Modificações plásticas em atividade eletrocortical em função do aprendizado de datilografia

Artigo Original

Jaunilson Francisco da Cruz

Programa Stricto Sensu em Ciência da Motricidade Humana da Universidade Castelo Branco – Brasil

Alair Pedro Ribeiro

Programa Stricto Sensu em Ciência da Motricidade Humana da Universidade Castelo Branco – Brasil

CRUZ, J.F., RIBEIRO, A.P. Modificações plásticas em atividades eletrocortical em função do aprendizado de datilografia. *Fitness & Performance Journal*, v.3, n.2, p.98-107, 2004.

Resumo: Este estudo teve por objetivo investigar alterações nos padrões eletroencefalográficos de sujeitos normais e destros durante o aprendizado motor de uma tarefa manual. A tarefa selecionada foi a de datilografia, na qual o sujeito deve obedecer a certos padrões estipulados e explicados a ele previamente. Estudos têm demonstrado que o córtex cerebral, em particular, é susceptível a modificações em vários aspectos durante os mecanismos de aprendizagem. Resultados recentes também demonstram alterações nos padrões elétricos corticais. 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 analisadas através de uma Anova Um-caminho (diferenças entre blocos). Em seguida, foi utilizado um Teste-T pareado para cada par de eletrodos (CZ-C3/CZ-C4), nas frequências teta, alfa e beta. Os resultados principais demonstraram uma mudança na performance, através das variáveis tempo e número de erros. Concomitantemente, não foi observada alteração na Potência Absoluta na banda teta; em contrapartida, houve um aumento significativo na banda alfa e beta em áreas centrais (CZ-C3/CZ-C4) e (O1-P3/T3-F7), respectivamente. Tais resultados sugeriram uma adaptação do córtex sensorio-motor em função do treinamento de datilografia, em função de desacoplamento entre áreas corticais.

Palavras-chave - Integração Sensorio-motora / Memória de Procedimento / EEG.

Endereço para correspondência:

Rua Profª Amélia Ferreira dos Santos, 27 – Parque Itajaú – Cabo Frio – Rio de Janeiro – CEP 28910-440

Data de Recebimento: setembro / 2003

Data de Aprovação: dezembro / 2003

Copyright© 2004 por Colégio Brasileiro de Atividade Física, Saúde e Esporte.

ABSTRACT

Plastic modifications in eletrocortical activity in function of the typing learning

This study had for objective to investigate alterations in the patterns eletroencefalográficos of normal and skillful subjects during the motor learning of a manual task. The selected task was the one of typing, in the which the subject should obey her/it certain stipulated patterns and explained to him previously. Studies have been demonstrating that the cerebral cortex, in matter, is susceptible to modifications in several aspects during the learning mechanisms. Recent results also demonstrate alterations in the cortical electric patterns. For such, the cortical electric activity of the subjects was analyzed before and after the motive practice. The data were captured by "Braintech" 3000 and analyzed by the program "Neurometrics." For the statistical analysis, behavioral variables, such as time and mistake, they were analyzed through an Anova Um-caminho (differences among blocks). Soon afterwards, a was used Test-T pareado for each equal of electrodes (CZ-C3/CZ-C4), in the frequencies teat, alpha and beta. The main results demonstrated a change in the performance, through the variables time and number of mistakes. Concomitantly, alteration was not observed in the Absolute Potency in the band teat, in compensation, there was a significant increase in the alpha and beta band in central areas (CZ-C3/CZ-C4) and (O1-P3/T3-F7), respectively. Such resultados sugeriram an adaptation of the cortex sensorial-motor in function of the typing training in desacoplamento function among cortical areas.

Keywords - Sensorial-motive Integration / Memory of Procedure / EEG.

RESUMEN

Modificaciones plásticas en actividad eletrocortical em función del aprendizaje de mecanografía

Este estudio tenía para el objetivo para investigar las alteraciones en el electroencefalográficos de los modelos de normal y los asuntos hábiles durante el aprendizaje de motor de una tarea manual. La tarea seleccionada fue el una de mecanografía, en el qué el asunto debe obedecer el her/it ciertos modelos estipulados y debe explicar previamente a él. Los estudios han estado demostrando que la corteza cerebral, en la materia, es el susceptible a las modificaciones en varios aspectos durante los mecanismos de aprendizaje. Los recientes resultados también demuestran las alteraciones en los modelos eléctricos corticales. Para tal, la actividad eléctrica cortical de los asuntos se analizó antes y después de la práctica del motivo. Los datos se capturaron por "Braintech" 3000 y analizaron por el programa "Neurometrics." Para el análisis estadístico, las variables conductuales, como tiempo y equivocación, ellos se analizaron a través de un Anova Um-caminho (las diferencias entre los bloques). Pronto después, un se usó el pareado del Prueba-t para cada igual de electrodos (CZ-C3/CZ-C4), en la teta de frecuencias, alfa y beta. Los resultados principales demostraron un cambio en la actuación, a través del tiempo de las variables y número de errores. Concomitantemente, la alteración no se observó en la Potencia Absoluta en la teta de la venda, en la compensación, había un aumento significativo en el alfa y venda de la beta en las áreas centrales (CZ-C3/CZ-C4) y (O1-P3/T3-F7), respectivamente. El tal resultados sugeriram una adaptación del sensorial-motor de la corteza en la función de la instrucción de la mecanografía en el desacoplamento funciona entre las áreas corticales.

