



Fitness & Performance Journal
ISSN: 1519-9088
editor@cobrase.org.br
Instituto Crescer com Meta
Brasil

Valentim Silva, João Rafael; Fares Simão Junior, Roberto; Nunes, Walter Jacinto; Ferreira Vasconcelos, Conceição Eleonora; Furtado da Silva, Vernon
Sinergia entre o lóbulo frontal e parietal durante provas de coordenação motora global
Fitness & Performance Journal, vol. 8, núm. 5, septiembre-octubre, 2009, pp. 360-365
Instituto Crescer com Meta
Río de Janeiro, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75117077007>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

SINERGIA ENTRE O LÓBULO FRONTAL E PARIETAL DURANTE PROVAS DE COORDENAÇÃO MOTORA GLOBAL

João Rafael Valentim Silva¹ professor_joao_rafael@hotmail.com

Roberto Fares Simão Junior² robertosimao@posugf.com.br

Walter Jacinto Nunes³ nunes.walter@ig.com.br

Conceição Eleonora Ferreira Vasconcelos⁴ eleonoravas@terra.com.br

Vernon Furtado da Silva¹ vernonfurtado2005@yahoo.com.br

doi:10.3900/fpj.8.5.360.p

Silva JRV, Simão Junior RF, Nunes WJ, Vasconcelos CEF, Silva VF. Sinergia entre o lóbulo frontal e parietal durante provas de coordenação motora global. Fit Perf J. 2009 set-out;8(5):360-5.

RESUMO

Introdução: O sistema nervoso é o maestro das funções do corpo humano. Postulou-se que o lóbulo frontal é o responsável pela coordenação global e fina e deve estar mais ativo que outras áreas do córtex. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo identificar se o lóbulo frontal está mais ativo que a área somatossensorial durante tarefas de coordenação global. **Materiais e Métodos:** Para a coleta do sinal eletroencefalográfico, foi utilizado o aparelho Braintech 3000 (EMSA Instrumentos Médicos, Brasil). **Resultados:** As provas de coordenação global, coordenação óculo-manual onde ao se comparar os eletrodos F3 ($1,799 \pm 0,225$ mV) contra C3 ($1,789 \pm 0,218$ mV); F4 ($1,815 \pm 0,223$ mV) contra C4 ($1,828 \pm 0,227$ mV); coordenação óculo-pedal onde F3 ($2,735 \pm 0,278$ mV) contra C3 ($2,702 \pm 0,280$ mV) e F4 ($2,821 \pm 0,267$ mV) contra C4 ($2,763 \pm 0,258$ mV), não apresentou diferença na ANOVA one-way com sensibilidade de 0,05. **Discussão:** Os resultados demonstraram uma grande atividade do córtex frontal, no entanto há uma ativação de magnitude igual na área somatossensorial, sugerindo acoplamento inter-regional de informações durante tarefas de coordenação global.

PALAVRAS-CHAVE

Eletroencefalografia; Coordenação Viso-motora; Lobo Frontal; Lobo Parietal.

¹Universidade Castelo Branco – UCB/RJ – Rio de Janeiro/RJ – Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Rio de Janeiro/RJ – Brasil

³Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ – Rio de Janeiro/RJ – Brasil

⁴Universidade Estácio de Sá – UNESA – Rio de Janeiro/RJ – Brasil

SYNERGIES BETWEEN THE FRONTAL AND PARIETAL LOBE DURING MOTOR GLOBAL COORDINATION TESTS

ABSTRACT

Introduction: The nervous system is the master of the human body functions. It has been stated that the frontal lobe is responsible for the global and fine coordination, and might be more active than other areas of the cortex. In such a way, the present study aimed at identifying if the frontal lobe is more active than the somatosensorial area during tasks of global coordination. **Materials and Methods:** Braintech 3.000 was used (EMSA Medical Instruments, Brazil) for collecting the electroencephalographic signal. **Results:** The tests of global coordination, oculo-manual coordination were the electrode F3 (1.799 ± 0.225 mV) versus C3 (1.789 ± 0.218 mV), F4 (1.815 ± 0.223 mV) versus C4 (1.828 ± 0.227 mV), foot-eye coordination F3 (2.735 ± 0.278 mV) versus C3 (2.702 ± 0.280 mV) and F4 (2.821 ± 0.267 mV) versus C4 (2.763 ± 0.258 mV). None of the results presented any difference in the ANOVA one-way with 0.05 sensitivity. **Discussion:** The results showed great activity of the frontal cortex; however, there is an activation of the same magnitude in the somatosensorial area, suggesting an interregional coupling of information during tasks of global coordination.

