]. Por meio dela, é possível obter as concentrações de oxi-hemoglobina (HbO), desoxi-hemoglobina (HbR) e hemoglobina total (HbT).

Para a detecção de regiões de ativação cerebral durante o treinamento cognitivo, fizemos um arranjo óptico cuja geometria cobre as principais áreas cerebrais de interesse para este projeto, incluindo os córtices pré-frontal, parietal e occipital. Sua estrutura consiste em 32 detectores e 16 fontes emitindo comprimentos de onda em 760 nm e 850 nm, contendo 74 pares fonte-detector (canais), incluindo seis canais curtos que serão utilizados para remover a contribuição extra cortical no sinal de fNIRS. A maioria dos canais longos mantiveram uma distância média entre 20 e 35 mm, suficiente para atingir a região mais externa do córtex cerebral [7]. Para realização das medidas de fNIRS, utilizamos um sistema comercial (NIRScout, NIRx Medical Systems, Alemanha) disponível no laboratório e amplamente utilizado para estudos de neurociência funcional com fNIRS em humanos. A luz é levada e trazida do equipamento para a cabeça através de guias de onda (fibras ópticas de 400 µm de diâmetro) com 6 m de comprimento cada. Na cabeça, as fibras são firmemente posicionadas sobre o escalpo através de uma touca.

Para a análise computacional dos dados, calculou-se a razão sinal/ruído (SNR, do inglês signal-to-noise ratio) de cada um dos canais presentes na coleta, para avaliar a qualidade dos dados em cada canal. Para $SNR < 8$, o canal foi excluído da análise. Para correção de artefatos de movimento presentes nos dados, utilizou-se um procedimento baseado na derivada da série temporal capaz de corrigir mudanças abruptas de baseline e curvas espúrias que se afastam de padrões fisiológicos [11]. Feitos esses ajustes, as variações fisiológicas passaram por um filtro passa-banda (0,005 –0,5 Hz) para remover frequências indesejadas presentes no sinal. Por fim, realizou-se a decomposição linear dos dados e predição da resposta hemodinâmica por meio de um modelo linear geral (GLM, do inglês General Linear Model). Este foi responsável por fazer a previsão de ativação cerebral a depender do formato da curva de oxigenação de hemoglobina presente nos dados. Após todas essas etapas, obteve-se uma projeção das regiões cerebrais ativadas numa imagem tridimensional. Com essas imagens, testaram-se as hipóteses a respeito das áreas de ativação cerebral referentes à tarefa específica do experimento coletados.

RESULTADOS:

O primeiro correlato de aprendizado e neuroplasticidade que se obteve para os cinco participantes foram os tempos médios de resolução das tarefas cognitivas por sessão (Tabela 1). Junto a esses dados, abaixo é possível observar a percepção subjetiva dos participantes quanto ao seu nível de esforço mental em relação à sessão anterior. A escala de percepção foi feita em uma escala de esforço que vai de “muito menos”, “menos”, “igual”, “mais” ou “muito mais”, cujo valor é de 1 até 5. Abaixo dessa escala de percepção, também está registrada a pontuação de um teste de atenção em cada dia de participação, o qual consiste em jogar um teste simples de contas matemáticas através do site *Math Twins*. Cada participante obteve uma pontuação no game logo antes do jogo de Sudoku. O teste dura um minuto e meio e este possui um limite superior de pontos de 86.

	Sessão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Participante 1	Tempo médio	1min 47s	2min 18s	1min 15s	2min 25s	1min 10s	1min 15s	1min 45s	56s	58s	1min 30s
	Esforço	-	4	2	2	2	4	4	2	1	3
	Atenção	45	52	54	59	65	72	57	69	77	67
Participante 2	Tempo médio	1min 12s	1min 58s	1min 7s	1min 48s	1min 18s	1min 59s	1min 20s	1min 20s	1min 12s	1min 59s
	Esforço	-	4	2	4	3	3	2	3	1	4
	Atenção	63	47	64	75	80	61	81	75	68	84
Participante 3	Tempo médio	1min 48s	4min 19s	2min 18s	5min 43s	2min 38s	3min 25s	1min 46s	4min 40s	2min 9s	2min 16s
	Esforço	-	4	2	4	2	3	2	4	3	3
	Atenção	44	52	59	38	42	53	66	49	42	55
Participante 4	Tempo médio	1min 26s	1min 28s	38s	1min 28s	1min 6s	3min	49s	1min 30s	41s	1min 30s
	Esforço	-	4	3	3	2	4	2	2	1	2
	Atenção	65	33	73	54	78	72	65	80	77	67
Participante 5	Sessão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tempo médio	40s	54s	37s	59s	32s	1min 20s	51s	53s	30s	45s
	Esforço	-	4	3	3	2	4	2	2	1	3
	Atenção	61	82	82	82	84	83	85	81	84	85
Média para os cinco participantes	Tempo médio	1min 14s	2min 11s	1min 11s	2min 32s	1min 9s	1min 38s	1min 38s	1min 17s	2min 12s	1min 38s