Palabras clave - la Integración del Sensorial-motivo / la Memoria de Procedimiento / EEG.

INTRODUÇÃO

O interesse de pesquisadores por alterações produzidas no sistema nervoso em função da aprendizagem motora, que resulta no aumento da performance e, proporcionalmente, no incremento da precisão do gesto motor, caracteriza-se como um tema atual e relevante em especial por sua provável interferência sobre o processo de aprendizagem motora. Dito de outra forma, o aprendizado gradualmente produz diminuição no erro embutido na tarefa, aumento da coordenação, maior agilidade e velocidade na execução do movimento (KARNI *et al.*, 1995). Este implemento da performance observado no processo de aprendizagem tem sido associado a complexos mecanismos envolvendo estruturas específicas e diferentes níveis no sistema nervoso, tais como cerebelo (ANDERSON *et al.*, 1996; NAIR *et al.*, 2003), córtex motor primário contralateral (CIASSEN *et al.*, 1998; SANES & DONOGHUE, 2000; SOMMER *et al.*, 2001), córtex motor primário homolateral, área motora suplementar homo e heterolateral, área pré-motora homo e heterolateral, assim como as áreas sensitivas primárias homo e heterolaterais (GEORGIADIS & CRAMON, 1999). Mais recentemente ressaltou-se que até mesmo as inferências para o córtex somatosensorial são úteis para modulação plástica no córtex motor primário (LUFT & LANG, 2002), o que já era abordado por trabalhos anteriores, nos quais falava-se em "princípio dinâmico" (KELSO, 1995). Em função da diversidade de componentes, que são reorganizados

plasticamente, o entendimento dos efeitos da aprendizagem motora no córtex tornou-se um desafio no espectro das neurociências. Conseqüentemente, este estudo considera seu problema investigar a influência do aprendizado de uma tarefa motora nesta nova organização dos mapas corticais e a incorporação do gesto motor, a partir da repetição da atividade motora, produzindo alterações neuronais capazes de serem detectadas com o uso da eletroencefalografia quantitativa (EEGq) (SMITH, McEVOY & GEVINS, 1999; SLOBOUNOV *et al.*, 2002).

OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo é entender os mecanismos neurofisiológicos corticais (EEGq) de sujeitos normais e destros, durante o aprendizado de datilografia.

REVISÃO DA LITERATURA

Aprendizagem motora e Neuroplasticidade.

Plasticidade neural pode ser definida como uma propriedade intrínseca do sistema nervoso que permite o desenvolvimento e reorganização do mesmo, a partir do aprendizado ou em função de uma eventual degeneração, lesão ou perda. O melhor enten-

dimento dos mecanismos envolvidos nos potenciais elétricos dos neurônios e, essencialmente, na transmissão sináptica, possibilitou o conhecimento da maneira pela qual o sistema nervoso adapta-se em função de “inputs” sensoriais ou se recupera após uma lesão (EKMAN, 1998). Acomodações plásticas neurais do sistema nervoso têm norteado a compreensão de modelos experimentais sobre o arquivamento de informações motoras. A combinação entre estímulos sensoriais e a execução do gesto motor levaria a um novo ordenamento na configuração neural (COHEN *et al.*, 1993; DONOGHUE, 1995). 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 sub-corticais (GANDOLFO *et al.*, 2000). A elaboração de um modelo interno, a partir da aprendizagem motora, sustenta-se na conectividade e organização de uma nova rede neural (GOTTLIEB, 1994). O ajuste dessa nova arquitetura neural produziria um sistema de referência no qual o gesto motor tornaria-se mais eficiente com o aumento da experiência.

Assume-se que, concomitantemente à melhora do gesto motor, sensíveis alterações morfológicas se processam em diversos componentes do sistema nervoso. Entre outras transformações, poderia incluir-se o aumento na ramificação de dendritos, o incremento no número de conexões sinápticas entre neurônios e, ainda, mudanças estruturais nos tratos aferentes e eferentes que conduzem informação a setores pré-determinados no encéfalo (GLICKSTEIN & YEO, 1990). A incorporação do gesto motor produz um incremento na eficácia das conexões horizontais nas camadas III e IV do córtex motor (RIOUL-PEDOTTI *et al.*, 1998). Dados recentes demonstram que ratos treinados por quatro ou cinco dias em uma tarefa motora, durante a qual eles deveriam alcançar um objeto usando uma das patas dianteiras, apresentam um aumento nas conexões intracorticais nas camadas II e III do córtex motor primário (RIOUL-PEDOTTI *et al.*, 1998). Tais resultados poderiam ser fruto dos mecanismos relacionados à potenciação de longo prazo (LTP). Comparados com controles, ratos treinados apresentam uma menor quantidade de LTP.

