

Análise da potência absoluta na banda gama no córtex pré-frontal após diagonal de membro superior

Analysis of absolute power in the gamma band in the prefrontal cortex after upper limb diagonal

Alice Aragão de Araújo¹, Janaína de Moraes Silva², Tassiane Maria Alves Pereira³, Rayele Moreira⁴, Monara Nunes⁴, Kaline Rocha⁴, Silmar Silva Teixeira⁵, Marco Orsini⁶, Adalgiza Mafra Moreno⁷, Aluana Santana Carlos⁷; Pedro Ribeiro⁸, Bruna Velasques⁸, Victor Hugo Bastos⁹; Eduardo Jorge Custódio da Silva¹⁰, Ulisses Cerqueira Linhares¹¹, Rossano Fiorelli¹¹, Maria Izabel Muller¹¹, Giseli Roque de Souza¹¹

1. Fisioterapeuta, Universidade Federal do Piauí (UFPI), Parnaíba-PI, Brasil.
2. Docente, Laboratório de Mapeamento e Plasticidade Cerebral, Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade, UFPI-CMRV-LAMPLACE, Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Teresina-PI, Brasil.
3. Faculdade Maurício de Nassau (UNINASSAU), Teresina-Piauí, Brasil.
4. Fisioterapeuta, Laboratório de Mapeamento e Plasticidade Cerebral, Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade, UFPI-CMRV-LAMPLACE, Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Teresina-PI, Brasil.
5. Laboratório de Mapeamento e Plasticidade Cerebral – UFPI-CMRV-LAMPLACE, Parnaíba-PI, Brasil;
6. Fisioterapeuta, Laboratório de Mapeamento e Plasticidade Cerebral, Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade, UFPI-CMRV-LAMPLACE, Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Teresina-PI, Brasil. Universidade de Vassouras - Mestrado em Ciências Aplicadas em Saúde. Universidade Iguazu – RJ
7. Universidade Iguazu – UNIG – Rio de Janeiro.
8. Docente da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
8. Laboratório de mapeamento cerebral e integração sensório-motora – IPUB/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
9. Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade – UFPI-CMRV-LAMCEF, Parnaíba-PI, Brasil;
10. Hospital Pedro Ernesto – UERJ – Departamento de Neurofisiologia, Brasil.
11. Universidade de Vassouras – Rio de Janeiro – Brasil.

Resumo

No âmbito da fisioterapia, movimentos realizados em diagonal por meio de padrões específicos visam a recuperação funcional dos pacientes. Esses exercícios terapêuticos são utilizados com o intuito de evitar lesões, sendo benéficos nos programas que promovam alongamento e fortalecimento. No entanto, embora movimentos em diagonal sejam bastante utilizados na prática clínica, as repercussões corticais provocadas por esse tipo de movimento ainda são desconhecidas. **Objetivo.** O objetivo deste estudo foi investigar quais as repercussões eletrofisiológicas dos movimentos em diagonal por meio da análise da potência absoluta na banda gama no córtex pré-frontal. **Método.** A amostra foi composta por 20 voluntárias, com idade entre 18 a 28 anos, destros, não praticantes de atividade física e com Índice de Massa Corpórea (IMC) entre 18,50 a 24,99. Foram utilizadas ANOVA mista de um, dois e três fatores seguido do teste de *post hoc*. **Resultados.** Observamos interação entre os fatores grupos, áreas corticais e momentos. **Conclusão.** Concluímos que o treinamento em diagonal promove alterações na atividade cortical uma vez que um aumento da potência absoluta na banda gama no córtex pré-frontal, à medida que o sujeito realizava a tarefa, foi observado.

Unitermos. EEG; Banda Beta; Potência Absoluta

Abstract

Within the physical therapy, movements performed in the diagonal position by specific patterns are used for the functional recovery of patients. These therapeutic

exercises are used in order to avoid injury, being beneficial in programs which promote stretching and strengthening. However, although diagonal movements are widely used in clinical practice, the cortical effects caused by this type of movement, in particular, are still unknown. **Objective.** The objective of this study was to investigate what are the electrophysiological effects of movements in diagonal through the analysis of absolute power in the gamma band in the prefrontal cortex. **Method.** This study had a sample of 20 female volunteers at the age of 18 to 28 years old, right-handed, who do not practice physical activity, and with Body Mass Index (BMI) from 18.50 to 24.99. There were used Analysis of variance (ANOVA) mixed of one-way, two-way or three-way factors followed by the post hoc test. **Results.** We noticed an interaction between the group factors, the cortical areas and the moments. **Conclusion.** We conclude that the diagonal training promotes changes in cortical activity since an increase of the absolute power in the range band in prefrontal cortex, as the subject performed the task was noticed.

Keywords. EEG; Gamma Band; Absolute power

Trabalho realizado Universidade Federal do Piauí (UFPI), Parnaíba-PI, Brasil.

Conflito de interesse: não Recebido em: 2018 Aceito em: 2018

Endereço para correspondência: Janaína M Silva. R. Olavo Bilac, 2335. Centro (Sul). Teresina-PI, Brasil. CEP 64001-280. E-mail: fisiojanainams@gmail.com

INTRODUÇÃO

Movimentos realizados em diagonal são utilizados no âmbito da fisioterapia, para a recuperação funcional dos pacientes e são aplicados principalmente nos programas que visam alongamento e fortalecimento¹⁻⁴. O conceito de tratamento utilizando diagonais destaca que todos os indivíduos, incluindo aqueles com alterações físicas têm um potencial funcional^{5,6} ao envolver a estimulação dos proprioceptores musculares e articulares⁶⁻¹¹. Neste contexto, a tarefa motora promove modulações da atividade cortical, no entanto, embora movimentos em diagonal sejam bastante utilizados na prática clínica e sua repercussão mioelétrica seja elucidada na literatura, as repercussões corticais provocadas por esse tipo de movimento, ainda são desconhecidas¹².

