



Análise da distribuição de potência cortical em função do aprendizado de datilografia

Victor Hugo Bastos¹, Marlo Cunha², Heloisa Veiga², Kaleb McDowell³, Fernando Pompeu⁴, Maurício Cagy⁵, Roberto Piedade⁶ e Pedro Ribeiro⁷

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi investigar alterações nos padrões eletroencefalográficos de sujeitos normais e destros durante o aprendizado motor de uma tarefa manual. Estudos recentes têm demonstrado que o córtex cerebral é suscetível a modificações em vários aspectos durante a aprendizagem e que tais alterações nos padrões eletrocorticais são resultado da aquisição de habilidades motoras e consolidação de memória. Para tal, a atividade elétrica cortical dos sujeitos foi analisada antes e depois da prática motora. Os dados foram captados pelo *Braintech 3000* e analisados pelo programa *Neurometrics*. Para a análise estatística, variáveis comportamentais tais como tempo e erro foram observadas através de uma ANOVA *one-way*, blocos como efeito principal. Na variável neurofisiológica, potência absoluta, foi utilizado um teste *t* pareado a fim de detectar alterações entre os momentos pré e pós-aprendizagem, e diferentes eletrodos, CZ-C3/CZ-C4 em teta e alfa, e O1-P3/T3-F7 em beta. Os resultados principais demonstraram mudança na *performance* através das variáveis tempo e número de erros. Concomitantemente, foi verificado aumento de potência na banda alfa sobre áreas centrais (CZ-C3/CZ-C4) e diminuição em beta localizada na área temporoparietal esquerda (O1-P3/T3-F7). Alterações na banda teta, como demonstradas em outros experimentos, não ocorreram neste estudo. Tais resultados sugerem uma adaptação do córtex sensorio-motor em que a alteração da atividade elétrica cortical é condizente com uma transição ao automatismo motor.

1. Doutorando. Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensorio-Motora, Instituto de Psiquiatria (IPUB), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
2. Mestrando. Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensorio-Motora, Instituto de Psiquiatria (IPUB), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
3. PhD. Programa de Neurociências e Ciência Cognitiva do Departamento de Cinesiologia da Universidade de Maryland, College Park, USA.
4. Professor Adjunto II PhD. Escola de Educação Física e Desportos (EEFD), Instituto de Psiquiatria (IPUB), Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensorio-Motora, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
5. DSc. em Engenharia Biomédica. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
6. Professor Adjunto III Doutor. Instituto de Psiquiatria (IPUB). Coordenador do Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensorio-Motora, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
7. Professor Adjunto II PhD. Escola de Educação Física e Desportos (EEFD), Instituto de Psiquiatria (IPUB), Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensorio-Motora, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor Pesquisador. Universidade Castelo Branco (PRO-CIHM).

Recebido em 30/7/04. 2ª versão recebida em 10/9/04. Aceito em 25/11/04.

Endereço para correspondência: Prof. Dr. Pedro Ribeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Instituto de Psiquiatria (IPUB) – Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensorio-Motora, Rua Pacheco Leão, 704, casa 25 – 22460-030 – Rio de Janeiro, RJ. E-mail: ribeiros@uol.com.br

Palavras-chave: Integração sensorio-motora. Memória de procedimento. EEG.

Palabras-clave: Integración sensorio-motora. Memoria de procedimiento. EEG.

RESUMEN

Análisis da distribución de potencia cortical en función del aprendizaje de dactilografía

El objetivo del presente estudio fue el de investigar alteraciones en los padrones electroencefalográficos de sujetos normales y diestros durante el aprendizaje motor de una tarea manual. Estudios recientes tienen demostrado que en el cortex cervical es susceptible a varias modificaciones en varios aspectos durante el aprendizaje, y que tales alteraciones en los padrones electrocorticales son los resultados de la adquisición de habilidades motoras y de la consolidación de la memoria. Para tal, la actividad cortical eléctrica de los sujetos fue analizada antes y después de la práctica motora. Los datos fueron captados por el "Braintech" 3000 y analizados por el programa "Neurometrics". Para el análisis estadístico, variables del comportamiento tales como tiempo y error fueron observadas a través de un ANOVA "one-way", bloques como efecto principal. En la variable neurofisiológica; potencia absoluta, fue utilizado el test-T pareado a fin de poder detectar alteraciones entre los momentos pre y post aprendizaje, en diferentes electrodos, CZ-C3/CZ-C4 en teta y alfa y O1-P3/T3-F7 en beta. Los resultados principales demostraron un cambio en la performance a través del tiempo y en el número de errores. Concomitantemente, fue observado y verificado un aumento de la potencia en la banda alfa sobre las áreas centrales (CZ-C3/CZ-C4) y una disminución en beta localizada en el área temporo-parietal izquierda (O1-P3/T3-F7). Las alteraciones en la banda teta, como se han demostrado en otras experiencias, no ocurrieron en este estudio. Tais resultados sugieren una adaptación de la corteza sensorio-motora en la que la alteración de la actividad eléctrica cortical es coincidente con una transición al automatismo motor.

