

Influência do ritmo Alfa (8-12Hz) no tempo de reação em uma tarefa de controle inibitório

Influencia del ritmo Alfa (8-12Hz) en el tiempo de reacción en una tarea de control inhibitorio
Alpha (8-12Hz) influence le temps de réaction dans la tâche de contrôle inhibiteur
Alpha (8-12Hz) influence on reaction time in inhibitory control task

Hiago Murilo Melo¹, Lucas Martins Nascimento¹,
Viktória Oldemburgo de Mello¹ & Emílio Takase¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Resumo

A habilidade de controle inibitório é comumente mensurada no processo de avaliação neuropsicológica devido à sua sensibilidade para discriminar diversos diagnósticos. O eletroencefalograma (EEG) permite a análise dos micro processos cognitivos necessários para realizar o controle inibitório de maneira sequencial por sua alta resolução temporal. Os índices EEG têm um papel complementar no processo de avaliação neuropsicológica, fornecendo evidências fisiológicas para suportar a avaliação de desempenho cognitivo, mas o estabelecimento de relações entre essas variáveis torna-se um desafio para neuropsicólogos devido à falta de evidências experimentais com paradigmas comumente utilizados no contexto clínico. O objetivo deste estudo é investigar a relação entre ritmo alfa e velocidade de processamento cognitivo na avaliação de controle inibitório. Dezenove participantes tiveram seu EEG (19 canais) mensurado em repouso e durante a realização do paradigma Go/NoGo. Foram realizadas correlações entre o ritmo alfa (frequência de pico alfa individual e amplitude absoluta) e indicadores de desempenho da tarefa Go/NoGo (tempo de reação e número de erros). Encontraram-se correlações negativas moderadas entre a frequência dominante alfa em repouso e o tempo de reação e correlações positivas moderadas entre amplitude absoluta alfa durante a tarefa e o tempo de reação. Estes resultados sugerem que a faixa de frequência alfa possui relação com o desempenho cognitivo na tarefa de controle inibitório, com ênfase na velocidade de processamento de estímulos. Sendo assim, este trabalho fomenta a utilização do EEG como ferramenta complementar no processo de avaliação neuropsicológica por ser uma tecnologia de mapeamento cerebral com baixo custo para o contexto socioeconômico latino-americano que colabora na compreensão de fatores fisiológicos relacionados ao diagnóstico que fornece insights sobre a etiologia do prejuízo cognitivo observado.

Palavras-chave: Eletroencefalograma, Ondas Alfa, Tempo de Reação, Controle Inibitório.

Resumen

La habilidad de control inhibitorio es comumente medida en el proceso de evaluación neuropsicológica debido a su sensibilidad para discriminar distintos diagnósticos. El electroencefalograma (EEG) permite el análisis de los micro procesos cognitivos necesarios para realizar el control inhibitorio de manera secuencial por su alta resolución temporal. Los índices EEG tienen un rol complementario en el proceso de evaluación neuropsicológica, aportando evidencias fisiológicas para sostener la evaluación de desempeño cognitivo. El establecimiento de relaciones entre esas variables se torna un desafío para los neuropsicólogos, debido a la falta de evidencias experimentales con paradigmas comúnmente utilizados en el contexto clínico. El objetivo de este estudio es investigar la relación entre ritmo alfa y velocidad de procesamiento cognitivo en la evaluación del control inhibitorio. Diecinueve participantes tuvieron su EEG (19 canales), medidos en repouso y durante la realización del paradigma Go/NoGo. Se realizaron correlaciones entre el ritmo alfa (frecuencia de pico alfa individual y amplitud absoluta) e indicadores de desempeño de la tarea Go/NoGo (tiempo de reacción y número de errores). Se encontraron correlaciones negativas moderadas entre la frecuencia dominante alfa en repouso y el tiempo de reacción y correlaciones positivas moderadas entre la amplitud absoluta alfa durante la tarea y el tiempo de reacción. Estos resultados sugieren que el rango de frecuencia alfa tiene relación con el desempeño cognitivo en

Artigo recebido: 02/09/2016; Artigo revisado (1a revisão): 09/03/2017; Artigo aceito: 14/08/2017.

Correspondências relacionadas a esse artigo devem ser enviadas a Hiago Murilo Melo, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Psicologia, Laboratório de Educação Cerebral, Campus Reitor João David Ferreira Lima - Trindade, CEP 88040-970, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

E-mail: hmurilodemelo@gmail.com

DOI: 10.5579/rnl.2016.0337

la tarea de control inhibitorio, con énfasis en la velocidad de procesamiento de los estímulos. Por lo tanto, este trabajo fomenta la utilización de EEG como herramienta complementaria en el proceso de evaluación neuropsicológica por ser una tecnología de mapeado cerebral con bajo costo para el contexto socio-económico latinoamericano que contribuye con la comprensión de factores fisiológicos relacionados al diagnóstico que proporciona insights sobre la etiología del perjuicio cognitivo observado.

Palabras clave: Electroencefalograma, Ondas Alfa, Tiempo de Reacción, Control Inhibitorio. Resumen.

Résumé

La capacité de contrôle inhibiteur est habituellement mesurée dans le processus d'évaluation neuropsychologique en raison de votre fiabilité pour discriminer plusieurs diagnostics. La résolution temporelle élevée de l'électroencéphalogramme (EEG) permet l'analyse séquentielle des processus micro-cognitifs nécessaires pour effectuer un comportement de contrôle inhibiteur. Les indices de l'EEG ont un rôle complémentaire dans le processus d'évaluation neuropsychologique, fournissant des preuves physiologiques pour soutenir l'évaluation de la performance cognitive, mais établir des relations entre ces variables devient un défi pour les neuropsychologues parce que le manque de preuves expérimentales avec des paradigmes couramment utilisés dans le contexte clinique. Cette étude vise à étudier la relation entre le rythme alpha et la vitesse de traitement cognitif dans l'évaluation du contrôle inhibiteur. Dix-neuf participants ont eu leur EEG (19 canaux) mesuré au repos et pendant la tâche Go / NoGo. Des corrélations ont été faites entre le rythme alpha et les résultats de performance Go / NoGo (temps de réaction et nombre d'erreurs). Des corrélations négatives modérées ont été trouvées entre la fréquence de pointe alpha individuelle au repos et le temps de réaction et des corrélations positives modérées entre l'amplitude alpha absolue pendant la tâche et le temps de réaction. Ces résultats suggèrent que la fréquence alpha a une relation avec la performance cognitive dans la tâche de contrôle inhibiteur, en mettant l'accent sur la vitesse de traitement des stimuli. Ainsi, cette étude encourage l'utilisation de l'EEG comme outil complémentaire dans le processus d'évaluation neuropsychologique car il s'agit d'une technologie de cartographie du cerveau peu coûteuse pour le statut socioéconomique latino-américain qui donne une idée de l'étiologie physiologique de la déficience cognitive observée.