A realização de uma tarefa motora envolve a intenção de realizá-la, a preparação, planejamento e execução real do movimento. Toda essa organização promove modificações nas oscilações corticais que podem ser analisadas com a eletroencefalografia (EEG)¹³. Esta ferramenta é frequentemente usada para o diagnóstico e acompanhamento clínico de demência, epilepsia, distúrbios do sono e outras condições clínicas¹⁴⁻¹⁷. No entanto, no âmbito da fisioterapia, tem sido empregada para avaliar a atividade cortical a fim de compreender o comportamento cortical durante tarefas motoras e cognitivas relacionadas com a reabilitação¹⁸⁻²².

O emprego dos padrões de movimento em diagonal na reabilitação tem sido aplicado com expressivos resultados para retorno da atividade motora e melhorar a sensibilidade após lesão neurológica sucesso. Desse modo, o entendimento que este estudo fornece pode implicar em conhecimentos que otimizem a utilização do tratamento com diagonais de membro superior nas disfunções musculoesqueléticas. Em especial, analisamos a banda gama (40 a 100 Hz) do EEG²³, a qual está relacionada com processo, a memória e integração espacial/temporal^{22,24-27}. Diante disso, o objetivo deste estudo foi investigar quais são as repercussões eletrofisiológicas dos movimentos em diagonal por meio da análise da potência absoluta na banda gama no córtex pré-frontal.

MÉTODO

Estudo do tipo transversal controlado, conduzido no Laboratório de Mapeamento Cerebral e Funcionalidade (LAMCEF) da Universidade Federal do Piauí, Campus de Parnaíba, Piauí, Brasil. A amostra contou com 20 voluntárias, com idade entre 18 a 28 anos, destros²⁸, não praticantes de atividade física²⁹ e com Índice de Massa Corpórea (IMC) entre 18,50 a 24,99; considerado dentro da faixa de normalidade³⁰. A fim de garantir maior homogeneidade da amostra foram selecionados apenas estudantes do sexo feminino, e que não estavam familiarizadas com o princípio básico da Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), que são prioritariamente realizados em diagonal.

Os critérios de exclusão foram doenças musculoesqueléticas ou articulares no membro superior direito, presença de quaisquer patologias cardíacas, pulmonares ou neurológicas. Indivíduos com limitação funcional para realizar movimentos resistidos, amputados e portadores de déficit sensorial ou cognitivo que limitasse a realização do movimento solicitado. No tocante ao EEG, as participantes não poderiam ter feito uso de drogas psicotrópicas ou psicoativas e sono inferior ao período de 6hrs na noite anterior ao experimento. As voluntárias que estavam dentro dos critérios de inclusão e concordaram em participar do experimento foram esclarecidas quanto ao procedimento experimental e confidencialidade da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

(TCLE). O estudo atende às determinações previstas para a pesquisa envolvendo humanos constantes na Declaração de Helsinque e na Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 466/2012 com parecer consubstanciado do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP), número 683.331.

Eletroencefalografia quantitativa

O sinal eletroencefalográfico foi captado com o aparelho BrainNet BNT 36 - EEG (EMSA-Instrumentos Médicos, Brasil). Uma touca elástica, tamanho adulto médio (58-54cm) com eletrodos dispostos segundo o sistema internacional 10-20 e uma cinta elástica para fixação, foi utilizada para a captação, incluindo os eletrodos de referência posicionados nos lóbulos das orelhas (bi-auricular). A sala de captação estava isolada acústica e eletricamente (aterramento adequado) e a impedância da interface pele-eletrodo foi mantida entre 5 e 10 k Ω . Os dados adquiridos tinham amplitude total menor que 100 μ V. O sinal EEG foi filtrado analogicamente entre 0,1 Hz (passa-altas) e 100 Hz (passa-baixas), sendo digitalizado a 400 Hz. Com o *software* de aquisição e controle (desenvolvido em Delphi 5.0), os dados brutos foram ainda filtrados digitalmente: *notch* (60 Hz), passa-altas de 0,3 Hz e passa-baixas de 30 Hz. Os dados foram analisados no *software Matlab* e no programa *EEGlab* que consiste em uma ferramenta interativa para o processamento contínuo de eventos relacionados à EEG e

outros dados eletrofisiológicos, incluindo análise de componentes independentes (ICA)³¹.

Processamento dos dados

Uma inspeção visual e análise de componentes independentes (ACI) foram aplicadas para identificar e remover todos os artefatos remanescentes, ou seja, piscada de olhos e movimentos oculares produzidos pela tarefa^{31,32}. Os dados de eletrodos individuais que exibiram perda de contato com o escalpo ou alta impedância (>10K Ω) não foram considerados. Um estimador clássico foi aplicado para a densidade de potência espectral (DPE), estimada a partir da Transformada de Fourier, que foi realizada pelo *MATLAB R2009b* (Matwords, Inc.).

Procedimento experimental

As participantes foram randomizadas em dois grupos: controle (G1), grupo diagonal de flexão, abdução e rotação externa com extensão de cotovelo, punho e dedos (G2). O movimento partiu de uma flexão de punho e dedos com a mão apoiada na perna contralateral. A tarefa foi executada em nove blocos com nove trilhas e realizada apenas com o membro dominante. Para identificar a dominância da lateralidade manual foi utilizado o inventário de Edimburg²⁸. Os pés dos sujeitos ficaram apoiados no chão e o quadril em flexão de 90°.

As voluntárias receberam instruções prévias de uma avaliadora e foram treinadas para a correta realização da

manobra. De início, o movimento foi demonstrado pela avaliadora, em seguida, foi realizado passivamente (voluntária com o auxílio da avaliadora) e finalmente a voluntária executou o movimento ativamente. Ao perceber que a voluntária compreendeu e executou o movimento corretamente, deu-se início ao procedimento principal.

Ao receber um estímulo visual em um monitor posicionado a 60cm³³, as voluntárias executaram a tarefa solicitada, repetindo-a 81 vezes, divididas em nove blocos, com intervalo de 3 minutos de repouso entre eles. Durante este intervalo foram realizadas as captações eletroencefalográficas (Figura 1).