INTRODUÇÃO

Um crescente fluxo de informações vem sendo gerado a respeito dos mecanismos intrínsecos à aquisição de novos padrões motores. Nesse contexto, aprendizagem e memória mostram-se fortemente associadas entre si. A aquisição de novos conhecimentos que trazem como consequência uma modulação do comportamento é peculiar à aprendizagem, enquanto que a retenção desse conhecimento implica aspectos da memória⁽¹⁾. Assim, ambos os processos compartilham mecanismos neurais similares, que igualmente participam do controle da atenção, integração sensorial e percepção⁽²⁾.

A memória de procedimentos é resultante do aumento da *performance* e, proporcionalmente, do incremento da precisão do gesto motor⁽³⁾. Pode ser entendida como a habilidade motora ou sensorial que normalmente chamamos de "hábito"⁽⁴⁾, tendo relação com os procedimentos motores responsáveis pela aquisição daquele tipo de memória. O aprendizado gradualmente produz dimi-

nuição no erro embutido na tarefa, aumento da coordenação e maior agilidade e velocidade na execução do movimento⁽⁵⁾. A compreensão de modelos experimentais relacionados ao arquivamento de informações motoras é norteada pelo fenômeno de acomodações plásticas neurais do sistema nervoso. A combinação entre memória sensorial (estímulos sensoriais), memória de curto prazo (memória de trabalho) e memória de longa duração representada no sistema nervoso através da consolidação e a execução do gesto motor levaria a um novo ordenamento na configuração neural^(6,7). Em especial, durante o aprendizado de uma tarefa motora, essa representação interna produziria um incremento na eficácia ("força") sináptica de neurônios em áreas corticais e subcorticais⁽⁸⁾. A elaboração de um modelo interno, a partir da aprendizagem motora, sustenta-se na conectividade e organização de uma nova rede neural⁽⁹⁾. No modelo tradicional de Donald Hebb são postuladas idéias sobre reverberações sinápticas, ou seja, seqüências de cadeias neuronais são formadas a partir da aprendizagem^(10,11). Tais cadeias representam informações distintas distribuídas ao longo do córtex, responsáveis por mecanismos de habituação, retenção de memória e recuperação de lesões (neuroplasticidade).

Dessa forma, experimentos nas últimas duas décadas demonstram uma sólida relação entre as idéias de Hebb e processos neuronais básicos de aprendizagem: potenciação de longa duração (LTP) e a depressão de longa duração (LTD)⁽¹¹⁻¹³⁾. Nessas situações ocorreria a consolidação da informação por eventos bioquímicos, basicamente⁽¹⁴⁾. Modelos matemáticos reforçam as teorias descritas por Hebb^(15,16).

Várias são as justificativas para a realização de um modelo experimental como o proposto neste trabalho. O vazio literário entre os itens levantados como referenciais teóricos até o fato do próprio modelo experimental como um todo são ambos distintos dos vários métodos envolvendo aprendizagem motora. Vários outros aspectos peculiares ao modelo o tornam relevante. A incorporação do gesto motor a partir da repetição da atividade motora produz alterações neuronais capazes de serem detectadas com o uso da eletroencefalografia quantitativa (EEGq)⁽¹⁷⁾. Em especial, o comportamento dessas bandas de frequência será prioritariamente observado em áreas do escalpo que representam o córtex somatossensorial primário (CZ-C3/CZ-C4), áreas visuais, o córtex parietal posterior, representações espaciais corporais (O1-P3) e áreas motoras secundárias (T3-F7). A banda de frequência alfa vem sendo correlacionada a processos cognitivos, particularmente alfa rápido (10 e 12Hz)⁽¹⁸⁾. Parece que essa frequência se modifica em face da exposição do sujeito a tarefas cognitivas dos mais diferentes níveis de complexidade⁽¹⁹⁾. Beta é considerada uma frequência de onda rápida (12 a 30Hz) e parece ser a que está mais relacionada com atividades motoras, tanto pré-motoras como motoras propriamente ditas. Tal frequência tem considerável valor para as análises relativas aos movimentos normais e patológicos^(20,21). A banda de frequência teta está associada a processos de automatismo e atenção, sendo correlacionada diretamente aos mecanismos de potencialização de longa duração e depressão de longa duração que fundamentam bioquimicamente o aprendizado^(22,23). Dentro desse contexto, o presente estudo tem como objetivo investigar a influência do aprendizado de uma tarefa motora na reorganização dos mapas corticais, em especial, identificar alterações na potência absoluta do EEGq relacionadas a processos de cognição (alfa), atenção (teta) e funções motoras (beta) durante o aprendizado de datilografia.

METODOLOGIA

Amostra

Foi constituída de 29 sujeitos, sendo 14 do sexo masculino e 15 do feminino, entre 20 e 40 anos. Os sujeitos, escolhidos dentre os alunos de Graduação e Mestrado da Universidade Castelo Branco

(UCB), não apresentavam qualquer tipo de comprometimento da saúde física e mental, eram saudáveis, livres de qualquer déficit cognitivo e não faziam uso de substâncias psicotrópicas ou psicoativas. No intuito de alcançar esse objetivo, foi aplicado um questionário detalhado para identificar e excluir do experimento qualquer sujeito que pudesse contaminar futuros resultados. Os indivíduos não tinham experiência prévia em datilografia e a lateralidade foi usada como critério de exclusão. Para tal, o inventário de Edinburgh⁽²⁴⁾ foi aplicado a fim de verificar a predominância dos participantes (destros *versus* sinistros). Indivíduos com predominância da mão esquerda (sinistros) foram, conseqüentemente, eliminados do experimento. Os sujeitos assinaram uma declaração de consentimento na qual foi descrita detalhadamente a condição experimental, e aprovada previamente pela Comissão de Ética da UCB.