Integração sensório-motora

O sistema sensorial é composto de múltiplos receptores, responsáveis por proverem ao sistema nervoso informações diferenciadas. No aprendizado motor, o sistema sensorial é responsável por captar informações do ambiente interno e externo, sendo ambas comparadas a uma referência interna (SHADMEHR e HOLCOMB, 1997, 1999). Tal processo de comparação é entendido como percepção. Neste contexto, percepção é uma “construção” do sistema nervoso central a partir de variações de estímulos. O sistema nervoso estima a ação motora baseado em parâmetros pré-definidos (SHADMEHR e HOLCOMB, 1999) e, dessa forma, a percepção é formada por diversos estímulos sensoriais que convergem em um único mecanismo responsável por identificar a dinâmica e variabilidade do meio (WELCH e WARREN, 1986). A convergência sensorial aumenta a estabilidade do indivíduo

durante a ação motora. A capacidade do sistema nervoso em convergir variadas fontes de informação é pré-requisito na manutenção do controle motor. Convergência sensorial implica na existência de áreas específicas projetadas para receber diferentes formas de estímulo e transmitir tal informação ao sistema muscular (BOWER, 1974). A fusão de estímulos sensoriais proporciona estabilidade, correção e manutenção do ato motor. A multiplicidade do sistema sensorial permite que o indivíduo reconheça e discrimine objetos e as constantes modificações que ocorrem no ambiente (CAAN *et al.*, 1976).

Aprender um gesto motor envolve a integração entre estímulos sensoriais e retroalimentação da mecânica motora. Na perspectiva da aprendizagem motora, quando uma criança ou um adulto aprende uma determinada tarefa, múltiplos mecanismos de *feedback* estão envolvidos. Na fase inicial do aprendizado, a dependência de estímulos sensoriais é essencial. A aprendizagem motora envolve a interação entre sensores, especificamente o ajuste entre aqueles variados. Um dos exemplos clássicos desse sincronismo seria a coordenação entre estímulos visuais e o sistema somatosensorial (receptores sensoriais e proprioceptivos). Ajustes refinados são realizados pelo sistema nervoso com o intuito de adequar estímulos visuais a somatosensoriais, no sentido de se atingir uma meta ou alvo. Coordenação do movimento envolve um processo temporal longo e é alcançada através de ajustes progressivos nos padrões motores, através da computação de erros extraídos da tarefa (VON HOFSTEN e FAZEL-ZANDY, 1984; McCARTY *et al.*, 2001).

Aprendizagem — Aprendizagem motora: eletroencefalografia quantitativa (EEGq)

A Eletroencefalografia Quantitativa (EEGq) vem sendo explorada na tentativa de elucidar macro processos relacionados à aprendizagem motora. A transição entre processos controlados e automáticos é uma das características fundamentais durante a aquisição de uma habilidade motora. Esse processo é observado tanto nas fases de aprendizagem básicas, como, por exemplo, na infância, quanto em períodos posteriores, quando já existe uma base desenvolvida na aprendizagem. Durante as etapas controladas, o sistema nervoso é menos eficiente e uma lentidão generalizada é percebida no gesto motor. Ao contrário, no automatismo o sistema nervoso mostra-se bem mais eficiente e ágil na execução do gesto. Ações automatizadas reduzem a alocação de *foco* ou *atenção* durante a execução da tarefa (WULF & PRINZ, 2001). Sendo assim, o executante pode dedicar parte da memória de trabalho a uma outra atividade concorrente durante o gesto motor. Neste contexto, a eletroencefalografia pode prover informações relevantes dentro desses períodos de transição entre estágios controlados e automáticos. Smith, McEvoy e Gevins (1999), investigando o aprendizado de uma tarefa visio-motora, através de um jogo que simulava uma **batalha no espaço**, demonstraram alterações significativas nas características do EEGq. O aumento da performance motora foi percebido através

da melhor manipulação do câmbio *joystick*, usado no controle do jogo, tanto quanto a melhora no escore total do jogo por partida.

Na realidade, a eletroencefalografia pode ser descrita, de forma simplificada, como a captação da diferença de potencial elétrico entre dois eletrodos no tempo (NIEDERMEYER & SILVA, 1999). Os eletrodos são colocados em regiões pré-determinadas no escalpo, dependendo do sistema de captação empregado (REILLY, 1999). A disposição ou arranjo dos eletrodos no escalpo determinaria a exata natureza das diferenças recordadas. Em uma montagem bipolar, por exemplo, os eletrodos são conectados em pares. Esta forma de arranjo não é muito comum em laboratórios ou situações experimentais, sendo mais utilizada na prática neurológica para efeito de diagnóstico – em contrapartida, a montagem com a utilização de uma referência fixa é largamente empregada em experimentos. Nela, todos os eletrodos têm uma referência comum, na qual, em outras palavras, o sinal adquirido de um eletrodo, em um particular momento no tempo, é a diferença de potencial elétrico entre esse eletrodo no escalpo e o eletrodo referência (MYSLOBOSKY *et al.*, 1990).

Os sinais elétricos, adquiridos através do EEG, são oriundos do córtex cerebral, em colunas neuronais dispostas perpendicularmente no escalpo. Neurônios e glias são os substratos essenciais do sistema nervoso responsáveis por tais sinais. As células gliais, com papel não totalmente definido, têm como função primária isolar a bainha de mielina e nutrir os neurônios (KANDEL, SCHWARTZ, & JESSEL, 2000) que, em contrapartida, com suas funções pré-estabelecidas, funcionam como **maestros** das funções cognitivas e motoras.

