

Ativação cortical do lobo frontal em adultos jovens e idosos: uma análise eletroencefalográfica durante um exergame para equilíbrio postural
Frontal lobe activation in older adults and youngs: an electroencephalographic analysis during exergame for postural balance

Activación cortical del lobo frontal en ancianos y adultos jóvenes: un análisis electroencefalográfico durante exergame para equilibrio postural

Recebido: 17/06/2020 | Revisado: 19/06/2020 | Aceito: 19/06/2020 | Publicado: 01/07/2020

Nathália Stéphany Araújo Tavares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1170-193X>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: nathalia.araujot@gmail.com

Candice Simões Pimenta de Medeiros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3209-8412>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: candice_spmedeiros@yahoo.com.br

Thaiana Barbosa Ferreira Pacheco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8498-3862>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: thaianab@ufrn.edu.br

Isabelle Ananda Oliveira Rego

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5424-8605>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: isabellerego_@hotmail.com

Bartolomeu Fagundes de Lima Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3326-389X>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: bartolomeu_fagundes2@hotmail.com

Nathalia Priscilla Oliveira Silva Bessa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3160-8102>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: nathyzinhasilva@hotmail.com

Kim Mansur Yano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5225-6137>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: kimmansur@gmail.com

Júlio César Paulino de Melo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2829-1001>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: julio.melo@imd.ufrn.br

Fabília Azevêdo da Costa Cavalcanti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1391-1060>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: facnat@yahoo.com

Resumo

Objetivo: Investigar a atividade cortical no lobo frontal de idosos e adultos jovens durante a execução de um *exergame* para o equilíbrio postural. **Metodologia:** Estudo transversal com 20 indivíduos (10 adultos e 10 idosos) submetidos a um *exergame*. Foi realizada inicialmente uma avaliação sociodemográfica e clínica e em seguida, uma avaliação eletroencefalográfica (EEG) com o *Emotiv EPOC*[®] durante a execução do *exergame Penguin slide* da *Nintendo Wii Fit*. Foram utilizados 8 canais da região frontal e a análise da frequência das ondas alfa e beta. Os dados do EEG foram gravados pelo *Emotiv TestBench* e importados para o *MatLab*[®]. Foi utilizado o programa SPSS 20.0, aplicado o teste Mann-Whitney e adotado significância com $p < 0,05$. **Resultados:** A média de idade do grupo de idosos (GI) foi de $65,1 \pm 4,8$ anos e no grupo de adultos jovens (GJ) foi de $22,4 \pm 2,3$ anos. Não houve diferença no potencial de ativação cortical entre os grupos para as ondas alfa ($p = 0,058$) e beta ($p = 0,092$). Houve maior magnitude no potencial de ativação da onda alfa em ambos os grupos. Para alfa e beta, observou-se um pico de ativação no canal F3 (região frontal esquerda) no GJ e maior quantidade de picos de ativação no GI, com destaque para o canal F4 (região frontal direita). **Conclusão:** O potencial de ativação cerebral frontal de alfa e beta em jovens e idosos não difere ao desempenhar o *exergame* para equilíbrio postural *Penguin slide*.

Palavras chaves: Terapia de exposição à realidade virtual; Eletroencefalografia; Reabilitação; Córtex cerebral.

Abstract

Objective: to investigate the frontal lobe cortical activation of older adults and young adults during an exergame session for postural balance. **Methodology:** cross-sectional study with 20 individuals (10 older adults and 10 young adults) attended exergaming session. Initially, sociodemographic and clinical assessments were carried out and then, an electroencephalographic (EEG) assessment with *Emotiv EPOC*[®] during the execution of Nintendo Wii Fit Penguin slide exergame was done. Eight channels of the frontal region and alpha and beta waves were used for analysis. The EEG data was recorded by *Emotiv TestBench* and imported into MatLab[®]. SPSS program, Mann-Whitney test and significance level of $p < 0.05$ were used. **Results:** the mean age of the older adults group (OAG) was 65.1 ± 4.8 years and in the young group (YG) was 22.4 ± 2.3 years. There were no differences in the cortical activation potential between groups for the alpha ($p = 0.058$) and beta ($p = 0.092$) waves. There was a greater magnitude in the potential activation of the alpha wave in both groups. For alpha and beta waves, there was one peak activation in F3 channel (left frontal region) in the YG and a greater amount of activation peaks in the OAG, highlighted in F4 channel (right frontal region). **Conclusion:** cortical activation potential in frontal lobe related to alpha and beta waves in young and older adults does not differ when playing the exergame for postural balance Penguin slide game.

Keywords: Exposure therapy to virtual reality; Electroencephalography; Rehabilitation; Cerebral cortex.