Procedimento experimental

A sala utilizada para captação do sinal eletroencefalográfico foi preparada para isolamento de som e, durante a aquisição dos dados, as luzes da sala foram reduzidas. Os sujeitos sentaram-se confortavelmente em uma cadeira com suporte para os braços, no intuito de minimizar artefatos musculares. A cadeira dos participantes ficou à distância de aproximadamente 40cm da mesa, variando de acordo com o comprimento do antebraço de cada indivíduo. Uma máquina de datilografia, estilo antigo (*Olivetti Linea 98*), foi colocada sobre a mesa onde foi realizada a tarefa motora. O teclado da máquina foi coberto com uma "caixa de madeira", a fim de evitar que os participantes tivessem informação visual da posição das mãos, obrigando-os a criar uma "referência espacial" para o teclado.

A tarefa consistiu de um método de datilografia, Celso Santos⁽²⁵⁾, de aprendizagem progressiva, cujo treinamento foi realizado em um único dia. Esse método vem sendo usado e aprovado como eficiente durante anos em diferentes cursos de datilografia (consulta prévia). O método consiste de exercícios que expõem o aprendiz, inicialmente, a gestos mais simples que aumentam progressivamente no grau de complexidade, permitindo, assim, que o indivíduo amplie, gradativamente, destreza e coordenação bimanual. As lições foram afixadas em um quadro de cortiça colocado na parede em frente dos participantes e, à medida que o indivíduo terminava, a lição seguinte era firmada no quadro. Cada bloco de exercício consistiu de 10 colunas e 12 linhas (matriz 10 x 12), sendo cada participante obrigado a realizar quatro blocos dessa matriz para completar uma lição. Os participantes foram instruídos a realizar a tarefa da forma mais rápida e eficiente possível. O tempo total de realização dos quatro blocos e de cada bloco individualmente foi mensurado. Desse modo, seria possível verificar se houve ou não melhora progressiva entre blocos. O número de erros foi computado, especificamente, em cada bloco e no total deles. Sendo assim, a melhora progressiva do gesto motor e a diminuição do número de erros foram estimadas.

No presente experimento, os sujeitos executaram a técnica de datilografia por uma hora, descansaram por 20 minutos e realizaram mais uma hora da tarefa motora (duas horas no total). No final de cada hora, se o exercício não tivesse sido terminado, ele não era considerado. Essa regra se fez necessária a fim de que cada sujeito tivesse uma hora exata em cada período de treinamento. Por fim, folhas de papel A4 (210 x 297mm) foram colocadas na máquina de datilografia antes do início da tarefa. Os participantes foram instruídos a executar dois blocos por folha. No final do segundo bloco, a folha foi substituída por outra. Os sujeitos foram submetidos ao experimento sempre no turno da tarde, cerca de duas horas a três horas após sua refeição.

Aquisição de dados

Para a captação do sinal eletroencefalográfico, foi utilizado o aparelho *Braintech 3000* (Emsa – Instrumentos Médicos, Brasil),

sistema que utiliza uma placa conversora analógica-digital (A/D) de 32 canais com resolução de 12 bits, colocada em um *slot* ISA de um *Pentium III*, com um processador de 750Hz. Os sinais eletrofisiológicos foram filtrados entre 0,01 (passa-baixas) e 100Hz (passa-altas), tendo uma taxa de amostragem de 200Hz. Foi utilizado o *software* de aquisição denominado *EEG Captação* (Emsa-Delphi 5.0), com um filtro *Notch* de 60Hz, e ainda filtros de corte de 0,3Hz (passa-altas) e 25Hz (passa-baixas). O sistema internacional 10/20⁽²⁶⁾ foi usado para a colocação de 19 eletrodos monopolares ao longo do escalpo (áreas: frontal, temporal, parietal e occipital) e um eletrodo em cada orelha (lóbulo). Os eletrodos foram montados em uma touca de náilon (ElectroCap Inc., Fairfax, VA) com o sistema 10-20 prefixado. Esse sistema refere-se a um padrão de colocação de eletrodos estabelecido internacionalmente, que utiliza marcas anatômicas para demarcar a colocação e a distância entre eletrodos. A touca foi colocada e ajustada individualmente em cada participante obedecendo à circunferência da cabeça (toucas de tamanhos variados). Os lóbulos das orelhas foram usados como referência (biauricular). O sinal adquirido em um determinado eletrodo é resultante da diferença entre o potencial elétrico do mesmo no escalpo e a referência preestabelecida. Foram verificados *a priori* os níveis de impedância de cada eletrodo, cujos valores deveriam estar entre 5-10K ohms (Ω) e ser mantidos nesses padrões. Os sinais adquiridos deveriam estar com o total de amplitude (pico a pico) menor que 100 μ V. Por esse motivo, o sinal foi amplificado com ganhos de 20.000. Os sinais eletroencefalográficos adquiridos flutuaram entre 0,01 e 50Hz. A atividade elétrica ocular foi estimada com a colocação de dois eletrodos de 9mm de diâmetro montados de forma bipolar. Os eletrodos foram posicionados, respectivamente, acima e abaixo da órbita do olho direito para registrar movimentos oculares verticais, e no canto externo do mesmo para registrar movimentos oculares horizontais. Estes servem para mensurar o chamado "efeito batida de olhos", que são movimentos de piscada dos olhos que ocorrem naturalmente. Tais batimentos interferem na captação do sinal, principalmente nos eletrodos frontais (FP1-FP2). Em função do registro da atividade elétrica ocular, é realizada a inspeção visual dos dados para a eliminação de artefatos. Para tal procedimento foi utilizado um programa de visualização denominado *EEG Telas* (Emsa-Delphi 5.0). Os dados eletroencefalográficos foram captados conforme modelo descrito anteriormente, em dois momentos, antes da tarefa de datilografia e depois do término do treinamento; não houve captação de sinal durante a tarefa motora.

