Agradecimentos

À minha noiva Erika, pela compreensão ao tempo utilizado à realização desse estudo.
À professora doutora Maria Elisa Pimentel Piemonte pela paciência e pela arte do ensino da ciência.
À professora Doutora Isabel de Camargo Neves Sacco pelo auxílio na análise estatística.
À minha mãe pelos incentivos e orientações.
Às colegas do laboratório de aprendizagem sensório-motora pelos auxílios recebidos.

SUMÁRIO

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS ..... **IV**
RELAÇÃO DE FIGURAS ..... **VI**
RELAÇÃO DE TABELAS ..... **VII**
RESUMO ..... **VIII**
ABSTRACT ..... **XI**
APRESENTAÇÃO **1**
1. INTRODUÇÃO **5**
1.2 EVIDÊNCIAS DA IMPORTÂNCIA DA REALIMENTAÇÃO PARA O APRENDIZADO 14
1.3 EVIDÊNCIAS DA INDEPENDÊNCIA DO APRENDIZADO E REALIMENTAÇÃO 21
2. OBJETIVO **35**
3.1 SUJEITOS 36
3.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO 36
3.3 LOCAL 37
3.4 MATERIAIS 37
3.5. PROCEDIMENTOS 38
3.5.1 Apresentação da tarefa 38
3.5.2 Memorização das seqüências 39
3.5.3 Familiarização da tarefa 40
3.5.4 Avaliação antes do treinamento (AT) 40
3.5.5 Treinamento 40
3.5.6 Avaliação após o treinamento (DT) 45
3.5.7 Reavaliação 4 dias após o treinamento (4dDT) 45
3.5.8 Reavaliação 7 dias após o treinamento (7dDT) 45
3.5.9 Reavaliação 14 dias após o treinamento (14dDT) 45
3.5.10 Reavaliação 28 dias após o treinamento (28dDT) 45
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA 47
4. RESULTADOS **48**
4.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO DURANTE O TREINAMENTO 48
4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO NAS AVALIAÇÕES 51
4.2.1 Análise da velocidade 51
4.3.2 Análise da Acurácia 54
5. DISCUSSÃO **56**
6. CONCLUSÃO **65**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **66**

Relação de abreviaturas

AVE - Acidente Vascular Encefálico

AT - Avaliação Antes do Treinamento

Bl - Bloco

CM1 - Córtex Motor Primário

DP - Doença de Parkinson

DT - Avaliação Depois do Treinamento

EMG - Eletromiografia

EMT - Estimulação Magnética Transcraniana

fMRI - Imagem por Ressonância Magnética Funcional

HCFMUSP - Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

MID - Membro Inferior Direito

MMSS - Membros Superiores

MS - Membro Superior

MSD - Membro Superior Direito

Nl - Grupo que representa a condição normal (sem restrições sensoriais) de treinamento

PET - Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons

PrM - Grupo que representa a condição de treinamento sob prática mental.

SNC - Sistema Nervoso Central

SNT - Seqüência não Treinada

ST - Seqüência Treinada

V - Grupo que representa a condição de treinamento com ausência da realimentação visual

VS - Grupo que representa a condição de treinamento com ausência da realimentação visual e distúrbio somatossensorial.

4dDT - Reavaliação 4 Dias Depois do Treinamento

7dDT - Reavaliação 7 Dias Depois do Treinamento

14dDT - Reavaliação 14 Dias Depois do Treinamento

28dDT - Reavaliação 28 Dias Depois do Treinamento

Relação de figuras

Figura 1. Sistema de controle de circuito fechado 3

Figura 2. Mão preparada para o teste 39

Figura 3. Representação esquemática da situação de oposição de dedos 40

Figura 4. Foto que representa o treinamento do grupo normal 42

Figura 5. Foto que representa o treinamento do grupo com restrição visual 43

Figura 6. Foto que representa o treinamento do grupo com restrição visual e distúrbio somatossensorial 44

Figura 7. Foto que representa o treinamento do grupo de prática mental 45

Figura 8. Diagrama ilustrando todas as fases do experimento 47

Figura 9. Gráfico do tempo de treinamento 51

Figura 10. Gráfico do desempenho antes e depois do treinamento em relação à velocidade 54

Figura 11. Gráfico do desempenho antes e depois do treinamento em relação à acurácia 56

Relação de tabelas

Tabela 1. Demonstração dos componentes das seqüências numéricas 41

Tabela 2. Médias e desvios-padrão da velocidade durante o treinamento 50

Tabela 3. Médias e desvios-padrão da velocidade da SNT antes e depois do treinamento 52

Tabela 4. Médias e desvios-padrão da velocidade da ST antes e depois do treinamento 52

Tabela 5. Médias e desvios-padrão da acurácia da SNT antes e depois do treinamento 55

Tabela 6. Médias e desvios-padrão da acurácia da ST antes e depois do treinamento 55

Resumo

KOPCZYNSKI, M.C. *A realimentação é fundamental para o aprendizado de seqüências de movimentos?* São Paulo, 2006. 113p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.

Aprendizado motor é o processo pelo qual o sistema nervoso modifica suas respostas motoras. Sendo um processo implícito, tem como principais características o desenvolvimento lento, baseado em um grande número de repetições, cujos resultados só podem ser verificados através da modificação no desempenho.

Os modelos atuais de aprendizado motor consideram a realimentação sensorial fundamental para o processo à medida que permite, com base nas informações sensoriais resultantes da repetição anterior, o aperfeiçoamento da próxima tentativa.

Baseados nestes modelos, as condutas fisioterapêuticas têm utilizado a realimentação sensorial como uma importante ferramenta para melhorar o desempenho motor de pacientes com disfunções nervosas, principalmente no início do treinamento.

De fato, numerosos trabalhos confirmam a importância da realimentação no processo de aprendizado. Entretanto, novas evidências têm indicado, direta e indiretamente, que a influência da realimentação para o aprendizado não é completamente conhecida.

Diante da importância do assunto para o melhor conhecimento do processo de aprendizado e fundamentação das técnicas fisioterapêuticas, este trabalho teve por objetivo investigar a influência da realimentação sensorial sobre o aprendizado de uma nova habilidade motora.

Com este objetivo, analisamos o desempenho imediato e até 28 dias depois de uma única sessão de treino (4 blocos de 600 movimentos), realizada sob 4 diferentes condições de restrição sensorial: (1) nenhuma restrição; (2) restrição das aferências visuais; (3) restrição das aferências visuais e táteis e (4) restrição completa de aferências (prática mental), em 40 indivíduos jovens saudáveis (idade média = 26,6 $\pm$ 3,59 anos).

A tarefa estudada consistiu em movimentos seqüenciais de oposição dos dedos mão dominante (direita).

Os resultados analisados, por meio da Análise Multivariada para medidas repetidas, mostraram que a condição de treino não influenciou o desempenho imediato e tardio, tanto em termos de acurácia como de velocidade.

Assim, a melhora no desempenho conseqüente do processo de aprendizado não depende, necessariamente, das informações sensoriais procedentes dos ensaios anteriores para aprimorar a habilidade, pois o sistema nervoso é capaz de rapidamente avaliar a disponibilidade sensorial proporcionada pelas condições de treino e desenvolver estratégias igualmente eficientes para programar os movimentos, aperfeiçoando o desempenho tanto em termos de velocidade como de acurácia.

Os resultados deste estudo questionam se a ênfase dada à realimentação sensorial nos treinamentos fisioterapêuticos, realmente, são essenciais para a

melhora de desempenho e indicam que é necessário fundamentar melhor os princípios de tratamento utilizados.

Palavras-chave: aprendizado motor; realimentação; imaginação; percepção visual; percepção somestésica.

Abstract

KOPCZYNSKI, M.C. Is the sensorial feedback fundamental for the learning of sequence of movements? São Paulo, 2006. 113p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.

