

**Artigo original**

# Assimetria inter-hemisférica em função da aprendizagem de uma tarefa de datilografia

## *Inter-hemispheric asymmetry during the process of typewriting learning*

Victor Hugo Bastos, Ms.\*, Heloisa Veiga\*\*, Marlo Cunha\*\*, Marco Antonio Guimarães, Ph.D\*\*\*, Roberto Piedade, Ph.D\*\*\*\*, Pedro Ribeiro, Ph.D\*\*\*\*\*

.....

\*Universidade Castelo Branco (PROCIHM), \*\*Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensório-Motora - Instituto de Psiquiatria (IPUB) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), \*\*\*Professor Titular, Universidade Castelo Branco (PROCIHM), \*\*\*\*Professor Adjunto III, Instituto de Psiquiatria (IPUB), Coordenador do Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensório-Motora, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), \*\*\*\*\*Professor Adjunto II, Escola de Educação Física e Desportos (EEFD), Instituto de Psiquiatria (IPUB), Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensório-Motora, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Professor Titular, Universidade Castelo Branco (PROCIHM)

**Palavras-chave:**  
Integração sensório-motora, memória de procedimento, EEG.

### Resumo

Este estudo teve por meta analisar 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. Para a análise estatística, variáveis comportamentais, tais como tempo e erro, foram analisadas através de uma Anova one-way (diferenças entre blocos). Em seguida, foi utilizado uma Anova de medidas repetitivas (2-way) para examinar diferenças entre o pré e o pós treinamento no córtex visual (O1-O2), nas frequências teta e alfa. Os resultados principais demonstraram uma mudança na performance, através das variáveis tempo e número de erros. Concomitantemente, foram observadas uma diminuição assimetria na banda teta (O1-O2), em contrapartida, não foram encontradas diferenças em alfa. Tais resultados sugerem uma adaptação do córtex visual em função do treinamento de datilografia.

Artigo recebido em 10 de novembro de 2003; aceito em 20 de novembro de 2003.

**Endereço para correspondência:** Prof. Dr. Pedro Ribeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Psiquiatria (IPUB) - Laboratório de Mapeamento Cerebral e Integração Sensório-Motora, Rua Pacheco Leão, 704 casa 25, Jardim Botânico, 22460-030 Rio de Janeiro RJ

### **Abstract**

The present study aimed to investigate alterations in EEG patterns in normal, right-handed individuals, during the process of learning a specific motor skill (typewriting). Recent studies have shown that the cerebral cortex is susceptible to several changes during a learning process and that alterations in the brain's electrical patterns take place as a result of the acquisition of a motor skill and memory consolidation. In this context, subjects' brain electrical activity was analyzed before and after the motor task. The main results demonstrated a change in performance, through both behavioral variables ("time" and "number of errors"). At the same time, changes were observed for the neurophysiological variable ("Assymetry") in the theta band. On the other hand, no significant changes were observed in the alpha band. These results suggest an adaptation of visual cortex as a consequence of the typewriting training.

### **Key-words:**

Motor-sensory integration, procedural memory, EEG.

.....

## **Introdução**

As alterações da atividade elétrica do cérebro em função da aprendizagem motora constituem um foco de pesquisa de grande aplicabilidade para a área biomédica. Um crescente fluxo de informações vem sendo gerado a respeito dos mecanismos intrínsecos a aquisição de novos padrões motores. Neste 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 deste conhecimento implica os aspectos da memória [1]. Assim, ambos os processos compartilham mecanismos neurais similares que também controlam a atenção, integração sensorial e percepção [2]. As alterações produzidas no sistema nervoso em função da aprendizagem motora estabelecem a chamada memória de procedimentos, que também constitui importante tópico de estudos comportamentais.

A construção da memória de procedimentos acompanha o aperfeiçoamento da performance [3]. O aprendizado gradualmente produz uma diminuição no erro embutido na tarefa, aumento da coordenação e maior agilidade e velocidade na execução do movimento [4]. Esse implemento da performance, observado no processo de aprendizagem, tem sido associado a complexos mecanismos de consolidação de memória de longo prazo. Em função da diversidade de componentes que são

reorganizados plasticamente, o entendimento dos efeitos da aprendizagem motora no córtex tornou-se um desafio no campo das neurociências. Os modelos experimentais que abordam a questão do arquivamento das informações motoras têm como premissa básica o fenômeno de acomodações plásticas neurais do sistema nervoso. Uma 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 da execução do gesto motor é o complexo que induziria o novo ordenamento na configuração neural [5,6]. O efeito do aprendizado motor sobre essa representação interna parece estar intimamente associado a um incremento na eficácia ("força") sináptica de neurônios em áreas corticais e sub-corticais [7], que em última análise, possibilita uma condição mais eficiente de processamento neural. A elaboração de um modelo interno mais "inteligente", a partir da aprendizagem motora, sustenta-se então, na conectividade e organização de uma nova rede neural [8]. A nova arquitetura neural, assim sugerida, passa a representar um sistema de referência para o controle motor possibilitando gestos motores mais eficientes em conformidade com o aumento da experiência [9].