Em essência, os sinais captados do escalpo correspondem aos potenciais pós-sinápticos, inibitórios e excitatórios (ELGER *et al.*, 1981). Teoricamente, os sinais elétricos captados pelo EEG podem ser originados em diversas áreas do córtex. Tais sinais, particularmente, são alterados em função de parâmetros variados, fato denominado volume de condução que, neste contexto, estaria relacionado à transmissão da corrente elétrica entre componentes e estruturas do córtex até atingir a superfície do escalpo (NUNEZ, 1995). Em geral, existem dois modelos que classificam o fenômeno do volume de condução: homogêneos e não homogêneos (BRINKMANN *et al.*, 1998). O modelo homogêneo assume uniformidade da condução elétrica em diferentes regiões do córtex, ignorando, dessa forma, faixas variadas de condutividade, dependendo da região na qual será localizado o eletrodo. De maneira oposta, os não homogêneos assumem que existe uniformidade elétrica em regiões cerebrais, mas que cada estrutura, no entanto, tem uma condutividade em particular (BRINKMANN *et al.*, 1998).

Os sinais eletroencefalográficos provêm apenas uma limitada informação de uma posição pré-determinada no escalpo. Parte considerável deste sinal é perdido em função de tecidos cerebrais e do próprio escalpo. Em função disso, o EEG é considerado como tendo uma alta resolução temporal e, em contrapartida,

uma pobre resolução espacial (LAWTON *et al.*, 1998), esta última associada, em parte, ao número de eletrodos colocados no escalpo. Atualmente, um dos meios de aumentar-se a resolução espacial do EEG é ampliar o número de eletrodos no escalpo, forma pela qual seria possível obter uma visualização mais apurada entre eletrodos. A alta resolução temporal ocorre em função do EEG prover informações, ou amostras, em milésimos de segundos. Essa resolução é proporcional à eficiência do conversor analógico-digital acoplado ao sistema, qual seja, uma taxa de amostragem entre 1-5 milissegundos (Gevins *et al.*, 1999).

METODOLOGIA

A amostra do estudo consistirá de 29 sujeitos, sendo 14 do sexo masculino e 15 do sexo feminino, entre 20 e 40 anos. Os sujeitos foram escolhidos dentre os alunos de Graduação e Mestrado da Universidade Castelo Branco (UCB), não podendo apresentar qualquer tipo de comprometimento da saúde física e mental, devendo ser sadios e livres de qualquer déficit cognitivo, e não devendo, ainda, estar fazendo uso de substâncias psicotrópicas ou psicoativas. No intuito de se alcançar esse objetivo, foi aplicado um questionário detalhado para identificar e excluir do experimento qualquer sujeito que possa contaminar futuros resultados. Os indivíduos não puderam ter experiência prévia em datilografia, e a lateralidade foi usada como critério de exclusão. Com isso, o inventário de Edinburg (OLDFIELD, 1971) foi aplicado para verificar predominância dos participantes (*destro versus sinistro*). Indivíduos com predominância da mão esquerda (*sinistro*) foram, conseqüentemente, eliminados do experimento. Os sujeitos assinaram uma declaração de consentimento na qual será descrita, em detalhes, a condição experimental. O experimento foi submetido à Comissão de Ética da UCB para aprovação.

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 confortavelmente em uma cadeira com suporte para os braços, no intuito de minimizar artefatos musculares. A cadeira dos participantes ficou a uma distância de aproximadamente 40 cm da mesa, variando de acordo com o comprimento do antebraço de cada indivíduo. Uma máquina de datilografia (marca Olivetti, modelo Línea 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 (SANTOS, 1997), com aprendizagem progressiva, cujo treinamento foi realizado em um único dia.

Esse método vem sendo usado e aprovado como eficiente por anos em diferentes cursos de datilografia – consulta prévia. O método consiste em exercícios que expõem o aprendiz, inicial-

mente, a gestos mais simples que aumentam, progressivamente, no grau de complexidade, permitindo assim que o indivíduo amplie, gradativamente, destreza e coordenação bimanual. Foram eliminados os sujeitos com experiência prévia em relação a esta tarefa motora. Para tal análise, tomou-se como padrão os setecentos e oito toques, com um número menor ou igual a três erros no primeiro exercício, com no máximo nove minutos e vinte e cinco segundos, com o uso dos dez dedos das mãos (SANTOS, 1997). As lições foram afixadas em um quadro de cortiça, colocado na parede em frente aos participantes e, na medida em que o indivíduo tivesse terminado, a lição seguinte era firmada no quadro. Cada bloco de exercício consistiu de dez colunas e doze linhas e uma matriz 10 x 12, sendo cada participante obrigado a realizar quatro blocos desta matriz, para completar uma lição. Os participantes foram instruídos a realizarem a tarefa da forma mais rápida e eficiente possível. Cada dedo de cada mão correspondeu a uma tecla específica.

O tempo total de realização dos quatro blocos, e de cada bloco individualmente, foi mensurado. Desta forma, foi 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 puderam ser estimadas. No presente experimento, os sujeitos executaram a técnica de datilografia por uma (1) hora, descansaram por quinze minutos e realizaram mais uma hora da tarefa motora (duas horas no total). No final de cada hora, se o exercício não fosse terminado, qual fosse o término da matriz 10 x 12, 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 297 mm) foram colocadas na máquina de datilografia antes do início da tarefa. Os participantes foram instruídos a executarem dois blocos a cada folha, e no final do segundo bloco a folha foi substituída por uma outra.

Coleta 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

Figura 1 – Variação do Tempo Executado por Blocos

Figura 2 – Número de Erros por Blocos no Exercício 1

Figura 3 – Variação da Potência Absoluta entre o Pré e o Pós-treinamento, nas regiões Cz-C3 e Cz-C4, na Banda Teta.