Mots-clés: Electroencéphalogramme, ondes alpha, temps de réaction, contrôle inhibiteur.

Abstract

The inhibitory control ability is commonly measured in neuropsychological assessment process due your reliability to discriminate several diagnoses. The electroencephalogram (EEG) high temporal resolution allows the micro-cognitive processes sequential analysis necessary to perform inhibitory control behavior. EEG indices have a complementary role in the neuropsychological assessment process, providing physiological evidence to support cognitive performance assessment, but establishing relationships between these variables becomes a challenge for neuropsychologists because the lack of experimental evidence with commonly paradigms used in clinical context. This study aims to investigate the relationship between alpha rhythm and cognitive processing speed in the evaluation of inhibitory control. Nineteen participants had their EEG (19 channels) measured at rest and during the Go/NoGo task. Correlations were made between the alpha rhythm and the Go/NoGo performance outcomes (reaction time and number of errors). Moderate negative correlations were found between the individual alpha peak frequency at rest and reaction time and moderate positive correlations between alpha absolute amplitude during the task and reaction time. These results suggest that alpha frequency has relation with cognitive performance in inhibitory control task, with emphasis on stimuli processing speed. Thus, this study encourages the use of EEG as a complementary tool in neuropsychological assessment process because it's a low-cost brain mapping technology for the Latin American socioeconomic status that provides some insights about the physiological etiology of the cognitive impairment observed.

Keywords: Electroencephalogram, alpha waves, reaction time, inhibitory control.

Introdução

A rápida popularização dos métodos de mapeamento cerebral vem auxiliando a compreensão de fenômenos psicológicos a partir da integração entre instrumentos tradicionais de avaliação comportamental e informações do sistema nervoso (Loo, Lenartowicz & Makeig, 2016; McLoughlin, Makeig & Tsuang, 2014). O eletroencefalograma (EEG) é uma tecnologia que registra sinais elétricos originados pelo cérebro por meio de eletrodos posicionados no escalpo e fornece dados quantitativos que podem ser utilizados como fonte de informações para compreender variações de desempenho cognitivo (Blokland, Prickaerts, Van Duinen & Sambeth, 2015; Wen, Zhou & Li, 2015).

A extração de informações quantitativas dos dados de EEG utiliza métodos de decomposição de sinais, classificando o sinal em bandas de frequência relacionadas com diferentes estados de atividade mental (Teplan, 2002). Dentre as faixas de frequência clássicas, a banda alfa (8-

12Hz) fomenta o interesse da comunidade científica devido ao seu papel global em funções importantes da vida humana, como o processamento cognitivo (Grabner, Fink, Stipacek, Neuper & Neubauer, 2004; Grandy et al., 2013; Klimesch, 2012), controle emocional (Goodman, Rietschel, Lo, Costanzo & Hatfield, 2013; Kaiser, Doppelmayr & Iglseider, 2016; Stewart, Coan, Towers & Allen, 2014) e funções integrativas do cérebro (Başar, 2012).

Alguns estudos que sincronizaram esta banda do EEG com tecnologias de mapeamento cerebral, como ressonância magnética funcional (fMRI) e tomografia por emissão de pósitrons (PET), identificaram relações entre a atividade do tálamo e a produção de alfa, tanto em animais quanto em humanos (Goldman, Stern, Engel & Cohen, 2002; Moosmann et al., 2003; Omata, Hanakawa, Morimoto & Honda, 2013; Zhan et al., 2014). Considerando o papel do tálamo no processamento de estímulos sensoriais (Mease, Krieger & Groh, 2014), infere-se que alterações da banda alfa relacionam-se com processamento de informações sensoriais (Fellinger, Gruber, Zauner, Freunberger & Klimesch, 2012).

A teoria que suporta esta integração do tálamo e a banda alfa sugere que as oscilações desta faixa de frequência possuem relação com a integração de informação e envio ao córtex através do controle top-down (Bazanov & Vernon, 2014; Fellinger et al., 2012). Sendo assim, a velocidade de abertura e fechamento destes canais de transferência de informações entre as estruturas cerebrais é inferida pela velocidade do ritmo oscilatório da frequência alfa (Grandy et al., 2013). A influência da banda alfa no processamento sensorial vem sendo reportada por meio da comparação entre as condições de olhos fechados e abertos, onde o processo de inibição sensorial do sistema visual provoca um aumento significativo na produção desta banda (Barry, Clarke, Johnstone & Brown, 2007; Goldman et al., 2002).

Devido à sua relação com o processamento de informações sensoriais, alguns estudos que investigaram diferenças individuais na banda alfa e desempenho cognitivo reportam que alterações nesta faixa de frequência estão relacionadas com habilidades de resolução de problemas e atenção difusa em tarefas criativas (Cao, Li, Hitchman, Qiu & Zhang, 2015), processo atencional (Klimesch, Doppelmayr, Russegger, Pachinger & Schwaiger, 1998), memória de trabalho (Klimesch, Schimke & Pfurtscheller, 1993) e desempenho cognitivo geral (Hanslmayr, Sauseng, Doppelmayr, Schabus & Klimesch, 2005; Klimesch et al., 1993). Estes achados sugerem que a aproximação da zona individual de pico do ritmo alfa a frequências mais rápidas (acima de 10hz), fenômeno conhecido como upper alpha, pode ser um preditivo de bom desempenho cognitivo em razão à um aumento na velocidade de passagem de informações entre grupos de neurônios (Klimesch, 1999).

A habilidade de controle inibitório corresponde à supressão de um comportamento planejado em prol de uma resposta mais adequada perante um estímulo ou situação (Anderson, 2002; Barkley, 1997; Diamond, 2013). Neste sentido, o controle inibitório é um constructo comumente utilizado no processo de avaliação neuropsicológica devido à sua sensibilidade para discriminar diversos quadros clínicos, como quadros de crianças (Baijot, Deconinck, Slama, Massat & Colin 2013; Pliszka, Liotti & Woldorff, 2000; Schachar, Mota, Logan, Tannock & Klim, 2000) e adultos com diagnóstico de TDAH (Grane, Endestad, Pinto & Solbakk, 2014; Epstein, Johnson, Varia & Conners, 2001, Bioulac et al, 2016), esquizofrenia (Thakkar, Schall, Logan & Park, 2015; Krakowski et al., 2016), bem como níveis de ansiedade elevados (Berggren, Richards, Taylor & Derakshan, 2013; White, McDermott, Degan, Henderson & Fox, 2011; Basten, Stelzel & Fiebach, 2011), transtorno obsessivo compulsivo (Morein-Zamir et al., 2013; Thomas, Gonsalvez & Johnstone, 2014), dentre outros diagnósticos.

Embora a o prejuízo no controle inibitório seja comum a todos estes diagnósticos, a observação de uma resposta com déficit, seja pelo número de erros ou tempo de reação, pode não discriminar as alterações cerebrais restritas a cada quadro clínico. A compreensão das etapas de processamento cognitivo relacionadas a uma resposta comportamental pode ser obtida por meio do auxílio de tecnologias de mapeamento cerebral, como o EEG, que permite a análise de uma série de processos cognitivos em

sequência devido à sua alta precisão temporal (Bokura, Yamaguchi & Kobayashi, 2001).