Análise de dados e cálculo das variáveis dependentes

No experimento, foram analisados dois tipos de variáveis: comportamentais e neurofisiológicas, a última sendo extraída da eletroencefalografia quantitativa (EEGq). As variáveis comportamentais que mensuram *performance* foram dadas através do tempo de execução dos blocos e número de erros em cada bloco. Após a coleta dos dados e respectivo arquivamento, foram computadas análises para extração das variáveis dependentes. Após a inspeção visual para a retirada de possíveis artefatos, os sinais eletroencefalográficos foram processados por um *software* denominado *Neurometrics* (NxLink, Ltd., USA), o qual extraiu dos dados, ou seja, das séries temporais, a variável neurofisiológica relevante ao experimento: distribuição de potência bipolar absoluta em eletrodos homólogos posicionados em hemisférios diferentes (direito x esquerdo). Entende-se por distribuição de potência bipolar absoluta como as medidas que refletem o gradiente de potência entre um par de eletrodos⁽²²⁾.

Mensuração das variáveis: comportamentais e eletrofisiológicas

As variáveis comportamentais e eletrofisiológicas foram coletadas em situações distintas, respectivamente, as comportamentais durante a execução da tarefa e as eletrofisiológicas antes e depois

da tarefa motora. Especificamente, os parâmetros comportamentais, tempo de execução e número de erros na tarefa de datilografia, foram registrados durante o treinamento motor. Esses parâmetros foram adquiridos durante cada bloco. Dessa forma, quatro blocos foram registrados para cada exercício realizado. Para fins da análise, foram considerados os quatro primeiros blocos do exercício 1, já que todos os indivíduos completaram esse exercício. Em especial, o tempo foi cronometrado do início (pressionamento inicial da tecla **a**) até o final (pressionamento da tecla **h**) em cada bloco de exercício independentemente. A medida eletrofisiológica (eletroencefalografia) foi registrada antes e após a realização dos quatro blocos da tarefa de datilografia, ou seja, não aconteceram medidas eletrofisiológicas durante atividade motora.

Localização espacial e bandas de frequência

Regiões corticais diversas poderiam ser selecionadas em um experimento com esse desenho. Particularmente, foram selecionados pares de eletrodos representativos de áreas sensorio-motoras, uma vez que a tarefa exige demanda dos sistemas sensorial e motor. A seleção das bandas de frequência do EEG, previamente escolhida, está associada a possíveis alterações produzidas pelo aprendizado motor. A automatização do gesto, do ponto eletrofisiológico, está vinculada a mecanismos de cognição (alfa), atenção (teta) e habilidades motoras (beta)⁽¹⁷⁾. Áreas de interesse foram então selecionadas como as representativas do córtex somatosensorial primário (CZ-C3/CZ-C4), o córtex parietoccipital (O1-P3), e áreas motoras secundárias (T3-F7). Essas áreas representam, respectivamente, área de interpretação sensorial dos estímulos recebidos pelo toque dos dedos em relação às teclas da máquina (CZ-C3/CZ-C4). A região parietoccipital está relacionada com processos de atenção espaciotemporais e visuo-perceptiva^(27,28). As áreas motoras secundárias funcionam como planejadoras e organizadoras das seqüências de movimentos a serem realizados pelas mãos do sujeito⁽²⁹⁻³⁶⁾.

Potência absoluta

Potência é uma medida de amplitude: quanto maior a amplitude, maior a quantidade de potência no sinal eletroencefalográfico. A potência absoluta é expressa em picowatts (μ V²) e reflete a quantidade de energia presente em uma dada banda de frequência, em um par específico de eletrodos. O *Neurometrics* analisa a distribuição de potência no escalpo. Especificamente, através desse programa, a variação de potência entre pares de eletrodos é aferida.

Análise estatística

Devido ao fato de que os eletrodos ocupam posição espacial diferenciada no escalpo, optou-se por uma análise estatística independente. Nas variáveis comportamentais, foi implementada uma análise de variância (*one-way*) com o intuito de identificar as diferenças entre os quatro blocos do exercício 1. Caso o fator bloco (efeito principal) seja fonte significativa de variância, será implementada uma análise *post-hoc* (Scheffé). Quanto aos dados do EEG, estes foram mensurados em dois momentos diferentes: antes e depois do início da tarefa (datilografia). Dessa forma, um teste *t* pareado foi empregado com a finalidade de verificar se o aprendizado de datilografia produz alterações significativas na potência absoluta.

