



ARTIGO ORIGINAL

Bailarinas x voleibolistas: efeito de diferentes treinamentos motores sobre o sinal eletroencefalográfico



Cláudia Daronch^{a,*}, Ricardo Demétrio de Souza Petersen^a,
Marilda Machado Spindola^b, Marco Aurélio Vaz^a, Lucas Fürstenau de Oliveira^c
e Jeam Marcel Geremia^d

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança, Departamento de Educação Física, Porto Alegre, RS, Brasil

^b Universidade de Caxias do Sul (UCS), Centro de Ciências Exatas, da Natureza e de Tecnologia, Bento Gonçalves, RS, Brasil

^c Universidade de Caxias do Sul (UCS), Centro de Ciências Humanas, Caxias do Sul, RS, Brasil

^d Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc), Departamento de Educação Física e Saúde, Santa Cruz do Sul, RS, Brasil

Recebido em 9 de julho de 2013; aceito em 13 de junho de 2014

Disponível na Internet em 2 de março de 2016

PALAVRAS-CHAVE

Habilidade Motora;
Eletroencefalografia;
Dança;
Voleibol

KEYWORDS

Motor skill;
Electroencephalography;
Dancing;
Volleyball

Resumo Com o objetivo de comparar processamentos corticais de indivíduos treinados em habilidades motoras distintas, 14 mulheres treinadas em balé ($22,9 \pm 1,8$ anos) e voleibol ($20,1 \pm 1,6$ anos) participaram do estudo. A amplitude do sinal EEG no ritmo gama foi obtida a partir da observação e imaginação de gestos dos dois treinamentos, por meio de oito eletrodos (F3, F7, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz) conectados ao escalpo. As diferenças significativas ($\alpha \leq 0,05$) encontradas entre os grupos nos eletrodos C3 e C4, relacionados com a preparação e inicialização do movimento voluntário na variável referente ao número de elementos neuronais evocados, permite-nos afirmar que existem diferenças de processamento cortical entre indivíduos com habilidades motoras distintas.

© 2016 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Dancers X volleyball players: Effects of different motors training on electroencephalographic signal

Abstract In order to compare cortical processing of individuals trained in different motor skills, fourteen women trained in ballet ($22,9 \pm 1,8$ years) and volleyball ($20,1 \pm 1,6$ years) participated in the study. The amplitude of the EEG signal in rhythm gamma was obtained by 08 electrodes (F3, F7, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz) on the scalp from observation and imagination

* Autor para correspondência.

E-mail: clodaronch@hotmail.com (C. Daronch).

PALABRAS CLAVE

Destreza motora;
Electroencefalografía;
Baile;
Vôleibol

of gestures of the two trainings. The differences ($\alpha \leq 0.05$) found between the groups on electrodes C3 and C4, related to the preparation and initialization of voluntary movement and for the variable number of evoked neuronal elements allows us to state that there are differences in cortical processing between individuals with different motor skills.

© 2016 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Bailarinas frente a jugadoras de vôleibol: efecto de diferentes entrenamientos motores en la señal eletroencefalográfica

Resumen Con el objetivo de comparar el procesamiento cortical de individuos con diferentes destrezas motoras, catorce mujeres entrenadas en ballet ($22,9 \pm 1,8$ años) y vôleibol ($20,1 \pm 1,6$ años) participaron en el estudio. La amplitud de la señal del EEG (ritmo gamma) se obtuvo por medio de 8 electrodos (F3, F7, C3, C4, Cz, P3, P4 y Pz) en el cuero cabelludo a partir de la observación e imaginación de los gestos de los entrenamientos. Las diferencias ($\alpha \leq 0,05$) que se encuentran entre los grupos en los electrodos C3 y C4, relacionadas con la preparación e iniciación del movimiento voluntario en la variable que refleja el número de elementos neuronales evocados, nos permite afirmar que hay diferencias en el procesamiento cortical entre personas con diferentes habilidades motoras.

© 2016 Colégio Brasileiro de Ciências do Esporte. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

Toda habilidade motora é composta por contribuições tanto de elementos motores quanto de elementos cognitivos, por isso também é chamada de habilidade perceptomotora (Schmidt e Wrisberg, 2001). O desempenho de alto nível está associado à capacidade do indivíduo de usar de forma eficiente o processamento cortical para determinada tarefa motora (Hatfield e Hillman, 2001). A integração sensorio-motora é fundamental para obtenção de tal eficiência, uma vez que as aferências sensoriais auxiliam na preparação do ato motor e na melhoria da execução de atividades de controle motor fino (Minc et al., 2010). Diferentes fontes de informação sensorial estão disponíveis para o sistema motor e existem diferentes formas de como o sistema nervoso central (SNC) irá processar essas informações para a produção do movimento habilidoso (Schmidt e Wrisberg, 2001). Uma dessas formas de processamento cortical é chamada de sistema de controle de circuito fechado, que envolve o uso de *feedback* sensorial e a detecção e correção de erro para a execução precisa do movimento. Já o sistema de controle aberto é usado quando uma atividade é praticada em ambiente altamente imprevisível, onde não há tempo para detecção e correção de erros.