Sensorial feedback has hitherto been considered fundamental for motor learning in that sensorial inputs resulting from previous attempts allow refinement of subsequent attempts thereby leading to performance improvement. Numerous studies however, have provided direct and indirect evidence that learning new motor abilities is possible with zero feedback. The objective of this study was to verify the influence of sensorial feedback on learning a new motor skill. We investigated the performance, during a month, of single-session training (4 blocks of 600 movements) performed under 4 different conditions of sensorial restriction: (1) no restriction; (2) visual input restriction; (3) visual and tactile input restriction and (4) total restriction of inputs (mental practice), in 40 young healthy subjects (mean age = 26.6 $\pm$ 3.59 years). The task consisted of opposing finger movement sequences using the dominant hand (right). Results showed that training condition did not influence immediate or delayed performance in terms of accuracy or speed. Improvements in performance brought about by the learning process do not necessarily depend on sensorial information drawn from previous practice of a skill, for the nervous system is able to swiftly assess sensorial availability under the prevalent training conditions and consequently develop equally efficient strategies

to program movements, then refine performance in terms of both speed and accuracy.

Keywords: motor learning; feedback; imagination; visual perception; somesthetic perception.

Apresentação

A realimentação sensorial é amplamente utilizada como um importante recurso para potencializar o aprendizado motor, tornando o conhecimento da sua real importância uma relevante discussão para as ciências que utilizam o treinamento para melhorar o desempenho motor, seja em indivíduos normais ou em pacientes com lesão no sistema nervoso.

Conhecidamente, os fisioterapeutas utilizam várias formas de realimentação em suas práticas, supostamente, para facilitar o aprendizado motor. Assim, é comum que seja solicitado aos pacientes que utilizem informações visuais, táteis, proprioceptivas e auditivas, para guiar o seu desempenho, principalmente nas fases iniciais do processo de reabilitação.

Segundo as teorias clássicas de aprendizado motor, a realimentação tem sido considerada como fator fundamental para o seu desenvolvimento. Keele (1968) elaborou a teoria do circuito aberto, a qual admite a existência de um programa motor, resultado do processo de aprendizado, que após ser acionado, gera o movimento sem a necessidade da realimentação para gerenciá-lo. Em contrapartida, Adams (1971), um pesquisador no campo da Educação Física, desenvolveu a teoria do circuito fechado, caracterizada pelo uso constante das informações sensoriais geradas em decorrência do movimento em execução, as quais possibilitariam comparar o movimento realizado com o pretendido. Qualquer diferença entre os mesmos resultaria em sinais de erro, utilizados para a correção do movimento subseqüente. Essa teoria originou-se a partir de alguns princípios utilizados por Charles Sherrington, um neurofisiologista que considerava o

comportamento motor como resultado de reflexos ativados por algum estímulo (interno ou externo) que desencadeavam outras respostas reflexas, gerando, sucessivamente, os atos motores.

Schmidt (1975) propôs uma nova teoria em resposta às limitações das teorias anteriores, integrando-as, pois a primeira destaca apenas movimentos operados em circuito aberto e a segunda, apenas em relação ao circuito fechado. Assim, dependendo do tipo de atividade o controle seria, predominantemente, via circuito fechado ou aberto. Em movimentos mais lentos, o organismo utilizaria as informações de realimentação para governá-lo com eficácia, porém, em execuções balísticas, não haveria tempo suficiente para a utilização desse tipo de informação. Sendo assim, tal classe de movimento seria gerenciada por circuito aberto. Ambas as formas de controle permitiriam o desenvolvimento de programas motores por meio de treinamento que não contemplam normas específicas, mas aspectos abstratos e gerais de uma classe de movimentos, como noções espaço-temporais, necessárias para a sua execução. O autor defendia que quatro aspectos são armazenados na memória após a execução de movimentos: (1) condições iniciais de movimento (fatores gerais a respeito do sujeito e objeto); (2) parâmetros utilizados no programa motor generalizado; (3) efeito do movimento em termos de conhecimento de resultados; (4) as conseqüências sensoriais do movimento (SCHMIDT, 1975; SCHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2003; TANI, 2005).

Desta forma, quando ocorre um movimento, poderia ser gerado um sinal de erro (realimentação sensorial) para que houvesse correção e melhora da habilidade em desenvolvimento, como ilustra a figura 1.

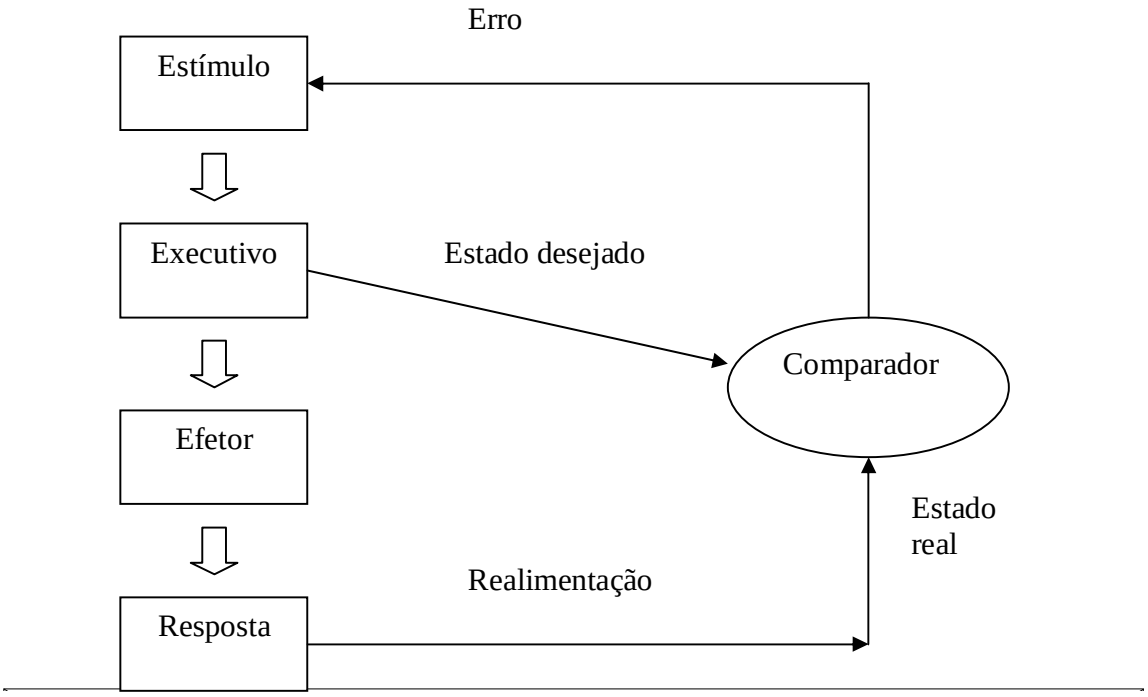

Figura 1: Esquema representativo do sistema de controle de circuito fechado (modificado de Schmidt; Wrisberg, 2001).

Newell (1991) elaborou uma teoria fundamentada nos conceitos de estratégias de busca, baseada na teoria ecológica ou dos sistemas dinâmicos, para explicar o processo do aprendizado motor. Esse autor sugere que o desenvolvimento do aprendizado envolve um processo que aumenta a coordenação entre a percepção e a ação, contando com as restrições impostas pela tarefa e ambiente. Contrapondo-se à idéia de programas motores, de representação central, essa abordagem defende que os movimentos são resultados da complexa interação entre os componentes efetores (grupos musculares) e o meio ambiente. Há uma exploração do espaço para a identificação das informações mais relevantes para o desempenho de uma tarefa

específica, colocando também como função fundamental a informação perceptiva coletada através da realimentação sensorial conseqüente da execução motora. Assim, essa nova abordagem enfatiza a exploração do espaço perceptivo-motor com o intuito de criar estratégias ideais para a execução de uma tarefa.