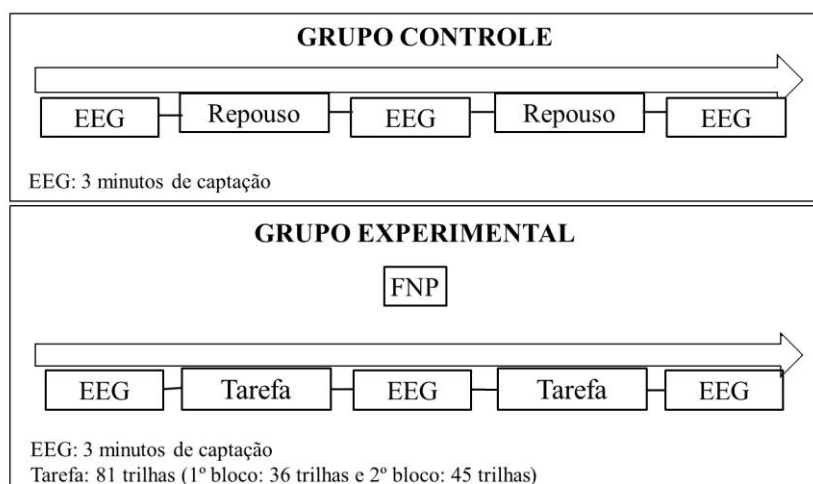


Figura 1. Desenho de Estudo do Procedimento

Análise estatística

O delineamento estatístico permitiu a análise da potência absoluta da banda gama antes, durante e após a

realização das tarefas. As derivações selecionadas foram as relacionadas com o córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo, linha média central e córtex pré-frontal dorsolateral direito (F3, FZ e F4). Assim, uma *Three-way mixed factorial* ANOVA foi realizada para a banda gama com fator intergrupos [Controle, FNP] e com fator intragrupos para área cortical (F3, FZ e F4) e momentos (antes, durante e após a tarefa).

Para avaliar a *Three-way mixed factorial* ANOVA usamos os critérios do teste de Mauchley's que avaliou a hipótese de esfericidade, e o procedimento de Greenhouse-Geisser (G-G ϵ) que corrigiu os graus de liberdade. A normalidade e homocedasticidade dos dados foram previamente verificadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). As interações entre três fatores foram investigadas utilizando uma *two-way* ANOVA de medidas repedidas e uma *one-way* ANOVA de medidas repetidas seguido do teste de *post hoc* realizado com correção de Bonferroni. O tamanho do efeito também foi estimado como Eta parcial ao quadrado (η^2p). A potência estatística e o intervalo de confiança de 95% (IC 95%) foram calculados para as variáveis dependentes. Entretanto, quando uma *one-way* de medidas repetidas foi analisada separadamente para os fatores tempo e momento, foi considerada a significância estatística com um nível alfa-Bonferroni ajustado com $p = 0,025$. A magnitude do efeito foi interpretada utilizando as recomendações sugeridas por Hopkins *et al.* (2009)³⁴: 0.0=trivial; 0.2=pequeno;

0.6=moderado; 1.2=grande; 2.0=muito grande; 4.0=quase perfeita. A probabilidade de 5% para o erro tipo I foi adotada em todas as análises ($p \leq 0,05$). Desse modo, para detectar se houve uma diferença real na população, o poder estatístico foi interpretado em 0,8 a 0,9=alto poder³⁵. As análises foram conduzidas utilizando o software SPSS para Windows versão 20.0 (SPSS Inc., Chicago, II, EUA).

RESULTADOS

Os resultados mostraram interação entre os fatores grupo, área cortical e momento [$F(4,2936)=112,143$; $p < 0,001$; $\eta^2_p=0,133$ e poder=1,00]. Ao analisá-la verificou-se interação entre os fatores área cortical e momento tanto para o grupo controle [$F(4,1468)=101,292$; $p < 0,001$; $\eta^2_p=0,216$ e poder=1,00], quanto para o grupo FNP [$F(4,1468)=110,981$; $p < 0,001$; $\eta^2_p=0,232$; poder=1,000].

A análise da interação demonstrou diferença significativa para o fator área (Figura 2) no grupo controle, antes [$F(2,734)=273,856$; $p < 0,001$; $\eta^2_p=0,427$; poder=1,000], durante [$F(2,734)=275,125$; $p < 0,001$; $\eta^2_p=0,428$; poder=1,000] e depois da tarefa [$F(2,734)=366,968$; $p < 0,001$; $\eta^2_p=0,500$; poder=1,000]. O teste de *post-hoc* mostrou que antes da realização da tarefa a derivação F3 teve uma potência maior em $0,002\mu V$ [(IC 95%, 0,001 a 0,002), $p < 0,001$] quando comparado à derivação FZ. Isso

também foi encontrado durante a tarefa, com potência maior em $0,002\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,001 a 0,002) $p < 0,001$] e após a tarefa com potência maior em $0,002\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,002 a 0,002) $p < 0,001$] na derivação F3 ao comparar a FZ.

A derivação F3 também apresentou potência maior em $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,0000 a 0,001), $p < 0,001$], quando comparado à F4, antes da tarefa. No entanto, durante a tarefa, a potência foi maior em $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,000 a 0,001) $p < 0,001$] na derivação F4. Por outro lado, após a tarefa, foi retomado o padrão de ativação inicial, com uma potência maior em $0,02\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,001 a 0,002) $p < 0,001$] na derivação F3 quando comparado a F4. Em contrapartida, a derivação F4 teve uma potência maior em $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,001 a 0,001) $p < 0,001$], antes da tarefa e maior em $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95%, -0,001 a 0,00) $p < 0,001$] após a tarefa, quando comparado à FZ.

Diferença significativa também foi identificada no grupo FNP antes [$F(2,734)=235,803$; $p < 0,001$; $\eta^2p=0,391$; poder=1,000], durante [$F(2,734)=105,075$; $p < 0,001$; $\eta^2p=0,223$; poder=1,000] e após a tarefa [$F(2,734)=176,992$; $p < 0,001$; $\eta^2p=0,325$; poder= 1,000]. O teste de *post hoc* mostrou que antes da realização da tarefa a derivação F3 teve uma potência maior em $0,002\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,002 a 0,003) $p < 0,001$] quando comparado a FZ e potência maior em $0,002\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,001 a 0,002) $p < 0,001$] quando comparado a F4.