Neste contexto, segue-se a proposta de investigar possíveis alterações na atividade elétrica do córtex, induzidas pela aprendizagem de uma tarefa motora, e que serão observadas através da eletroencefalografia quantitativa (EEGq) [10].

## Material e Métodos

### Amostra

A amostra do estudo consistiu de 29 sujeitos, sendo 14 do sexo masculino e 15 do sexo 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, ainda, 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 Edinburg [11] foi aplicado a fim de verificar a 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 foi 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-se 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, estilo antigo (marca: 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 [12], de aprendizagem progressiva, cujo treinamento foi realizado em um único dia. Este 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, de cortiça colocado na parede em frente aos participantes e, na medida em que o indivíduo terminava, a lição seguinte era firmada no quadro. Cada bloco de exercício consistiu de dez colunas e doze linhas (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. O tempo total de realização dos quatro blocos e de cada bloco individualmente foi mensurado. Desta forma, 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 (1) hora, descansaram por vinte 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. Esta 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 por folha. No final do segundo bloco, a folha foi substituída por uma outra.

Fig. 1 – Relação entre tempo de execução da tarefa e blocos.

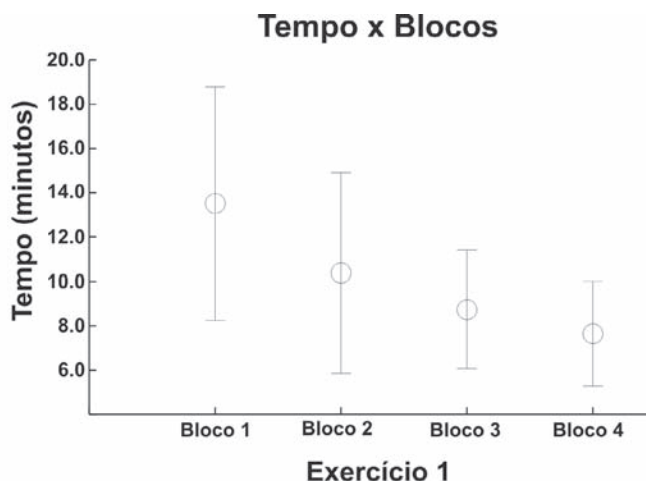


Fig. 2 – Relação entre número de erros e blocos.

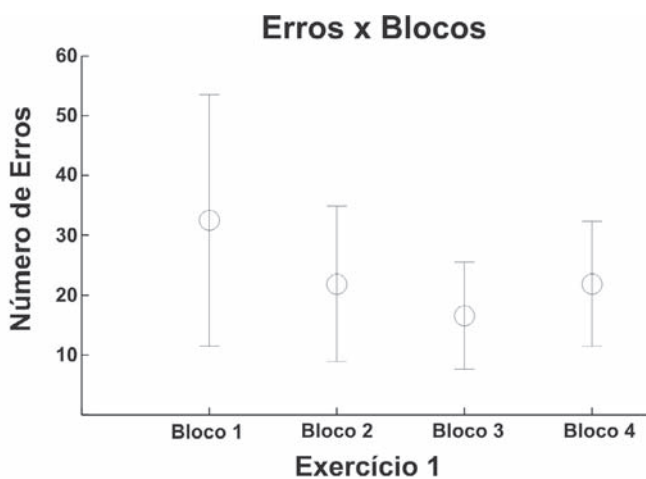
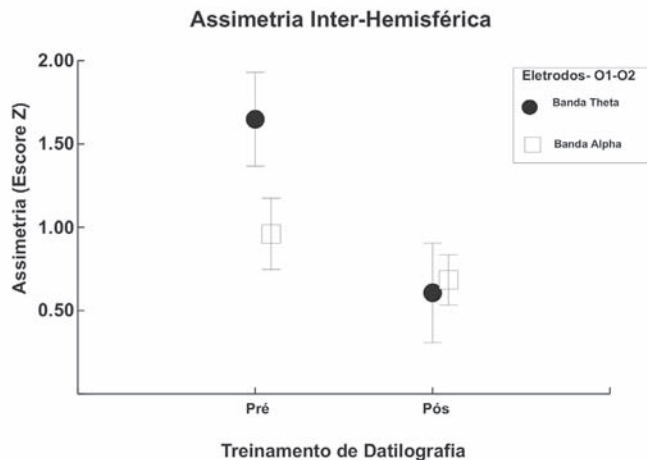


Fig. 3 – Índice de assimetria em função do treinamento de datilografia.