Resumen

Objetivo: investigar la actividad cortical en lóbulo frontal de ancianos y jóvenes durante la ejecución de un *exergame* para el equilibrio postural. **Metodología:** estudio transversal con 20 individuos (10 ancianos y 10 jóvenes) sometidos a un *exergame*. Inicialmente, se realizó una evaluación sociodemográfica y clínica y luego una evaluación electroencefalográfica (EEG) con *Emotiv EPOC*[®] durante la ejecución del *exergame Penguin Slide* del Nintendo Wii Fit. Se utilizaron ocho canales de la región frontal y el análisis de frecuencia de las ondas alfa y beta. Los datos de EEG fueron grabados por *Emotiv TestBench* e importados a MatLab[®]. Se utilizó el programa SPSS 20.0, se aplicó la prueba de Mann-Whitney y la significación se estableció con $p < 0,05$. **Resultados:** la edad promedio del grupo de ancianos (GA) fue de $65,1 \pm 4,8$ años y en el grupo de jóvenes (GJ) fue de $22,4 \pm 2,3$ años. No hubo diferencia en el potencial de activación cortical entre los grupos para las ondas alfa ($p=0.058$) y beta ($p=0.092$).

Hubo una mayor magnitud en el potencial de activación de la onda alfa en ambos grupos. Para las ondas alfa y beta, se observó un pico de activación en el canal F3 (región frontal izquierda) en el GJ y una mayor cantidad de picos de activación en el GI, con énfasis en el canal F4 (región frontal derecha). **Conclusión:** el potencial para la activación cerebral frontal de alfa y beta en jóvenes y ancianos no difiere cuando se realiza el exergame para el equilibrio postural *Penguin Slide*.

Palabras clave: Terapia de exposición mediante realidad virtual; Electroencefalografía; Rehabilitación; Corteza cerebral.

1. Introdução

As variedades de estímulos existentes em ambientes terapêuticos levam a adaptações neuroplásticas que se relacionam intimamente com as funções do lobo frontal, como a captação de informações, planejamento, organização e formação da resposta para a execução de uma determinada atividade (Andrade, Luft & Rolim 2004; Long et al., 2012; Oliveira et al., 2018). Nesse sentido, diversos fatores, desde alterações senis a lesões cerebrais, podem comprometer a função do lobo frontal, influenciando a aprendizagem e comprometendo a aquisição de habilidades motoras (Fan et al., 2019).

O envelhecimento gera modificações morfofuncionais e estruturais nos diversos sistemas corporais, com redução da capacidade dos neurônios realizarem sinapses, levando ao déficit nas habilidades motoras, cognitivas e funcionais (Sebastian et al., 2011; Long et al., 2012). No lobo frontal, tais alterações culminam com o declínio das funções cognitivas inerentes à idade, com prejuízos na memória de trabalho, controle cognitivo e velocidade de processamento (Long et al., 2012), reduzindo assim o potencial neuroplástico. Essas modificações implicam em restrições na independência funcional, devido à dificuldade de manter o controle postural e adaptar-se às demandas motoras.

Ao longo dos anos, a reabilitação neurogerontológica vem utilizando jogos digitais navegáveis por ambientes virtuais (Peñasco et al., 2010; Levac & Galving, 2013) com o intuito de otimizar as práticas terapêuticas, proporcionar maior motivação, adesão e variação de estímulos. A realidade virtual (RV) tem se mostrado uma proposta terapêutica inovadora (Peñasco et al., 2010; Levac & Galvin, 2013), gerando experiências multissensoriais por meio da imersão e interatividade, estimulando diversas habilidades. No cenário da RV, os *exergames* surgem como tecnologias que associam o exercício físico com videogame,

exigindo maior participação, interação física e proporcionando movimentos repetitivos que são treinados como movimentos funcionais dentro do cenário virtual (Eggenberg et al., 2016; Tobaigy et al., 2018).

Considerando as alterações cerebrais morfológicas e fisiológicas decorrentes do envelhecimento, uma questão ainda em discussão sobre a utilização de *exergames*, diz respeito ao comportamento da atividade cortical frente às diferentes demandas cognitivas e sensório-motoras proporcionadas por ambiente virtuais. Levac e Galving (2013) sugerem que execução de jogos, no ambiente virtual, pode levar a uma reorganização cerebral, a qual desempenha um papel fundamental na recuperação da capacidade motora. Porém, pouco se sabe se essa reorganização difere entre indivíduos de diferentes idades.

Diante disto, dispositivos portáteis de eletroencefalografia (EEG) surgem como um recurso que possibilita, de maneira funcional, uma observação da dinâmica cerebral por meio do potencial de ativação das frequências das ondas Delta (0,1-3,5 Hz), Teta (4-7,5 Hz), Alfa (8-13 Hz) e Beta (14-30 Hz), refletindo a interação da atividade cortical com o meio ambiente (Badcock et al., 2013; Ferreira et al., 2017; Oliveira et al., 2018). Quandt et al. (2012) investigaram as frequências de alfa e beta com relação ao processamento da ação, identificando uma relação destas ondas com o comando neural de ação e percepção, estando ligados à alocação de atenção visuo-espacial e à ativação do córtex sensorial e motor.