Por meio da análise do EEG em paradigmas de controle inibitório, observa-se que a resposta de inibição requer o recrutamento de diferentes estruturas cerebrais, tal como ativação da ínsula, córtex cingulado anterior e córtex frontal inferior (Menon, Adelman, White, Glover & Reiss, 2001; Swick, Ashley & Turken, 2011, Baumeister et al., 2014). Embora diversos quadros clínicos apresentem o mesmo déficit em controle inibitório, a razão no atraso no tempo da resposta pode ser derivada de alterações nas diferentes estruturas que atuam no processo de inibição comportamental. Deste modo, o EEG pode ampliar a instrumentalização do neuropsicólogo, proporcionando a compreensão aprofundada de quadros clínicos e fornecendo insights sobre o recrutamento de estruturas cerebrais associadas ao déficit comportamental observado através de dados eletrofisiológicos, tornando-se uma ferramenta complementar interessante para o processo de diagnóstico (Ferrazzoli et al., 2013).

Embora alguns estudos apresentem evidências sobre a associação entre a banda alfa e o desempenho cognitivo (Doppelmayr, Klimesch, Stadler, Po & Heine, 2002; Ergenoglu et al., 2004; Fellinger et al., 2012) os testes utilizados para investigar esta relação não são popularmente utilizados no processo de avaliação neuropsicológica ou não apresentam evidências sobre sua sensibilidade para discriminar amostras clínicas de pacientes sem comprometimento. Sendo assim, este estudo tem o intuito de fomentar a utilização de tecnologias de mapeamento cerebral de baixo custo, para o aprimoramento do processo de avaliação neuropsicológica por meio de um teste popularmente utilizado por neuropsicólogos da América Latina com sensibilidade para discriminar amostras com diagnósticos psicológicos. Para tal, o objetivo deste trabalho é verificar se há influência das características da banda alfa (amplitude absoluta e frequência de pico alfa individual) no desempenho da habilidade de controle inibitório por meio da tarefa experimental Go/NoGo, tendo a hipótese de que diferenças individuais de tempo de reação podem ter associação com alterações na velocidade de integração das informações tálamo-corticais e que esta relação pode ser mensurada através das características da banda alfa.

Método

Participantes

A amostra deste experimento foi composta por 19 voluntários (9 homens e 10 mulheres) destros com idade entre 18 e 24 anos ($M= 21,21$ $DP= 1,77$ anos). Para a inclusão da amostra, optou-se pelos seguintes critérios: a) Ter visão normal ou corrigida por lentes; b) Preencher as o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) afirmando estar participando da pesquisa voluntariamente antes do procedimento experimental. Os critérios de exclusão da amostra foram informados aos indivíduos através de uma carta 48h antes da pesquisa, contendo os seguintes requisitos: a) ter histórico de abuso de drogas ou uso contínuo de

medicamentos psicoativos; b) possuir distúrbios neurológicos ou psicológicos diagnosticados; c) ingerir de cafeína, bebidas energéticas, cigarro, bebidas alcoólicas 24h antes do experimento; d) ser praticantes de atividade física ou meditação regular; e) praticar exercício físico intenso 24h antes do experimento; f) ter restrição ou privação de sono na noite anterior foram excluídos da amostra. Todos os critérios de exclusão foram averiguados por meio da confirmação oral do participante seguindo um roteiro de questões padronizado antes do início do experimento, sendo que não foi excluído nenhum indivíduo da amostra. Este estudo foi realizado após a aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH), sob parecer número CAAE: 44053615.4.0000.0121.

Tarefa cognitiva

A tarefa utilizada foi programada no *software* PsyTask®, baseando-se no paradigma Go/NoGo (Brücke et al., 2013) contendo 250 tentativas. Previamente a apresentação do estímulo era apresentado uma cruz de fixação (200ms) seguido de um tempo de espera fixo (800ms) até a apresentação do estímulo (200ms). O intervalo de resposta após o estímulo (800ms) era apresentado após o estímulo, fechando o bloco para início de uma nova tentativa.

A apresentação dos tipos de estímulos era pseudoaleatória, sendo 20% compostos de estímulos alvo e 80% estímulos não-alvo. O estímulo alvo era representado por um círculo verde, o não-alvo vermelho, ambos com 2cm, posicionados no centro da tela. Para responder a tarefa o participante deveria apertar o botão esquerdo do mouse durante a apresentação dos estímulos alvo (círculo verde) e o botão direito para os estímulos não-alvo (círculo vermelho).

Registro de EEG

O registro de EEG foi realizado com um amplificador da marca Mitsar®, utilizando 19 canais, através da touca EEGCap (sistema internacional 10-20, com exceção do canal Oz). Todos os eletrodos tiveram referência biauricular. Foi realizado o registro do eletrooculograma (EOG) com derivação bipolar no olho esquerdo. A impedância dos eletrodos não ultrapassou 10k Ω . A taxa de amostragem foi de 500Hz e durante o registro foi utilizado o filtro passa banda de 0,1Hz a 100Hz e o filtro *notch* (60Hz).

Procedimento

A coleta de dados ocorreu em um ambiente iluminado artificialmente, silencioso e aterrado, sempre no período da tarde sem ultrapassar às 18h. Após a assinatura do TCLE, o indivíduo era posicionado em uma cadeira em frente ao monitor LCD de 21" com aproximadamente 90cm de distância da tela para dar início da preparação do EEG. Realizou-se o registro de EEG em repouso (olhos abertos) com cinco minutos de duração, então era realizado o período de habituação da tarefa contendo 50 tentativas seguido do

início do experimento (250 tentativas) caso não houvesse dúvidas por parte do participante.

Análise de dados

As variáveis de desempenho cognitivo fornecidas pelo PsyTask® foram as seguintes: a) Tempo de Reação do Estímulo Alvo (TR EA); b) Tempo de Reação do Estímulo Não-Alvo (TR ENA); c) Número de Erros por Omissão (EO); d) Número de Erros por Comissão (EC) e Tempo de Discriminação (TD) (calculado pela diferença entre TR EA e TR ENA). Para o cálculo do TR EA e TR ENA foram consideradas apenas as respostas corretas entre o intervalo de 200 e 800ms após a apresentação dos estímulos.

Os dados obtidos pelo EEG foram analisados pelo *software* WINEEG®, sendo submetidos a um filtro off-line passa banda de 0,5-50Hz, tendo os artefatos de movimento ocular e muscular corrigidos através do método de análise de componente independente (Jung et al., 2000). Para a análise, foram utilizados os dados do EEG em repouso e durante a realização da tarefa. A extração do Frequência de Pico Alfa individual (FPA) (frequência com maior amplitude dentro da banda alfa) e da Amplitude da Frequência Alfa (AFA) (amplitude absoluta calculada pela área sob a curva da banda alfa mensurada em microvolts) foi realizada pela Transformada Rápida de *Fourier*, utilizando-se a janela *Hanning* com *overlapping* de 50% em *epochs* de 1 segundo na faixa de frequência de 8 a 12Hz.