Figura 4: Variação da Potência Absoluta entre o pré e o pós-treinamento, nas regiões CZ-C3 e CZ-C4, na banda Alfa.

ISA de um Pentium III – com um processador de 750 Hz. Sinais eletrofisiológicos foram filtrados entre 0,01 (passa-baixas) e 100 Hz (passa-altas), tendo uma taxa de amostragem de 200 Hz. Foi utilizado o “software” de aquisição, denominado EEG Captação (Emsa-DELPHI 5.0), com um filtro Notch de 60 Hz, e ainda filtros de corte de 0,3 Hz (passa-altas) e 25 Hz (passa-baixas). O sistema internacional 10/20 (JASPER, 1958) 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 nylon (ElectroCap Inc., Fairfax, VA) com o sistema 10-20 pré-fixados, o qual refere-se a um padrão de colocação de eletrodos estabelecido internacionalmente.

A touca foi colocada e ajustada individualmente em cada participante, obedecendo à circunferência da cabeça (Ex: toucas de tamanhos variados). Os lóbulos das orelhas foram usados como referência (bi-auricular). O sinal adquirido em um determinado eletrodo foi resultante da diferença entre o potencial elétrico do mesmo no escalpo e a referência pré-estabelecida. Foram verificados, a priori, os níveis de impedância de cada eletrodo, cujos valores foram fixados entre 5-10K ohms (W), e mantidos nesses padrões. Os sinais adquiridos deviam estar com o total de amplitude (pico a pico) menor que 100 mV. Por este motivo, o sinal deveria ser amplificado com ganhos variando de 20.000 a 50.000. Os sinais eletroencefalográficos adquiridos deveriam flutuar entre 0.01 e 50Hz. A atividade elétrica ocular foi estimada com a colocação de dois eletrodos de 9 mm 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. Artefatos visuais foram inspecionados com a utilização de um programa de visualização denominado EEGq Telas (Emsa-Delphi 5.0).

Variáveis

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 e 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 retirar 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, variáveis relevantes ao experimento, entre elas: potência absoluta por bandas de frequência.

Tratamento Estatístico

Devido aos eletrodos ocuparem posição espacial diferenciada no escalpo, optou-se por uma análise estatística independente. Nas variáveis comportamentais, optou-se por uma análise de

variância (one-way), com o intuito de identificar as diferenças entre os 4 blocos do exercício 1. Os dados do EEG foram mensurados em dois momentos diferentes: antes e depois do início da tarefa (datilografia). A fim de avaliar se o aprendizado de datilografia produz alterações significativas nos mapas corticais cerebrais, foi utilizado um Teste-T pareado, para cada par de eletrodos nas bandas teta (Cz-C3/Cz-C4), alfa (Cz-C3/Cz-C4) e beta (O1-P3/T3-F7).

Resultados e Discussão

Os resultados descritos a seguir foram divididos em duas formas de variáveis de dependentes: comportamentais e neurofisiológicas. As comportamentais sendo voltadas para a caracterização da performance, e as neurofisiológicas, para as alterações plásticas neuro-corticais.

Variáveis Comportamentais

A figura 1, descreve a variação do tempo executado em cada um dos 4 blocos. Análises estatísticas demonstraram uma diferença significativa entre os 4 blocos ($p = 0,000$). Em especial, análises *post hoc* indicaram uma diferença entre o bloco 1 e os demais ($p = 0,003$), e uma diferença entre os blocos 2 e 4 ($p = 0,009$). Não foram detectadas diferenças entre os blocos 2 e 3 ($p = 0,112$) e 3 e 4 (0,292). Desta forma, evidenciou-se, essencialmente, uma modificação entre o bloco 1 (média = $13,5 \pm 5,27$) e o bloco 2 (média = $10,4 \pm 4,52$).

Neste contexto, a figura 2 expressa uma relação entre o número de erros dentro de cada bloco do exercício 1. Resultados estatísticos demonstraram uma diferença significativa entre os 4 blocos ($p = 0,000$). Avaliação *post hoc* evidenciou uma diferença entre o bloco 1 e os demais ($p = 0,005$). Nenhuma diferença foi detectada em relação aos outros blocos. Sendo assim, a principal diferença ocorreu entre o bloco 1 e os demais, marcando a importância no primeiro bloco do começo do aprendizado.

Variáveis Neurofisiológicas

Figura 5: Variação da Potência Absoluta entre o pré e o pós-treinamento, nas regiões O1-P3 e T3-F7, na banda Beta.

A figura 3 descreve a variação da Potência Absoluta entre o pré e o pós-treinamento, nas regiões CZ-C3 e CZ-C4, na banda Teta. Análises estatísticas não demonstraram diferença significativa entre as duas condições ($p = .525/.624$), para ambos pares de eletrodos.

A figura 4 descreve a variação da Potência Absoluta entre o pré e o pós-treinamento, nas regiões CZ-C3 e CZ-C4, na banda Alfa. Análises estatísticas demonstraram diferença significativa entre as duas condições ($p = .022/.036$), para ambos pares de eletrodos.