As alterações inerentes ao envelhecimento cortical afetam, diretamente, os circuitos neurais e geram interferências por meio de compensações na execução de habilidades motoras e na manutenção do controle postural. Ampliar a compreensão de como o processamento cortical ocorre, no cérebro de jovens e idosos, durante o treino de equilíbrio postural com *exergame*, auxilia o entendimento de como essa abordagem terapêutica repercute e influencia na reabilitação do controle postural. Além disso, por ser uma modalidade multissensorial, os idosos podem necessitar de uma demanda de ativação cortical e esforço neural maior que os jovens.

Estudos sobre o padrão de ativação cerebral em condições funcionais considerando a execução de *exergames* ainda são escassos, principalmente comparando diferentes faixas etárias. Tal fato traz a necessidade de aprofundar o conhecimento científico quanto à influência dos *exergames* sob a ativação cortical de adultos jovens e idosos, permitindo conhecer como o cérebro desses sujeitos responde aos estímulos durante a execução de *exergames*. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo investigar a ativação cortical

do lobo frontal de adultos jovens e idosos durante a execução de um *exergame* para o equilíbrio postural.

2. Metodologia

Descrição do estudo

Trata-se de um estudo transversal cuja amostra por conveniência foi composta por indivíduos adultos jovens e idosos saudáveis, de ambos os sexos. O recrutamento dos idosos foi feito com base na lista de participantes de projetos de extensão desenvolvidos na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Já os indivíduos adultos jovens foram recrutados a partir dos cursos de graduação e pós-graduação de Fisioterapia da UFRN. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Hospital Universitário Onofre Lopes (HUOL) sob parecer 387.749. Todos os voluntários foram esclarecidos sobre a pesquisa e instruídos a assinar um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conferindo a participação voluntária na pesquisa. .

Critérios de elegibilidade

Para participar do estudo, os participantes deveriam contemplar os seguintes critérios de inclusão: adultos jovens com idade entre 18 a 29 anos ou idosos entre 60 a 80 anos; deambulação independente com pontuação cinco na escala Functional Ambulation Category (FAC) (Mehrholz et al., 2007); pontuação no Mini Exame do Estado Mental (MEEM) maior que 24 pontos para escolarizados e maior que 19 para os não escolarizados (Bertolucci et al., 1994); não possuir marca-passo; não fazer uso de medicamento psicotrópico; não apresentar lesões cerebrovasculares, epilepsia fótica ou outras desordens neurológicas, vestibulares ou musculoesqueléticas que comprometessem a execução da atividade em ambiente virtual; apresentar estabilidade hemodinâmica, com regular condicionamento cardiorrespiratório. Os participantes incluídos foram alocados em grupo de adultos jovens (GJ) e grupo de idosos (GI).

Instrumento de avaliação

Dois fisioterapeutas devidamente treinados realizaram a avaliação. O procedimento durou aproximadamente uma hora. Foi realizada uma avaliação sociodemográfica (nome, idade, sexo, escolaridade, naturalidade, telefone e endereço) e clínica (antecedentes pessoais e familiares, função cognitiva, hábitos de vida, uso de medicamentos,); em seguida, foi realizada a preparação para o início da execução do *exergame* e avaliação da ativação cerebral por meio do *Emotiv EPOC*[®], durante a execução do jogo.

Análise da ativação cerebral

A avaliação da ativação cerebral foi realizada por meio do *Emotiv EPOC*[®]. Trata-se de um dispositivo de eletroencefalografia (EEG), validado para uso em pesquisa científica (Badcock et al., 2013), com configuração portátil, não invasiva e de baixo custo, transmissão *wireless*, contendo 14 eletrodos que são posicionados na cabeça do usuário de acordo com a disposição internacional do sistema 10-20 (Emotiv, 2011).

Os 14 eletrodos do *Emotiv EPOC*[®] são dispostos nas regiões: anterofrontal (AF3, AF4), frontais (F3, F4, F7, F8), fronto-central (FC5 e FC6), occipital (O1 e O2), parietal (P7 e P8) e temporal (T7 e T8). De acordo com a padronização universal, a numeração par corresponde aos canais localizados no lado direito e a numeração ímpar refere-se aos canais no lado esquerdo (Badcock et al., 2013; Oliveira et al., 2018). Para este estudo, foram considerados os canais dispostos na região frontal: AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5 e FC6; e as faixas de frequência das ondas alfa e beta.

O *Emotiv EPOC*[®] foi posicionado conforme orientação fornecida pelo fabricante, de modo que cada eletrodo tivesse maior contato possível com a região sob o couro cabeludo (Emotiv, 2011). Todos os eletrodos foram devidamente hidratados com solução salina, a fim de favorecer a condução e registro do sinal elétrico por meio do escalpo. Buscando minimizar ruídos e interferências no sinal, o participante não deveria fazer uso de produtos cosméticos nos cabelos e não poderia portar aparelhos eletrônicos durante a coleta.