Imparciais na questão sobre qual dessas teorias melhor representa o processo de aprendizado motor, a realimentação é destacada por todas como fundamental para o seu sucesso, pois supre o sistema nervoso com informações sensoriais que permitem o aperfeiçoamento da próxima tentativa e torna possível, após várias tentativas, a melhora no desempenho.

Apesar dessas teorias serem amplamente consideradas até os dias atuais, fundamentando as práticas fisioterapêuticas, elas não podem explicar resultados de diferentes estudos científicos que demonstraram ser possível aprender novas habilidades: (1) na ausência de realimentação somatossensorial (perda da sensibilidade tátil e proprioceptiva) (BARD et al., 1995); (2) com utilização do segmento corpóreo que não realizou o treinamento (PARK; SHEA, 2005) e (3) por meio de prática mental (DRISKELL et al., 1994).

Considerada a importância de um melhor entendimento sobre a contribuição da realimentação para o aprendizado motor, o atual estudo teve como objetivo investigar a influência da realimentação no aprendizado de seqüências de movimentos de oposição de dedos.

Esse entendimento tem implicações clínicas relevantes para a fisioterapia, pois permite uma melhor fundamentação da prática, confirmando ou não a necessidade do reforço na realimentação sensorial durante o treino para a melhora do desempenho motor.

1. Introdução

O processo de aquisição e armazenamento do conhecimento adquirido por meio dos diversos tipos de experiências passadas em nossas vidas recebe a denominação de memória.

Estudos com pacientes amnésicos (MILNER et al., 1968) e parkinsonianos (LASHLEY, 1958), mostraram uma dupla dissociação nas deficiências de memória, o que possibilitou dividi-la em dois grandes módulos: o explicito e o implícito.

O módulo explícito, também chamado declarativo, constitui um sistema no qual a informação é processada mesmo após uma única experiência e então estocada de forma que se mantenha acessível, explicitamente, para ser usada posteriormente, sendo relembrada de forma consciente de acordo com a demanda. Por apresentar essas características é passível de relato verbal como, sugere o termo “declarativo”. Já o módulo implícito, também chamado de procedimentos, representa a aquisição de habilidades motoras, perceptuais e rotinas cognitivas por meio da exposição repetitiva a uma atividade específica, com regras invariáveis. Essa classe de memória é adquirida e expressa apenas sob a forma de desempenho em virtude de um sistema de memória que não permite o acesso explícito, ou seja, não permite o relato das informações acumuladas com a tarefa. Estruturalmente, o módulo explícito estaria relacionado com o lobo temporal medial e diencéfalo, envolvendo circuitos limbo-diencefálico-corticais associados com o hipocampo e amígdala, estruturas usualmente comprometidas na amnésia. As estruturas envolvidas no módulo implícito não são

tão claramente estabelecidas, mas atualmente existe consenso sobre o envolvimento do neoestriado, especialmente o núcleo caudado, e do cerebelo (WILLINGHAM et al., 1989; KANDEL et al., 2000; FLOYER et al., 2004; PARSOSNS et al., 2005).

O aprendizado motor é um sub-módulo da memória implícita, definido como um conjunto de processos não conscientes, associados com a prática e repetição de movimentos, que levam às mudanças permanentes nas respostas motoras. Isto é possível devido às modificações das redes neurais responsáveis pelas respostas motoras, possibilitando um desempenho mais eficaz na tarefa treinada (MOLINARI et al., 1997; WILLINGHAM, 1998). Assim, com o decorrer do processo o desempenho evolui de impreciso para acurado, de lento para veloz, de controlado pela atenção para automático.

Embora não haja dúvidas quanto à necessidade de um grande número de repetições para o aprendizado de uma habilidade, não é uma tarefa fácil estimar esse número. Recentemente, um grupo de pesquisadores na área de aprendizado se propôs a estabelecer um método que possibilitasse tal façanha. Assim, os autores, utilizando uma tarefa de enumeração, mostraram que quando dentro da sessão, o número de repetições atinge o que é chamado de “ponto de saturação”, ou seja, mesmo com a continuidade do treino, não se observam mais ganhos no desempenho, não há perdas no desempenho após o término do treino. Pelo contrário, são observados ganhos adicionais decorrentes da consolidação do processo associados ao sono. Caso o treino seja interrompido antes do “ponto de saturação”, não são observados ganhos adicionais e o desempenho atingido pode apresentar regressão. Este ponto seria individual e específico para cada tipo de

tarefa (HAUPTMANN e KARNI, 2002; HAUPTMANN et al., 2005). Paralelamente, outros estudos mostraram que, além da quantidade, a distribuição das repetições no tempo também pode interferir no aprendizado. Mackay et al. (2002) e Dail et al. (2004) mostraram que a prática distribuída, i.e., treino dividido em várias sessões, foi mais eficiente que a prática maciça, i.e., em uma única sessão de treino.

Diferente da questão sobre a importância da repetição para o processo, a discussão sobre outra característica importante do aprendizado, a especificidade para os parâmetros treinados, não encontrou um consenso. Apesar de estudos defenderem a especificidade do processo (KARNI, 1995, WILLINGHAM et al., 2000), Hikosaka et al. (1995), num estudo com dois macacos em uma tarefa a qual denominou “Tarefa 2x5”, onde os macacos eram treinados a desempenhar movimentos de pressionar botões luminosos em diferentes seqüências, verificaram que (1) inicialmente, o aprendizado é específico para a seqüência treinada, observado durante uma única sessão de treinamento, (2) mas tardiamente o aprendizado pode se generalizar para tarefas similares, o que é observado através da melhora do desempenho em novas seqüências nunca treinadas. Os resultados mostraram que os macacos tiveram uma melhora rápida do desempenho para seqüências específicas com um curto período de treinamento (menos que 5 minutos), que não se mantinha até o próximo dia, e que melhoraram progressivamente seu desempenho com a prática diária durante 30 dias. Já o aprendizado de seqüências inéditas dentro das mesmas condições de teste, apresentou uma melhora lenta, podendo ser observada apenas depois de vários dias de treinamento com novas seqüências. Seis meses após o final do treinamento, não houve alterações significativas na velocidade de execução da

seqüência treinada, mas houve piora na sua acurácia e no aprendizado de novas seqüências. Baseados nessa dissociação, os autores propuseram a existência de dois níveis diferentes de aprendizado. Um relacionado com os aspectos motores da tarefa (responsável pela retenção da velocidade para seqüências treinadas), mantida por períodos mais longos de tempo e, outro relacionado com os aspectos de procedimentos da tarefa (responsável pela seleção das respostas), mantida por períodos mais curtos tempos. Hikosaka et al. (1999) propuseram um modelo para o aprendizado de tarefas motoras segundo o qual as informações sensório-motoras de cada um dos elementos envolvidos na tarefa seriam gradualmente substituídas por informações sobre as seqüências de movimentos necessárias para a tarefa. Isso possibilitaria que uma seqüência de movimento já adquirida pudesse ser utilizada como elemento para o aprendizado de uma nova seqüência. Assim, a memória de múltiplas seqüências poderia ser combinada de diferentes formas, para produzir um novo comportamento, mais complexo.

Apesar do aprendizado motor ser processado de forma implícita, não há dúvidas que vários processos cognitivos conscientes incrementam o seu desenvolvimento. Willingham (1998) estabeleceu um modelo de aprendizado motor denominado COBALT (*control-based learning theory*), o qual aplica três princípios básicos ao processo de aprendizado motor: (1) o princípio da dissociabilidade, que propõe que diferentes componentes cognitivos e motores sejam processados em diferentes áreas cerebrais; (2) o princípio da representação distinta, que propõe que os diferentes componentes envolvidos no processo utilizam diferentes formas de representação neural e (3) o princípio do modo duplo, que propõe que um ato motor pode ser executado de forma

consciente, no qual todas as etapas envolvidas no processo são controladas conscientemente com grande dispêndio de atenção, ou de forma inconsciente, ou seja, automática, com pouco envolvimento da atenção, no qual apenas a escolha da estratégia é controlada conscientemente, forma pela qual a grande maioria dos movimentos é executada. Embora o autor reconheça que a forma consciente esteja mais presente nos estágios iniciais do aprendizado podendo ser lentamente substituída pela forma inconsciente, ele defende a idéia que as duas formas de operação sejam possíveis conforme a natureza e contexto da tarefa.