RESULTADOS

Variáveis comportamentais

Quanto ao tempo executado em cada um dos quatro blocos, a análise estatística demonstrou que o fator "bloco" é fonte significativa de variância ($F_{(3,25)} = 8,181$; $p = 0,000$). Dessa forma, evidenciou-se, essencialmente, uma modificação entre o bloco 1 (média = 13,52/desvio padrão = 5,27) e o bloco 2 (média = 10,38/desvio

padrão = 4,52), o bloco 1 e o terceiro e quarto blocos (média = 8,74/desvio padrão = 2,67; média = 7,65/desvio padrão = 2,37), respectivamente (figura 1).

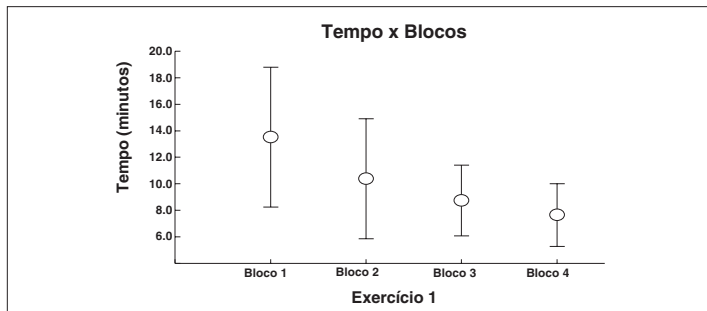


Fig. 1 – Relação entre tempo de execução da tarefa e blocos: o gráfico acima representa o tempo total (média/desvio padrão) de execução da tarefa motora de datilografia em cada um dos blocos (quatro blocos no total). Nota-se a melhoria na execução da tarefa sob a ótica comportamental (* valores p entre os blocos = 0,000), visto que o sujeito reduziu seu tempo de realização ao longo das etapas de treinamento (blocos).

Quanto ao número de erros cometidos nos quatro blocos, análise estatística demonstrou que o fator “bloco” é fonte significativa de variância ($F_{(3,25)} = 8,181$; $p = 0,000$). Por conseguinte, evidenciou-se, essencialmente, uma modificação entre o bloco 1 (média = 32,51/desvio padrão = 21,01) e o bloco 2 (média = 21,89/desvio padrão = 12,96), o bloco 1 e o terceiro e quarto blocos (média = 16,58/desvio padrão = 8,92; média = 16,62/desvio padrão = 10,42), respectivamente (figura 2).

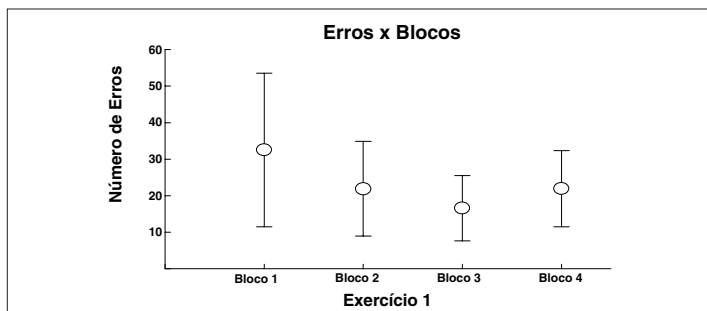


Fig. 2 – Relação entre número de erros e blocos: o gráfico acima representa a relação entre o número de erros totais (média/desvio padrão) no desempenho da tarefa motora de datilografia em cada um dos quatro blocos (* valores p entre os blocos = 0,000). Nota-se em relação a essa variável comportamental uma queda no número de erros, o que sugere melhora na performance motora durante a prática motora.

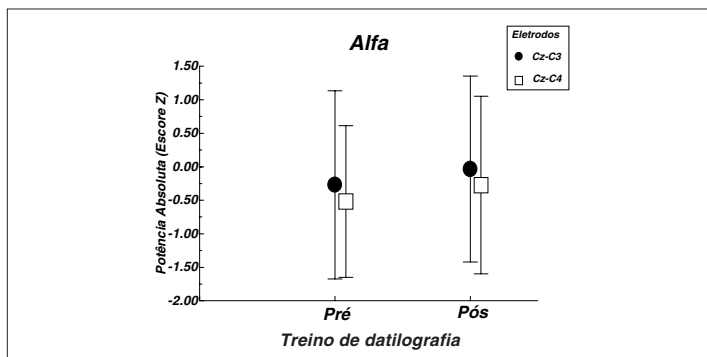


Fig. 3 – Variação da potência absoluta em função do treinamento: a figura acima descreve a variação da banda de frequência alfa (média/desvio padrão) entre os eletrodos CZ-C3 ($p = 0,022$) e entre os eletrodos CZ-C4 ($p = 0,036$). Nota-se um aumento significativo da potência bipolar absoluta na condição pós-treinamento de datilografia em relação à condição pré-tarefa (* valores de $p \leq 0,05$).