O balé clássico é executado em ambiente altamente previsível, onde os bailarinos monitoram continuamente a posição do tronco e dos membros (Hänggi et al., 2010), indica um grau elevado de importância dos elementos motores na execução das habilidades motoras dessa modalidade de treinamento. Pode-se supor que devido ao fato de o balé clássico ser praticado em ambiente previsível, os bailarinos desenvolvam um foco interno como referência para a geração do movimento. Em contrapartida, jogadores de

vôleibol executam seus movimentos num ambiente altamente imprevisível, desenvolvem como referência para a geração de movimentos um foco externo, quer seja a bola ou outra jogadora (Moraes, 2009). Os elementos cognitivos assumem papel fundamental, já que a decisão de ação é determinante para obtenção de êxito.

De acordo com o conceito tradicional, a função cerebral é descrita principalmente em termos de anatomia funcional. Anatomia e conectividade funcional podem ser consideradas a dimensão espacial ou geométrica da mente. No entanto, para uma melhor compreensão, uma dimensão adicional deve ser considerada: o tempo. O cérebro gera a sua própria estrutura temporal, que é em grande parte organizada pelas oscilações corticais (Buzsáki e Draguhn, 2004). A atividade rítmica no córtex é caracterizada por sua frequência, que é a taxa na qual uma onda se propaga dentro de um segundo; que é medida em Hertz ((Hz) ciclos por segundo). O sinal eletroencefalográfico (EEG) permite monitorar, identificar e classificar sinais eletrofisiológicos em faixas de frequências, ou bandas de atividades, relacionadas aos estados de vigília e não vigília (Mackay, 1997; Pfurtscheller e Silva, 1999). A banda Delta (< 3,5 Hz) está relacionada com o sono profundo; a banda Teta (4-7,5 Hz) está relacionada com vigília com estado de atenção forçada, resolução de problemas lógicos, cálculos matemáticos e processamento de memórias; a banda Alfa (8-13 Hz) está relacionada com vigília e relaxamento; evidências científicas demonstram que o ritmo alfa está relacionado com a performance de memória (Klimesch, 1999) e que as oscilações na banda alfa refletem a estrutura temporal de um dos processos cognitivos mais básicos, que pode ser descrito como a "consciência baseada no conhecimento" e que permite a "orientação semântica", via de acesso

controlado à informação armazenada num sistema de conhecimento complexo (Klimesch, 2012); a banda Beta (14-40 Hz) está relacionada com vigília, com estado de atenção; e a banda Gama (40 -100 Hz) está relacionada com fenômeno de sincronização (processo de aprendizagem) e estado de programação motora (transmissão de informações corticais antes do evento motor acontecer). Foi escolhida para este trabalho a análise do sinal EEG na faixa de frequência gama, devido a sua relação com os processos sensoriais e cognitivos do controle motor, sendo uma das mais importantes na avaliação das habilidades perceptomotoras. A banda de frequência gama tem sido explorada para compreender seu papel na dinâmica oscilatória cortical. Acredita-se que oscilações da banda gama proporcionam um mecanismo para ligação de elementos corticais funcionalmente relacionados, como atenção, memória, planejamento motor, integração sensoriomotora e cognição (Minc et al., 2010). Dentre as funções descritas para as atividades corticais dessa banda do sinal EEG está a de construir bloqueios para evitar a perda da atenção seletiva necessária para o aprendizado do controle motor (Mackay, 1997). A amplitude do sinal no ritmo gama reflete o número de elementos neuronais evocados pelo estímulo (Lazarev, 1998). Assumindo-se que diferentes modalidades esportivas geram diferentes níveis de ativação do córtex cerebral para tarefas específicas, e que tarefas treinadas em cada modalidade evocariam um menor número de elementos neuronais devido ao elevado nível de repetição e familiarização com gestos motores específicos, a análise da amplitude da banda do sinal EEG no ritmo gama possibilitaria uma comparação entre processamentos corticais supostamente distintos quando atletas de cada modalidade fazem gestos motores que são familiares a uma modalidade, mas estranhos a outra modalidade.

No campo da cognição motora humana, percebeu-se que a ação motora envolve uma etapa interna/cognitivomental (Jeannerod, 2001). A ativação do sistema motor durante as etapas internas é um prerequisite para a teoria da simulação: é o que dá ao estado cognitivomental seu conteúdo motor. Com base na teoria da simulação, o sinal EEG foi evocado a partir da tarefa de visualizar e imaginar um gesto relativo ao balé e outro relativo ao voleibol apresentados às participantes do estudo, de ambos os treinamentos, por meio de vídeo.

A literatura apresenta estudos que demonstram que o sinal EEG pode ser uma ferramenta muito útil na comparação da eficiência neural entre indivíduos *experts* e novatos com o mesmo treinamento (Haufler et al., 2000; Hatfield e Hillman, 2001; Deeny et al., 2003) e demonstrou ser capaz de identificar diferentes perfis cognitivos espaciais de estudantes de diferentes áreas de conhecimento (exatas x humanas) (Spindola, 2010). Além disso, essa técnica de avaliação da função cortical pode ser usada na comparação de indivíduos altamente habilidosos em treinamentos distintos. Assim, o objetivo do presente estudo foi comparar os processamentos corticais de bailarinas e voleibolistas, altamente treinados em suas modalidades, nas regiões relacionadas ao planejamento e aos comandos motores, à percepção cinestésica e à posição espacial por meio da análise do sinal EEG evocado durante a execução de tarefas dentro e fora de suas modalidades.