KEYWORDS

Electroencephalography; Psychomotor Performance; Frontal Lobe; Parietal Lobe.

SINERGIAS ENTRE EL LÓBULO FRONTAL Y PARIETAL DURANTE PRUEBAS DE COORDINACIÓN MOTORA GLOBAL

RESUMEN

Introducción: El sistema nervioso es el conductor de las funciones del cuerpo humano. Se postula que el lóbulo frontal es responsable por la coordinación general y el bien y este debería ser más activo que las otras áreas de la corteza. Así, este estudio tuvo como objetivo determinar si el lóbulo frontal es más activo que el área somatosensorial durante las tareas de coordinación general. **Materiales y Métodos:** Para la recogida de señales electroencefalográficas, fue utilizado el aparato Braintech 3000 (AESM instrumentos médicos, Brasil). **Resultados:** Las pruebas de la coordinación mundial, coordinación ojo-mano F3 (1.799 ± 0.225 mV), C3 (1.789 ± 0.218 mV), F4 (1.815 ± 0.223 mV), C4 (1.828 ± 0.227 mV), la coordinación ojo-pie que F3 (2.735 ± 0.278 mV) C3 (2.702 ± 0.280 mV), F4 (2.821 ± 0.267 mV) y C4 (2.763 ± 0.258 mV). Ninguno de los resultados mostró diferencias en el ANOVA de un factor con sensibilidad de 0.05 **Discusión:** Los resultados muestran gran actividad de la corteza frontal, sin embargo existe una igualdad de magnitud de la activación en el área somatosensorial, que sugiere un acoplamiento inter-regional de información para las tareas de coordinación general.

PALABRAS CLAVE

Electroencefalografía; Desempeño Psicomotor; Lóbulo Frontal; Lóbulo Parietal.

INTRODUÇÃO

A neuromotricidade é a integração entre as funções motrizes e mentais sobre o efeito do desenvolvimento do sistema nervoso, destacando as relações existentes entre motricidade, mente e afetividade do indivíduo.

Na concepção atual é impossível separar as funções motoras, neuromotoras e perceptivo-motoras das funções puramente intelectuais e da afetividade. Logo, pode-se afirmar que o desenvolvimento neuromotor se opõe à dualidade entre psique e corpo^{1,2}.

A eletroencefalografia é hábil em demonstrar mudanças corticais durante tarefas motoras³, demonstrando diferenças no estado cerebral que vem sendo descrito quando é realizada uma estratégia efetiva e desenvolvida uma habilidade cognitiva⁴, visuomotora⁵ e sensório-motora^{6,7}.

O lóbulo frontal exerce função determinante em todas as funções de aprendizagem, logo as relações entre

neuromotricidade e aprendizagem estão efetivamente inter-relacionadas em termos de desenvolvimento psico-neurológico^{1,2}.

O lóbulo frontal apresenta funções motoras primordialmente, como afirmam inúmeros autores^{8,9,10,11} e, ultimamente tem sido discutida a sua função na aprendizagem e em tarefas cognitivas¹².

Seu papel principal continua sendo o envolvimento desde os estágios mais senis do movimento como a preparação, elaboração e planejamento até a execução propriamente dita^{10,11,12}.

O córtex parietal tem grande importância nas sensações, no sistema sinestésico^{10,12,13,14}, e este também apresenta funções motoras^{10,13}, formando um circuito com áreas motoras e pré-motoras e interagindo para processar informações sensoriais e motoras, formando uma área de integração sensório-motora.

Em vários estudos, com exames por imagem ou eletrofisiológicos, demonstrou-se que o lóbulo frontal e o parietal apresentavam um aumento de atividade durante provas motoras^{15,16,17}. Várias metodologias foram utilizadas para testar a hipótese de que o lóbulo frontal ativa-se concomitantemente com áreas parietais, e os resultados encontrados foram semelhantes^{7,14,15,16,17,18}.