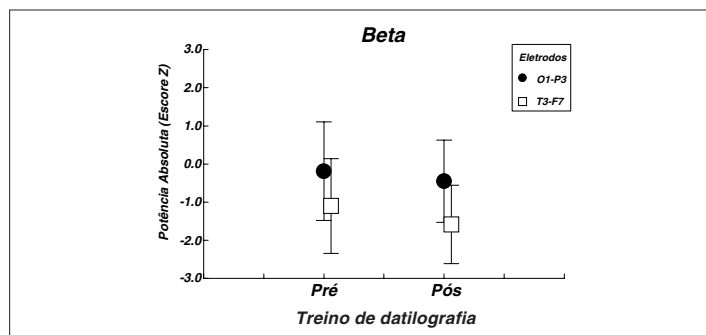


Fig. 4 – Variação de potência absoluta em função do treinamento de datilografia: o gráfico acima representa a variação da banda de frequência beta (média/desvio padrão) entre os eletrodos O1-P3 ($p = 0,025$) e entre os eletrodos T3-F7 ($p = 0,016$). Nota-se diminuição significativa da potência bipolar absoluta na condição pós-treinamento de datilografia em relação à condição pré-treino (* valores de $p \leq 0,05$).

Variáveis neurofisiológicas

A variação da potência absoluta entre o pré e o pós-treinamento foi analisada em diferentes regiões e bandas: CZ-C3 e CZ-C4 na banda teta e alfa e nos eletrodos O1-P3 e T3-F7 na banda beta (figuras 3 e 4).

DISCUSSÃO

O presente experimento investigou alterações na potência absoluta do EEGq relacionadas a processos de cognição (alfa), atenção (teta) e funções motoras (beta) em indivíduos quando submetidos a um aprendizado de datilografia. O comportamento dessas bandas de frequência foi prioritariamente observado em áreas do escalpo que representam o córtex somatossensorial primário (CZ-C3/CZ-C4), córtex parietoccipital (O1-P3) e áreas motoras secundárias (T3-F7). A utilização da máquina de datilografia tradicional no presente estudo justificou-se pelo fato de esta exigir maior grau de força aplicado ao teclado da máquina quando comparada, por exemplo, com o teclado de um computador. Dessa forma, a representação no córtex cerebral tende a aumentar, tornando mais salientes as mensurações eletroencefalográficas⁽³⁷⁻³⁹⁾. Em especial, o número de erros (variável comportamental) é relevante, visto que eles diminuíram à medida que os sujeitos ficaram mais hábeis em função do aprendizado da datilografia. O mesmo pode ser considerado para a quantidade de tempo necessária à execução de cada bloco. Essencialmente, esses padrões de resultados foram evidenciados entre o primeiro bloco e os demais. Nesse contexto, os resultados comportamentais reproduziram achados anteriores, nos quais foi percebido aumento do desempenho quando indivíduos foram expostos a uma tarefa sensorio-motora^(5,17). A melhora no desempenho (tempo x erro) parece estar associada com melhor administração de informações extraídas da memória de procedimento⁽¹⁷⁾. Além disso, baseado nos resultados presentes, foi claramente caracterizado um “período crítico” durante o processo de aprendizagem na transição entre o primeiro e o segundo bloco em ambas as variáveis (tempo x erro). Esses achados sugerem que esse “momento crítico” estava associado com a transição entre os mecanismos de controle e a automação do movimento. Mecanismos de controle estão presentes na fase inicial do aprendizado, na qual os indivíduos necessitam alocar uma dose excessiva de atenção ao desempenhar o gesto motor. Em contrapartida, uma vez a tarefa automatizada, não se faz necessário esse excesso de atenção e dedicação à mesma.

A associação entre a eletroencefalografia quantitativa e o aprendizado de datilografia torna este estudo inovador, à medida que não existem relatos de tal associação na literatura. Aspectos neurofisiológicos, tais como ativação motora, memória espacial, aten-

ção, entre outros, são evocados e aprimorados pelo referido processo de aprendizagem. Por sua vez, a técnica de EEG quantitativo, a partir das diferentes bandas de frequência, se mostra como um instrumento sensível a tais aspectos. O EEGq poderia monitorar as mudanças no estado cerebral que ocorrem quando um indivíduo executa uma atividade sensório-motora⁽¹⁷⁾. Especificamente, alterações das séries temporais do EEG poderiam ser correlacionadas com a reorganização neural, que é intrínseca à construção de habilidades motoras complexas⁽⁵⁾. Apesar da baixa resolução espacial do EEG, tais dados apresentam excelente capacidade temporal. Assim, a repetição imposta pelo período de treinamento poderia ser observada através dos padrões de EEG.

Na presente pesquisa, as bandas de frequências teta (4,0-7,5Hz), alfa (8-12Hz) e beta (13-35Hz) foram usadas para avaliar atenção e mudanças cognitivas produzidas pela tarefa sensório-motora (datilografia). Especificamente, foram usadas medidas de potência absoluta com a finalidade de observar possíveis alterações corticais. Potência absoluta expressaria a quantidade de energia presente em uma banda, desconsiderando todas as outras frequências embutidas no espectro. Sendo assim, os presentes resultados demonstraram uma simples diminuição da potência absoluta entre o pré e o pós-treinamento na banda teta, sem diferença estatística, em eletrodos centrais (CZ-C3)/(CZ-C4). A inexistência de alterações em teta pode ser explicada por ter sido um desenho experimental pré e pós-treino, não existindo medida eletroencefalográfica durante a prática motora. Sendo assim, as possíveis alterações em teta (atenção), provavelmente ocorridas durante a tarefa, não foram observadas. Cabe ressaltar que os blocos mais significantes neste modelo (1 e 2) foram realizados, assim como todos os outros blocos dos outros exercícios, sem a captação de medida eletroencefalográfica durante a tarefa. Nossos resultados, em discordância com outros experimentos, não conseguiram demonstrar um esperado incremento concreto de teta em função do aprendizado motor⁽¹⁷⁾. Supostamente, tais modificações na referida banda de frequência em regiões centrais (CZ-C3)/(CZ-C4) estão relacionadas com o envolvimento da área motora suplementar (SMA), córtex pré-motor (PME) e córtex somatossensorial (SMC) em processos que envolvam atenção⁽⁴⁰⁾.