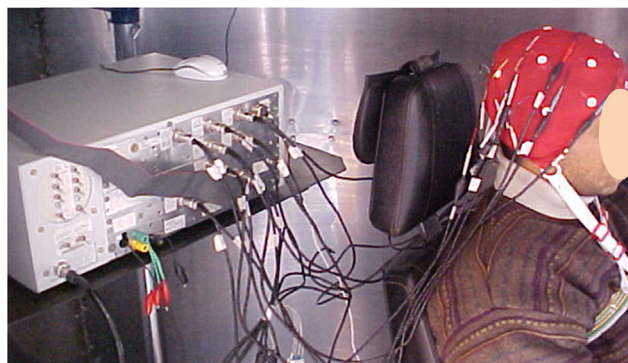


Figura 1 Equipamento de EEG desenvolvido no Laboratório de Biosinais da UCS e usado na captação dos sinais EEG.

Material e métodos

Amostra e desenho experimental

Participaram do estudo 14 mulheres destros, altamente treinadas em balé clássico e voleibol. O grupo com treinamento em balé clássico (TB) foi composto por sete bailarinas profissionais da Região Metropolitana do Rio Grande do Sul (média de $22,9 \pm 1,8$ anos), enquanto que o grupo com treinamento em voleibol (TV) foi composto por sete voleibolistas (média de $20,1 \pm 1,6$ anos) pertencentes aos dois principais times participantes do campeonato regional do Rio Grande do Sul. As bailarinas tinham pelo menos oito anos de formação (com um mínimo de duas horas diárias de prática, cinco vezes por semana) e as voleibolistas tinham uma média de cinco anos de experiência (com um mínimo de quatro horas diárias de prática, três vezes por semana) (Frasson et al., 2007). Foram excluídas bailarinas clássicas que já tivessem jogado voleibol, assim como voleibolistas que já tivessem praticado balé clássico. Também foram excluídos indivíduos com patologias em estado agudo. Todas as participantes foram instruídas a não fumar, ingerir álcool, chá, refrigerante e usar drogas nas 24 horas anteriores à coleta de dados (Luck, 2005). Todas as participantes não apresentaram histórico de distúrbios neurológico, psiquiátrico ou osteomuscular e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade de Caxias do Sul (UCS) de acordo com as diretrizes estabelecidas na Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

Instrumentos de pesquisa

Para a aquisição de dados foi usado o equipamento de EEG desenvolvido no Laboratório de Biosinais (UCS). Os métodos de desenvolvimento, assim como a validação do equipamento de EEG, encontram-se em Carra et al. (2007).

A figura 1 apresenta as partes integrantes do equipamento EEG, que consiste de um sistema de touca com eletrodos pré-fixados (24 eletrodos e impedância menor do que $3k\Omega$) de acordo com o sistema internacional 10-20% (Sistema Jasper), usado para padronizar a captura e identificação do sinal neurofisiológico, juntamente com um sistema adaptador de impedâncias. Foi usado gel condutor à base de água nos eletrodos, o que permitiu melhor qualidade

na aquisição do sinal neurofisiológico. A taxa de aquisição dos sinais EEG foi de 1.000 Hz por canal.

A aquisição dos dados ocorreu dentro de uma gaiola de Faraday (o ambiente interno foi isolado eletricamente do meio externo) e com temperatura, luminosidade e estímulos sonoros controlados com objetivo de minimizar possíveis interferências sensoriais durante as coletas dos sinais EEG.

Procedimentos

Após período de familiarização, as participantes foram convidadas a permanecer sentadas confortavelmente em uma cadeira com encosto para as costas e a cabeça posicionada a uma distância de 90 cm em frente a um monitor de 15 polegadas e conectada ao sistema de EEG. Os eletrodos foram dispostos nos pontos F3 (área motora suplementar esquerda) e F7 (córtex pré-motor esquerdo), C3, C4 e Cz (córtex motor primário esquerdo, direito e central), P3, P4 e Pz (córtex parietal esquerdo, direito e central) (fig. 2), além de dois eletrodos auriculares, os quais serviam como referência para os demais. Os pontos C3, C4 e Cz foram escolhidos por representar o córtex motor primário que está funcionalmente relacionado à preparação e execução motora (Chouinard e Paus, 2006; Minc et al., 2010). O eletrodo fixado no ponto F7 foi escolhido por captar a atividade de parte da população neuronal localizada no córtex pré-motor esquerdo, o qual está relacionado com o planejamento motor (Freund e Hummelsheim, 1984). Os pontos P3, P4 e Pz captam a atividade de parte da população neuronal do córtex parietal superior (Van Eimeren et al., 2006).