Análise estatística

As informações sobre as características da banda alfa (FPA e AFA) e as variáveis de desempenho cognitivo (TR EA, TR ENA, EO, EC e TD) foram submetidas à correlação de *Pearson*, pois as medidas apresentaram distribuição paramétrica (averiguada através dos valores de *Skewness* e *Kurtosis* entre -1 e 1 e o valor de $p > 0,05$ do teste de *Shapiro-Wilk*), no *software* *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) versão 22.0, atribuindo-se um intervalo de confiança de 95%.

Resultados

O resultado da correlação de *Pearson* entre a frequência de pico alfa individual obtida durante o EEG em repouso e os indicadores de desempenho na tarefa (Tabela 01) apresentaram coeficientes de correlação moderados de polaridade negativa, com valores de r entre -0,49 e -0,66, $p < 0,05$, sugerindo que o aumento da FPA se relaciona com respostas mais eficientes. Não foram observados resultados significativos nesta análise utilizando-se os valores de amplitude absoluta da frequência alfa e as variáveis de desempenho.

A frequência de pico alfa individual apresentou coeficientes moderados e negativos com o TR EA, com valores de r entre -0,55 e -0,66, $p < 0,05$ nas regiões Fp2, F7, E3 e F8. Resultado semelhante foi observado na relação desta variável eletrofisiológica com o tempo de discriminação, obtendo-se coeficientes de correlação moderados de

polaridade negativa com valores de r entre -0,49 e -0,64, $p < 0,05$, nas regiões F3, Fz, F4 e F8. O resultado da correlação da frequência de pico alfa individual também

apresentou relação negativa e moderada com a frequência de erros por omissão, $r = -0,51, p < 0,05$.

Tabela 1. Resultados da correlação entre a os índices da banda alfa e os dados de desempenho cognitivo

EEG em Repouso				
Indicador	Eletrodo	Variável de Desempenho	r	p
FPA	Fp2	TR EA	-0,57	0,012
	F7		-0,50	0,033
	F3		-0,66	0,003
	F8	TD	-0,55	0,016
	F3		-0,57	0,012
	Fz		-0,64	0,004
	F4	OE	-0,53	0,021
	F8		-0,49	0,036
	O1		-0,51	0,030
Durante a tarefa				
AFA	F3	TE EA	0,59	0,009
	Fz		0,53	0,021
	T3		0,60	0,008
	C3		0,55	0,017
	Cz	TR ENA	0,49	0,037
	P7		0,62	0,005
	Pz		0,57	0,012
	P8		0,65	0,003
	F3	OE	0,72	0,001
	T3		0,58	0,011
	C3		0,58	0,010
	P7		0,68	0,002
	P7		0,53	0,021
	P8		0,61	0,002
	P8		0,52	0,025
	P8		0,52	0,025

Nota. (TR EA) Tempo de Reação do Estímulo Alvo; (TR ENA) Tempo de Reação do Estímulo Não-Alvo; (TD) Tempo de Discriminação; (OE) Número de Erros por Omissão; (FPA) Frequência de Pico Alfa individual; (AFA) Amplitude da Frequência Alfa Absoluta.

A análise de correlação da frequência de pico alfa individual obtida durante a realização da tarefa e os indicadores de desempenho cognitivo não apresentaram coeficientes de correlação significativos. Os resultados da correlação entre a amplitude da frequência alfa durante a realização da tarefa e as variáveis de desempenho cognitivo apresentaram correlações moderadas de polaridade positiva com valores de r entre 0,49 e 0,72, $p < 0,05$. Estes resultados sugerem que um aumento da amplitude desta faixa de frequência durante a realização da tarefa possui uma associação com respostas com tempo de reação e número de erros maior. Os coeficientes de correlação apresentaram valores moderados e positivos com valores de r entre 0,55 e 0,65,

$p < 0,05$, para os dados da relação tempo de reação desviante e amplitude da banda alfa durante a realização da tarefa nas regiões F3, Fz, T3, C3, Cz, T7, Pz, T8. Resultado semelhante foi observado para a análise utilizando variável de tempo de reação padrão e a amplitude alfa, em que se observou relações moderadas e positivas com valores de r entre 0,53 e 0,72, $p < 0,05$ nos eletrodos F3, T3, C3, T7, Cz, T8. Também se encontrou correlação moderada de polaridade positiva para a variável OE, $r = 0,52, p = 0,025$, e a amplitude da frequência alfa. A visualização da distribuição topográfica dos valores de p (Figura 01) sugerem a predominância de coeficientes de correlação significativos nos eletrodos posicionados na região esquerda do escalpo.

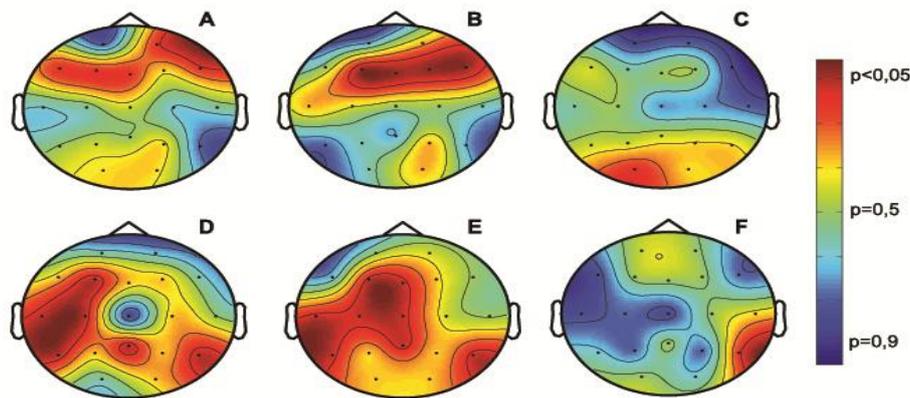


Figura 1. Distribuição topográfica dos valores de p resultantes da correlação de Pearson entre as variáveis de desempenho cognitivo e os indicadores da frequência alfa

Nota. (A) Correlação entre TR EA e FPA durante o EEG em Repouso; (B) Correlação entre TD e FPA durante o EEG em Repouso; (C) Correlação entre OE e FPA durante o EEG em Repouso; (D) Correlação entre TR EA e Amplitude da Frequência Alfa durante a tarefa; (E) Correlação entre TR ENA e Amplitude da Frequência Alfa durante a tarefa; (F) Correlação entre OE e Amplitude da Frequência Alfa durante a tarefa.