A gravação da ativação cerebral foi realizada durante a execução do *exergame* chamado *Penguin Slide*, do pacote de jogos do *Nintendo Wii*[®], ilustrado na Figura 1. Neste jogo o participante realiza o deslocamento médio-lateral do centro de massa com os pés fixos sobre a plataforma *Wii Balance Board*[®] (WBB). No ambiente virtual o participante é

representado por um *avatar*, vestido de pinguim, que realiza movimentos látero-laterais sobre uma placa de *iceberg* para capturar o maior número de peixes que saltam de ambos os lados, no tempo estabelecido pelo jogo.

Antes de iniciar o jogo, os participantes assistiram a um vídeo demonstrativo contendo orientações para sua execução. Os participantes jogaram o *Penguin Slide* por quatro minutos. Durante toda a execução do exergame, a atividade eletroencefalográfica foi mensurada pelo *Emotiv EPOC*[®].

Figura 1. Jogo *Penguin Slide*.



Fonte: nintendo.com.

Redução e tratamento do sinal de EEG

Os dados do EEG bruto foram gravados pelo *software Emotiv TestBench* e importados para o *software MatLab*[®]. Para o processamento dos dados, foi considerado o intervalo de 60 segundos entre o segundo e terceiro minuto de execução do jogo, por ser considerado como o período de maior engajamento.

Foi realizada a remoção de ruídos, por meio de uma rotina no *MatLab*[®] denominada “*Scanoise*”. O sinal capturado passou por um filtro passa-banda, adotando-se as frequências de 6Hz a 40Hz. Este filtro permite a passagem de frequências onde estão compreendidas as ondas Alfa (8 a 12Hz) e Beta (13 a 30Hz), rejeitando as demais frequências. Em seguida, foi realizada normalização do sinal, com aplicação de um filtro DC, no qual calcula-se a média de cada canal e a subtrai dos seus respectivos canais. Para que o sinal apresentasse uma característica estacionária, a análise de 60 segundos foi dividida em seis sub-amostras de 10 segundos.

Análise do potencial de ativação cerebral

Foi realizada a transformação do sinal no domínio do tempo em sinal de potência no domínio da frequência, para isto foi aplicado o periodograma de Welch (Fang et al., 2007). Utilizando as frequências na faixa de alfa e beta, foram verificados os valores de potência de ativação destas ondas. Com a determinação dos potenciais de ativação em cada sub-amostra, foi calculado a média por indivíduo, gerando assim o potencial de ativação representativo do jogo, nos canais frontais analisados.

Análise estatística

Os dados estatísticos foram analisados por meio do programa *Statistical Package for the Social Science* (SPSS 20.0). Com o intuito de caracterizar a amostra foi aplicada a estatística descritiva. Foi empregado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e em seguida, para comparar a média do potencial geral de ativação nas faixas de frequências (Alfa e Beta) entre os grupos, foi realizado o teste Mann-Whitney. Foi adotado o nível de significância estatística de 5%.

3. Resultados

As informações sociodemográficas e clínicas dos participantes estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da amostra.

Variáveis	Grupos	
	Adultos Jovens (n=10)	Idosos (n=10)
Idade (Anos) – Média (\pmDP)	22,40 \pm 2,33	65,10 \pm 4,82
Estado civil (%)		
Casado (a)	0	60
Solteiro (a)	100	40
Escolaridade (%)		
Superior completo	20	40
Ensino médio completo	80	40
Ensino fundamental completo		20
Horas de sono por dia – Média (\pmDP)	6,75 \pm 1,66	7,45 \pm 1,52
Contato prévio com Wii (%)		0
Sim	80	0
Não	20	100
Score MEEM – Média (\pmDP)	27,40 \pm 2,10	27 \pm 2,36

Legenda: DP, Desvio padrão; MEEM, Mini Exame do Estado mental; DP, desvio padrão. Fonte: Autores.

Na análise estatística não foi encontrada diferença significativa entre os grupos para as médias gerais das frequências das ondas alfa ($p=0,058$) e beta ($p=0,092$), implicando em similaridade no padrão de ativação cerebral dos adultos jovens e idosos. A Tabela 2 mostra a média geral de ativação cerebral considerando as seis sub-amostras analisadas em cada canal frontal. Observa-se que a média do potencial de ativação do GI foi maior que no GJ, em todos os canais frontais e nas duas frequências de ondas. Os participantes ativaram, principalmente, as regiões referentes aos canais frontais (F3 e F4). Essas regiões são responsáveis pelo planejamento e por estratégias motoras.