DERIVAÇÕES F3, FZ E F4

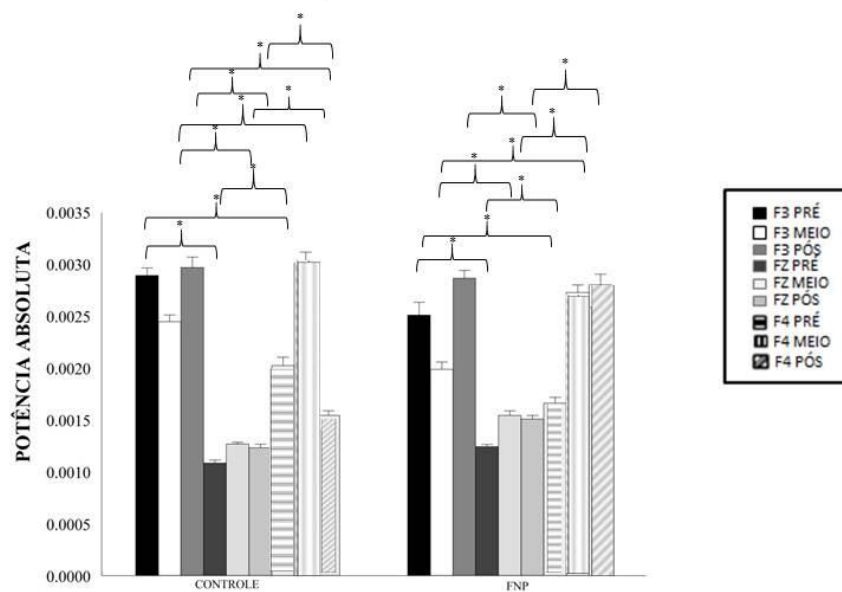


Figura 2: Média e erro padrão com diferença entre as condições controle e FNP. *Diferença significativa

Ao comparar com FZ a potência foi maior em $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,000 a 0,001) $p < 0,001$] na derivação F4. Durante a tarefa, a derivação F3 teve uma potência maior em $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,000 a 0,001) $p < 0,001$] quando comparado a FZ. Por outro lado, F4 teve uma potência maior em $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95%, -0,001 a 0,000) $p < 0,001$] quando comparado a F3 e potência maior em $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,001 a 0,001) $p < 0,001$] quando comparado a FZ. Após a tarefa, a derivação F3 teve uma potência maior em $0,002\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,001 a 0,002) $p < 0,001$] e a derivação F4 teve uma potência maior em $0,002\mu\text{V}$ [(IC 95%, 0,001 a 0,002) $p < 0,001$] quando comparado a FZ.

A análise do fator momento para a derivação F3 (Figura 3) mostrou diferença significativa para o grupo controle [$F(2,734)=44.860$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,109$; poder= 1,000] e FNP [$F(2,734)=81,685$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,182$; poder= 1,000]. O teste de *post-hoc* mostrou um aumento da potência em $0,001\mu V$ [(IC 95% de 0,000 a 0,001) $p<0,001$] depois da tarefa, quando comparado aos demais momentos. Por outro lado, no grupo FNP a potência foi maior em $0,001\mu V$ [(IC 95% de 0,001 a 0,002) $p<0,001$] no momento antes, quando comparado ao momento durante a tarefa. No entanto, após a realização completa da tarefa, a potência foi maior em $0,001\mu V$ [(IC 95% de 0,001 a -0,001) $p<0,001$], quando comparado ao momento durante.

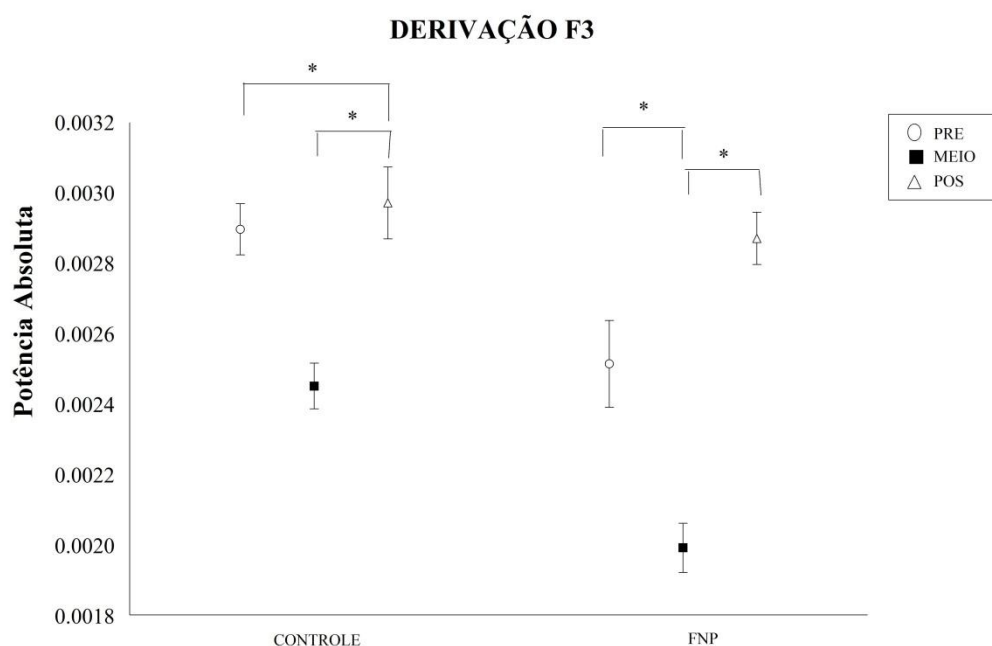


Figura 3: Média e erro padrão com diferença entre as condições controle e FNP. *Diferença significativa

Na derivação FZ (Figura 4) foi verificada diferença significativa para os grupos controle [$F(2,734)=28,113$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,071$; poder=1,000] e FNP [$F(2,734)=56,730$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,134$; poder=1,000]. O teste *post-hoc* demonstrou uma potência maior em $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95% de $0,000$ a $0,000$) $p<0,001$] após a tarefa, quando comparado ao momento antes da realização da tarefa. Quando comparado o momento após ao momento durante, o aumento da potência foi de $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95% de $-0,005$ a $0,000$) $p<0,001$] no momento durante. No grupo FNP foi observado uma potência maior em $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95% de $-0,001$ a $0,001$) $p<0,001$] durante, quando comparado ao momento antes da tarefa. Da mesma forma quando comparado ao momento antes da tarefa a potência foi maior em $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95% de $0,000$ a $0,000$) $p<0,001$] depois da realização da mesma.