A hipótese postulada para o presente estudo foi a de que o córtex frontal deveria estar mais ativo que o lóbulo parietal. Assim, o objetivo deste estudo foi identificar se o lóbulo frontal está mais ativo que a área somatossensorial durante tarefas de coordenação global.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho foi aprovado pelo Conselho de Ética da Universidade Castelo Branco, de acordo com a resolução nº 196 de 10 de outubro de 1996, do Conselho Nacional de Saúde sob o número de protocolo 063/2007.

Universo e amostra

Foi selecionada uma amostra de dez indivíduos, com idades entre 20 e 30 anos de ambos os gêneros, fazendo uma média de 23,9 anos ($dp \pm 2,82$). Todos os participantes dormiram ao menos seis horas na noite anterior; não apresentavam nenhum déficit cognitivo, comprometimento da saúde física ou mental e não faziam uso de qualquer substância psicoativa ou psicotrópica. Foi aplicado um questionário para identificar e excluir do experimento qualquer sujeito que pudesse contaminar futuros experimentos.

Instrumento

Para a coleta do sinal eletroencefalográfico foi utilizado o aparelho Braintech 3000 (EMSA Instrumentos Médicos, Brasil). Esse sistema utiliza uma placa conversora analógica-digital (A/D) de 32 canais com resolução de 12bits, acoplada a um slot ISA de um Pentium III composta por processador de 750Mhz. Foi utilizada uma touca que continha eletrodos dispostos de acordo com o sistema 10-20¹⁴, com os eletrodos de referência colocados nos lóbulos da orelha (biauricular). Todo o sistema estava devidamente aterrado a fim de se evitar problemas de variação de energia.

Procedimentos de coleta de dados

A sala utilizada para a captação do sinal eletroencefalográfico foi preparada para isolamento acústico e, durante a aquisição do sinal, as luzes foram ligeiramente reduzidas. Os sujeitos sentaram-se confortavelmente em uma cadeira com suporte para os braços a fim de diminuir os artefatos musculares.

Foi realizada uma prévia experimentação que durou, em média, cinco minutos para todas as provas e foi feita uma explicação de como se proceder na coleta de dados. Para todas as provas o procedimento adotado foi a explicação do roteiro, respondendo às dúvidas que surgissem.

Para efeito de coleta de dados, foram colhidas trilhas de 70 segundos, sendo que os cinco primeiros e últimos segundos foram desprezados com a finalidade de se eliminar qualquer captação espúria causada por algum comando, e os 60 segundos restantes foram aproveitados como dados. Colheu-se um total de três trilhas para cada prova, com um intervalo mínimo de 60 segundos entre trilhas para se evitar fadiga tanto psicológica quanto física.

Todos os indivíduos foram orientados a evitar piscar, a fazer movimentos oculares e do pescoço, de forma que se diminuam os artefatos eletrofisiológicos provenientes de atividades musculares.

Provas motoras

Todas as avaliações de desempenho foram desprezadas e aumentou-se o tempo de execução do movimento, com a finalidade de ampliar a quantidade de dados utilizáveis para análise.

Coordenação global

Coordenação óculo-manual

Essa prova consistiu em jogar bolinhas de tênis dentro de uma caixa a uma distância de 3m. Assim, o sujeito foi colocado sentado em uma cadeira com os pés apoiados no chão, o braço que efetuaria o movimento apoiado a 90° no eixo látero-lateral e crânio-podálico em relação ao tronco. O movimento consistiu exclusivamente em flexionar o braço para lançar a bolinha, estender realizando o lançamento e no mesmo ato pegar outra bola oferecida e refazer o lançamento até se completar um minuto¹.

Coordenação óculo-pedal

Já a coordenação óculo-pedal consistiu em chutar bolinhas de tênis entre os pés de uma cadeira, a uma distância de 3m. O sujeito foi colocado sentado em uma cadeira, com os pés livres de contato com o solo e chutou bolinhas de tênis oferecidas a ele com o objetivo de acertar por entre os pés da referida cadeira até completar um minuto¹.

Dados eletroencefalográficos

Escolheu-se a banda ALFA alta localizada entre 10 e 12,9Hz, por sua associação com a atividade motora. Para cada tarefa, foram colhidas três trilhas de 70 se-

gundos, no entanto, os cinco segundos iniciais e finais foram descartados, e os 60 segundos restantes foram dados válidos. Portanto, para cada tarefa, obtiveram-se 180 segundos de dados válidos.