Para evitar resultados decorrentes do estado de ansiedade das participantes, o sinal neurofisiológico foi obtido durante os primeiros cinco minutos do experimento, as participantes foram orientadas a permanecer sentadas de maneira o mais confortável possível e de olhos fechados. O sinal neurofisiológico obtido nesse momento foi considerado como sinal de base, o qual foi usado na normalização dos dados.

Após, foram apresentados às participantes dos dois grupos ambos os vídeos com duração de 20 segundos cada: um vídeo com um gesto específico do balé clássico e o outro com um gesto específico do voleibol. O vídeo de balé clássico (VB) continha uma bailarina que fazia um giro sobre uma perna e terminava sobre a mesma perna, enquanto que o vídeo de vôlei (VV) continha uma jogadora que fazia uma recepção com recurso, ou seja, com um rolamento lateral. O estímulo apresentado às participantes do experimento consistiu de dois momentos: o primeiro momento de observação do gesto (i.e. M1: o sujeito deveria assistir ao gesto); e o segundo de imaginação do gesto (i.e. M2: o sujeito deveria imaginar a si próprio realizando o gesto). O início e o término desse período de imaginação motora foram delimitados por sinais sonoros. As participantes foram orientadas a se imaginar executando o gesto assistido, no qual há o envolvimento de experiências cinestésicas no sinal evocado (Neuper et al., 2005). A ordem dos gestos apresentados às participantes foi randomizada.

A fim de aumentar a confiabilidade dos dados, os procedimentos acima descritos foram executados sempre pelo mesmo operador do equipamento de EEG e feitos no período

vespertino, para evitar as alterações no sinal EEG em decorrência do período do dia (Luck, 2005).

Seleção de trechos de interesse

Os trechos de interesse para análise e obtenção da amplitude do sinal EEG no ritmo gama foram definidos como o tempo de execução do gesto motor durante a observação do vídeo com o gesto (M1), que foi de três segundos para as duas tarefas. Dois segundos após o sinal sonoro para início da imaginação do gesto, foi selecionado um trecho com a mesma duração que o gesto motor como o período de imagem motora (M2). Ficaram assim definidos os trechos de interesse:

- Vídeo de balé - do 3° ao 6° segundo (M1) e do 15° ao 18° segundo (M2);
- Vídeo de voleibol - do 4° ao 7° segundo (M1) e do 15° ao 18° segundo (M2).

Correção dos artefatos

Artefatos são definidos como todo potencial elétrico proveniente de outra fonte que não seja o córtex cerebral. Esses artefatos geralmente são provenientes de movimentos oculares e contrações musculares. Uma inspeção visual foi feita para detecção de artefatos, a qual tem sido referida na literatura (Anghinah et al., 2006) como superior à análise quantitativa para o reconhecimento de artefatos, porque preserva a visualização morfológica dos grafoelementos. Essa inspeção visual deve ser feita obrigatoriamente no domínio do tempo, pois a sua correta identificação se perde no domínio da frequência. A correção dos trechos de interesse que apresentavam pequenos artefatos foi feita por meio de um *software* desenvolvido pelo Laboratório de Biosinais da UCS. O *software* usava um segmento pertencente ao trecho de interesse (o qual não tinha artefatos) como referência de amplitudes máximas (positivas e negativas) que substituíam as amplitudes excedentes nos trechos com artefato por esses trechos de referência. A partir dos trechos de interesse selecionados foi obtido o parâmetro de amplitude do sinal no ritmo gama por meio do *software* MATLAB 5.3 (Mathworks, Inc.).

Tratamento do sinal

Os sinais neurofisiológicos capturados em cada ponto foram filtrados analogicamente por meio de um filtro passa-alta de 0.01 Hz e com amplificação de 15.000 vezes. Após, os sinais neurofisiológicos foram processados digitalmente por meio do *software* LabVIEW. Os sinais digitalizados foram filtrados com um filtro passa-baixa de 100 Hz.

Variável de análise

A variável considerada para o presente estudo foi o parâmetro de amplitude do sinal EEG no ritmo gama, que foi analisado em média quadrática da energia (amplitude ao quadrado sob valor absoluto). Esse parâmetro representa o reflexo do número de elementos neuronais evocados pelas

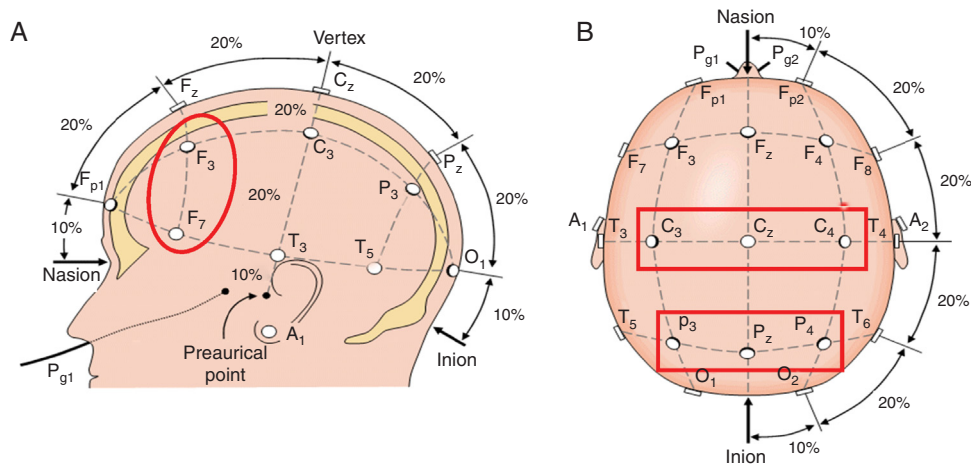


Figura 2 Sistema Internacional 10-20 visão do lado esquerdo (A) e do topo (B) indica os pontos onde foram posicionados os eletrodos de EEG nos sujeitos.