A figura 5 descreve a variação da Potência Absoluta entre o pré e o pós-treinamento, nas regiões O1-P3 e T3-F7, na banda Beta. Análises estatísticas demonstraram diferença significativa entre as duas condições ($p = .025/.016$), para ambos pares de eletrodos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Memória de processos é a tentativa de aquisição de uma habilidade motora específica. Para alcançar precisamente esta meta, indivíduos têm que superar duas fases distintas. Assim, duas vias de ação explicam aprendizagem eficiente: implícita e explícita. Conhecimento implícito está relacionado a como os indivíduos executarão a tarefa, e conhecimento explícito é o entendimento do indivíduo sobre o que precisa ser feito (instrução externa). Os resultados da presente pesquisa não mostraram nenhuma diferença na banda Teta, o que implica que os participantes não mostraram dificuldades no entendimento dos aspectos cognitivos da tarefa de datilografar. Desta forma, o conhecimento explícito da tarefa não foi forte o suficiente para produzir mudanças na banda de frequência alfa. Porém, nas bandas Alfa e Beta, as análises estatísticas demonstraram diferença significativa entre as duas condições, ($p = .025/.016$) para Beta e ($p = .022/.036$) para Alfa, respectivamente, para ambos pares de eletrodos, confirmando assim **a consolidação do aprendizado**. Estes achados acentuam a importância de estudos neuro-eletrofisiológicos e a necessidade por um modelo comportamental do cérebro, que funda ambos os aspectos, eletrofisiológico e de comportamento.

A partir das experiências adquiridas com a pesquisa, e pela fidedignidade dos resultados obtidos, sugerimos que outros pesquisadores se engajem neste tipo de pesquisa, com o EEGq, criando novos estudos e/ou pesquisas para que possam servir de justificativa para o estudo apresentado, fortalecendo assim a pesquisa aqui concluída e a de futuros colegas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, J. et al. Rapid visuomotor preparation in the human brain: A functional MRI study. **Cognitive brain research**. n.1, p. 000-011, 2002.
- AGUILAR, L. Aprendizaje y memoria. **Rev. Neurol.** v. 4, n. 32, p. 373-381, 2001.
- ALLEGRI, R.; HARRIS, P. La corteza prefrontal en los mecanismos atencionales y la memoria. **Rev. Neurol.** v. 5, n. 32, p. 449-453, 2001.
- ANDRES, F. et al. Functional coupling of human cortical sensorimotor areas during bimanual skill acquisition. **Brain**. n. 122, p. 855-870, 1999.
- ANDERSON et al., 1996
- APPOLONIO, I. et al. Memory in patients with cerebellar degeneration. **Neurology**. v. 8, n. 43, p. 1536-1544, 1993.
- AUMANN, T.; REDMAN, S.; HORNE, M. Long-term potentiation across rat cerebellar-thalamic synapses in vitro. **Neuroscience letters**. n. 287, p. 151-155, 2000.
- BASTIAANSEN, M. et al. Event-related alpha and theta responses in a visuo-spatial working memory task. **Clinical neurophysiology**. n. 113, p. 1882-1893, 2002.
- BAUNDRY, M. Synaptic plasticity and learning and memory: 15 years of progress. **Neurobiology of learning and memory**. n. 70, p. 113-118, 1998.
- BEAR, M. et al. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- BENNETT, M. The concept of long term potentiation of transmission at synapses. **Progress in Neurobiology**. n. 60, p. 109-137, 2000.
- BLAKE, D.; BYL, N.; MERZENICH, M. Representation of the hand in the cerebral cortex. **Behavioral Brain Research**. n. 135, p. 179-184, 2002.
- BOTELHO, F.; JAMISON, J. A learning rule with generalized Hebbian synapses. **J. Math. Anal. Appl.** n. 273, p. 529-547, 2002.
- BÖTTGER, D.; HERRMANN, C.; CRAMON, D. Amplitude differences of evoked alpha and gamma oscillations in two different age groups. **International Journal of Psychophysiology**. n. 45, p. 245-251, 2002.
- BOWER, 1974
- BRINK MANN et al., 1998
- CAAN et al., 1976
- CAHILL, L.; MCGAUGH, L.; WEINBERGER, M. The neurobiology of learning and memory: some reminders to remember. **Trends in Neuroscience**. n. 24, v.10, Outubro/2001.
- CANLI, T. et al. Amygdala response to happy faces as a function of extraversion. **Science**. v. 296, junho, 2002.
- CASTELLARO, C. et al. An artificial intelligence approach to classify and analyse EEG traces. **Neurophysiol Clin** n. 32, p. 193-214, 2002.
- CLASSEN, J. et al. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. **Journal of Neurophysiology**, v.2, n. 79, p. 1117-1123, 1998.
- COHEN, Helen. **Neurociências para fisioterapeutas**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2001.
- COOK, A.; WOOLLACOTT, M. **Controle motor: teoria e aplicações práticas**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2003.
- CREMADES, J. The effects of imagery perspective as a function of skill level on alpha activity. **International Journal of Psychophysiology**. n. 43, p. 261-271, 2002.
- DAYAN, P. Matters temporal. **Trends in cognitive sciences**. v.6, n.3, março/2002.
- DONCHIN, O. et al. Mechanisms influencing acquisition and recall of motor memories. **J. Neurophysiology**, n. 88, v. 4, p. 2114-2123, 2002.
- EKMAN, L. **Neuroscience: fundamentals for rehabilitation**. W.B. Saunders Company: Philadelphia, PA., 1998.
- ELGER, C. et al. Pattern of intracortical potential distribution during focal interictal epileptiform discharges (FIED) and its relation to spinal field potentials in the rat. **Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.**, n. 51, v. 4, p. 393-402, 1981.
- FERNÁNDEZ, L. Plasticidad cortical y restauración de funciones neurológicas: una actualización sobre el tema. **Rev. Neurol.** n. 31, v. 8, p. 749-756, 2000.
- FOX, K.; GLAZEWSKI, S.; SCHULZE, S. Plasticity and stability of somatosensory maps in thalamus and cortex. **Current opinion in Neurobiology**. n. 10, p. 494-497, 2000.
- FREY, U. & MORRIS, R. Synaptic tagging: implicatis for late maintenance of hippocampal long-term potentiation. **TINS**. v. 21, n. 5, p. 181-188, 1998.
- FRISTON, K. et al. Motor practice and neurophysiological adaptation in the cerebellum: a positron tomography study. **Proc. R. Soc. Lon. B. Biol. Sci.** n. 248, p. 223-228, 1992.
- GANDOLFO, F. et al. Cortical correlates of learning in monkeys adapting to a new dynamical environment. **Proc. Natl. Acad. Sci.** n. 29, p. 2259-2263, 2000.
- GARCIA, J. Estructura y función del cerebelo. **Rev. Neurol.** n. 33, v.7, p. 635-642, 2001.
- GEORGIADIS, M. & CRAMON, D. Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals. **Exp. Brain Res.** n. 125, p. 417-425, 1999.
- GERLOFF, C. et al. Cortical activation during fast repetitive finger movements in humans: steady-state movement-related magnetic fields and their cortical generators. **Electroen. and Clinical Neurop.** n. 109, p. 4444-4453, 1998.
- GEVINS, A. et al. Electroencephalographic imaging of higher brain function. **Phil. Trans. R. Soc. Land. B**. n. 354, p. 1125-1134, 1999.
- GLICKSTEIN & YEO, 1990
- GOLDBERG, J.; HOLTHOFF, K.; YUSTE, R. A problem with Hebb and local spikes. **Trends in Neurosciences**. v.25, n.9, setembro/2002.
- GONG, P.; NIKOLAEV, A.; LEEUWEN, C. Scale-invariant fluctuations of dynamical synchronization in human brain electrical activity. **Neuroscience Letters**. n. 336, p. 33-36, 2003