Discussão

Este estudo encontrou correlações entre características da banda alfa e diferenças individuais de tempo de reação em uma tarefa de controle inibitório. A frequência de pico alfa individual durante o registro em repouso, predominantemente na região frontal (Figura 01), apresentou correlações negativas do TR EA, TD e OE. Os resultados da correlação com os dados extraídos durante a realização da tarefa sugerem que a amplitude absoluta desta banda apresenta correlações positivas com TR EA, TR ENA e OE, com ênfase nos eletrodos posicionados na região esquerda.

Assim como neste experimento, a frequência de pico alfa individual em repouso foi investigada no experimento de Jin, O'Halloran, Plon, Sandman e Potkin (2006) que encontrou relações entre a FPA e o desempenho na tarefa de tempo de reação simples, sugerindo que indivíduos que apresentaram frequências mais elevadas tiveram seu tempo de reação médio mais rápido. Resultados semelhantes foram observados no estudo de Mierau et al. (2016) em que indivíduos com tempo de reação mais rápidos apresentaram FPA mais elevadas, suportando a relação entre a frequência de pico alfa e velocidade de resposta.

Apesar de ser um paradigma de dificuldade mais elevada do que o tempo de reação simples, a relação entre a velocidade da resposta e a frequência de pico alfa também foi observada no paradigma Go/NoGo utilizado neste experimento. Os resultados deste experimento corroboram com os resultados previamente reportados na literatura sugerindo que indivíduos com FPA mais elevado apresentam tempo de reação mais rápido e que esta relação pode ser aplicada na avaliação de controle inibitório por meio do paradigma Go/NoGo.

Assim como neste trabalho, outros pesquisadores reportaram relações entre a banda alfa e medidas de desempenho cognitivo (Doppelmayr, Klimesch, Stadler, Po &

Heine, 2002; Ergenoglu et al., 2004; Fellingner et al., 2012). Estas e outras pesquisas (Cao et al., 2015; Hanslmayr et al., 2005; Klimesch et al., 1993; Klimesch, 1999; Klimesch et al., 1998) sustentam a hipótese de que esta banda possui sensibilidade para mensurar diferenças individuais de desempenho cognitivo (Grabner et al., 2004; Klimesch, 1999), bem como diferentes níveis de esforço mental durante a execução de uma tarefa (Wascher et al., 2014). Assim como a manifestação natural da frequência de pico alfa possui relação com diferenças individuais no tempo de reação, indivíduos que treinaram a produção voluntária deste ritmo, por meio da técnica de Neurofeedback, em faixas de frequência elevadas (10-12Hz) apresentam melhorias em seu desempenho cognitivo (Hanslmayr et al., 2005; Zoefel, Huster & Herrmann, 2011).

Estas evidências suportam a teoria que da influência das oscilações alfa na integração de informação e controle *top-down*, por meio do fornecimento de quadros temporais para interações neurais através do tempo de inibição funcional (Bazanov & Vernon, 2014; Fellingner et al., 2012). Sendo assim, a frequência de pico alfa indica a velocidade de abertura e fechamento dos canais de transferência de informação, indicando que um ritmo mais rápido permite uma integração mais eficiente desse processo (Grandy et al., 2013).

Sobre a predominância dos coeficientes de correlação significativo estarem presentes predominantemente nos eletrodos posicionados na região frontal, especula-se que tenha relação com a habilidade de controle inibitório fazer parte das funções executivas (Enriquez-Geppert, Huster & Herrmann, 2013; Kaiser et al., 2003). Como estas funções estão associadas ao funcionamento do córtex frontal (Alvarez & Emory, 2006; Uehara, Charchat-fichman & Landeira-fernandez, 2013) um aumento na velocidade de passagem de informação sensorial observado nesta região influenciaria na

velocidade da resposta comportamental do paradigma Go/NoGo.

Esta hipótese é compreendida através do modelo de propagação de sinal elétrico de massa neural, que sugere que o ritmo da oscilação de frequência do EEG pode ser influenciado pela força da conectividade local e pela velocidade de propagação de sinal entre duas áreas corticais (Sotero & Trujillo-barreto, 2007). Sendo assim, frequências de pico com ritmos elevados resultam em uma rápida propagação de sinal entre regiões, indicando uma troca eficiente de informações (Grandy et al., 2013). Os dados reportados neste estudo podem ser corroborados por meio deste modelo já que se encontrou uma relação entre frequência dominante alfa e tempo de reação na região frontal, sugerindo que a velocidade de propagação de informação entre o tálamo e o córtex frontal contribui significativamente para respostas mais rápidas em um paradigma de controle inibitório.

Em relação aos dados sobre a amplitude da banda alfa reportados nesta pesquisa, um experimento realizado por Kirschfeld (2008) mensurou o EEG de 15 participantes durante a realização de uma tarefa de tempo de reação, em que observou-se que indivíduos que apresentaram a supressão da amplitude do ritmo alfa durante a tarefa tiveram tempo de reação mais rápidos. Assim como neste estudo, outros pesquisadores também encontraram relações entre o aumento da amplitude alfa com um prejuízo no tempo de reação (Fellinger et al., 2012; Gruber et al., 2014). Estes achados corroboram os resultados apresentado neste trabalho que sugerem uma relação entre aumento na amplitude do ritmo alfa e um aumento no tempo de reação durante a realização do paradigma Go/NoGo.

Alguns pesquisadores propõem que este aumento observado na amplitude do ritmo alfa reflete a desativação da região em que este evento é observado (Bazanov & Vernon, 2014; Oken, Salinsky & Elsas, 2006). Neste caso, a relação entre o aumento da amplitude e o aumento no tempo de reação observados neste experimento corroboram os modelos de esforço cognitivo que sugerem que a supressão da banda alfa durante a realização de uma tarefa cognitiva está relacionada com um aumento de esforço cognitivo necessário para resolver o problema (Neubauer, Fink & Grabner, 2006). Sendo assim, o aumento na amplitude alfa durante a resolução de um paradigma cognitivo, pode sugerir o desengajamento da região para a resolução de uma demanda cognitiva, que neste caso reflete em um tempo de reação mais lento.

A lateralidade do aumento na amplitude alfa observada no experimento, predominantemente no hemisfério esquerdo, vai ao encontro de pesquisas na área de desempenho cognitivo e EEG as quais encontram relação entre a distribuição lateralizada de alfa no hemisfério esquerdo possui relação negativa com indicadores de desempenho cognitivo (Thatcher, North & Biver, 2005). Através dos dados reportados neste experimento, indivíduos que apresentaram maiores amplitudes de alfa no hemisfério esquerdo durante a realização da tarefa Go/NoGo também apresentaram prejuízo no desempenho cognitivo, observado através do atraso no tempo de reação.

Em relação aos resultados da correlação entre os erros por omissão e a amplitude (P8) e frequência de pico alfa individual (O1) observados neste experimento, não foram encontradas pesquisas na literatura científica que sustentem estes resultados. Devido à ocorrência deste resultado se restringir a um único eletrodo de maneira isolada, fomenta-se hipótese de que para este contexto experimental o resultado não deve ser considerado significativo. Para tal afirmação seria necessário explorar esta relação por meio do aumento no volume de eletrodos da região para verificar se o dipolo elétrico é replicável para os demais canais de EEG.