F3, área motora suplementar esquerda; F7, córtex pré-motor esquerdo; C3, córtex motor primário esquerdo; C4, córtex motor primário direito; Cz, córtex motor primário central; P3, córtex parietal esquerdo; P4, córtex parietal direito; Pz, córtex parietal central.

Eletrodos de referência: A1, auricular esquerdo; A2, auricular direito.

tarefas (Lazarev, 1998), representando o esforço cognitivo do sujeito durante as tarefas (Spindola, 2010). A banda gama foi escolhida para explorar suas associações como elemento de ligação para a integração sensoriomotora, atenção e planejamento motor (Basar et al., 2001; Omlor et al., 2007; Minc et al., 2010). A amplitude do sinal EEG no ritmo Gama foi obtida por meio do *software* Matlab 5.3 (Mathworks, Inc.).

Análise estatística

Uma Anova de dois fatores para medidas repetidas foi usada para a comparação entre grupos (TB x TV) e os momentos (M1 x M2) do parâmetro amplitude do sinal EEG no ritmo gama, nas duas tarefas relativas aos treinamentos de balé (VB) e vôlei (VV) em cada um dos oito pontos no escalpo (C3/Cz/C4/F3/F7/P3/Pz/P4). Para a localização das diferenças foi usado um teste *post hoc* de Bonferroni. O nível de significância adotado em todos os testes foi de $\alpha \leq 0,05$.

Resultados

No gesto relativo ao balé clássico (VB) foram encontradas diferenças significativas entre os grupos no ponto C3 [$F(1,6) = 27,340$; $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,82$; $Po = 0,99$]. Nas análises posteriores à interação de fatores encontrada no ponto C4 [$F(1,6) = 6,696$; $p = 0,04$; $\eta^2 = 0,52$; $Po = 0,58$] foi encontrada diferença significativa entre os grupos ($p = 0,03$) somente na observação do gesto (M1). Também foram encontradas diferenças significativas entre os momentos nos pontos F3 [$F(1,6) = 16,602$; $p = 0,007$; $\eta^2 = 0,73$; $Po = 0,92$] e Pz [$F(1,6) = 15,086$; $p = 0,008$; $\eta^2 = 0,71$; $Po = 0,89$]. A [tabela 1](#) apresentou os resultados da tarefa VB.

No gesto relativo ao voleibol (VV) foram encontradas diferenças significativas entre os grupos no ponto F7 [$F(1,6) = 6,991$; $p = 0,03$; $\eta^2 = 0,53$; $Po = 0,60$]. A [tabela 2](#) apresenta os resultados da tarefa VV.

(1,6) = 6,991; $p = 0,03$; $\eta^2 = 0,53$; $Po = 0,60$]. A [tabela 2](#) apresenta os resultados da tarefa VV.

Discussão

O objetivo deste estudo foi investigar os processamentos corticais de bailarinas e voleibolistas, nas regiões relacionadas ao planejamento e comandos motores e percepção cinestésica e posição espacial, por meio da amplitude do sinal EEG no ritmo gama, nas tarefas de observação e imaginação dos gestos referentes aos dois treinamentos. O grupo TB apresentou amplitudes de sinal superiores ao grupo TV, tanto na observação do gesto (M1) quanto na imaginação do mesmo (M2) em ambas as tarefas.

Os eletrodos C3 e C4 representam o córtex motor primário de ambos os hemisférios e estão relacionados funcionalmente com a preparação e execução do movimento voluntário (Hänggi et al., 2010; Minc et al., 2010). A atividade neuronal captada por esses eletrodos apresentou maior número de elementos neuronais no grupo TB em comparação com o grupo TV. Nas análises posteriores à interação de fatores encontrada em C4 foi encontrada diferença significativa entre os grupos apenas na observação do gesto. Esse achado demonstra que ao assistir o gesto relativo ao balé clássico o plano motor interno foi gerado diferentemente por cada grupo. Essa evidência corrobora o pressuposto de que as bailarinas usam um processamento cortical diferente do usado pelas voleibolistas ao desenvolver um foco interno para a geração de movimento, com o uso do sentido cinestésico como forma de geração e correção dos movimentos. Isso resulta em um maior processamento cortical, pois, ao visualizar o gesto, as bailarinas evocam a memória desse gesto e com uso do *feedback* sensorial, reprocessam essa memória para gerar o plano motor interno. Essas suposições vêm ao encontro do relato das participantes do grupo TB, as quais relataram que, ao assistir e imaginar o gesto de balé