Diferença significativa também foi encontrada na derivação F4 (Figura 5) para o grupo controle [$F(2,734)=104,430$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,212$; poder=1,000] e FNP [$F(2,734)=98,839$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,212$; poder=1,000]. No teste *post-hoc* a ativação foi maior durante a tarefa, com potência de $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95% de $0,001$ a $0,001$) $p<0,001$] quando comparado com o momento antes da realização da tarefa. Do mesmo modo, ao comparar com o momento após a tarefa, a potência também foi maior em $0,002\mu\text{V}$ [(IC 95% de $0,0001$ a $0,002$) $p<0,001$], durante a tarefa.

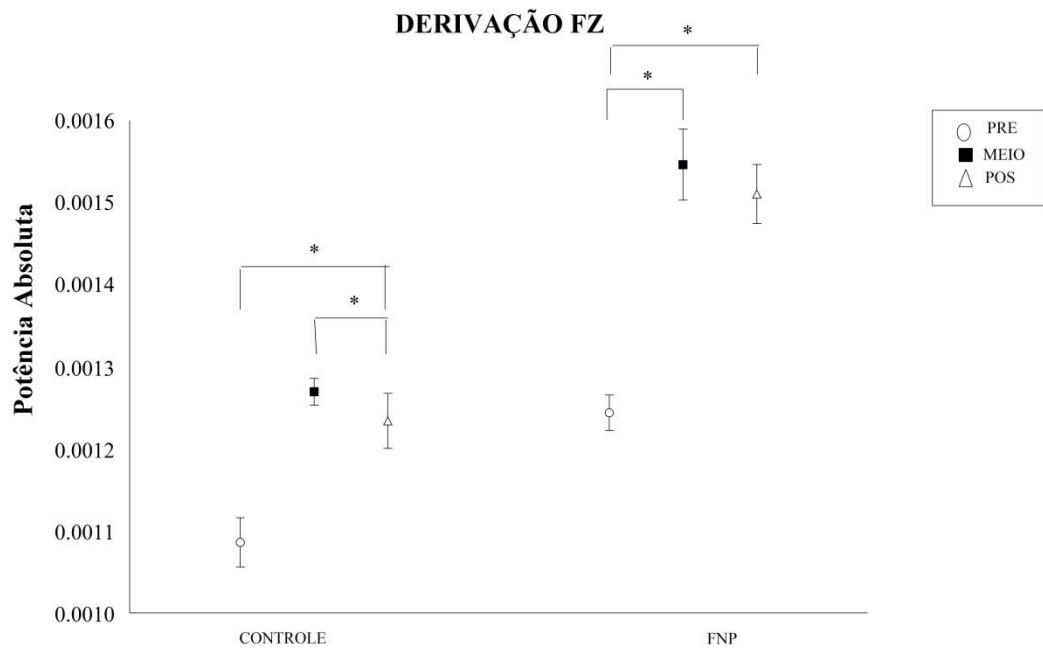


Figura 4: Média e erro padrão com diferença entre as condições controle e FNP. *Diferença significativa

Ao comparar diretamente o momento antes e após a tarefa, verificou-se uma potência maior em $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95% de $0,000$ a $0,001$) $p < 0,001$] antes da tarefa. No grupo FNP foi observado maior ativação durante $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95% de $0,001$ a $0,001$) $p < 0,001$] quando comparado com o momento antes da tarefa. Do mesmo modo, a potência foi maior após a tarefa $0,001\mu\text{V}$ [(IC 95% de $0,001$ a $0,002$) $p < 0,001$] quando comparado com o momento antes e maior em $0,000\mu\text{V}$ [(IC 95% de $-0,001$ a $0,000$) $p < 0,001$], ao comparar com o momento durante a tarefa.

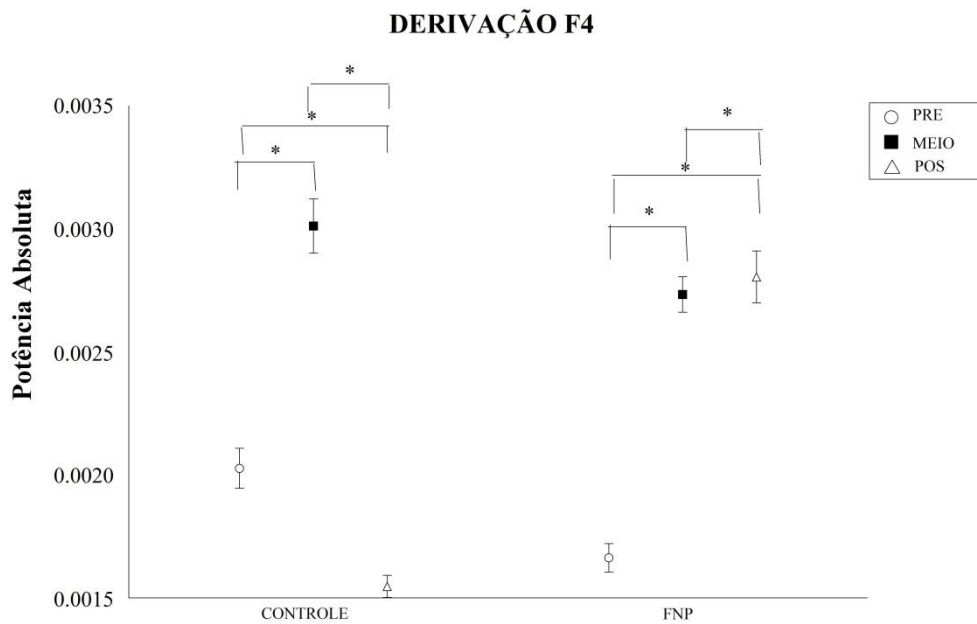


Figura 5: Média e erro padrão com diferença entre as condições controle e FNP. *Diferença significativa