Tabela 1. valores de tempo médio de resolução dos jogos de Sudoku a cada sessão, nível de esforço subjetivo com relação à sessão anterior e a pontuação numérica em um teste de atenção simples da internet para os cinco participantes. Mais abaixo, encontra-se os valores médios de tempo para cada sessão entre os voluntários.

Quanto aos dados cerebrais obtidos pela fNIRS em três fases distintas das coletas longitudinais, as áreas de ativação cerebral para cada um dos cinco participantes podem ser visualizadas na Figura 1. É perceptível que todos os participantes tiveram regiões ativadas em algum dos períodos analisados, cujas regiões de ativação estendem-se do lobo occipital até regiões dos córtices parietal e pré-frontal.

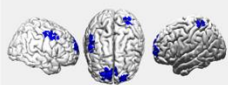
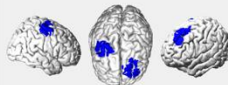
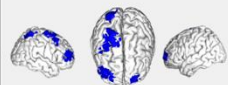
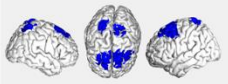
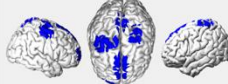
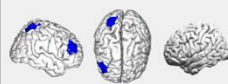
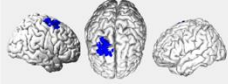
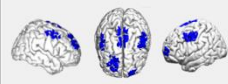
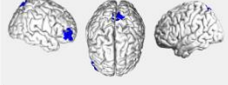
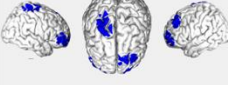
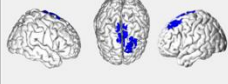
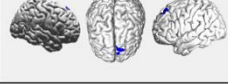
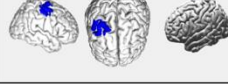

Participante	Início	Meio	Fim
1			
2			
3		Sem ativação detectada	
4			
5			

Figura 1. Regiões de ativação cerebral resultantes da análise e processamento de dados de fNIRS para os cinco participantes da pesquisa. Os termos “Início”, “Meio” e “Fim” referem-se à concatenação de dois dados de fNIRS para as sessões iniciais, intermediárias e finais, respectivamente.

DISCUSSÃO:

Um dos correlatos de aprendizagem e neuroplasticidade quantificados foi o tempo médio de resolução (Tabela 1). Com base nos dados de cada sessão, não foi possível concluir um padrão de crescimento, decréscimo ou estabilidade explícito ao longo das sessões, visto que os valores possuem grande variabilidade. A alta variabilidade é esperada, uma vez que o aprendizado é um processo não-linear e que demanda tempo e repetição para se estabilizar [9]. A partir da comparação entre indivíduos, pudemos perceber que 4 dos 5 participantes tiveram um pico de tempo de resolução entre as sessões 6 e 7, seguido de uma queda de tempo médio nas duas sessões seguintes. Este pode ser o momento em que poderia ocorrer uma consolidação de aprendizado do jogo. Outra hipótese seria a dificuldade do app ser crescente, mas o tempo de execução ser aproximadamente constante, o que indicaria algum tipo de adaptação. Para o participante em que este padrão não ficou evidente, vale ressaltar que se trata do único participante que não entrava em contato com Sudoku há mais de um ano, porém já possuía experiência prévia da atividade.

Quanto à percepção subjetiva de esforço, para todos os participantes, há mais relatos de menos desgaste mental com o passar das tarefas do que aumento de esforço. Esta informação pode ser um indício de familiarização da tarefa e, portanto, aprendizagem. Os dados de teste de atenção não demonstraram dependência clara com o tempo de resolução das tarefas; ademais, percebe-se, para a maioria dos participantes uma tendência de aumento na pontuação, o que pode estar relacionado com a adaptação ao jogo com o passar do tempo.