Tabela 1 Valores de média e desvio padrão da amplitude do sinal EEG no ritmo gama (em μV) dos grupos nos dois momentos nos oito pontos na tarefa vídeo de balé

Pontos	Grupos	M1	M2	P
C3 ^a	TB	0,030 ± 0,005	0,025 ± 0,002	0,002 (G); 0,03 (M); 0,24 (INT)
	TV	0,018 ± 0,005	0,017 ± 0,002	
C4 ^a	TB	0,036 ± 0,01	0,021 ± 0,002	0,06 (G); 0,06 (M); 0,04 (INT)
	TV	0,020 ± 0,004	0,021 ± 0,005	
Cz	TB	0,018 ± 0,002	0,018 ± 0,001	0,24 (G); 0,52 (M); 0,32 (INT)
	TV	0,016 ± 0,001	0,017 ± 0,002	
F3 ^a	TB	0,028 ± 0,01	0,020 ± 0,002	0,11 (G); 0,007 (M); 0,58 (INT)
	TV	0,020 ± 0,007	0,015 ± 0,002	
F7	TB	0,030 ± 0,01	0,029 ± 0,006	0,06 (G); 0,64 (M); 0,99 (INT)
	TV	0,022 ± 0,008	0,021 ± 0,002	
P3	TB	0,019 ± 0,003	0,020 ± 0,0006	0,34 (G); 0,65 (M); 0,83 (INT)
	TV	0,018 ± 0,005	0,018 ± 0,002	
P4	TB	0,019 ± 0,003	0,018 ± 0,002	0,45 (G); 0,61 (M); 0,74 (INT)
	TV	0,020 ± 0,009	0,020 ± 0,003	
Pz ^a	TB	0,016 ± 0,0008	0,017 ± 0,002	0,82 (G); 0,008 (M); 0,19 (INT)
	TV	0,015 ± 0,002	0,018 ± 0,002	

TB, treinamento em balé; TV, treinamento em vôlei; M1, visualização; M2, imaginação; P, Grupo (G), Momentos (M), Interação (INT).

^a Diferença significativa.

Tabela 2 Valores de média e desvio padrão da amplitude do sinal EEG no ritmo gama (em μV) dos grupos nos dois momentos nos oito pontos na tarefa vídeo de voleibol

Pontos	Grupos	M1	M2	P
C3	TB	0,026 ± 0,016	0,021 ± 0,002	0,24 (G); 0,42 (M); 0,54 (INT)
	TV	0,019 ± 0,005	0,018 ± 0,006	
C4	TB	0,029 ± 0,017	0,024 ± 0,009	0,18 (G); 0,45 (M); 0,56 (INT)
	TV	0,020 ± 0,004	0,019 ± 0,004	
Cz	TB	0,016 ± 0,004	0,019 ± 0,002	0,60 (G); 0,60 (M); 0,19 (INT)
	TV	0,018 ± 0,003	0,016 ± 0,003	
F3	TB	0,028 ± 0,015	0,021 ± 0,005	0,36 (G); 0,18 (M); 0,17 (INT)
	TV	0,018 ± 0,006	0,020 ± 0,008	
F7 ^a	TB	0,024 ± 0,010	0,030 ± 0,010	0,03 (G); 0,06 (M); 0,70 (INT)
	TV	0,016 ± 0,004	0,023 ± 0,005	
P3	TB	0,018 ± 0,007	0,020 ± 0,008	0,92 (G); 0,43 (M); 0,99 (INT)
	TV	0,019 ± 0,005	0,020 ± 0,005	
P4	TB	0,019 ± 0,007	0,019 ± 0,006	0,62 (G); 0,78 (M); 0,64 (INT)
	TV	0,022 ± 0,007	0,020 ± 0,005	
Pz	TB	0,014 ± 0,003	0,019 ± 0,005	0,95 (G); 0,053 (M); 0,08 (INT)
	TV	0,017 ± 0,004	0,017 ± 0,001	

TB, treinamento em balé; TV, treinamento em vôlei; M1, visualização; M2, imaginação; P, Grupo (G), Momentos (M), Interação (INT).

^a Diferença significativa.

clássico, procuravam corrigir a colocação de braços e postura, por exemplo.

Já as participantes do grupo TV relataram que assistiram e se imaginaram executando o gesto de balé clássico sem intenção corretiva, mesmo constatando o grau de dificuldade. Ressalta-se a importância da cognição espacial em dança: bailarinos necessitam monitorar continuamente a posição espacial do tronco e membros e fazê-lo principalmente com base na informação proprioceptiva dos órgãos

sensoriais dos músculos, tendões e articulações (Hänggi et al., 2010). Tal achado confirma o uso de sistema de controle de circuito fechado pelos bailarinos para execução dos movimentos.

Os resultados do presente estudo vão de encontro a estudos que revelam redução na atividade neural em indivíduos habilidosos quando comparados com novatos (Haufler et al., 2000; Hatfield e Hillman, 2001; Deeny et al., 2003). No presente estudo a comparação é feita entre dois grupos

habilidosos, e não entre novatos e *experts*, o que explica o fato de as bailarinas apresentarem uma maior atividade neural na tarefa relativa ao gesto do próprio treinamento.