Sendo assim, o estudo realizado abre novas perspectivas de pesquisa e aponta uma tendência para a implementação de neurotecnologias no processo de avaliação neuropsicológica, propondo um aprofundamento na relação entre métodos de avaliação baseada em marcadores biológicos e medidas de avaliação psicométricas tradicionalmente utilizadas pela psicologia. Neste sentido, a utilização de tecnologias como o EEG permite a observação do funcionamento cerebral em repouso e durante a execução de tarefas cognitivas, fazendo com que as diversas circuitarias neuronais requerentes para a execução da tarefa sejam observadas em tempo real. Esta fonte de informações permite uma compreensão aprofundada sobre a etiologia do déficit cognitivo observado através do escore psicométrico, tornando a comparação entre o funcionamento cerebral e os escores comportamentais ideal para um processo de avaliação neuropsicológico completo.

Outra contribuição importante relaciona-se ao processo de adaptação de protocolos de avaliação para pacientes com morbidades motoras ou vocais, já que estas características são indispensáveis execução dos testes psicométricos tradicionais. Paradigmas como o Go/NoGo podem ser adaptados para a aplicação sem a necessidade de resposta motora (em que o paciente apenas contabiliza mentalmente o número de vezes que percebe o estímulo alvo), os estímulos podem ser de categoria sonora, tátil ou visual, bem como o número de eletrodos mensurados pode ser reduzido de acordo com a região de interesse, sugerindo uma alta adaptabilidade do protocolo para atender características específicas de cada indivíduo (Luck, 2014). Portanto, esta ferramenta possibilita a otimização o processo de avaliação de processos cognitivos em indivíduos que não possuem as condições ideais para a resolução dos testes seguindo os requerimentos exigidos.

Algumas limitações deste estudo devem ser destacadas. Primeiramente, a utilização de apenas um paradigma de avaliação cognitiva não permitiu um aprofundamento sobre a hipótese sobre a especificidade da frequência dominante estar relacionada região frontal, caso fossem comparadas tarefas cognitivas de diferentes constructos psicológicos poderíamos aprofundar este modelo verificando se diferentes constructos apresentariam esta relação em diferentes regiões. Outra limitação relaciona-se com o tamanho da amostra do experimento que não permitiu verificar a sensibilidade das características da banda alfa para diferentes características sociodemográficas, em razão à impossibilidade de formar grupos com um número de participantes significativo.

A utilização de tecnologias como o EEG durante o processo de avaliação neuropsicológica pode ser uma ferramenta viável para a implementação em consultórios devido ao seu baixo custo comparado a outras tecnologias de monitoramento cerebral, alta portabilidade, caráter não-invasivo e principalmente pela relevância dos dados fornecidos pela ferramenta. Por ser um exame popularmente realizado em ambientes hospitalares (para investigações de diagnósticos relacionados a epilepsia por exemplo) a inserção do neuropsicólogo em uma equipe de neurologia interdisciplinar permite que sejam extraídas informações a respeito do funcionamento cognitivo do indivíduo a partir de um exame de rotina, sendo necessário apenas uma análise diferente. Adiciona-se, ainda, o menor custo deste exame complementar para os contextos de saúde pública de serviços latino-americanos quando comparados a outros métodos de imagem cerebral.

Sendo assim, a popularização de métodos como este entre neuropsicólogos permite um aprimoramento no processo de generalização dos dados, pois protocolos como o Go/NoGo não necessitam de validação cultural e os dados de atividade elétrica cerebral são consideradas medidas endofenotípicas (Loo et al., 2016; McLoughlin et al., 2014). Em um futuro próximo, o acúmulo de dados gerados por grupos de pesquisa pode gerar uma rede de colaboração para desenvolver um banco de dados aberto para catalisar a transferência deste tipo de método da área *stricto sensu* aos neuropsicólogos *lato sensu*. Futuros estudos podem explorar o potencial da banda alfa como biomarcador de desempenho cognitivo, sugere-se a realização de investigações com o foco na exploração dos efeitos de estados psicológicos (como estado de humor, bem-estar psicológico ou níveis de ansiedade) na relação entre banda alfa e tempo de reação a fim de verificar a estabilidade deste biomarcador para quantificar habilidades cognitivas de um indivíduo.

Considerações finais

Os resultados deste estudo sustentam a hipótese de que a faixa de frequência alfa possui relação com o desempenho cognitivo e que esta relação é aplicada durante a avaliação da habilidade de controle inibitório, com ênfase na velocidade de processamento de estímulos. Embora tenha relação com o desempenho, para respostas eficientes, esta faixa deve atuar de maneira particular em cada período da tarefa. Durante o registro de EEG em repouso a frequência de pico alfa individual da região frontal apresentou correlações negativas com o tempo de reação. Na execução da tarefa, indivíduos que apresentaram maiores amplitudes nos eletrodos posicionados no hemisfério esquerdo exibiram maiores tempos de reação.

Desta forma, este trabalho fomenta a utilização de tecnologias de mapeamento cerebral, com ênfase no EEG devido à sua praticidade, baixo custo e alta resolução temporal, como ferramentas complementares ao processo de avaliação neuropsicológica. A compreensão de processos fisiológicos durante a exibição do desempenho prejudicado fornece insights sobre possíveis etiologias relacionadas ao prejuízo cognitivo observado em determinados quadros

clínicos. Esta compreensão também colabora no delineamento de planejamentos terapêuticos de reabilitação cognitiva, em que a estratégia para aprimoramento da habilidade de controle inibitório pode ser escolhida conforme as alterações fisiológicas particulares de cada indivíduo.

Referências

- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71–82. <http://dx.doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, 16(1), 17–42. <http://dx.doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Bajiot, S., Deconinck, N., Slama, H., Massat, I., & Colin, C. (2013). Behavioral and neurophysiological study of attentional and inhibitory processes in ADHD-combined and control children. *Acta Neurologica Belgica*, 113(4), 477–485. <http://dx.doi.org/10.1007/s13760-013-0219-1>
- Baumeister, S., Hohmann, S., Wolf, I., Plichta, M., Rechtsteiner, S., Zangl, M., Ruf, M., Holz, N., Boecker, R., Meyer-Lindenberg, A., Holtmann, M., Laucht, M., Banaschewski, T., & Brandeis, D. (2014). Sequential inhibitory control processes assessed through simultaneous EEG–fMRI. *Neuroimage*, 94, 349–359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.01.023>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Barry, R. J., Clarke, A. R., Johnstone, S. J., & Brown, C. R. (2007). EEG differences in children between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical Neurophysiology*, 120(10), 1806–1811. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2009.08.006>
- Başar, E. (2012). A review of alpha activity in integrative brain function: Fundamental physiology, sensory coding, cognition and pathology. *International Journal of Psychophysiology*, 86(1), 1–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.07.002>
- Basten, U., Stelzel, C., & Fiebach, C. J. (2011). Trait anxiety modulates the neural efficiency of inhibitory control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(10), 3132–3145. http://dx.doi.org/10.1162/jocn_a_00003
- Bazanov, O. M., & Vernon, D. (2014). Interpreting EEG alpha activity. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 94–110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007>
- Berggren, N., Richards, A., Taylor, J., & Derakshan, N. (2013). Affective attention under cognitive load: reduced emotional biases but emergent anxiety-related costs to inhibitory control. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1–7. <http://doi.org/secure.sci->