- GUYTON, A. et al. **Tratado de Fisiologia Médica**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.
- HUND-GEORGADIS, M.; VON CRAMON, D. Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals. **Exp. Brain Res.** n. 125, p. 417-425, 1999.
- IZQUERDO, I. **Memória**. São Paulo: Artmed, 2002.
- JACKSON, A.; LEMON, R. Motor control: forcing neurons to change. **Current Biology**. n. 11, p. R708-R709, 2001.
- JASPER, H. The ten-twenty electrode system of the international federation. **EEG and Clinical Neurophysiology**. n. 10, p. 371-375, 1958.
- KANDEL, E.; SCHWARTZ, S.; JESSEL, T. **Principles of Neuroscience**. 4. ed. McGraw-Hill: New York, 2000.
- KARNI, A et al. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. **Science**. n. 377, p. 155-158, 1995.
- KINGSLEY, R. **Manual de neurociência**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- KELSO, J. **Dynamic patterns: the self-organization of brain and behavior**. London: A Bradford Book, 1995.
- KILNER, J. et al. Task-Dependent modulations of cortical oscillatory activity in human subjects during a bimanual precision grip task. **Neuroimage**. n. 18, p. 67-73, 2003.
- LAWTON et al., 1998
- LENT, R. **Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociências**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2001.
- LIEPERT, J. et al. Inhibition of ipsilateral motor cortex during phasic generation of low force. **Clinical neurophysiology**. n. 112, p. 114-121, 2001.
- LOSADA, M. Programa de entrenamiento en estrategias para mejorar la memoria. **Rev. Neurol.** n. 33, v. 4, p. 369-372, 2001.
- LUFT A. & LANG, A. Modulation of rodent cortical motor excitability by somatosensory input. **Exp. Brain Res.** n. 142, p. 562-569, 2002.
- MARRONE, D. & PETIT, T. The role of synaptic morphology in neural plasticity: structural interactions underlying synaptic power. **Brain research reviews**. n. 1, p. 000-000, 2001.
- MAUK, M. et al. Cerebellar function: Coordination, learning or timing? **Current Biology**. n. 10, p. R522-R525, 2000.
- MCCARTY, M. et al. How infants use vision for grasping objects. **Child Development**. n. 72, v. 4, p. 973-987, 2001.
- MCDOWELL, K. The effects of probability and relative direction on human somatomotor electroencephalographic rhythms. **Neuroscience letters**. n. 324, p. 17-20, 2002.
- MCEVOY et al. Neurophysiological signals of working memory in normal aging. **Cognitive brain research**. n. 11, p. 363-376, 2001.
- MELIÁN, W. & ROSADO, J. Interacciones entre el hipocampo y la amígdala en procesos de plasticidad sináptica: Una clave para entender las relaciones entre motivación y memoria. n. 35, v. 6, p. 586-593, 2002.
- MIALL, R. & RECKESS, G. The cerebellum and the timing of coordinated eye and hand tracking. **Brain and cognition**. n. 48, p. 212-226, 2002.
- MULEY, S et al. Effects of changes in experimental design on PET studies of isometric force. **Neuroimage**. n. 13, p. 185-195, 2001.
- MULL, B. & SEYAL, M. Transcranial magnetic stimulation of left prefrontal cortex impairs working memory. **Clinical Neurophysiology**. n. 112, p. 1672-1675, 2001.
- MYSLOBOSKY et al., 1990
- NAIR, D. et al. Cortical and cerebellar activity of the human brain during imagined and executed unimanual and bimanual action sequences: a functional MRI study. **Cognitive brain research**. n. 15, p. 250-260, 2003.
- NICOLELIS, M. & RIBEIRO, S. Multielectrode recordings: the next steps. **Current opinion in neurobiology**. n. 12, p. 602-606, 2002.
- NIEDERMEYER & SILVA, 199
- NUNEZ, 1995
- OLDFIELD, 1971
- PENFIELD, W.; RASMUSSEN, T. Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. **Brain**. n. 60, p. 389-443, 1937.