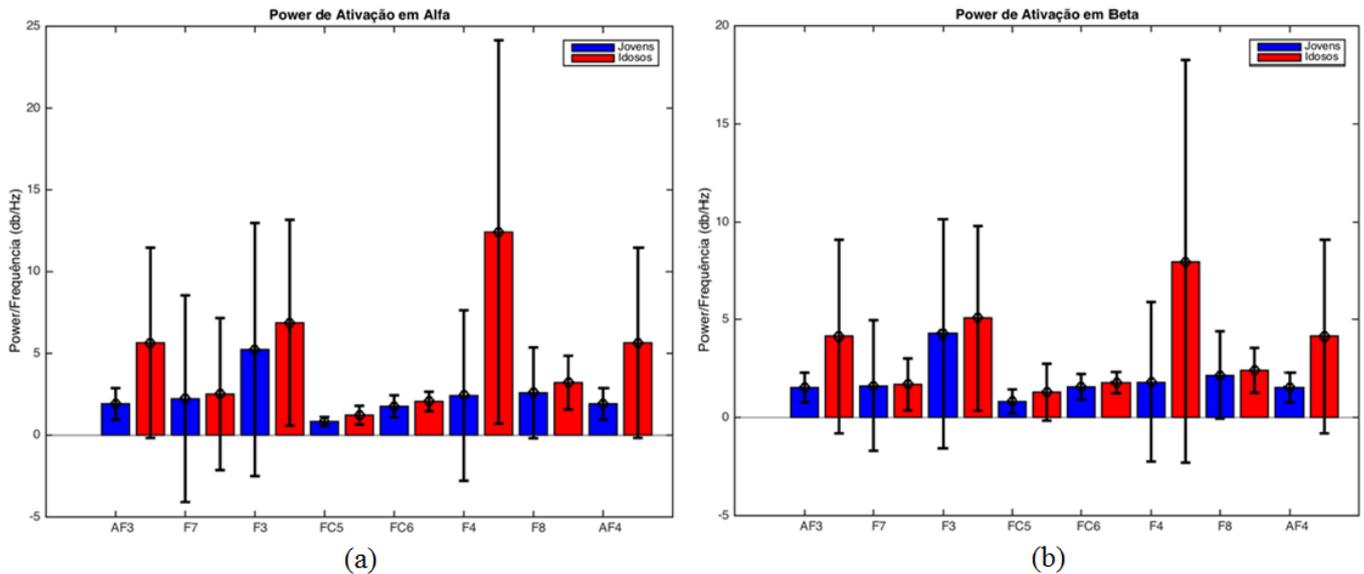
Tabela 2. Média do potencial de ativação cerebral em cada canal.

Canais	Jovens				Idosos			
	Alfa		Beta		Alfa		Beta	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
AF3	1,93	0,95	1,55	0,76	5,66	1,27	4,14	4,95
F7	2,24	6,31	1,62	3,33	2,52	0,75	1,71	1,33
F3	5,24	7,73	4,29	5,87	6,88	4,52	5,08	4,72
FC5	0,84	0,28	0,83	0,62	1,23	0,56	1,31	1,46
FC6	1,77	0,67	1,58	0,66	2,07	1,47	1,8	0,54
F4	2,43	5,21	1,81	4,07	12,42	0,91	7,96	10,28
F8	2,6	2,77	2,16	2,22	3,22	2,67	2,43	1,15
AF4	1,93	0,95	1,55	0,76	5,66	1,27	4,14	4,95

Legenda: AF3, região ântero-frontal esquerda; AF4, região ântero-frontal direita; F3 e F7, regiões frontais à esquerda; F4 e F8, regiões frontais à direita; FC5, região fronto-central esquerda; FC6, região fronto-central direita; DP, desvio padrão; Unidade: Decibéis/ Hertz, db/Hz. Fonte: Autores.

A Figura 2 representa a comparação entre o potencial de ativação das ondas alfa e beta nos dois grupos. Foi identificado que houve uma tendência para maior potência de ativação da onda alfa, em relação a beta, nos dois grupos. Observa-se ainda que as regiões motoras primárias, representadas pelos canais FC5 e FC6, responsáveis pelo comando da execução do movimento, tiveram menor potência de ativação em ambos os grupos. Houve uma tendência de equilíbrio no potencial de ativação inter-hemisférica de alfa e beta nos dois grupos. Entretanto, enquanto que o GJ apresentou apenas um pico de ativação no canal F3, o GI obteve maior quantidade de picos de ativação em canais diferentes, com maior intensidade no canal F4. Isto reflete no fato de que os idosos tiveram maior necessidade de ativar diferentes áreas cerebrais para executar a tarefa motora de controle postural durante a execução do *exergame*.

Figura 2. Comparação entre o potencial de ativação das ondas (a) Alfa e (b) Beta entre os grupos de jovens e idosos.



Legenda: AF3, região ântero-frontal esquerda; AF4, região ântero-frontal direita; F3 e F7, regiões frontais à esquerda; F4 e F8, regiões frontais à direita; FC5, região fronto-central esquerda; FC6, região fronto-central direita. Fonte: Autores.