- hub.bz/10.3389/fnhum.2013.00188
- Bioulac, S., Sagaspe, P., Micoulaud-Franchi, J. A., Altena, E., Taillard, J., Schröder, C., Bouvard, M., Fabrigoule, C., & Philip, C. (2016). Objective level of alertness and inhibitory control predict highway driving impairment in adults with ADHD. *Journal of attention disorders*, 20, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1177/1087054716633751>
- Blokland, A., Prickaerts, J., Van Duinen, M., & Sambeth, A. (2015). The use of EEG parameters as predictors of drug effects on cognition. *European Journal of Pharmacology*, 759, 163-168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.03.031>
- Bokura, H., Yamaguchi, S., & Kobayashi, S. (2001). Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/NoGo task. *Clinical Neurophysiology*, 112(12), 2224-2232. [http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457\(01\)00691-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1388-2457(01)00691-5)
- Brücke, C., Bock, A., Huebl, J., Krauss, J. K., Schönecker, T., Schneider, G. H., Brown, P., & Kühn, A. A. (2013). Thalamic gamma oscillations correlate with reaction time in a Go/NoGo task in patients with essential tremor. *NeuroImage*, 75, 36-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.02.038>
- Cao, Z., Li, Y., Hitchman, G., Qiu, J., & Zhang, Q. (2015). Neural correlates underlying insight problem solving: Evidence from EEG alpha oscillations. *Experimental Brain Research*, 233(9), 2497-2506. <http://dx.doi.org/10.1007/s00221-015-4338-1>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Doppelmayr, M., Klimesch, W., Stadler, W., Po, D., & Heine, C. (2002). EEG alpha power and intelligence. *Intelligence*, 30, 289-302. [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00101-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00101-5)
- Enriquez-Geppert, S., Huster, R. J., & Herrmann, C. S. (2013). Boosting brain functions: Improving executive functions with behavioral training, neurostimulation, and neurofeedback. *International Journal of Psychophysiology*, 88(1), 1-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.02.001>
- Epstein, J. N., Johnson, D. E., Varia, I. M., & Conners, C. K. (2001). Neuropsychological assessment of response inhibition in adults with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23(3), 362-371. <http://dx.doi.org/10.1076/j.cen.23.3.362.1186>
- Ergenoglu, T., Demiralp, T., Bayraktaroglu, Z., Ergen, M., Beydagi, H., & Uresin, Y. (2004). Alpha rhythm of the EEG modulates visual detection performance in humans. *Cognitive Brain Research*, 20(3), 376-383. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.03.009>
- Fellinger, R., Gruber, W., Zauner, A., Freunberger, R., & Klimesch, W. (2012). Evoked traveling alpha waves predict visual-semantic categorization-speed. *NeuroImage*, 59(4), 3379-3388. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.010>
- Ferrazzoli, D., Albanese, M., Sica, F., Romigi, A., Sancesario, G., Marciani, M., Mercuri, N., Izzi, F., & Placidi, F. (2013). Electroencephalography and Dementia: A Literature Review and Future Perspectives. *CNS & Neurological Disorders - Drug Targets*, 12(4), 512-519. <https://doi.org/10.2174/18715273113129990063>
- Goldman, R. I., Stern, J. M., Engel, J., & Cohen, M. S. (2002). Simultaneous EEG and fMRI of the alpha rhythm. *Neuroreport*, 13(18), 2487-92. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000047685.08940.d0>
- Goodman, R. N., Rietschel, J. C., Lo, L. C., Costanzo, M. E., & Hatfield, B. D. (2013). Stress, emotion regulation and cognitive performance: The predictive contributions of trait and state relative frontal EEG alpha asymmetry. *International Journal of Psychophysiology*, 87(2), 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.09.008>
- Grabner, R. H., Fink, a., Stipacek, a., Neuper, C., & Neubauer, a. C. (2004). Intelligence and working memory systems: Evidence of neural efficiency in alpha band ERD. *Cognitive Brain Research*, 20(2), 212-225. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.02.010>
- Grandy, T. H., Werkle-Bergner, M., Chicherio, C., Lövdén, M., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2013). Individual alpha peak frequency is related to latent factors of general cognitive abilities. *NeuroImage*, 79, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.059>
- Grane, V. A., Endestad, T., Pinto, A. F., & Solbakk, A.-K. (2014). Attentional control and subjective executive function in treatment-naive adults with attention deficit hyperactivity disorder. *PloS One*, 9(12), e115227. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115227>
- Gruber, W. R., Zauner, A., Lechinger, J., Schabus, M., Kutil, R., & Klimesch, W. (2014). Alpha phase, temporal attention, and the generation of early event related potentials. *NeuroImage*, 103, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.08.055>
- Hanslmayr, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M., & Klimesch, W. (2005). Increasing Individual Upper Alpha Power by Neurofeedback Improves Cognitive Performance in Human Subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10484-005-2169-8>
- Jin, Y., O'Halloran, J. P., Plon, L., Sandman, C. a, & Potkin, S. G. (2006). Alpha EEG predicts visual reaction time. *The International Journal of Neuroscience*, 116(9), 1035-44. <https://doi.org/10.1080/00207450600553232>
- Jung, T. P., Makeig, S., Humphries, C., Lee, T. W., McKeown, M. J., Iragui, V., & Sejnowski, T. J. (2000). Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology*, 37(2), 163-178. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3720163>
- Kaiser, A. K., Doppelmayr, M., & Iglseider, B. (2016).