- PEDOTTI, R.; FRIEDMAN, D.; DONOGHUE, J. Learning-induced LTP in Neocortex. **Science**. v. 290, October/2000.
- RAICHLER, M. et al. Practice-related changes in human brain functional anatomy during nonmotor learning. **Cereb Cortex**. n. 4, p. 8-26, 1994.
- REILLY, E. EEG Recording and operation of the apparatus. In: NIEDERMEYER, E.; LOPES DA SILVA, F. (eds.). **Electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields**. 4. ed. Baltimore: Lippincott Williams e Wilkins, 1999.
- RIBEIRO, P. & JEKA, J. **Multiple integration into the control system: modulatory cognitive strategies**. Rio de Janeiro: Shape, 2001.
- RIOULT-PEDOTTI, M. et al. Strengthening of horizontal cortical connections following skill learning. **Nature Neuroscience**. n. 1, v. 3, p. 230-234, 1998.
- ROUTTENBERG, A. Tapping the Hebb synapse. **Tins**. v. 22, n.6, 1999.
- RUSHBY, J.; BARRY, R.; JOHNSTONE, S. Event-related potential correlates of serial-position effects during an elaborative memory test. **Intern. Journal of Psychol.** n. 46, p. 13-27, 2002.
- SANES J. & DONOGHUE J. Plasticity and primary motor cortex. **Annu. Rev. Neuroscience**. n. 23, p. 393-415, 2000.
- SANES, J. & SCHIEBER, M. Orderly somatotopy in primary motor cortex: Does it exist? **Neuroimage**. n. 13, p. 968-974, 2001.
- SANTOS, C. **Novíssimo guia do datilógrafo**. 40.ed. São Paulo: Saraiva, 1997.
- SCHAFE, G. et al. Memory consolidation of Pavlovian fear conditioning: a cellular and molecular perspective. **Trends in neuroscience**. v. 24, n. 9, setembro/2001.
- SCHMIDT, R. & WRISBERG, C. **Aprendizagem e performance motora: Uma abordagem da aprendizagem baseada no problema**. 2.ed. Porto Alegre, 2001.
- SEIDLER, R. et al. Cerebellum activation associated with performance change but not motor learning. **Science**. v. 296, junho/2002.
- SHADMER & HOLCOMB, 1997, 1999.
- SLOBOUNOV, S. et al. Modulated cortical control of individual fingers in experienced musicians: an EEG study. **Clinical Neurophysiology**. n. 113, p. 2013-2024, 2002.
- SMITH, M.; MCEVOY, L.; GEVINS, A. Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. **Cognitive Brain Research**. n. 7, p. 389-404, 1999.
- SOMMER et al., 2001
- STAM, C. et al. Variability of EEG synchronization during a working memory task in healthy subjects. **International Journal of Psychophysiology**. n. 46, p. 53-66, 2002.
- TORRAS, M. & MORGADO, I. La amígdala: Implicaciones funcionales. **Rev. Neurol.** n. 33, v. 5, p. 471-476, 2001.
- TURRIGIANO, G. & NELSON, S. Hebb and homeostatic in neuronal plasticity. **Current opinion in neurobiology**. n.10, p. 358-364, 2000.
- ULLIAN, E. et al. Control of synapse number by glia. **Science**. n. 291, p. 657-661, 2001.
- VIÑAS, J. Desempeña el cerebelo un papel en los procesos cognitivos? **Rev. Neurol.** n. 31, v. 4, p. 357-359, 2000.
- WELCH & WARREN, 1986
- WELTER, T.; BOBBERT, M. Initial arm muscle activation in a planar ballistic arm movement with varying external force directions: a simulation study. **Motor Control**. n. 6, v. 3, p. 217-229, 2002.
- WITTENBERG, G.; TS, J. An emerging molecular and cellular framework for memory processing by the hippocampus. **Trends Neurosci.** n. 25, v. 10, p. 501-505, outubro de 2002.
- WULF, G. & PRINZ, W. Directing attention to movement effects enhances learning: a review. **Psychon. Bull. Rev.** n. 8, v. 4, p. 648-660, 2001.
- ZANG, Y. et al. Functional organization of the primary motor cortex characterized by event-related MRI during movement preparation and execution. **Neuroscience Letters**. n. 337, p. 69-72, 2003.