Por outro lado, diferenças significativas foram encontradas nos mesmos eletrodos na banda alfa. Um incremento entre o pré e pós-tratamento foi verificado durante o experimento. Esse aumento da potência absoluta (banda alfa) entre a linha de base (pré-tratamento) e a segunda medida sugere uma consolidação do aprendiza-

do⁽¹⁷⁾. A presença de ritmos alfa reflete atenuação na atividade neuronal cortical e, conseqüentemente, a amplitude deste ritmo está inversamente proporcional à atividade neural de uma população predeterminada em uma região do córtex. Nesse contexto, aumento de potência absoluta na banda alfa após o aprendizado motor pode ser interpretado como uma redução de atividade de neurônios na região especificada, mostrando uma especialização neural.

A letra grega “beta” entende-se por frequências acima de 13Hz. Ritmos beta são primariamente encontrados nas regiões frontais e centrais do escalpo e, em geral, não excedem 35Hz⁽⁴⁰⁻⁴³⁾. Esse ritmo é bloqueado por atividade motora ou estimulação tátil⁽⁴⁴⁾. Os resultados apontam para uma diminuição de atividade beta entre o pré e o pós-treinamento. Tradicionalmente, aumento ou diminuição de atividade beta tem sido explorado através de um paradigma específico, conhecido como evento relacionado sincronizado (aumento) ou não sincronizado (diminuição). Nesse contexto, aumento ou diminuição estariam associados à amplitude do sinal⁽¹⁷⁾. No presente experimento, a diminuição de potência em beta ocorreu em áreas do hemisfério esquerdo que comandam os movimentos nos segmentos no lado direito do corpo. As regiões que sofreram tais modificações após a tarefa (datilografia) estão próximas das áreas motoras de execução e planejamento de ações motoras (T3-F7). Diminuição da potência absoluta em beta também foi vista em outros setores do escalpo envolvidos com mecanismos visuo-espaciais e temporais (O1 e P3). Supostamente, as ativações dessas duas últimas áreas estão associadas à natureza da tarefa, a qual estimula o indivíduo a desenvolver um *feedback* visual, memória visual, representado pelo posicionamento espacial dos em relação às teclas.

CONCLUSÃO

O presente estudo conclui que tal modelo experimental evidencia a aprendizagem motora efetiva segundo as variáveis analisadas. Frente a esse resultado, estudos futuros devem investigar modelos experimentais que complementem os referidos achados, talvez com sofisticações dentro do modelo ou das formas de captação dos sinais.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Maxwell J, Masters R, Eves F. The role of working memory in motor learning and performance. *Conscious Cogn* 2003;12:376-402.
2. Jueptner M, Stephan K, Frith C, Brooks D, Frackowiak R, Passingham R. Anatomy of motor learning. I. Frontal cortex and attention to action. *J Neurophysiol* 1997;77:1313-24.
3. Guise E, del Pesce M, Foschi N, Quattrini A, Papo I, Lasseonde M. Colossal and cortical contribution to procedural learning. *Brain* 1999;122:1049-62.
4. Izquierdo I. *Memória*. São Paulo: Artmed, 2002.
5. Karni A, Gundela M, Jezzard P, Adams M, Turner R, Ungerlender L. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Science* 1995;377:155-8.
6. Cohen L, Brasil N, Pascual-Leone L, Hallett M. Plasticity of cortical motor output organization following deafferentation, cerebral lesions, and skill acquisition. *Adv Neurology* 1993;63:187-200.
7. Donoghue J. Plasticity of sensorimotor representations. *Curr Opin Neurobiol* 1995;5:749-54.
8. Gandolfo F, Li C, Benda B, Schioppa C, Bizzi E. Cortical correlates of learning in monkeys adapting to a new dynamical environment. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2000;29:2259-63.
9. Gottlieb G. The generation of the efferent command and the importance of joint compliance in fast elbow movements. *Exp Brain Res* 1994;97:545-50.
10. Wolpert D, Ghahramani Z, Flanagan R. Perspectives and problems in motor learning. *Trends in Cognitive Sciences* 2001;5:487-94.
11. Kolb B, Whishaw I. *Neurociência do comportamento*. São Paulo: Manole, 2002.
12. Izquierdo I, Medina JH. Memory formation: the sequence of biochemical events in the hippocampus and its connection to activity in other brain structures. *Neurobiol Learn Mem* 1997;68:285-316.
13. Routtenberg A. Tapping the Hebb synapse. *Trends Neurosci* 1999;22:255-6.
14. Pedotti R, Friedman D, Donoghue J. Learning-induced LTP in neocortex. *Science* 2000;290:533-6.
15. Turrigiano G, Nelson S. Hebb and homeostatic in neuronal plasticity. *Curr Opin Neurobiol* 2000;10:358-64.
16. Botelho F, Jamison J. A learning rule with generalized Hebbian synapses. *J Math Anal Appl* 2002;273:529-47.
17. Smith M, McEvoy LK, Gevins A. Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Brain Res Cogn Brain Res* 1999;7:389-404.
18. Grabner RH, Fink A, Stipacek A, Neuper C, Neubauer AC. Intelligence and working memory systems: evidence of neural efficiency in alpha band ERD. *Brain Res Cogn Brain Res* 2004;20:212-25.
19. Angelakisa E, Lubarb JF, Stathopoulou S, Kouniosa J. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clin Neurophysiol* 2004;115:887-97.
20. Bender S, Oelkers-Ax R, Resch F, Weisbrod M. Motor processing after movement execution as revealed by evoked and induced activity. *Brain Res Cogn Brain Res* 2004;21:49-58.
21. Serrien DJ, Pogosyan AH, Brown P. Influence of working memory on patterns of motor related cortico-cortical coupling. *Exp Brain Res* 2004;155:204-10.