4. Discussão

Os achados encontrados possibilitam inferências sobre a relação entre *exergames* e a ativação cerebral de adultos jovens e idosos. A precisão sobre a caracterização da ativação cerebral em indivíduos saudáveis permite auxiliar o diagnóstico neurológico e, no âmbito da reabilitação, possibilita estabelecer o dinamismo da ativação cerebral acerca de ambientes terapêuticos diversos (Ferreira et al., 2017; Oliveira et al., 2018)

No presente estudo, foi constatado que durante a execução de um *exergame*, parece haver um comportamento de ativação semelhante no cérebro de idosos e adultos jovens, já que não houve diferença estatística quanto ao potencial de ativação da região frontal para as ondas alfa e beta entre os grupos. A exposição à RV possibilita um ambiente enriquecido com diversos estímulos e induz a uma integração multissensorial, sendo capaz de potencializar a ativação cerebral. Isto ocorre, porque os diferentes estímulos são coincidentes em tempo e espaço, e acabam sendo detectados mais rapidamente do que estímulos ofertados isoladamente (Levac et al., 2013).

As ondas alfa e beta foram escolhidas devido às características presentes em ambientes virtuais. Sabe-se que a onda alfa está relacionada com o estado de vigília relaxado, onde são

necessários menores níveis de atenção e concentração na tarefa. Enquanto isso, a onda beta é associada com o processamento de informações, resolução de problemas e tomadas de decisões, estando vinculada com a ativação motora, realização de atividades que demandam muita atenção e processamento cognitivo, preparação do movimento e percepção visual (Diniz et al., 2012; Oliveira et al., 2018).

Luft et al. (2006) identificaram que os indivíduos com maior habilidade em uma tarefa, apresentavam menor esforço neural nos lobos frontais e temporal; e que, quanto maior a atividade da onda alfa, melhor era a sincronia neural, menor o esforço mental com melhor desempenho. No presente estudo, foi observada uma tendência de maior potencial de ativação da onda alfa, sendo indicativo de baixo esforço cerebral para ambos os grupos.

Os estudos de Diniz et al. (2012) e Luft et al. (2006) trazem que a ativação da onda beta é percebida no início da execução de uma atividade, a qual se tem uma necessidade maior de atenção, pois esta atividade está relacionada com informações novas; enquanto isso, à medida que o processo de aprendizagem da atividade se consolida, ocorre uma supressão dessa onda e um aumento expressivo na atividade da onda alfa, como indicativo de um menor esforço cerebral e aprendizado da tarefa. Nestes casos, um menor esforço cerebral, diz respeito a uma ativação seletiva e efetiva das áreas que estão envolvidas no processamento motor requerido (Luft et al., 2006).

A ativação da onda alfa é inversamente proporcional ao grau de esforço cognitivo exigido (Stecklow et al., 2007). Uma menor ativação na onda beta pode estar associada à preparação do movimento, à execução do movimento e às imagens motoras durante a execução de uma tarefa (Luft et al., 2006; Sebastian et al., 2011). A maior ativação de alfa e menor ativação de beta observada nesse estudo, em ambos os grupos, pode ter ocorrido, pois o movimento de deslocamento látero-lateral no *exergame* não exigiu demandas cognitivas e motoras complexas, inclusive para os idosos; tal movimento pode ter sido considerado simples e de fácil entendimento; ou não ter gerado um engajamento suficiente nos participantes.

Apesar disso, maiores potenciais de ativação cerebral frontal foram identificados no grupo de idosos quando comparados aos jovens, para as ondas alfa e beta, em todos os canais analisados. A ausência de diferença no potencial de ativação das ondas, entre os adultos jovens e idosos, pode ter sido reflexo das características da amostra, haja vista que todos os participantes eram saudáveis, funcionalmente independentes e com bom estado cognitivo. Além disso, os idosos participavam de projetos de extensão voltados para a prática regular de

atividade física o que pode ter auxiliado na execução de um melhor desempenho cognitivo-motor durante o *exergame*.

Os idosos apresentaram maior quantidade de picos de ativação em canais diferentes, com maior magnitude no canal F4, enquanto que, os jovens tiveram um pico de ativação no canal F3. O padrão de ativação inter-hemisférica identificada no GJ pode ter sido reflexo da experiência prévia com o ambiente virtual e com o uso de *exergames* semelhantes ao executado no estudo; sendo reforçado pelo pico em F3 (região frontal esquerda) que é sugestivo de uma atividade de fácil execução, já aprendida. Além disso, a harmonia observada na ativação cortical dos jovens pode indicar um recrutamento neuronal mais eficiente e automático. Em contrapartida, a maior quantidade de picos de ativação no hemisfério direito no GI, com maior intensidade para o canal F4 (região frontal direita), pode ter acontecido, pois os mesmos foram expostos pela primeira vez a uma nova tarefa no ambiente virtual. Para conseguir manter a performance durante a execução do *exergame*, os idosos necessitaram ativar com maior intensidade, mais áreas cerebrais, reforçando a possibilidade de ter ocorrido uma atividade compensatória cerebral. Oliveira et al. (2018) mostraram que o ambiente virtual pode proporcionar padrões de ativação cortical distintos, dada a sua complexidade e mediante a dominância inter-hemisférica.