Tratamento estatístico

Para se verificar os dados utilizou-se análise fatorial, tendo como referência pontos específicos e comparando-os com os demais de interesse da pesquisa. Para tal utilizou-se ANOVA one-way com índice de $\alpha \leq 0,05$, e para a direção das possíveis interações realizadas utilizou-se o teste *post hoc* de Scheffé.

RESULTADOS

Coordenação global

Coordenação óculo-manual

A Figura 1 demonstra os dados da prova coordenação óculo-manual. Os dados demonstram que o eletrodo F3 emitindo um potencial de 1,799mV ($dp=0,225$) e comparado com C3 1,789mV ($dp=0,218$) não apresentou diferença ($\alpha=0,993$); F4 1,815mV ($dp=0,223$) quando confrontado com C4 1,828mV ($dp=0,227$) também não demonstrou diferença ($\alpha=0,996$), de acordo com a ANOVA one-way e $\alpha \leq 0,05$.

Coordenação óculo-pedal

A Figura 2 demonstra os dados da prova coordenação óculo-manual. Os dados demonstram que o eletrodo F3 emitindo um potencial de 2,735mV ($dp=0,278$) comparado com C3 2,702mV ($dp=0,280$) não apresentou diferença ($\alpha=0,964$), e F4 2,821mV ($dp=0,267$) quando confrontado com C4 2,763mV ($dp=0,258$) também não demonstrou diferença ($\alpha=0,978$), de acordo com a ANOVA one-way e $\alpha \leq 0,05$.

DISCUSSÃO

O presente estudo investigou a atividade do lóbulo frontal e parietal durante as tarefas de coordenação mo-

tora global. Afirmou-se que os lóbulos frontais deveriam estar mais ativos que todos os outros durante tarefas de coordenação global^{1,2}, tendo-se em vista que essa área é a maior responsável pela estruturação, controle e correção de movimentos dessa natureza.

A atividade somatossensorial envolve uma recíproca e dinâmica atividade entre estruturas, com um fluxo contínuo de informações entre as áreas envolvidas e os sensores do corpo que estão relacionados¹⁰, e aquelas coordenadas e dinâmicas induzem a mudanças quantificáveis no fluxo de informações incluindo diminuição da entropia, aumento da informação mútua, integração e complexidade dentro de regiões específicas inclusive na região frontal e somatossensorial¹⁵.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar se o lóbulo frontal mostraria mais ativo que a área somatossensorial durante provas de coordenação global. Para tanto, comparou-se o potencial absoluto emitido por essas áreas pela eletroencefalografia quantitativa.

Muitos estudiosos reportaram o papel do lóbulo frontal na preparação do movimento ao demonstrar atividade nos momentos que antecedem a atividade motora^{8,9,10,11,16,17}. Assim como também se demonstrou que o córtex pré-motor, ou área motora suplementar, tem um importante papel no planejamento e execução de sequências uni e bimanuais¹³.

O lóbulo frontal está bastante ativo em funções visuomotoras e, embora essas áreas estivessem ativas, o córtex sensório-motor mostrou-se igualmente ativo durante todas as provas¹⁹.

Os nossos dados demonstraram forte atividade na área frontal e na somatossensorial durante provas de coordenação motora global. Foram comparados os eletrodos F3 e F4, localizados sobre a área frontal, com os eletrodos C3 e C4, localizados sobre a área somatosensorial, de acordo com o sistema internacional 10-20¹⁴, verificando-se a emissão das ondas ALFA alta entre 10 e 12Hz.

O córtex dorsolateral pré-frontal e o parietal posterior estão automaticamente interconectados e implicados na memória operacional e na preparação do movimento.

Figura 1 - Resultados da prova coordenação óculo-manual

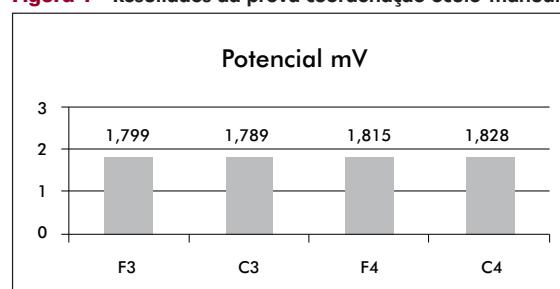
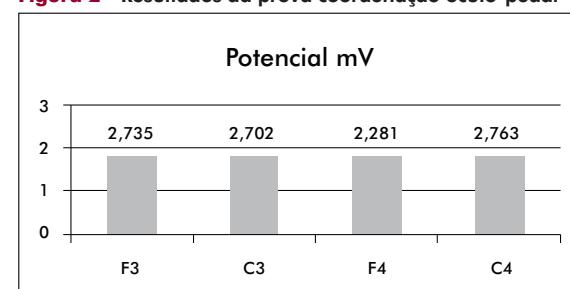