Em congruência, Brown (1999) sugeriu a existência de dois possíveis sistemas de processamento e que as informações obtidas por meio de um deles podem ser acessadas de alguma forma pelo outro. Um desses sistemas envolve o nível cortical, consciente, e predomina nas fases iniciais de aprendizado. O outro é processado em nível subcortical (com destaque para o estriado), de forma inconsciente e, gradualmente, substitui a forma consciente até que o desempenho se torne automático. Poldrack et al. (2001) mostraram, através de um estudo em 40 participantes normais, com a utilização de Ressonância Magnética Funcional durante o aprendizado de uma tarefa de pressionar um entre dois botões, que o aprendizado envolve a competição entre os dois sistemas de memória humana: (1) o declarativo, evidenciado pela atividade no lobo temporal medial e, (2) o não-declarativo, evidenciado pela atividade no estriado. A competição entre esses dois sistemas refletiria mecanismos adaptativos que serviriam para otimizar o aprendizado conforme a demanda da tarefa. Quando a tarefa exigisse regras flexíveis, o sistema, preferencialmente, ativado seria o declarativo e quando a aprendizado seguisse regras específicas, envolvendo respostas associativas

rápidas e automáticas entre estímulo e resposta, o sistema, preferencialmente, ativado seria o não-declarativo.

Muitos trabalhos têm investigado quais áreas do sistema nervoso estão envolvidas no aprendizado. Atualmente, é bem conhecida a participação de estruturas subcorticais, como cerebelo e núcleos da base, sendo que há evidências de que diferentes partes dessas estruturas participam de diferentes fases do processo, como descrito a seguir.

Miyachi et al. (1997) treinaram macacos para executar uma tarefa de pressionar botões (tarefa 2X5). O experimento consistia em descobrir a seqüência correta, por tentativa e erro, dos botões a serem apertados, dentre vários disponíveis, até que a seqüência correta fosse realizada com sucesso. A experiência foi realizada tanto com seqüências previamente aprendidas quanto com seqüências novas. Foi injetado muscimol (um agonista do ácido gama amino butírico) nos núcleos da base para bloquear, de forma reversível, a atividade neural local, tornando possível examinar as funções de diferentes regiões desses núcleos, repetidamente, no mesmo animal. O aprendizado de novas seqüências tornou-se prejudicado após as injeções de muscimol serem feitas nas regiões anteriores dos núcleos caudados e putâmen, mas não na região médio-posterior do putâmen. A execução de seqüências aprendidas foi afetada quando a injeção ocorreu na região médio-posterior do putâmen e, menos severamente, após injeções na região anterior do caudado e do putâmen. Em conclusão, o putâmen e caudado contribuem para diferentes aspectos para o processo do aprendizado motor.

O mesmo procedimento foi utilizado por Lu et al. (1998) para analisar a influência dos núcleos cerebelares no aprendizado de seqüências de movimentos. Os resultados sugerem que as regiões dorsal e central do núcleo denteado estejam envolvidas na estocagem, isto é, na memória de seqüências aprendidas, pois a injeção de muscimol nestes locais promoveu severos prejuízos na execução da tarefa aprendida, porém não afetou o desempenho de novas seqüências. A injeção nas regiões ventral e lateral do núcleo denteado e nos núcleos interpósito e fastigial não afetou o desempenho da tarefa, a não ser pela lentificação dos movimentos da mão ipsilateral à injeção de muscimol.

Além dos núcleos da base e cerebelo, o processo do aprendizado motor envolve modificações nas redes neurais corticais envolvidas na tarefa.

Karni et al. (1995), por meio de um estudo com imagem por ressonância magnética funcional (fMRI), mostrou as alterações do córtex motor primário (CM1) durante o treinamento de movimentos seqüenciais de oposição dos dedos. A atividade cerebral de seis adultos jovens saudáveis foi estudada semanalmente por um período de 4 a 6 semanas, antes e simultaneamente ao treinamento. Durante a primeira sessão, não houve diferença de ativação do CM1 contralateral, porém, a partir da quarta sessão (correspondente à terceira semana de prática diária), a extensão da área ativada foi significativamente maior durante a realização da seqüência de movimentos treinada, sendo que esse aumento persistiu por semanas após o treinamento ter sido finalizado. A melhora do desempenho manteve-se por pelo menos um ano, sem prática adicional. Os resultados desse estudo mostraram um gradual e específico desenvolvimento da rede neural cortical ativada durante a realização da seqüência de movimentos

treinada, confirmando o envolvimento do córtex motor primário para o aprendizado.

Estudos mostraram que além das áreas motoras primárias, outras áreas encefálicas estão envolvidas no processo do aprendizado motor. Hikosaka et al. (2002) mostraram em experimentos que indivíduos saudáveis aprendiam, por tentativa e erro, a apertar botões numa ordem fixa, uma forte ativação da área pré-motora suplementar durante o aprendizado de novas seqüências, mas não durante as seqüências aprendidas, e um padrão de ativação inversa na área motora suplementar.

Atualmente, com a ampliação na utilização científica das técnicas de imageamento cerebral, numerosos estudos têm confirmado a participação dessas estruturas corticais e subcorticais no processo de aprendizado motor. Sumariamente, identifica-se em uma fase inicial, na qual o desempenho é lento, incerto e com grande dependência atencional, o envolvimento do córtex frontal dorso-lateral, área pré-motora suplementar, córtex pré-motor, córtex cingulado, região anterior dos núcleos da base e cerebelo. Na fase mais tardia, quando há melhora expressiva do desempenho da tarefa que passa a ser realizada de forma automática, observa-se a ativação da região médio-posterior dos núcleos da base, região do sulco intraparietal, precuneos, área motora suplementar e cerebelo. Além do cerebelo, como área comum de ativação tanto nas fases iniciais quanto nas finais do aprendizado (porém mais ativo nas fases iniciais) e os núcleos da base (mais ativos nas fases finais), o córtex somatossensorial e motor primário, também são ativados nesses dois estágios do aprendizado (RAYMOND et al.,

1996; HALLET; GRAFFMAN, 1997; DOYON et al., 1998; TONI et al., 1998; HIKOSAKA et al., 1999 e 2002; DOYON et al., 2003).

Assim, a investigação das áreas cerebrais envolvidas no aprendizado motor permitiu a identificação de fases distintas do processo. Karni et al. (1998), considerando as evidências provenientes de estudos comportamentais de imageamento cerebral e de plasticidade sináptica, propôs a definição de duas fases: (1) o aprendizado em curto prazo, ativado já nos primeiros minutos de prática, quando uma rotina ou plano para realizar a tarefa é selecionado e alterações temporárias nos processos neurais são desencadeadas proporcionando uma melhora rápida no desempenho, que continuam a se desenvolver por horas após o treinamento e (2) o aprendizado em longo prazo, caracterizado por alterações locais definitivas na conectividade cortical dependente do treinamento que permitem o armazenamento em longo prazo das novas habilidades na memória motora, consolidando o desempenho da habilidade.