Alguns estudos (Knyazev et al., 2015; Cook et al., 2007) trazem que o aumento de ativação cortical apresentado pelos idosos se dá por processo compensatórios, em resposta ao declínio decorrente do avanço da idade. Indivíduos mais velhos tendem a ativar regiões frontais adicionais para recuperação de memória quando a carga de tarefa apresenta uma alta demanda desta competência. Ao que parece, atuando como uma resposta compensatória (Cook et al., 2007), pois o cérebro envelhecido consegue contrabalancear as alterações estruturais, alterando os padrões funcionais de recrutamento para manter as funções cognitivas (Eggenberg et al., 2016; Fan et al., 2019).

A região frontal do cérebro, está diretamente relacionada ao processamento motor, gerando a percepção e interpretação das informações provenientes dos jogos por meio de feedback visual; e com as funções executivas, permitindo a captação dos estímulos do ambiente e uma resposta adequada a eles (Luft et al., 2006). A redução da substância branca e cinzenta são os principais marcadores das modificações oriundas do envelhecimento, a nível cortical, levando a redução da velocidade de processamento dos sinais neurais, da cognição e memória (Luft et al., 2006; Cook et al., 2007; Fan et al., 2019). O volume do tecido cerebral

das regiões pré-frontais tende a ser afetado de maneira mais pronunciada (Eggenberg et al., 2016)

Na especialização hemisférica, o lado direito é mais ativado ao ser submetido a novas experiências, sendo responsável pelo processamento de novos estímulos e aquisição de novas habilidades (Schaefer et al., 2012; Bradcock et al., 2013; Oliveira et al., 2018). O lado esquerdo relaciona-se com a fala, resolução de cálculos e reconhecimento espacial, sendo responsável pela seleção dos objetivos, estratégias motoras e controle do movimento (Schaefer et al., 2012; Oliveira et al., 2018). Segundo a teoria de Goldberg (Luft et al., 2006; Schaefer et al., 2012; Oliveira et al., 2018), o hemisfério direito está mais envolvido na aquisição e processamento das novas informações, enquanto o esquerdo está mais relacionado com o processamento de informações já assimiladas. A maior atividade da região frontal direita nos idosos demarcou o processamento e reconhecimento do ambiente virtual, de suas características, estímulos e especificidades.

O presente estudo apresenta algumas limitações. O número amostral utilizado pode não ter sido suficiente para identificar distinções de ativações cerebrais; além disso, a investigação exclusiva da área frontal pode ter limitado os achados, já que é possível que para esta mesma tarefa, outras áreas cerebrais requeiram um maior esforço de ativação das ondas alfa e beta. Sugere-se a realização de novos estudos que busquem investigar o comportamento da ativação cerebral destes indivíduos com um maior número amostral e após a execução de um protocolo experimental com *exergames*.

5. Conclusão

O potencial de ativação das ondas alfa e beta nos canais frontais, para indivíduos jovens e idosos parece não diferir quando os mesmos são expostos a um ambiente virtual por meio do *exergame Penguin Slide-Nintendo Wii*. A frequência da onda alfa gerou maiores potenciais de ativação em ambos os grupos. Para ambas as ondas cerebrais (Alfa e Beta), a ativação inter-hemisférica foi harmônica, embora tenha sido identificado um pico de ativação na região frontal esquerda (F3) nos jovens, e maior quantidade de picos de ativação nos idosos, destacando-se a região frontal direita (F4). A exposição imediata a RV por meio do *exergame Penguin Slide* foi um recurso capaz de modular o cérebro de jovens e idosos, com relação ao padrão de ativação cortical. As alterações decorrentes do envelhecimento parecem ser compensadas, por maior ativação do hemisfério cerebral direito. Ressalta-se a necessidade de

estudos futuros para a observação dos efeitos de um protocolo de treino com a RV na ativação cortical nas diferentes faixas etárias e com maior número amostral.

Conflitos de Interesse:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses.

Referências

Andrade, A., Luft, C. B., Rolin, M. K. F. B. (2004). O desenvolvimento motor, a maturação das áreas corticais e a atenção na aprendizagem motora. *EFDesportes Revista Digital*. (10) 78.

Badcock, N. A., Mousikou, P., Mahaja, Y., Lissa, P., Thie, J., McArthur, G, (2013). Validation of the Emotiv Epoc® EEG gaming system for measuring research quality auditory ERPs. *PeerJ* 1:e38.

Bertolucci, P. H. F., Brucki, S. M. D., Campacci, S. R., Juliano, Y. (1994). O mini-exame do estado mental em uma população geral: Impacto da escolaridade. *Arquivo Neuropsiquiatria*. 52(1), 1-7.

Cook, I. A. I., Bookheimer, S. Y., Mickes, L., Leuchter, A. F., Kumar, A (2007). Aging and brain activation with working memory tasks: an fMRI study of connectivity. *Int J Geriatr Psychiatry*. 22(4), 332-42.