Na tarefa VB também foram encontradas diferenças significativas entre os momentos nos pontos C3, F7 e Pz. Esses resultados refletem, principalmente, a diferença de demanda cognitiva entre os dois momentos de cada tarefa. A demanda cognitiva é um fator que altera o registro EEG quando uma situação de repouso (M1) é comparada com uma de maior demanda (M2), observada principalmente quando os sujeitos fecham os olhos (Klimesch, 1999). Esses resultados corroboram com a literatura e demonstram que tarefas com maior demanda cognitiva refletem um aumento de elementos neuronais envolvidos.

Na tarefa VV foi encontrada diferença significativa entre os grupos em F7. Estudos revelaram que o córtex pré-motor, captado por esse ponto, envia projeções para o tronco encefálico e origina o sistema de projeções descendentes (Purves et al., 2005). Evidências na literatura demonstram que pacientes com lesões dessas vias apresentavam um déficit na manutenção da postura ereta necessária para a integração do corpo com movimento dos membros e na independência do movimento das extremidades (Freund e Hummelshim, 1984; Tanji, 1994). Os dois treinamentos diferenciam-se na maneira como seus praticantes fazem uso dessas musculaturas e a tarefa do vôlei refletiu essas diferenças. Na dança os movimentos são gerados com ênfase na manutenção da estabilização do tronco para a execução dos movimentos das extremidades, ou seja, o controle parte do axial para as extremidades. No voleibol, a questão espacial e a imprevisibilidade de ação assumem um caráter diferencial e determinante para a geração dos movimentos. Esses fatores fazem com que a voleibolista esteja sempre em prontidão para o rápido início do movimento, o que resulta em ênfase dos movimentos dos membros superiores e membros inferiores sobre a manutenção da estabilização do tronco. Portanto, é significativo que diferenças entre os grupos tenham aparecido nesse ponto, por se tratar do ponto relativo ao controle da musculatura postural e dos membros proximais.

Obviamente a especificidade do treinamento leva a adaptações neuromusculares do praticante (Frasson et al., 2007). Nesse estudo foram comparadas as relações torque-ângulo e torque-velocidade dos dorsiflexores e flexores plantares entre bailarinas e voleibolistas. As adaptações neuromusculares dos flexores plantares foram explicadas por alterações musculares intrínsecas e alterações na ativação voluntária máxima, enquanto as adaptações dos dorsiflexores somente puderam ser explicadas por mudanças nas propriedades intrínsecas. As alterações musculoesqueléticas representam as adaptações do sistema efetor que é modulado pelas referências dos neurônios motores superiores que também sofreram alterações estruturais como consequência da integração sensoriomotora (Hänggi et al., 2010). Essas alterações estruturais são decorrência do balanço entre sinapses excitatórias e inibitórias, o que altera a organização do córtex motor (Sanes e Donoghue, 2000). A diferença significativa encontrada entre os grupos no ponto F7 pode ser tomada como evidência das modulações neurais resultantes do uso diferenciado dessas musculaturas pelos dois treinamentos.

Aprender sobre o processamento cortical motor decorrente de determinados treinamentos pode permitir uma melhora significativa na inter-relação entre sujeito e objeto de aprendizagem (Spindola et al., 2010). Evidências na literatura sugerem que o córtex motor primário não é simplesmente uma estrutura estática de controle motor, mas também contém um substrato dinâmico que participa tanto no aprendizado motor como em eventos cognitivos (Sanes e Donoghue, 2000). Com a crescente compreensão e interesse na plasticidade neuronal, o retreinamento cognitivo tem sido reconhecido como um eficiente meio de neuroreabilitação de pacientes com traumatismo crânio encefálico (Nangia e Kumar, 2012). Dessa forma, os achados encontrados no presente estudo complementam resultados encontrados na literatura (Calil et al., 2007; Ribeiro e Braga, 2011) que indicam a dança como mais um recurso eficaz de neuroreabilitação que propicia melhorias em aspectos motores, psicológicos e sociais de pacientes portadores de limitações.

Este estudo apresentou como limitação o número reduzido de canais EEG disponível para captação da atividade cortical. Como proposição futura, ampliar as regiões cerebrais coletadas e realizar a análise de coerência intereletrodo, uma análise mais relevante na investigação da integração sensoriomotora.

Conclusão

Os resultados encontrados neste estudo indicam que indivíduos altamente treinados em balé e voleibol apresentam diferenças de processamento cortical nas regiões relativas ao planejamento e comando motor. A variável considerada para essa comparação confirmou o uso de diferentes sistemas de controle motor pelos grupos para a geração do movimento habilidoso.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