1.2 Evidências da importância da realimentação para o aprendizado

Entende-se por realimentação as informações sensoriais geradas pela execução de movimentos que auxiliam na orientação do indivíduo sobre sua interação com o meio ambiente e com os objetos e tarefas inseridos nesse contexto. A realimentação ocorre sob duas formas: (1) na explícita, informações sensoriais são divididas em dois contingentes: (a) conhecimento de resultado, definido como o conjunto de informações sobre o desempenho fornecidas ao indivíduo após a conclusão do movimento; e (b) conhecimento de desempenho, definido como o conjunto de informações fornecidas ao individuo durante a realização da tarefa; (2) na implícita, as informações sensoriais processadas de forma inconsciente contribuem para o desenvolvimento do aprendizado (MACHADO, 1993; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2003).

Numerosos estudos investigaram as contribuições dessas diferentes formas de realimentação para o aprendizado motor.

Já no final da década de 50, os efeitos da realimentação explícita sobre o aprendizado foram estudados por Bilodeau e Bilodeau (1959) em 160 indivíduos saudáveis que praticavam uma tarefa de puxar uma alavanca, movimentando-a por 33° (realização perfeita da tarefa). Os participantes foram divididos em quatro grupos: grupo 1 recebeu 100% de realimentação, que consistia no comando verbal em relação aos graus de movimentação da alavanca; o grupo 2 não recebeu realimentação; o grupo 3 recebeu realimentação em 1/6 inicial das 24

tentativas; e o grupo 4, também recebeu 1/6 de realimentação, mas de forma aleatória durante a tarefa. Os resultados mostraram que o grupo que recebeu 100% de realimentação alcançou o melhor desempenho indicando que a realimentação explícita poderia potencializar o aprendizado.

Entretanto, estudos mais recentes mostraram que fornecer 100% de realimentação explícita pode melhorar o desempenho durante a aquisição da habilidade motora, porém a retenção (desempenho a longo prazo) é inferior quando comparada a dos sujeitos que receberam porcentagens mais baixas de realimentação durante a fase de treinamento (WULF et al., 1994; WINSTEIN et al., 1994; ANDERSON et al., 2001; WULF et al., 2001; WULF et al., 2002; BUTKI; HOFFMAN, 2003.; MONONEN et al., 2003; SCHMIDT, 2003). Uma possível explicação para este fenômeno é que a alta freqüência de realimentação opere pró-ativamente na tentativa subseqüente, induzindo a dependência de realimentação para se obter melhora de desempenho e iniba o desenvolvimento da forma implícita de aprendizado. Ao receber, por exemplo, 20% ou 30% de realimentação explícita e não em todas as tentativas (100% das vezes), o sistema nervoso prioriza estratégias implícitas para o controle do desempenho, que em longo prazo seriam mais eficientes.

Considerando-se as diferentes vias de realimentação implícita, as informação visuais são tidas como fundamentais para o planejamento e controle dos movimentos no processo de aquisição de novas habilidades, pois suprem o sistema motor com informações do meio antes de iniciar o movimento, atuando de maneira pró-ativa, facilitando o planejamento e execução motora e, posteriormente, checando a ação realizada para, se necessário, compensá-las.

Durante o processo de aprendizado de uma nova tarefa, inicialmente, os olhos trabalham realimentando o sistema, ou seja, exploram o ambiente para auxiliar na programação das ações, detectam os erros de alcance, facilitando a correção e, a partir do momento em que a tarefa é aprendida, fornecem informações antecipatórias, procurando o próximo objeto para o direcionamento do ato motor, antes mesmo do primeiro objetivo ser alcançado (LAND, 2006).

A influência da realimentação visual já foi investigada para diversos tipos de tarefas.

Em 1991, Baltzopoulos et al. estudaram o efeito da realimentação visual no torque máximo dos músculos flexores e extensores do joelho em movimentos isocinéticos para baixas (60°/seg) e altas velocidades (180°/seg) angulares. Os resultados mostraram que a realimentação produziu aumento significativo no torque de ambos os grupos musculares (flexores e extensores) de maneira similar, porém apenas para a velocidade mais baixa (60°/seg). Talvez isso tenha ocorrido devido ao tempo reduzido de execução da tarefa motora para a condição de velocidade mais alta (300 ms). Assim, provavelmente, não houve tempo hábil para o participante analisar o que a tela do computador exibia em termos de desempenho e produzir uma resposta motora mais eficaz em termos de geração de força.

Yuen et al. (1993) desenvolveram um estudo com 52 sujeitos saudáveis com o objetivo de verificar a diferença de desempenho no aprendizado da utilização de uma prótese de cotovelo. Vinte e seis sujeitos treinaram movimentos de membro superior com a prótese que apresentava um aparelho em sua região distal que emitia feixes de luz sobre uma superfície, proporcionando uma

realimentação visual adicional do desempenho. Os demais realizaram os mesmos movimentos, porém sem a realimentação visual luminosa. Após o treinamento, os participantes foram testados com um lápis atado na ponta da prótese na habilidade de desenhar uma linha contínua num labirinto, sendo que os desvios da trajetória eram mensurados. Os resultados mostraram que o grupo que treinou com realimentação visual luminosa obteve resultados significativamente melhores, indicando que a realimentação visual pode melhorar o aprendizado.

Rossetti et al. (1994) analisaram a acurácia de sujeitos normais na capacidade de apontar para um alvo em diferentes condições de realimentação sensorial. Os resultados mostraram que a realimentação visual da posição inicial da mão permitiu uma melhor acurácia na tarefa, ratificando a importância da realimentação visual para o aprendizado.

Outro estudo que analisou se as aferências visuais da posição inicial da mão melhoram o planejamento e execução motora foi realizado por Desmurget et al. (1997). A tarefa consistiu em apontar com o segundo dedo da mão direita para o segundo dedo da mão esquerda, sobre o qual não havia visibilidade. Numa condição, o controle visual do membro superior direito era permitido, na outra, a tarefa era realizada no escuro. A acurácia dos movimentos sempre foi melhor para o primeiro grupo. Esses resultados sugerem que a realimentação visual da posição inicial da mão melhora o planejamento de movimentos acurados, pois os proprioceptores são parcialmente ineficientes em prover uma adequada posição do membro.

Kellis e Baltzopoulos (1996) examinaram o efeito da realimentação visual no torque máximo dos músculos flexores e extensores do joelho, durante a

contração excêntrico em baixas (30°/seg) e altas (1 50°/seg) velocidades angulares em 25 adultos jovens saudáveis. Os resultados mostraram que a utilização da realimentação visual promoveu torques significativamente maiores para ambos os grupos musculares testados e em ambas as velocidades, resultado que se manteve por uma semana após o final do treino.

Kim e Kramer (1997) também compararam os torques produzidos pela extensão de joelho em indivíduos normais e sedentários randomicamente divididos em dois grupos de 20 sujeitos. Um grupo não recebia realimentação visual enquanto o outro recebia por meio de uma representação gráfica dos torques produzidos pela extensão de joelho, projetados em uma tela de computador. Os resultados mostraram que o grupo que recebeu realimentação visual obteve torques significativamente maiores que o outro grupo. A partir da segunda sessão de treinamento, o desempenho do grupo que recebeu realimentação estabilizou, enquanto o grupo sem realimentação continuava obtendo desempenhos melhores a cada sessão realizada, porém, ao final da terceira e última sessão, os resultados ainda eram inferiores em comparação aos obtidos pelo grupo que recebeu realimentação visual. Quatro semanas após a terceira sessão, um novo teste foi realizado para análise da retenção. Constatou-se que os torques do grupo que recebeu realimentação visual mantinham-se similares à terceira sessão, enquanto do grupo sem realimentação visual apresentou decréscimo. Esses dados sugerem que a realimentação tem sua importância durante o aprendizado, mas não provoca efeito em tarefas já aprendidas, contudo revelam ter influência positiva na manutenção em longo prazo do que foi adquirido com o treinamento.