DISCUSSÃO

O presente estudo visa esclarecer a dinâmica eletrofisiológica cortical da potência absoluta na banda gama no córtex pré-frontal após a tarefa de movimento em diagonal do membro superior direito. A banda gama corresponde a uma frequência entre 30 Hz a 100 Hz e está envolvida no processo cognitivo, memória, e fatores de integração espacial/temporal e proprioceptivos^{24,36,37}. Em consonância, a atividade gama tem sido relacionada com o processo sensório-motor durante o desempenho de tarefas

que envolvem a discriminação visual e preparação motora^{22,27,38,39}.

O córtex pré-frontal desempenha um papel essencial na formação de metas e objetivos, e no planejamento de estratégias de ação necessárias para a consecução destes objetivos, selecionando as habilidades cognitivas requeridas para a implementação dos planos, e coordenando as mesmas para aplicá-las na ordem correta⁴⁰⁻⁴². As derivações F3, FZ e F4 representam o córtex pré-motor, funcionalmente responsáveis pela seleção de movimentos, preparação e controle voluntário da ação^{22,43,44}.

Avaliando-se o grupo FNP, da mesma forma que no grupo controle, observou-se que antes e após a realização da tarefa houve um maior aumento da potência absoluta no córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo (F3) quando comparado às demais áreas e uma maior potência no córtex pré-frontal dorsolateral direito (F4) durante a tarefa. O aumento da potência na derivação F3 em relação às demais derivações antes da realização da tarefa pode estar relacionado com o envolvimento do córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo durante o planejamento e preparação de uma ação motora envolvendo o membro superior direito^{45,46}. Em relação a maior ativação na derivação F4 durante a realização da tarefa, os resultados obtidos podem ser confirmados por estudos que apontam uma ativação no córtex pré-frontal direito em tarefas de evocação⁴⁷ ao passo que o córtex pré-frontal esquerdo mostra-se mais ativado em tarefas de reconhecimento^{27,48}.

O aumento de potência observado na derivação F3 antes mesmo da realização da tarefa pode ser explicada por achados na literatura ao afirmarem que quando o sujeito recebe informação sobre o que deverá aprender (processamento cognitivo) a dinâmica eletrofisiológica cortical sofre aumento de potência por exigir ativação cortical que gera atenção para aquisição cognitiva da tarefa motora; e que a prática deliberada da tarefa (comportamento motor) exige um estado eletrofisiológico cortical menos ativado em relação às tarefas puramente cognitivas, corroborando os resultados de pequena ativação no momento durante a realização da tarefa, no entanto ainda maior do que o estado antes da realização da tarefa, por exigir ativação cortical que gera atenção para aquisição motora e evocação de memória cognitiva e motora, para identificação visual e cognitiva para a execução da tarefa^{27,49}, achados esses que refutam os resultados do presente estudo o qual mostrou uma maior ativação antes da realização da tarefa em comparação aos demais momentos. Por outro lado o aumento da potência no momento após a tarefa pode ocorrer devido à aquisição da informação motora e processo de consolidação durante o comportamento motor refletindo o aumento de potência na banda em questão^{22,50}.

O aumento na potência absoluta da banda gama, na derivação FZ, durante a tarefa pode estar relacionada ao envolvimento do córtex pré-frontal no processamento visuo-espacial^{51,52} percepção visual e processos de

identificação e atenção aos estímulos gerando maior repercussão em comparação às demais áreas. O mesmo também foi encontrado após a realização completa da tarefa, onde a potência também aumentou mostrando que quanto mais o sujeito realiza a tarefa, maior a atividade cortical. Isso pode ocorrer porque a tarefa demanda muita atenção e envolve a presença de estímulos para a sua iniciação.

Do mesmo modo, o maior aumento da potência absoluta na banda gama na derivação F4 no momento após a tarefa, como visto anteriormente, pode estar relacionado a tarefas de evocação que, segundo a literatura, ativa o córtex pré-frontal direito. De modo geral, o aumento da potência absoluta na banda gama no córtex pré-frontal se deve a relação da mesma aos processos sensorial e cognitivo do controle motor, ao seu envolvimento em atenção, planejamento, seleção de movimentos, elaboração e controle voluntário da ação⁴⁴, e ao papel do córtex pré-frontal na organização do comportamento e nas ações cognitivas^{42,53,54}.

CONCLUSÃO

No presente estudo analisaram-se quais as repercussões eletrofisiológicas dos movimentos em diagonal por meio da análise da potência absoluta na banda gama no córtex pré-frontal e diante disso concluiu-se que embora se tenha observado um aumento da potência

absoluta na banda gama, à medida que o sujeito realizava a tarefa, tanto no grupo controle quanto no grupo FNP, este produziu maior ativação cortical mostrando-se eficiente em modular a atividade neural. Desse modo, tais achados mostraram que esse método de tratamento é eficiente tanto em nível muscular quanto em nível cortical, o que justifica sua utilização na prática clínica. Os resultados, por sua vez, corroboram com a hipótese de que a realização da tarefa por meio do movimento em diagonal promove o desencadeamento do potencial neuromuscular, provocando alterações específicas na atividade cortical do cérebro, resultando em aumento da ativação cortical ao longo da tarefa. No entanto, o aumento da potência absoluta na banda gama em ambos os grupos (controle e FNP) sugere que o incremento da potência não esteja relacionado isoladamente à tarefa de diagonal do membro superior, o que leva a necessidade da realização de estudos futuros a fim de complementar os achados do presente artigo.