Por fim, as regiões de ativação cerebral obtidas através dos dados de NIRS apresentam resultados relevantes. Em todos os participantes, observamos a ativação do córtex pré-frontal em praticamente todas as etapas das sessões longitudinais. Esse resultado está de acordo com a literatura, ademais pelo fato de que essa região anatômica está relacionada com atenção, planejamento e tomada de decisão, raciocínio, aprendizado e adaptação a uma tarefa nova [3,10]. Outro aspecto importante a ser salientado é a maior presença de regiões posteriores do cérebro ativadas ao longo da progressão das sessões. Essa tendência é mais visível para quatro dos 5 voluntários, com exceção do participante 4. De fato, regiões do lobo parietal e occipital estão

relacionadas à atenção e percepção espacial, memória de trabalho espacial e coordenação motora. Ademais, uma das hipóteses da pesquisa era o fato do córtex pré-frontal ser menos requisitado à medida que o aprendizado se consolidasse, havendo maior destaque às regiões posteriores do cérebro [3,6].

CONCLUSÕES:

A pesquisa apresentada foi capaz de validar um método de quantificação de correlatos de neuroplasticidade e aprendizagem. Parâmetros de esforço sugerem familiarização da tarefa para todos os participantes. A evolução de tempo médio não apresenta padrões explícitos, embora possa sugerir uma curva de aprendizado não-linear comumente documentada pela ciência no ensino [9]. Ademais, a análise de grupo apresenta resultados condizentes com a literatura estudada [3,6], com todos os participantes apresentando ativação no córtex pré-frontal. Há, inclusive, uma predominância de ativações no lobo parietal e occipital, indicando a ativação por meio de estímulos espaciais e visuais após a familiarização da tarefa. Os dados apresentados ainda são resultados preliminares do ponto de vista de análise e de número amostral de sujeitos. Contudo, esta pesquisa ainda tem como objetivo aprimorar as conclusões e aumentar o número de coletas para obter conclusões mais precisas. Embora a neurociência cognitiva seja uma área multidisciplinar e, portanto, com muitas variáveis envolvidas, acreditamos que os resultados possam contribuir para o entendimento neurocientífico do aprendizado, o que pode trazer informações úteis sobre o processo de aprendizagem no geral.

REFERÊNCIAS:

- [1] S. Jahani et al. "fNIRS can robustly measure brain activity during memory encoding and retrieval in healthy subjects." *Sci Rep-uk* 7, 9533 (2017).
- [2] S. Blakemore et al. "The learning brain: Lessons for education: a précis". *Developmental Science* 8:6 (2005), p. 459-471
- [3] P. Ashlesh et al. "Role of prefrontal cortex during Sudoku task: fNIRS study," *Translational Neuroscience*, vol. 11, no. 1, 2020, pp. 419-427.
- [4] M. Ferrari & V. Quaresima, "A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application," *NeuroImage* **63**(2), 921-935 (2012).
- [5] R.C. Mesquita & R.J.M. Covolan, "Estudo funcional do cérebro através NIRS e tomografia óptica de difusão," In: *Neurociências e Epilepsia*, vol. 1 (L.L. Min, P.T. Fernandes, R.J.M. Covolan, F. Cendes, eds), Plêiade, São Paulo, 147-162 (2008).
- [6] Fehr, T. et. al. "Common brain regions underlying different arithmetic operations as revealed by conjunct fMRI–BOLD activation". *Brain Res.* (2020), p. 93-102
- [7] Brigadoi, S. et al. "How short is short? Optimum source-detector distance for short separation channels in functional near-infrared spectroscopy". *Neurophotonics* (2015).
- [8] Keiser, G. "Biophotonics: Concepts to Applications". Springer (2016), p. 154-170
- [9] PETTY, G. *Evidence Based Teaching - A practical approach*. 2a edição. Nelson Thornes, 2009.
- [10] Machado, A. et. al. "Neuroanatomia Funcional". Atheneu (2016).
- [11] Fishburn, F.A. "Temporal Derivative Distribution Repair (TDDR): A motion correction method for fNIRS", *NeuroImage* (2018)