Bédard e Proteau (2001) realizaram um experimento com 20 sujeitos saudáveis que tinham que conduzir o cursor na tela de um computador até determinado alvo, onde as diferenças de desempenho eram avaliadas em termos de acurácia espacial dos movimentos. Os participantes foram randomicamente divididos em duas condições experimentais que permitiam ou não a realimentação visual sobre a posição da mão e do alvo antes do início e durante a realização da tarefa. Os resultados mostraram que quando não há realimentação visual durante a trajetória do movimento, focalizar a posição inicial da mão e do alvo antes de iniciar o movimento produz uma programação mais eficiente da ação a ser realizada, porém quando a visão é permitida durante a execução da tarefa, o mesmo não foi observado.

Para investigar como o aprendizado motor é influenciado por diferentes modalidades sensoriais, Erni e Dietz (2001) avaliaram o desempenho de 30 sujeitos jovens normais divididos em grupos e submetidos a caminhar sobre uma esteira e passar sobre obstáculos que podiam ser sinalizados por sinais acústicos; somatossensoriais; e visuais. Três séries de caminhadas foram realizadas, cada série consistindo em 100 passos, sendo que nas duas primeiras séries sempre o mesmo estímulo era aplicado para indicar a proximidade do obstáculo e, na terceira, um outro estímulo era responsável por avisar que o obstáculo estava próximo, e assim analisar a capacidade de transferência de aprendizado. Quanto mais próximo os indivíduos passassem sobre o obstáculo sem tocá-lo, melhor seria o desempenho. No início da atividade, o melhor desempenho foi obtido pelo grupo guiado visualmente, mas ao final da segunda série, todos estavam com desempenhos semelhantes. Adicionalmente, as piores transferências ocorreram

quando havia a transição da informação visual para as demais condições, sugerindo que a realimentação visual influencia apenas o início do processo de aprendizado.

As aferências somatossensoriais (sensibilidade tátil, dolorosa, térmica e proprioceptiva) são fundamentais para monitorar os comandos motores, e as eferências devem sofrer ajustes para compensar as complexas interações entre os vários segmentos corpóreos e o meio externo. Entretanto, a contribuição desse tipo de informação para o controle e aprendizado motor não é facilmente dissociada de outros recursos sensoriais, como a visão.

Johansson et al. (1992) realizaram um experimento para estudar a influência da realimentação sensorial no aprendizado de uma tarefa de manipulação de objetos. Cinco sujeitos participaram do estudo e deveriam manipular um objeto, sem a realimentação visual, com os dois primeiros dedos da mão, antes e após os dedos sofrerem anestesia local. Os resultados mostraram que a anestesia prejudicou o desempenho na tarefa. Quando a anestesia foi aplicada apenas no primeiro dedo, permitindo que o outro dedo trabalhasse em condições normais, os resultados encontrados foram intermediários à situação sem e com anestesia dos dois dedos. Assim, na ausência de realimentação visual, a realimentação somatossensorial torna-se imprescindível para o aprendizado.

Cordo et al. (1995) realizaram um experimento com o intuito de analisar como o sistema nervoso utiliza o recurso da informação proprioceptiva para coordenar seqüências de movimentos. Os participantes eram instruídos a abrir a mão, sem realimentação visual, assim que a articulação do cotovelo atingisse

determinado alvo (1) de forma passiva (9 sujeitos e com 7 velocidades diferentes); (2) ativa (7 sujeitos) e (3) com carga (12 sujeitos), em 70 tentativas distribuídas em 3 dias consecutivos. Os resultados mostraram alta acurácia sem alterações significativas de desempenho entre as condições. Outros sujeitos participaram do mesmo procedimento, porém sofrendo vibração do tendão do músculo bíceps braquial enquanto realizavam a tarefa. Os resultados mostraram que os sujeitos sempre abriam a mão antes de atingir o alvo, sugerindo que a alteração da aferência proprioceptiva provocada pela vibração do tendão muscular prejudicou o aprendizado.

1.3 Evidências da independência do aprendizado e realimentação

Apesar dos numerosos estudos descritos no tópico anterior indicarem que a realimentação é, realmente, fundamental para o aprendizado motor, novas pesquisas têm contribuído com evidências diretas e indiretas que o processo de aprendizado pode ocorrer independente da realimentação.

Evidências diretas são encontradas nos estudos que mostraram que pacientes com lesões nervosas periféricas, que acarretaram na supressão completa da sensibilidade somatossensorial, preservam a capacidade de aprender novas habilidades motoras.

Bard et al. (1995) conduziram um experimento com um paciente que apresentava um quadro clínico de perda sensorial abaixo do nível do nariz em decorrência de polineuropatia, resultando em total perda de sensação de toque, vibração, pressão e cinestesia, além de total ausência de reflexos tendinosos nos

4 membros. A eletroneuromiografia de membros superiores revelou velocidade de condução normal para os nervos motores com abolição da condução sensorial, estável por mais de 10 anos de evolução patológica. A tarefa, realizado por esse paciente e um grupo controle composto por quatro sujeitos normais, consistia em realizar preensão de um objeto com diferentes níveis de força isométrica, entre 10% e 70% da força máxima, sem realimentação visual. Ao contrário do esperado, o paciente obteve o mesmo desempenho dos indivíduos saudáveis, indicando que o sistema nervoso, na ausência de realimentação, é capaz de desenvolver outras estratégias para aprimorar o desempenho motor.

La Rue et al. (1995) estudaram a importância da realimentação somatossensorial no tempo de execução de habilidades motoras em um paciente portador de polineuropatia sensorial e quatro sujeitos normais. A tarefa testava a habilidade dos participantes em sincronizar as batidas do segundo dedo da mão em uma placa de metal com um som produzido a intervalos regulares, com e sem a realimentação auditiva e visual durante a tarefa. Uma vez sincronizado, o bip sonoro era desligado e os sujeitos tinham que continuar a tarefa por sessenta segundos, em cinco séries. Ao contrário do esperado, o paciente não mostrou deficiências em aprender a tarefa na ausência de realimentação visual e auditiva, confirmando que o processo de aprendizado não depende exclusivamente da realimentação para aprimorar o desempenho em uma nova tarefa.

Importantes evidências indiretas da independência entre o aprendizado e realimentação se originaram de estudos com macacos. Rand et al. (2000) realizaram um estudo com quatro macacos treinados em uma tarefa denominada “Tarefa 2x5”, onde os macacos eram treinados a desempenhar movimentos de

pressionar botões luminosos em diferentes seqüências, comparando o desempenho entre a mão treinada e a contralateral. Assim, no primeiro bloco de treino variava-se a seqüência e no segundo, variava-se à mão. Numa mesma sessão de treinamento o desempenho dos macacos melhorava para a mesma seqüência com a mão treinada, i.e., o número de erros diminuía e a velocidade aumentava, mas quando a mesma seqüência era testada com a mão não treinada, observa-se uma diminuição do número de erros, sem melhora na velocidade. Esse fenômeno não pode mais ser observado depois de quinze dias de treinamento, i.e., houve diferença significativa de desempenho entre a mão treinada e não treinada tanto em relação à velocidade como em relação ao número de erros. Baseados nesses resultados, os autores propuseram que, no estágio inicial do aprendizado, a seleção da resposta correta é elaborada garantindo uma melhor acurácia e o programa motor desenvolvido não está associado ao efetor, podendo ser transferido para a mão não treinada. Já no estágio tardio, aspectos motores finos da tarefa, intrinsecamente ligados ao efetor, seriam processados e garantiriam tanto melhora da velocidade como da acurácia, restritos a mão treinada. De fato, estudos recentes têm confirmado esses achados (OSMAN et al., 2005; VAN MIER; PETERSEN, 2006).

Baseados nesse fenômeno, Bapi et al. (2000) e Vangheluwe et al. (2006) propuseram que a memória motora possa ser considerada como uma estrutura de duas camadas, representada pelos níveis efetor independente e efetor dependente. A fase inicial, definida como efetor independente, codifica informações abstratas das características gerais do movimento, como a organização têmporo-espacial, enquanto a fase final, definida como efetor

dependente, codifica representações específicas aos aspectos eferentes dos comandos motores, como a sinergia muscular envolvida.