Figura 2 - Resultados da prova coordenação óculo-pedal



A interação dessas áreas corticais demonstrou diminuir o tempo de atraso entre o estímulo e a resposta¹⁴. Essa relação corrobora com os dados aqui encontrados, visto que estes sugerem uma atividade de igual amplitude entre o lóbulo frontal e parietal. Os dados acima se corroboram ao ser demonstrado que o córtex pré-frontal lateral tem um papel importante, e está particularmente implicado no suporte cognitivo do controle de tarefas motoras ativado²⁰.

Em outro momento verificou-se, por ressonância magnética nuclear por imagem (RMI), a cooperação funcional entre áreas corticais durante uma tarefa manual demonstrando que o córtex motor primário, suplementar e as áreas pré-motoras laterais estão igualmente ativadas durante o movimento²¹.

Ficou evidente que há uma interação entre as áreas corticais distintas durante tarefas de coordenação motora global. Quando pesquisado diferentes movimentos de natureza global e fina, verificou-se um acoplamento inter-regional de todas as áreas do córtex²², especialmente entre áreas motoras centrais homólogas nos dois hemisférios cerebrais entre o córtex sensorial primário contralateral e regiões médias pré-motoras, incluindo a área motora suplementar²¹.

Esses achados sugerem que um processamento de informações no córtex motor humano aciona regiões distintas em conjunto, mas que também podem funcionar independentemente da outra, isto é, o córtex motor não responde somente com aumento na ativação regional, mas pode trocar informações entre o córtex motor lateral, medial e região sensório-motora em ambos os hemisférios, mesmo em movimentos simples ou unimanuais^{21,22}.

As áreas distintas do cerebelo, áreas motoras, motoras suplementares, sensoriais, frontal inferior e todo o lóbulo parietal mostraram-se ativas na tomografia por emissão de pósitrons (PET) durante a realização de tarefas manuais²³ corroborando com os nossos dados e indo, em parte, de encontro com a afirmação de Vitor da Fonseca da qual foi postulada nossa hipótese. Embora a afirmação desse autor tenha sido sobre uma atividade mais proeminente do lóbulo frontal frente a outras áreas do córtex, não se pode esquecer que ela mostrou-se robustamente ativada durante todas as provas indicando que sua atuação é inegável, no entanto, outras regiões corticais estavam ativas indicando um fluxo contínuo de informações.

Atividades manuais geram ativação em ambos os hemisférios cerebrais¹⁹, sugerindo que há um trabalho conjunto em áreas diferentes, havendo especial atividade nas áreas frontais e parietais. Ainda, notou-se que o processo de aprendizagem gera atividades mais complexas, as quais envolvem mais estruturas e regiões do córtex em torno da atividade^{24,25}.

Em outra via há uma modulação da potência emitida no córtex sensório-motor primário²⁶, apesar de não

haver diferenças na potência de ativação entre as áreas sensório-motoras primárias, córtex pré-motor e as áreas de associação sensório-motoras. Isso se assemelha com os dados deste estudo, os quais demonstraram um aumento acentuado na potência da banda ALFA. Essa discrepância pode ter sido em virtude da diferença entre frequências eletrofisiológicas corticais avaliadas. O presente trabalho avaliou uma faixa de frequência variante de 10 a 12,9Hz, e estes dados foram obtidos ao se analisar uma frequência entre 13 e 20,9Hz.

Um estudo com RMI demonstrou que o córtex pré-motor e motor suplementar estão igualmente ativos durante tarefas manuais tendo um papel de suporte fundamental no planejamento dos planos motores¹³ e o putâmem, glóbulo palidus e caudado estão envolvidos na aquisição da aprendizagem. Nessa mesma linha verificou-se que há muitas áreas envolvidas na aquisição da aprendizagem de tarefas motoras²⁶, sendo que estas sofram decréscimo na sua atividade logo que a aprendizagem acontece, sugerindo que essas regiões estão intimamente ligadas na aprendizagem de novas tarefas.