REREFÊNCIAS

1. Westwater-Wood S, Adams N, Kerry R. The use of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation in physiotherapy practice. *Phys Therp Rev* 2010;15:23-8. <https://doi.org/10.1179/174328810X12647087218677>
2. Alencar RF, Cordeiro TGF, Anjos PGS, Cavalcanti PL. Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva em tatame na re aquisição de funções na lesão medular. *Rev Neurocienc* 2011;19:512-8.
3. Hindle KB, Whitcomb TJ, Briggs WO, Hong J. Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF): Its Mechanisms and Effects on Range of Motion and Muscular Function. *J Hum Kinet* 2012;31:105-13. <https://doi.org/10.2478/v10078-012-0011-y>
4. Lee SW, Lee JH. Effects of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching and Kinesiology Taping on Pelvic Compensation During Double-Knee Extension. *J Hum Kinet* 2015;49:55-64. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0108>

5. Gontijo LB, Pereira PD, Neves CD, Santos AP, Machado Dde C, Bastos VH. Evaluation of Strength and Irradiated Movement Pattern Resulting from Trunk Motions of the Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. *Rehabil Res Pract* 2012;2012:281937. <https://doi.org/10.1155/2012/281937>
6. Kim CH, Kim YN. Effects of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and Treadmill Training on the Balance and Walking Ability of Stroke Patients. *J Kor Phys Ther* 2018;30:79-83. <https://doi.org/10.18857/jkpt.2018.30.3.79>
7. Lazarou L, Kofotolis N, Pafis G, Kellis E. Effects of two proprioceptive training programs on ankle range of motion, pain, functional and balance performance in individuals with ankle sprain. *J Back and Musculoskeletal Rehabil* 2018;31:437-46. <https://doi.org/10.3233/BMR-170836>
8. Kim Y, Kim E, Gong W. The effects of trunk stability exercise using PNF on the functional reach test and muscle activities of stroke patients. *J Phys Ther Sci* 2011;23:699-702. <https://doi.org/10.1589/jpts.23.699>
9. Yoo B, Park H, Heo K, Lee J, Lee J, Oh T, *et al.* The Effects of Abdominal Hollowing in Lower-limb PNF Pattern Training on the Activation of Contralateral Muscles. *J Phys Ther Sci* 2013;25:1335-8. <https://doi.org/10.1589/jpts.25.1335>
10. Ferreira MG, Bertor WRR, Carvalho AR, Bertolini GRF. Effects of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump variables. *Sci Med* 2015;25:ID21443. <http://dx.doi.org/10.15448/1980-6108.2015.4.21443>
11. Seo KC, Kim HA. The effects of ramp gait exercise with PNF on stroke patients dynamic balance. *J Phys Ther Sci* 2015; 27:1747-9. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1747>
12. Aman JE, Elangovan N, Yeh I-L, Konczak J. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Front Human Neurosci* 2015;8:1075. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01075>
13. Vogt T, Kato K, Fluthmann N, Bloch O, Nakata H, Kanosue K. Performance control in one consecutive motor task sequence – Approaching central neuronal motor behaviour preceding isometric contraction onsets and relaxation offsets at lower distinct torques. *J Musculoskeletal Neuronal Interact* 2018;18:1-8.
14. Oswal A, Litvak V, Brücke C, Huebl J, Schneider GH, Kühn AA, *et al.* Cognitive Factors Modulate Activity within the Human Subthalamic Nucleus during Voluntary Movement in Parkinson's Disease. *J Neurosci* 2013;33:15815-26. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1790-13.2013>
15. Owolabi L, Sale S, Owolabi S. Clinico-Electroencephalography Pattern and Determinant of 2-year Seizure Control in Patients with Complex Partial Seizure Disorder in Kano, Northwestern Nigeria. *Ann Med Health Sci Res* 2014;4:186-91. <https://doi.org/10.4103/2141-9248.129030>

16. Reinke L, van der Hoeven JH, van Putten MJ, Dieperink W, Tulleken JE. Intensive care unit depth of sleep: proof of concept of a simple electroencephalography index in the non-sedated. *Crit Care* 2014;18:R66. <https://doi.org/10.1186/cc13823>
17. Carvalho MR, Velasques BB, Cagy M, Marques JB, Teixeira S, Nardi AE, *et al.* Electroencephalographic findings in panic disorder. *Trends Psychiatry Psychother* 2013; 35:238-51. <https://doi.org/10.1590/2237-6089-2013-0012>
18. Cunha M, Machado S, Miana LC, Machado D, Bastos VH, *et al.* Effects of a cognitive modulator in the theta and alpha asymmetry during a typewriting task. *Arq Neuropsiquiatr* 2009;67:214-8. <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-282X2009000200008>
19. Machado DCD, Santos RPMS, Silva AP, Reis-Filho SBS, Aves GVS, Cagy M, *et al.* Electroencephalographic analysis in left hemiparesis: a case study. *Rev Bras Neurol* 2013;49:129-6.
20. Mosanezhad JE, Nazari MA. Effectiveness of EEG-Biofeedback on Attention, Working Memory and Quantitative Electroencephalography on Reading Disorder. *Iran J Psychiatry Behav Sci* 2013;7:35-43.
21. Nasserroleslami B, Lakany H, Conway BA. EEG signatures of arm isometric exertions in preparation, planning and execution. *Neuroimage* 2015;90:1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.12.011>
22. Machado D, França JHS, Teixeira S, Basto VHV, Santos RPM, Cagy M, *et al.* Gamma absolute power reveals activation of motor areas after hand immobilization. *MedicalExpress (Sao Paulo, online)* 2016;3:M160504. <http://dx.doi.org/10.5935/MedicalExpress.2016.05.04>
23. Bonini-Rocha AC, Timm MI, Chiaramonte M, Zaro M, Rasia-Filho AA, Wolff D, *et al.* Methodology to observation and quantification of EEG signs related to cognitive evidences of motor learning. *Ciências & Cognição* 2008;13:27-50.
24. van Es MWL, Schoffelen JM. Stimulus-induced gamma power predicts the amplitude of the subsequent visual evoked response. *NeuroImage* 2019;186:703-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.11.029>
25. Teixeira S, Velasques B, Machado S, Cunha M, Domingues CA, Budde H, *et al.* Gamma-band oscillations in fronto-central areas during performance of a sensorimotor integration task: A qEEG coherence study. *Neurosci Lett* 2010;483:114-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2010.07.073>
26. Grossmann T, Johnson MH, Lloyd-Fox S, Blasi A, Deligianni F, Elwell C, *et al.* Early cortical specialization for face-to-face communication in human infants. *Proc Biol Sci* 2008;275:2803-11. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2008.0986>
27. Silva AAS, Trindade-Filho EM. Diferenças no processamento cerebral, através do ritmo gama, durante o pensamento divergente. *Rev Neurocienc* 2015;23:589-94. <http://dx.doi.org/10.4181/RNC.2015.23.04.968.06p>

28. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971;9:97-113.
29. Hallal P, Andersen LB, Bull FC, Guthold R, Haskell W, Ekelund U, et al. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *Lancet* 2012;380:247-57.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60646-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60646-1)
30. World Health Organization. Physical Status: the use of interpretation of anthropometry. Report of a Who Expert Committee (endereço na internet). Geneva: WHO, 1995. (acessado em 2018). Disponível em:
https://www.who.int/childgrowth/publications/physical_status/en/
31. Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *J Neurosci Methods* 2004;134:9-21.
32. Jung TP, Makeig S, Humphries C, Lee TW, McKeown MJ, Iragui V, et al. Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology* 2000;37:163-78.
33. Delorme A, Palmer J, Onton J, Oostenveld R, Makeig S. Independent EEG Sources are Dipolar. *PLoS ONE* 2012;7:e30135.
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0030135>
34. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:3-13.
<http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
35. Fayers M, Machin D. Sample size: how many patients are necessary? *Br J Cancer* 1995;72:1-9.
36. Herrmann CS, Fründ I, Lens D. Human gamma-band activity: a review of cognitive and behavioral 86 correlates and network models. *Neurosci Biobehav Rev* 2010;34:981-92.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.09.001>
37. Howard MW, Rizzuto DS, Caplan JB, Madsen JR, Lisman J, Aschenbrenner-Scheibe R, et al. Gamma oscillations correlate with working memory load in humans. *Cereb Cortex* 2003;13:1369-75.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhg084>
38. Sinai CW, Bowers CW, Crainiceanu CM, Boatman D, Gordon B, Lesser RP, et al. Electroencephalographic high gamma activity versus electrical cortical stimulation mapping of naming. *Brain* 2005;128:1556-70. <https://doi.org/10.1093/brain/awh491>
39. Slobounov S, Hallet M, Stanhope S, Shibasaki H. Role of cerebral cortex in human postural control: an EEG study. *Clin Neurophysiol* 2005;116:315-23. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.09.007>
40. Fuster JM. The prefrontal cortex. 4th ed. London: Academic Press, 2008, 460p.
41. Mourão Junior CA, Melo LBR. Integration of three concepts: executive function, working memory and learning. *Psicologia: Teoria e Pesquisa* 2012;27:309-14. <https://doi.org/10.1590/S0102-37722011000300006>

42. Ackerman CM, Courtney SM. Spatial relations and spatial locations are dissociated within pré-frontal and parietal córtex. *J Neurophysiol* 2012;108:2419-29. <https://doi.org/10.1152/jn.01024.2011>
43. Machado S, Cunha M, Portella CE, Silva JG, Velasques B, Bastos VH, *et al.* Integration of cortical areas during performance of a catching ball task. *Neurosci Lett* 2008;446:7-10. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.09.036>
44. Velasques S, Machado S, Portella CE, Silva JG, Basile LF, Cagy M, *et al.* Electrophysiological analysis of a sensorimotor integration task. *Neurosci Lett* 2007;426:155-9. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.08.061>
45. Szurhaj W, Derambure P, Labyt E, Cassim F, Bourriez JL, Isnard J, *et al.* Basic mechanisms of central rhythms reactivity to preparation and execution of a voluntary movement: a stereoelectroencephalographic study. *Clin Neurophysiol* 2003;114:107-19. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00333-4](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00333-4)
46. Barbey AK, Koenigs M, Grafman J. Dorsolateral Prefrontal Contributions to Human Working Memory. *Cortex* 2013;49:1195-205. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>
47. Nyberg L, Cabeza R, Tulving E. PET studies of encoding and retrieval: the HERA model. *Psychonomic Bull Rev* 1995;3:135-48. <https://doi.org/10.3758/BF03212412>
48. Thach WT. On the specific role of the cerebellum in motor learning and cognition: clues from PET activation and lesion studies in man. *Behav Brain Sci* 1996;19:411-31. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00081504>
49. Bressler SL. The gamma wave: a cortical information carrier? *Trends Neurosci* 1990;13:161-2. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(90\)90039-D](https://doi.org/10.1016/0166-2236(90)90039-D)
50. Bonini-Rocha AC, Timm MI, Chiaramonte MS, Zaro MA. Metodologia para observação e quantificação de sinais de EEG relativos a evidências cognitivas de aprendizagem motora. *Ciências & Cognição* 2008;13:27-50.
51. Medendorp WP, Goltz HC, Vilis T, Crawford JD. Gaze-centered updating of visual space in human parietal cortex. *J Neurosci* 2003;23:6209-14. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-15-06209.2003>
52. Avillac M, Deneve S, Olivier E, Pouget A, Duhamel JR. Reference frames for representing visual and tactile locations in parietal cortex. *Nat Neurosci* 2005;8:941-9.
53. Mourão-Junior CA, Melo LBR. Integração de Três Conceitos: Função Executiva, Memória de Trabalho e Aprendizado. *Psic: Teor e Pesq* 2011;27:309-14. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-37722011000300006>
54. Moreno MA, Silva E, Zuttin RS, Gonçalves M. Efeito de um programa de treinamento de facilitação neuromuscular proprioceptiva sobre a mobilidade torácica. *Fisioter Pesq* 2009;16:161-5. <http://dx.doi.org/10.1590/S1809-29502009000200012>