22. Niedermeyer E, Silva F. *Electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields*. 4th ed. Baltimore-Munich: Urban & Schwarzenberg, 1999.
23. Caplan JB, Madsen JR, Bonhage AS, Scheibe RA, Newman EL, Kahana MJ. Human θ oscillations related to sensorimotor integration and spatial learning. *J Neurosci* 2003;23:4726-36.
24. Oldfield R. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971;9:97-113.
25. Santos C. *Novíssimo guia do datilógrafo*. 40^a ed. São Paulo: Saraiva, 1997.
26. Jasper H. The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1958;10:371-5.
27. Babiloni C, Miniussi C, Babiloni F, Carducci F, Cincotti F, Del Percio C, et al. Sub-second "temporal attention" modulates alpha rhythms. A high-resolution EEG study. *Brain Res Cogn Brain Res* 2004;19:259-68.
28. Blazquez Alisente JL, Paul Laprediza N, Munoz Cespedes JM. Attention and executive processes in neuropsychological rehabilitation of the visuospatial processes *Rev Neurol* 2004;38:487-95.
29. Koeneke S, Lutz K, Wustenberg T, Jancke L. Bimanual versus unimanual coordination: what makes the difference? *Neuroimage* 2004;22:1336-50.
30. Yamagishi N, Callan DE, Goda N, Anderson SJ, Yoshida Y, Kawato M. Attentional modulation of oscillatory activity in human visual cortex. *Neuroimage* 2003;20:98-113.
31. Kilner JM, Salenius S, Baker SN, Jackson A, Hari R, Lemon RN. Task-dependent modulations of cortical oscillatory activity in human subjects during a bimanual precision grip task. *Neuroimage* 2003;18:67-73.
32. Latash M, Li S, Danion F, Zatsiorsky VM. Central mechanisms of finger interaction during one- and two-hand force production at distal and proximal phalanges. *Brain Res* 2002;924:198-208.
33. Liepert J, Dettmers C, Terborg C, Weiller C. Inhibition of ipsilateral motor cortex during phasic generation of low force. *Clin Neurophysiol* 2001;112:114-21.
34. Gerloff C, Andres FG. Bimanual coordination and interhemispheric interaction. *Acta Psychol (Amst)* 2002;110:161-86.
35. Georgiadis MH, Cramon DYV. Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals. *Exp Brain Res* 1999;125:417-25.
36. Oliveira SC. The neuronal basis of bimanual coordination: recent neurophysiological evidence and functional models. *Acta Psychol (Amst)* 2002;110:139-59.
37. Bastos VH, Alves HVD, Piedade RA, Silva VF, Silva APRS. Alterações corticais produzidas em função de uma tarefa de datilografia. *Fit & Perform J* 2002;6:53-8.
38. Bastos VH, Veiga H, Cunha MM, Guimarães MA, Piedade RA, Silva APRS. Assimetria inter-hemisférica em função da aprendizagem de uma tarefa de datilografia. *Fisioterapia Brasil* 2003;4:426-31.
39. Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem* 2000;74:27-55.
40. Slobounov SM, Fukada K, Simon R, Rearick M, Ray W. Neurophysiological and behavioral indices of time pressure effects on visuomotor task performance. *Brain Res Cogn Brain Res* 2000;9:287-98.
41. Pfurtscheller G, Graitmann B, Huggins J, Levine S, Schuh L. Spatiotemporal patterns of beta desynchronization and gamma synchronization in corticographic data during self-paced movement. *Clin Neurophysiol* 2003;114:1226-36.
42. Pfurtscheller G, Silva FL. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clin Neurophysiol* 1999;110:1842-57.
43. Stancak A Jr, Pfurtscheller G. Event-related desynchronisation of central beta-rhythms during brisk and slow self-paced finger movements of dominant and nondominant hand. *Brain Res Cogn Brain Res* 1996;4:171-83.
44. Neuper C, Pfurtscheller G. Event-Related dynamics of cortical rhythms: frequency-specific and functional correlates. *Int J Psychophysiol* 2001;43:41-58.