- Electroencephalogram alpha asymmetry in geriatric depression. *Zeitschrift Für Gerontologie Und Geriatrie*, 1-6. <https://doi.org/10.1007/s00391-016-1108-z>
- Kaiser, S., Unger, J., Kiefer, M., Markela, J., Mundt, C., & Weisbrod, M. (2003). Executive control deficit in depression: Event-related potentials in a Go/Nogo task. *Psychiatry Research - Neuroimaging*, 122(3), 169–184. [https://doi.org/10.1016/S0925-4927\(03\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0925-4927(03)00004-0)
- Kirschfeld, K. (2008). Relationship between the amplitude of a waves and reaction time. *Neurophysiology, Basic and Clinical*, 19(9), 7–10. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328302c545>
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–95. [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
- Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 606–617. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T., & Schwaiger, J. (1998). Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters*, 244(2), 73–6. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3940\(98\)00122-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00122-0)
- Klimesch, W., Schimke, H., & Pfurtscheller, G. (1993). Alpha frequency, cognitive load and memory performance. *Brain Topography*, 5(3), 241–251. <https://doi.org/10.1007/BF01128991>
- Krakowski, M. I., De Sanctis, P., Foxe, J. J., Hoptman, M. J., Nolan, K., Kamiel, S., & Czobor, P. (2016). Disturbances in Response Inhibition and Emotional Processing as Potential Pathways to Violence in Schizophrenia: A High-Density Event-Related Potential Study. *Schizophrenia bulletin*, 42(4), 963–974. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbw005>
- Loo, S. K., Lenartowicz, A., & Makeig, S. (2016). Research Review: Use of EEG biomarkers in child psychiatry research – current state and future directions. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 51(1):4-17. <http://dx.doi.org/10.1111/jcpp.12435>
- Luck, S. (2a Ed.). (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. United States: Mit Press.
- Mease, R. a, Krieger, P., & Groh, A. (2014). Cortical control of adaptation and sensory relay mode in the thalamus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(18), 6798–803. <https://doi.org/10.1073/pnas.131866511>
- McLoughlin, G., Makeig, S., & Tsuang, M. T. (2014). In Search of Biomarkers in Psychiatry: EEG-Based Measures of Brain Function. *Am. J. Med. Genet.* 165(2):111-121. <http://dx.doi.org/10.1002/ajmg.b.32208>
- Menon, V., Adleman, N. E., White, C. D., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2001). Error-related brain activation during a Go/NoGo response inhibition task. *Human brain mapping*, 12(3), 131-143. [https://doi.org/10.1002/1097-0193\(200103\)12:3<131::AID-HBM1010>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1097-0193(200103)12:3<131::AID-HBM1010>3.0.CO;2-C)
- Mierau, A., Felsch, M., Hülsdünker, T., Mierau, J., Bullermann, P., Weiß, B., & Strüder, H. K. (2016). The interrelation between sensorimotor abilities, cognitive performance and individual EEG alpha peak frequency in young children. *Clinical Neurophysiology*, 127(1), 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.03.008>
- Moosmann, M., Ritter, P., Krastel, I., Brink, A., Thees, S., Blankenburg, F., Taskin, B., Obrig, H., & Villringer, A. (2003). Correlates of alpha rhythm in functional magnetic resonance imaging and near infrared spectroscopy. *NeuroImage*, 20(1), 145–158. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00344-6](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00344-6)
- Morein-Zamir, S., Pappmeyer, M., Gillan, C. M., Crockett, M. J., Fineberg, N. A., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2013). Punishment promotes response control deficits in obsessive-compulsive disorder: evidence from a motivational go/no-go task. *Psychological medicine*, 43(02), 391-400. <https://doi.org/10.1017/S0033291712001018>
- Neubauer, A. C., Fink, A., & Grabner, R. H. (2006). Chapter 11 Sensitivity of alpha band ERD to individual differences in cognition. *Progress in Brain Research*, 159(6), 167–178. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)59011-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)59011-9)
- Oken, B. S., Salinsky, M. C., & Elsas, S. M. (2006). Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement. *Clinical Neurophysiology*, 117(9), 1885–1901. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.01.017>
- Omata, K., Hanakawa, T., Morimoto, M., & Honda, M. (2013). Spontaneous Slow Fluctuation of EEG Alpha Rhythm Reflects Activity in Deep-Brain Structures: A Simultaneous EEG-fMRI Study. *PLoS ONE*, 8(6), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066869>
- Pliszka, S. R., Liotti, M., & Woldorff, M. G. (2000). Inhibitory control in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: event-related potentials identify the processing component and timing of an impaired right-frontal response-inhibition mechanism. *Biological psychiatry*, 48(3), 238-246. [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3223\(00\)00890-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3223(00)00890-8)
- Schachar, R., Mota, V. L., Logan, G. D., Tannock, R., & Klim, P. (2000). Confirmation of an inhibitory control deficit in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of abnormal child psychology*, 28(3), 227-235. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1005140103162>
- Sotero, R. C., & Trujillo-barreto, N. J. (2007). Realistically Coupled Neural Mass Models Can Generate EEG Rhythms. *Neural Computation*, 19, 478–512. <http://dx.doi.org/10.1162/neco.2007.19.2.478>
- Stewart, J. L., Coan, J. A., Towers, D. N., & Allen, J. J. B. (2014). Resting and task-elicited prefrontal EEG

- alpha asymmetry in depression: Support for the capability model. *Psychophysiology*, *51*(5), 446–455. <https://doi.org/10.1111/psyp.12191>
- Swick, D., Ashley, V., & Turken, U. (2011). Are the neural correlates of stopping and not going identical? Quantitative meta-analysis of two response inhibition tasks. *Neuroimage*, *56*(3), 1655–1665. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.070>
- Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement Science Review*, *2*, 1–11.
- Thakkar, K. N., Schall, J. D., Logan, G. D., & Park, S. (2015). Cognitive control of gaze in bipolar disorder and schizophrenia. *Psychiatry research*, *225*(3), 254–262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychres.2014.12.033>
- Thatcher, R. W., North, D., & Biver, C. (2005). EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clinical Neurophysiology*, *116*(9), 2129–2141. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.04.026>
- Thomas, S. J., Gonsalvez, C. J., & Johnstone, S. J. (2014). How specific are inhibitory deficits to obsessive-compulsive disorder? A neurophysiological comparison with panic disorder. *Clinical Neurophysiology*, *125*(3), 463–475. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2013.08.018>
- Uehara, E., Charchat-fichman, H., & Landeira-fernandez, J. (2013). Funções executivas: Um retrato integrativo dos principais modelos e teorias desse conceito. *Revista Neuropsicologia Latinoamericana*, *5*(3), 25–37. <https://doi.org/10.5579/rnl.2013.145>
- Wascher, E., Rasch, B., Sängler, J., Hoffmann, S., Schneider, D., Rinkenauer, G., Heuer, H., & Guterlet, I. (2014). Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biological Psychology*, *96*(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.010>
- Wen, D., Zhou, Y., & Li, X. (2015). A critical review: Coupling and synchronization analysis methods of EEG signal with mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *7*, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00054>
- White, L. K., McDermott, J. M., Degnan, K. A., Henderson, H. A., & Fox, N. A. (2011). Behavioral inhibition and anxiety: The moderating roles of inhibitory control and attention shifting. *Journal of abnormal child psychology*, *39*(5), 735–747. <https://doi.org/10.1007/s10802-011-9490-x>
- Zhan, Z., Xu, L., Zuo, T., Xie, D., Zhang, J., Yao, L., & Wu, X. (2014). The contribution of different frequency bands of fMRI data to the correlation with EEG alpha rhythm. *Brain Research*, *1543*, 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.11.016>
- Zoefel, B., Huster, R. J., & Herrmann, C. S. (2011). Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance. *NeuroImage*, *54*(2), 1427–1431. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.08.078>