- Anghinah R, Basile LI, Schmidt MT, Sameshima K, Gattaz WF. [Artefatos biológicos no EEG quantitativo. Arq Neuro-Psiquiatr 2006;64:264-8.](#)
- Başar E, Başar-Eroglu C, Karakaş S, Schürmann M. [Gamma, alpha, delta, and theta oscillations govern cognitive processes. Int J Psychophysiol 2001;39:241-8.](#)
- Buzsáki G, Draguhn A. [Neuronal oscillations in cortical network. Science 2004;304:926-9.](#)
- Calil SR, Santos TABP, Braga DM, Labronici RHDD. [Reabilitação por meio da dança: uma proposta fisioterapêutica em pacientes com sequela de AVC. Rev Neurocienc 2007;15:195-202.](#)
- Carra M, Balbinot A, Chiaramonte M. Desenvolvimento de um protótipo EEG como ferramenta para caracterização de sinais cerebrais em atividades relacionadas a raciocínio lógico. In: II Encontro Nacional de Biomecânica, 2007, Évora. Actas do II Encontro Nacional de Biomecânica, 2007, v. 1, p. 387-392.
- Chouinard PA, Paus T. [The primary motor and premotor areas of human cerebral cortex. Neurosci 2006;12:143-52.](#)

- Deeny SP, Hillman CH, Janelle CM, Hatfield BD. Cortico-cortical communication and superior performance in skilled mask men: A coherence analysis. *J Sport Exerc Psychol* 2003;25:188–204.
- Frasson BV, Rassier DE, Herzog W, Vaz MA. Relação torque-ângulo e torque-velocidade dos dorsiflexores e flexores plantares de bailarinas clássicas e jogadoras de vôlei. *Rev Bras Biomed* 2007;8:31–7.
- Freund HJ, Hummelshaim H. Premotor cortex in man: evidence for innervation of proximal limb muscles. *Exp Brain Res* 1984;53:479–82.
- Hänggi J, Koeneke S, Bezzola L, Jäncke L. Structural neuroplasticity in the sensorimotor network of professional female ballet dance. *Hum Brain Mapp* 2010;31:1196–206.
- Hatfield DB, Hillman CH. The psychophysiology of sport: a mechanistic understanding of the psychology of superior performance: handbook of sport psychology. New York: John Wiley & Sons; 2001.
- Haufler AJ, Spalding TW, Maria DLS, Hatfield BD. Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in maskmen and novice shooters. *Biological Psychology* 2000;53:131–60.
- Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 2001;14:s103–9.
- Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews* 1999;29:169–95.
- Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Science* 2012;16:606–17.
- Lazarev VV. On the inter-correlation of some frequency and amplitude parameters of the human EEG and its functional significance. Communication I: Mundimensional neurodynamic organization of functional states of the brain during intellectual, perceptive and motor activity in normal subjects. *Int J Psychophysiol* 1998;28:77–98.
- Luck SJ. An introduction to the event-related potential technique. Londres: Cambridge; 2005.
- Mackay WA. Synchronized neuronal oscillation and their role in motor processes. *Trends Cogn Sci* 1997;1:176–83.
- Moraes JC. *Determinantes da dinâmica funcional do jogo de Voleibol: estudo aplicado em seleções adultas masculinas*. 2009. 328 f. Tese, (Doutorado em Ciências do desporto)- Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Porto, 2009.
- Minc D, Machado S, Bastos VH, Machado D, Cunha M, Cagy M, et al. Gamma band oscillations under influence of bromazepam during a sensorimotor integration task: Na EEG coherence study. *Neurosci Lett* 2010;469:145–9.
- Nangia D, Kumar K. Cognitive retraining in traumatic brain injury. *Neuropsychol trends* 2012;11:65–74.
- Neuper C, Scherer R, Reiner M, Pfurtscheller G. Imagery of motor actions: differential effects of kinesthetic and visual-motor of imagery in single-trial EEG. *Brain Res Cogn Brain Res* 2005;25:668–77.
- Omlor W, Patino L, Hepp-Reymond MC, Kristeva R. Gamma-range corticomuscular coherence during dynamic force output. *Neuroimage* 2007;34:1191–8.
- Pfurtscheller G, Silva FH. Event-related EEG/EMG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clin Neurophysiol* 1999;110:1842–57.
- Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall WC, LaMantia A-S, McNamara JO, et al. *Neurociências*. Porto Alegre: Artmed; 2005.
- Ribeiro CR, Braga DM. A interferência da dança na qualidade de vida de indivíduos portadores de esclerose múltipla: relato de caso. *Rev Neurociênc* 2011;19:258–65.
- Sanes J, Donoghue JP. Plasticity and primary motor cortex. *Annu Rev Neurosci* 2000;23:393–415.
- Spindola M. *Habilidade cognitiva espacial: uma medida com eletroencefalografia*. 2010. 205 f. Tese (doutorado em informática na educação)- Faculdade de educação, Universidade federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- Spindola M, Balbinot A, Caten CT, Timm MI, Zaro MA. A study of brain reaction to spatial stimuli in students with diferente background knowledge. *Ciênc Cogn* 2010;15:023–32.
- Schmidt RA, Wrisberg CA. *Aprendizagem e performance motora: Uma abordagem baseada no problema*. Porto Alegre: Artmed; 2001.
- Tanji J. The supplementary motor area in the cerebral cortex. *Neuroscience* 1994;19:241–68.
- Van Eimeren T, Wolbers T, Münchau A, Büchel C, Weiller C, Siebner HR. Implementation of visuoespacial cues in response selection. *Neuroimage* 2006;29:286–94.