Os dados encontrados sugerem um fluxo de informações contínuo entre o lóbulo frontal e parietal, assim como verificado na literatura^{13,19,22,23,24,26,27,28,29,30}.

Movimentos simples de dedos ativam a área sensório-motora primária, a área motora suplementar, a somatossensorial, a auditiva, a região de integração sensorial e o lóbulo temporal inferior²⁹.

O lóbulo frontal vem sendo associado a funções cognitivas¹², ainda, o lóbulo parietal esteve ativo, mas estudos prévios demonstraram que a cognição passa por processamentos específicos no córtex pré-motor dorsal e no motor primário²⁵, entretanto essa interação ainda não está clara²⁵.

Não houve diferença entre eletrodo para as tarefas, incluindo as de coordenação motora fina. Um estudo realizado buscou identificar diferenças na ativação cortical em tarefas bimanuais, notando que o cérebro escolheu uma mão como protagonista do movimento quando a força empregada no movimento é de mesma amplitude em ambas^{31,32}. Esses dados reafirmam nossos achados ao notarmos uma simetria entre os hemisférios corticais, dados não divulgados, mesmo que não tendo sido o objetivo do estudo.

Vários autores sugeriram que as tarefas motoras globais e finas criam um circuito fronto-parietal^{12,13,22,23,28,29,30,31,32} e inferem que há um fluxo contínuo de informações com características temporais e espaciais distintas em ambas direções, mostrando um enraizamento das informações, o que esclarece os efeitos das interações dos processamentos neurais em relação ao papel específico de vários sistemas componentes da criação e controle do comportamento cognitivo e motor.

Todos os dados encontrados na literatura e no presente estudo sugerem que o córtex é um complexo de estruturas e subestruturas que interagem de forma bastante holística, ou seja, integradora de sistemas e funções para criar, comandar e controlar a atividade motora específica. Assim, funcionalmente o cérebro é um maestro integrador de funções no qual o fluxo de informações mostra-se o ponto-chave para o controle do comportamento cognitivo e motor.

A hipótese do presente estudo foi formulada a partir de Vitor da Fonseca¹, o qual afirmou que o lóbulo frontal deverá estar mais ativo que outras áreas do córtex durante tarefas globais, já que esse é o principal responsável pela arquitetura, estruturação e por seu controle.

Os dados aqui presentes dão suporte a referida afirmação e indicam que há uma forte atividade frontal no córtex durante a realização de movimentos globais, porém amplia o entendimento ao notar que o lóbulo parietal encontra-se ativo durante a realização dessas tarefas motoras.

Os presentes achados sugerem um fluxo de informações entre áreas durante movimento globais. Os resultados corroboram com a maioria dos autores modernos e contemporâneos que estudam a atividade cortical durante tarefas motrizes, reafirmando que há uma interface neural entre lóbulo frontal e parietal.

Portanto, a partir dos presentes dados pode-se afirmar que o lóbulo frontal apresenta forte ativação, porém em igual magnitude que o lóbulo parietal, sendo os dois os principais responsáveis por arquitetar e controlar movimentos de natureza global.