Os estudos acima citados que mostraram que pelo menos no início do processo de aprendizado a melhora de desempenho é independente do efetor, foram tomados no presente estudo como evidência indireta da independência entre o processo de aprendizado e realimentação, considerando-se que a independência efetora implica também em independência aferente, já que as informações sensoriais conseqüentes ao movimento estão intrinsecamente associadas à atividade eferente do próprio segmento.

A terceira e mais intrigante coleção de evidências favoráveis à independência entre aprendizado e realimentação emerge dos estudos que demonstraram ser possível aprender novas habilidade por meio da prática, exclusivamente, mental. Nesta condição, como não há movimento, não é possível realimentar o sistema.

Prática mental é definida como uma técnica de treinamento na qual os procedimentos necessários para a realização da tarefa consistem em ensaios mentais com ausência de movimentos físicos, isto é, os indivíduos imaginam-se realizando a tarefa de maneira correta (SHANKS; KAMERON, 2000; ZIJDEWIND et al., 2003). Inúmeras situações do dia-a-dia correspondem a essa situação como quando olhamos a ação de alguém e imaginamo-nos realizando-a, antecipando os efeitos de uma determinada ação, preparando-nos, ensaiando para realizar um dado movimento ou ainda relembrando uma ação (JEANNEROD, 1995).

A principal hipótese para explicar esse fenômeno emerge da teoria cognitiva simbólica, originalmente proposta por Sackett (1934), segundo a qual a

prática mental facilitaria as habilidades por meio do controle simbólico dos movimentos envolvidos, ou seja, os sujeitos desenvolvem um plano mental a ser ensaiado que representa os movimentos envolvidos na tarefa. Isso é sustentado pelas demonstrações de que a prática mental é mais efetiva para as tarefas que possuem mais componentes “cognitivos” que motores e que os sujeitos com experiência prévia na tarefa sejam mais beneficiados pelos efeitos da prática mental, independente do tipo da tarefa, pois já possuem componentes simbólicos para gerenciarem o ensaio mental (JACKSON et al., 2001).

Considerando-se que os diferentes estudos sobre prática mental utilizam vários tipos de tarefas, diferentes métodos estatísticos, condições de treinamento e experiência individual dos sujeitos, Driskell et al. (1994) desenvolveram uma meta-análise para integrar os dados da literatura, resumir seus efeitos e especificar sob quais condições a prática mental é mais efetiva. Foram incluídos 35 estudos, representando o comportamento de 3.214 sujeitos. Foram analisados os efeitos que a prática mental produz sobre o desempenho, levando-se em conta o tipo de tarefa a ser treinada, o intervalo entre o término do treinamento e a avaliação do desempenho, o nível de experiência frente à tarefa e a duração do treinamento sob prática mental. Os resultados encontrados foram heterogêneos, mas sumariamente mostraram que prática física proporciona melhores desempenhos em comparação a prática mental; entretanto, essa última tem um impacto significativo no desempenho da habilidade treinada. Indicaram também que o tipo de tarefa é um importante moderador da efetividade da prática mental. As tarefas que permitem que o ensaio mental possa ser realizado de maneira mais detalhada, ou seja, com componentes simbólicos que possam ser facilmente

imaginados seriam as que obteriam maiores benefícios do treinamento; tarefas com características mais físicas, envolvendo força e coordenação, seriam contempladas com desempenhos menos significativos; porém, positivos. Sujeitos sem experiência prévia da atividade em questão seriam mais beneficiados ao treinarem tarefas cognitivas; porém, os sujeitos com certa experiência se beneficiariam de maneira similar tanto de tarefas com características cognitivas quanto das que possuem características físicas. Se o sujeito já conhece os componentes motores da tarefa, a prática mental é suficiente para gerar melhora de desempenho sem realimentações adicionais, porém, para o sujeito sem experiência apenas a prática mental é um recurso limitado. Também foi observado que quanto menor o intervalo de tempo entre a finalização do treinamento e a avaliação para a análise de desempenho, melhores eram os resultados. Para finalizar, os estudos mostraram que tempos prolongados de treinamento podem conduzir à queda de concentração e/ou motivação, sendo sugeridos cerca de 20 minutos de treinamento para o alcance de melhores resultados. Os dados coletados e analisados dessa meta-análise levam a concluir que a prática mental é um efetivo método para desenvolvimento de desempenho, porém menos potente que a prática física. Assim, o treinamento com prática mental pode ser utilizado como um método alternativo para tarefas que por algum motivo não possam ser treinadas fisicamente, ou para suplementar o treinamento físico.

Mulder et al. (2004) realizaram um experimento com o objetivo de verificar se apenas por meio da prática mental consegue-se facilitação para desenvolver tarefas novas, nunca realizadas antes pelos sujeitos. O estudo foi realizado com adultos jovens normais divididos em dois grupos: O grupo 1 (n=37), no qual os

sujeitos não eram capazes de realizar o procedimento (abdução do hálux do membro dominante) e o grupo 2 (n=40), no qual todos os indivíduos conseguiam certa amplitude de movimento para a tarefa em questão. O treinamento consistiu em repetir, por meio de imaginação mental, o movimento pretendido em 10 séries de 1 minuto. Os resultados mostraram que apenas os indivíduos que antes do treino já conseguiam realizar o movimento foram capazes de se beneficiar do treino mental, ou seja, para os indivíduos em que este padrão de movimento era absolutamente novo, a prática mental não foi eficiente para desenvolver a habilidade pretendida, indicando que ela seja eficiente apenas para tarefas capazes de serem reproduzidas fisicamente.

Foi realizado um estudo de tempo de reação seqüencial no qual os participantes teriam que responder com acurácia e o mais rápido possível (por meio de um teclado), quando um ponto aparecesse num dos quadrantes da tela do computador. Os participantes (n=40) foram randomicamente divididos em quatro grupos e teriam de realizar a tarefa por meio (1) de prática mental, (2) prática física, (3) não realizar, (4) prática mental com seqüência incorreta. Este experimento mostrou que a prática mental não foi eficiente para o aprendizado da tarefa proposta. Apenas o grupo que realizou a prática física obteve melhora significativa de desempenho, não havendo diferenças de desempenho entre os demais grupos do estudo (SHANKS; CAMERON, 2000).

Herbert et al. (1998) estabeleceram um protocolo de treinamento muscular isométrico, 3 vezes por semana, durante 8 semanas, para 54 sujeitos saudáveis jovens divididos em 3 grupos. O grupo 1 realizou o treinamento fisicamente, o grupo 2, por meio de prática mental e o grupo 3 apenas comparecia ao setor de

treinamento, sem sofrer intervenção (grupo controle). Os resultados evidenciaram aumento significativo de força muscular para o grupo 1 (já esperado), porém não revelaram aumento de força muscular para o grupo 2 (prática mental). O desempenho do grupo 2, ao final do treinamento, foi similar ao do grupo controle.

Em contrapartida, um estudo realizado por Zijdewind et al. (2003) utilizou 29 sujeitos divididos em 3 grupos para analisar o efeito do treinamento de prática mental sobre a força muscular dos flexores plantares do tornozelo. Um grupo não treinou, um realizou prática mental e o outro trabalhou com baixa intensidade de força muscular, para evitar ganhos de força. O treinamento foi monitorado com eletromiografia para garantir a inexistência de movimentação por parte do grupo que trabalhou por meio de prática mental. As medidas musculares foram realizadas antes, durante, após 4 semanas de treinamento e ao final das 7 semanas do treinamento que era realizado 5 vezes na semana. Os resultados, surpreendentemente, mostraram aumento significativo da força dos músculos trabalhados apenas no grupo que realizou a prática mental, mostrando que esse tipo de intervenção pode ser benéfica para a melhora e/ou manutenção de força muscular após, por exemplo, períodos de imobilização, no caso, devido à lesões na região do tornozelo. A interpretação desses resultados está de acordo com a Teoria da Hipótese do Treinamento Neural, que propõe que na primeira fase de treinamento muscular, o aumento de força seja causado por alterações adaptativas no processo central, isto é, mudanças nos circuitos de programação e planejamento do sistema motor, e não devido à hipertrofia resultante de treinamento físico.