### Aquisição de dados

Para a captação do sinal eletroencefalográfico, foi utilizado o aparelho Braintech 3000 (Emsa - Instrumentos Médicos, Brazil), 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 750 Hz. Os 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 [13] 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-fixado. Este sistema se refere 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 (bi-auricular). O sinal adquirido em um determinado eletrodo é 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 deveriam estar entre 5-10K ohms (W) e ser mantidos nesses padrões. Os sinais adquiridos deveriam estar com o total de amplitude (pico a pico) menor que 100 mV. Por esse motivo, o sinal foi amplificado com ganhos variando 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 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 EEG Telas (Emsa-Delphi 5.0).

### 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.

### Assimetria na distribuição de energia

A medida usada no experimento é conhecida como assimetria e reflete uma distribuição desproporcional de energia (potência) no escalpo. A assimetria é computada em função de uma frequência determinada nas bandas do EEG (5-30 Hz) e considerada, em especial, como um gradiente de energia existente entre pares de eletrodos homólogos. Dessa forma, o gradiente de inclinação é concentrado na direção dos eletrodos com maior quantidade de energia naquela banda de frequência. Índices computacionais de assimetria possibilitam a comparação entre áreas corticais (inter/intra). O cálculo matemático básico na computação da assimetria é expresso através da equação: % Assimetria =  $(L-R/L+R) \times 100$ ; onde: L refere-se a pares de eletrodos homólogos esquerdos e R refere-se a pares de eletrodos homólogos direitos.

### 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, 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 na Assimetria,

foi utilizado uma Anova de medidas repetitivas (2-way) para examinar diferenças entre o pré e o pós treinamento no córtex visual (O1-O2), nas frequências teta e alfa.

## Resultados

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

### *Variáveis comportamentais*

O gráfico 1, representado a seguir, 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 ( $p = 0,292$ ). Desta forma, evidenciou-se, essencialmente, uma modificação entre o bloco 1 (média = 13,52/desv. padrão = 5,27) e o bloco 2 (média = 10,38/desv. padrão = 4,52).

Neste contexto, o gráfico 2 apresentado a seguir 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*

O gráfico 3 descreve os índices de assimetria entre o pré e o pós-treinamento nas regiões O1-O2 nas bandas Teta e Alfa. Análises estatísticas não demonstraram diferença significativa entre as duas condições ( $p = 0,176$ ) para a banda Alfa. Por outro lado, uma diminuição significativa na assimetria foi verificada na banda teta no pós-treinamento ( $p = 0,007$ ).

## Discussão

A presente investigação se propôs observar mudanças corticais a partir da exposição de sujeitos a uma tarefa de datilografia. Foram examinadas as modificações neurais que ocorrem durante a aquisição de uma habilidade sensorio-motora. Neste contexto, o Eletroencefalograma quantitativo (qEEG) foi usado para analisar tais

transformações. As variáveis comportamentais, tempo x erros, indicaram que a prática de datilografia produziu uma melhora quanto a habilidade dos sujeitos na execução do gesto motor. Os resultados demonstraram uma diminuição no tempo, especialmente quando o primeiro bloco foi comparado aos outros (análise Post-hoc). Em outras palavras, com o aumento de performance, a quantidade de tempo necessário para terminar o segundo, terceiro, e quarto blocos decaiu consideravelmente. A diminuição do tempo de execução da tarefa entre blocos caracteriza o processo contínuo de aprendizagem.

O número de erros também diminuiu à medida que os sujeitos ficaram mais hábeis na tarefa de datilografia. Essencialmente, este padrão de resultados foi evidenciado entre o primeiro bloco e os demais. Neste contexto, os resultados presentes reproduziram achados anteriores, nos quais foi percebido aumento do desempenho quando indivíduos foram expostos a uma tarefa sensorio-motora [4,12]. As melhorias no desempenho (tempo x erro) estão de acordo com achados anteriores de várias pesquisas sensorio-motoras, nas quais sujeitos tiveram que administrar informação da memória processual [16]. 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). Estes achados sugerem que este “momento crítico” estava associado com a transição entre os mecanismos de controle e a automação do movimento. Mecanismos de controle estão associados à fase inicial do aprendizado, onde 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 este excesso de atenção e dedicação à mesma.