REFERÊNCIAS

1. Fonseca V. Manual de observação psicomotora. São Paulo: Art Med; 1995.
2. Fonseca V. Psicomotricidade: filogênese, ontogênese e retrogênese. São Paulo: Art Med; 1998.
3. Hatfield BD, Haufler AJ, Hung TM, Spalding TW. Eletroencefalographic studies of skilled psychomotor performance. *J Clin Neurophysiol*. 2004;21:144-56.
4. Smith ME, McEvoy LK, Gevins A. Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Brain Res Cogn Brain Res*. 1999;7:389-404.
5. Slobounov SM, Fukuda K, Simon R, Rearick M, Ray W. Neurophysiological and behavioral indices of time pressure effects of visuomotor task performance. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2000;9:287-98.
6. Grunwald M, Weiss T, Krause W, Beyer L, Rost R, Gutberlet I et al. Theta power in the EEG of humans during ongoing processing in a haptic object recognition task. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2001;11:33-7.
7. Baumeister J, Reinecke K, Weiss M. Changed cortical activity after anterior cruciate ligament reconstruction in a joint position paradigm: an EEG study. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;18:473-84.
8. Koch G, Franca M, Del Olmo MF, Cheeran B, Milton R, Alvarez Sauc M et al. Time course of functional connectivity between dorsal premotor and contralateral motor cortex during movement selection. *J Neurosci*. 2006;26:7452-9.
9. Lee JH, van Donkelaar P. The human dorsal premotor cortex generates on line error corrections during sensorimotor adaptation. *J Neurosci*. 2006;26:3330-4.
10. Pedemonte N, Velluri RA. El procesamiento sensorial podría estar organizado en el tiempo por ritmos cerebrales itádianos. *Rev Neurol*. 2005;40:166-72.
11. Karni A, Meyer G, Rey-Hipolito C, Jezzard P, Adams MM, Turner R et al. The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1998;95:861-8.
12. Hon N, Epstein RA, Owen AM, Duncan J. Frontoparietal activity with minimal decision and control. *J Neurosci*. 2006;26:9805-9.
13. Poldrack RA, Sabb FW, Foerde K, Tom SM, Asarnow RF, Bookheimer SY et al. The neural correlates of motor skill automaticity. *J Neurosci*. 2005;25:5356-64.
14. Kleinvan GH, Lüders HO, Jasper HH, Elger C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*. 1999;52:3-6.
15. Lungarella M, Sporns O. Mapping information flow in sensorimotor networks. *PLoS Comput Biol*. 2006;2:e144.
16. Petrides M. Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2005;360:781-95.
17. Toma K, Nakai T. Functional MRI in human motor control studies and clinical applications. *Magn Reson Med Sci*. 2002;1:109-20.
18. Sadato N, Yonekura Y, Waki A, Yamada H, Ishii Y. Role of the supplementary motor area and the right premotor cortex in the coordination of bimanual finger movements. *J Neurosci*. 1997;17:9667-74.
19. Quintana J, Fuster JM. From perception to action: temporal integrative functions of prefrontal and parietal neurons. *Cereb Cortex*. 1999;9:213-21.
20. Miller EK, Cohen JD. An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci*. 2001;24:167-202.
21. Boecker H, Kleinschmidt A, Requardt M, Hänicke W, Merboldt KD, Frahm J. Functional cooperativity of human cortical motor areas during self-paced simple finger movements. A high-resolution MRI study. *Brain*. 1994;117:1231-9.
22. Gerloff C, Hummel F. Inhibitory control of acquired motor programs in the human brain. *Suppl Clin Neurophysiol*. 2003;56:170-4.
23. van Mier H, Tempel LW, Perlmuter JS, Raichle ME, Petersen SE. Changes in brain activity during motor learning measured with PET: effects of hand of performance and practice. *J Neurophysiol*. 1998;80:2177-99.
24. Andres FG, Mima T, Schulman AE, Dichgans J, Hallett M, Gerloff C. Functional coupling of human cortical sensorimotor areas during bimanual skill acquisition. *Brain*. 1999;122:855-70.
25. Abe M, Hanakawa T, Takayama Y, Kuroki C, Ogawa S, Fukuyama H. Functional coupling of human prefrontal and premotor areas during cognitive manipulation. *J Neurosci*. 2007;27:3429-38.
26. Wu T, Kansaku K, Hallett M. How self-initiated memorized movements become automatic: a functional MRI study. *J Neurophysiol*. 2004;91:1690-8.
27. Sakai K, Passingham R. Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning. *J Neurosci*. 1998;18:1827-40.
28. Sakai K, Hikosaka O, Miyauchi S, Takino R, Sasaki Y, Pütz B. Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning. *J Neurosci*. 1998;18:1827-40.
29. Khushu S, Kumaran SS, Sekhri T, Tripathi RP, Jain PC, Jain V. Cortical activation during finger tapping in thyroid dysfunction: a functional magnetic resonance imaging study. *J Biosci*. 2006;31:543-50.
30. Ramnani N. The primate cortico-cerebellar system: anatomy and function. *Nat Rev Neurosci*. 2006;7:511-22.
31. Johansson RS, Theorin A, Westling G, Andersson M, Ohki Y, Nyberg L. How a lateralization brain supports symmetrical bimanual tasks. *PLoS Biol*. 2006;4:e.158.
32. Moraes H, Ferreira C, Deslandes A, Cagy M, Pompeu F, Ribeiro P et al. Beta and alpha electroencephalographic activity changes after acute exercise. *Arq Neuropsiquiatr*. 2007;65:637-45.

Recebido: 09/05/09 Aceito: 10/07/09