Diniz, C., Velasques, B., Bittencourt, J., Peressutti, C., Machado, S., Teixeira, S., Santos, J. L., Salles, J. I., Basile, L. F., Anghinah, R., Cheniaux, E., Nard, A. E., Cagy, M., Piedade, R., Arias-Carrión, O., Ribeiro, P. (2012). Cognitive mechanisms and motor control during a saccadic eye movement task: evidence from quantitative electroencephalography. *Arq Neuropsiquiatr*. 70(7), 506-513

Eggenberg, P., Wolf, M., Schumann, M., Bruin, E. D. (2016). Exergame and balance training modulate prefrontal brain activity during walking and enhance executive function in older adults. *Front Aging Neurosci*. 8, 66, 1-16.

Emotiv (2011). Emotiv software development kit user manual for release 1.0.0.3. Hong Kong: Emotiv Ltd.

Fan, Y. T., Fang, Y. W., Chen, Y. P., Leshikar, E. D., Lin, C. P., Tzeng, O. J. L., Huang, H. W., Huang, C. M. (2019). Aging, cognition and the brain: effects of age-related variation in white matter integrity on neuropsychological function. *Aging & Mental Health*. 23(7):831-9.

Fang, Y., Yue, G. H., Hrovat, K., Sahgal, V., Daly, J. J. (2007). Abnormal cognitive planning and movement smoothness control for a complex shoulder/elbow motor task in stroke survivors. *Journal of the Neurological Sciences*. 256, 21–29.

Ferreira, T. B., Rego, I. A. O., Campos, T. F., Cavalcanti, F. A. C. (2017). Brain activity during a lower limb functional task in a real and virtual environment: a comparative study. *Neurorehabilitation*. 40, 391–400.

Knyazev, G. G., Volf, N. V., Belousova, L. V. (2015). Age-related differences in electroencephalogram connectivity and network topology. *Neurobiol Aging*. 36(5), 1849-59.

Levac, D. E., Galving, J. (2013). When is Virtual Reality “Therapy”? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 94, 795-8

Long, X., Liao, W., Jiang, C., Liang, D., Qiu, B., Zhang, L. (2012). Healthy aging: an automatic analysis of global and regional morphological alterations of human brain. *Acad Radiol*. 19(7):785-93.

Luft, C., Andrade, A. (2006). A pesquisa com EEG aplicada a área de aprendizagem motora. *Rev Port Cien Desp*. 6(1), 106–115.

Mehrholz, J., Wagner, K., Rutte, K., Meibner, D., Pohl, M. (2007). Predictive Validity and Responsiveness of the Functional Ambulation Category in Hemiparetic Patients After Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 88(10), 1314–1319.

Nintendo (2017). Nintendo. Acesso em 2 de fevereiro, em www.nintendo.com

Oliveira, S. M. S., Medeiros, C. S. P., Pacheco, T. B. F., Bessa, N. P. O., Silva, F. G. M., Tavares, N. S. A., Rego, I. A. O., Campos, T. F., Cavalcanti, F. A. C. (2018). Eletroencefalographic changes using virtual reality program: technical note. *Neurological Research*. 40(3),160-5.

Peñasco-Martín, B. L. R-G., A., Gil-Agudo, Á., et al (2010). Application of virtual reality in the motor aspects of neurorehabilitation. *Rev Neurol*. 51(8), 481-488.

Quandt, L. C., Marshall, P. J., Shipley, T. F., Beilock, S. L., Goldin-Meadow, S. (2012). Sensitivity of alpha and beta oscillations to sensorimotor characteristics of action: An EEG study of action production and gesture observation. *Neuropsychologia*. 50: 2745–2751.

Sebastián, M., Reales, J. M., Ballesteros, S. (2011). Ageing affects event-related potentials and brain oscillations: A behavioral and electrophysiological study using a haptic recognition memory task. *Neuropsychologia*. 49 (14), 3967-80.

Schaefer, S. Y., Mutha, P. K., Haaland, K. Y., Sainburg, R. L. (2012). Hemispheric Specialization for movement control produces dissociable differences in online corrections after stroke. *Cerebral Cortex*. 22, 1407-1419.

Stecklow, M. V., Infantosi, A. F. C., Cagy, M. (2007). Alterações na banda alfa do eletroencefalograma durante imagética motora visual e sinestésica. *Arq Neuro-Psiquiatr*. 65(4), 1084-8.

Tobaigy, A., Alshehri, M. A., Timmons, S., Helal, O. F. (2018). The feasibility of using exergames as a rehabilitation tool: the attitudes, awareness, opinions and experiences of physiotherapists, and older people towards exergames. *J Phys Ther Sci*. 30, 555-62.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito:

Nathália Stéphany Araújo Tavares – 20%
Candice Simões Pimenta de Medeiros – 10%
Thaiana Barbosa Ferreira Pacheco – 10%
Isabelle Ananda Oliveira Rego – 10%
Bartolomeu Fagundes de Lima Filho – 10%
Nathalia Priscilla Oliveira Silva Bessa – 10%
Kim Mansur Yano – 10%
Júlio César Paulino de Melo – 10%
Fabrícia Azevêdo da Costa Cavalcanti – 10%