Em relação às medidas neurofisiológicas, o EEGq poderia monitorar as mudanças no estado cerebral que ocorrem quando um indivíduo executa uma atividade sensorio-motora [4]. O acompanhamento das modificações dos sinais do EEG poderia ser correlacionado com a reorganização neural, que é intrínseca à construção de habilidades motoras complexas. 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. No presente estudo, as bandas de frequências teta (4,0 - 7,5 Hz) e alfa (8 - 12 Hz) foram usadas para avaliar atenção e mudanças cognitivas produzidas pela tarefa sensorio-motora (datilografia). Especificamente, foram usadas medidas de assimetria com a finalidade de observar possíveis alterações corticais. Neste contexto, assimetria representaria um suposto desequilíbrio de energia (potência absoluta) entre diferentes áreas corticais. Assimétrias vêm sendo foco de interesse por várias décadas [10,8]. Não é recente a capacidade do córtex



em reorganizar sua circuitaria neural em função de patologias ou lesões específicas. Mas, alterações corticais em função do aprendizado de uma tarefa motora ainda constituem um campo pouco explorado [12]. O presente resultado aponta para uma diminuição de assimetria no córtex visual primário (O1-O2 Hz) em função do aprendizado de datilografia. Tais diferenças foram encontradas na banda de frequência teta (4-8 Hz). Uma possível interpretação desta tendência dos dados é o fato de que mudanças na banda teta representem diferentes quantidades de atenção alocadas no princípio da tarefa comparadas ao fim do segundo bloco. Em especial, a capacidade do córtex visual em interpretar informações ao longo do aprendizado. O presente achado contrapõe-se com alguns outros experimentos, onde tais resultados indicam um incremento de teta com o aperfeiçoamento da tarefa [12]. Não foram encontradas diferenças significativas na banda alfa, tais resultados demonstram pouca influência de estratégias cognitivas durante a tarefa motora.

## Conclusão

Memória de processos é a aquisição de uma habilidade motora específica. Para alcançar precisamente este objetivo, 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 alfa, o que implica que os participantes não mostraram dificuldades no entendimento dos aspectos cognitivos da tarefa de datilografar. Em contrário, alterações significativas foram percebidas na banda teta demonstrando alterações no estado de atenção. Sumarizando, 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.

## 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, Lassonde M. Colossal and cortical contribution to procedural learning. *Brain* 1999;122:1049-62.
4. Karni A, Gundela M, Jezard P, Adams M, Turner R, Ungerleider L. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Science* 1995;377:155-8.
5. Cohen L, Brasil N, Pascual-Leone L, Hallet M. Plasticity of cortical motor output organization following deafferentation, cerebral lesions, and skill acquisition. *Adv Neurology* 1993;63:187-200.
6. Donoghue J. Plasticity of sensorimotor representations. *Curr Opin Neurobiology* 1995; 5:749-54.
7. 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* 2000;2259-63.
8. Gilmar R, Sovetov A. Interhemispheric asymmetry of late components of evoked potential as an expression of compensatory processes. *Hum Physiology* 1980; 6(6):430.
9. Gottlieb G. The generation of the efferent command and the importance of joint compliance in fast elbow movements. *Experimental Brain Research* 1994; 97:545-50.
10. Kutas M, Donchin E. Preparation to respond as manifested by movement-related brain potential. *Brain Research* 1980; 202(1):95-115.
11. Wolpert D, Ghahramani Z, Flanagan R. Perspectives and problems in motor learning. *Trends in Cognitive Sciences* 2001;5:487-94.
12. Smith M, McEvoy L, Gevins A. Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. *Brain Res* 1999;7:389-404.
13. Oldfield R. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971;9: 97-113.
14. Santos C. *Novíssimo guia do datilógrafo*. 40 ed. São Paulo: Saraiva, 1997.
15. Jasper H. The ten-twenty electrode system of the international federation. *EEG and Clinical Neurophysiology* 1958;10:371-75.
16. Carlson R, Lundy D, Scheider W. Strategy guidance and memory aiding in learning a problem-solving skill. *Hum Factors* 1992;34:129-45. ■