Com o objetivo de identificar o melhor momento para a administração da prática mental para a obtenção de melhores resultados, Bohan et al. (1999) realizaram um experimento com 30 adultos jovens saudáveis divididos randomicamente em 3 grupos. Com um “joystick”, os participantes deveriam fazer com que o cursor, na tela de um computador, atingisse determinado alvo da maneira mais rápida e acurada possível. Os sujeitos do grupo 1 receberam apenas 10 tentativas pré-teste, nas quais registrou-se o tempo médio de execução da tarefa. Após isso, realizaram o treinamento com prática mental, que consistia em 20 tentativas e, novamente, eram reavaliados, obtendo-se o tempo médio de 10 tentativas. O grupo 2 realizou 20 e o grupo 3, 40 tentativas antes da primeira avaliação. A partir daí, realizaram o treinamento com prática mental e foram reavaliados depois do treinamento. Sendo assim, foi possível comparar em qual nível de aprendizado os sujeitos mais se beneficiariam do treinamento com prática mental: fase inicial (grupo 1), fase intermediária (grupo 2) ou quando os sujeitos já realizam a tarefa com destreza (grupo 3). A análise pré-teste revelou efeito de grupo, sendo que os sujeitos do grupo 1 realizaram a tarefa com tempos significativamente maiores que os demais, porém, não houve diferença no tempo de execução entre os grupos 2 e 3. A análise pós-teste mostrou não existir diferença no tempo de execução entre os grupos. O decréscimo no tempo de execução dos grupos 1 e 2 foi significativo, após o treinamento com prática mental, o mesmo não ocorrendo com os participantes do grupo 3. Esses dados levam à conclusão que a prática mental deva ser aplicada durante os estágios iniciais do aprendizado de uma habilidade motora. Os sujeitos do grupo 3 não obtiveram melhora de desempenho, provavelmente por já apresentarem um ótimo

desempenho da tarefa. Os sujeitos do grupo 1, após treinamento com prática mental, obtiveram níveis de proficiência semelhantes aos do grupo 3; assim, esses dados são condizentes com a noção de que a prática mental e movimentos reais compartilham os mesmos substratos neurais. Provavelmente, as 10 tentativas iniciais fornecidas aos participantes do grupo 1 foram suficientes para gerar conhecimento de resultados e memória motora para o desenvolvimento da habilidade por meio da prática mental, sem a necessidade de treinamentos físicos adicionais.

Jackson et al. (2003) mensuraram alterações funcionais encefálicas associadas ao aprendizado de uma seqüência motora, após treinamento com imaginação motora ao invés da prática física. A hipótese é que por meio da prática mental, assim como na prática física, ocorra uma reorganização encefálica nas estruturas que envolvam os circuitos córtico-estriado-tálamo-cortical e córtico-cerebelo-tálamo-cortical. Mais especificamente, o objetivo era demonstrar a ocorrência de aprendizado relacionado ao aumento do fluxo sangüíneo no córtex cingulado anterior, estriado, região órbito-frontal medial e lóbulo frontal inferior, além de significativo decréscimo de ativação cerebelar, após o período de prática. Nove sujeitos destros e saudáveis participaram desse estudo, no qual eles realizavam o procedimento sem realimentação visual, na posição supina, sendo submetidos a duas sessões de imageamento cerebral (PET). A primeira sessão ocorreu após os sujeitos memorizarem e realizarem mentalmente três seqüências de 10 elementos de movimentos dos pés (dorsiflexão ou flexão plantar), ou seja, após a ocorrência de aprendizado de curto prazo. A segunda sessão ocorreu após o treinamento de prática mental que consistiu em imaginar a execução da tarefa,

diariamente, 30 blocos de 10 movimentos por dia, por 5 dias. No escaneamento, os sujeitos realizavam a seqüência treinada, imaginavam a seqüência treinada e realizavam uma outra seqüência, de forma randômica, além, também, de imaginá-la. Os resultados mostraram redução significativa do tempo de reação para execução da tarefa pós-prática mental para a seqüência treinada em relação à randômica. Não houve alteração significativa de desempenho (tempo de execução da tarefa associado à acurácia) após o período de treinamento para a seqüência treinada, mas apenas uma tendência a esse resultado, porém, como houve alteração significativa entre a seqüência treinada e a randômica, os autores sugerem a ocorrência específica de aprendizado. Não foi encontrada diferença nos registros na eletromiografia (EMG) durante a execução da seqüência imaginada e em repouso, não podendo ser atribuído às ativações musculares os padrões de atividade cerebral encontrados. A região medial do córtex órbito-frontal foi mais ativada após o treinamento tanto para a seqüência executada quanto para a imaginada, o mesmo não ocorrendo para a randômica. Houve correlação do aumento de fluxo sangüíneo nessa área com a melhora de desempenho, sugerindo ser uma região crítica no aprendizado de uma seqüência específica por meio da prática mental. Contrariamente ao que se esperava, não foi encontrada alteração significativa no fluxo sangüíneo no estriado após a prática, talvez pelo aprendizado gerado ter sido insuficiente para gerar alterações nessas estruturas. Entretanto, conforme esperado, a região medial do cerebelo foi mais ativada na fase inicial do aprendizado tanto para a seqüência treinada realizada fisicamente quanto para a tarefa imaginada, porém sem atingir valores de significância. Significativo pico de ativação foi encontrado em áreas cognitivas como córtex

cingulado anterior na fase inicial do aprendizado, ou seja, trata-se de uma área com papel crítico para a aquisição de novas habilidades, na qual os recursos atencionais são mais necessários para o desenvolvimento da tarefa. Esses resultados demonstram que o aprendizado pela prática mental promove alterações funcionais no sistema córtico-cerebelar, assim como no córtex órbito-frontal medial. Esses achados, associados a não ocorrência de alterações no estriado e córtex pré-motor após prática mental, sugerem que essa forma de treinamento ative, principalmente, as fases de preparação dos movimentos.

Kasai et al. (1997) realizaram um estudo para investigar os efeitos da imaginação motora no encéfalo, utilizando a estimulação magnética transcraniana, e na medula, por meio do reflexo H. Sete sujeitos saudáveis participaram do experimento que consistia em imaginar o punho direito realizando o movimento de flexão. As mensurações foram realizadas com os indivíduos tanto na condição relaxada quanto imaginando o movimento. Ao menos 10 medidas foram realizadas em cada condição. Não foram encontradas alterações no reflexo H, porém, os potenciais motores evocados foram dramaticamente alterados, sugerindo que a imaginação motora produza aumento da excitabilidade cortical sem promover alterações nos circuitos medulares.

Jackson et al. (2001) utilizaram a estimulação magnética transcraniana com objetivo de investigar se ocorre uma facilitação similar durante a imaginação e execução motora dos movimentos, assim como investigar se o padrão temporal de ativação cortical coincide em ambos os casos. Os resultados mostraram que a imaginação motora evoca um aumento na excitabilidade cortical similar à execução real. O nível de excitabilidade espinhal foi registrado durante a

imaginação para verificar se a ativação cortical não foi causada por sinais ascendentes. Dois tipos de resultados foram encontrados: (1) houve alteração no nível de excitação medular que, talvez, pudesse ter sido causada por erros metodológicos; e (2) não foi registrada alteração de excitabilidade medular, sugerindo que esse processo não ative neurônios medulares. Assim, embora as atividades imaginadas produzam padrões de atividade de neurônios semelhantes aos movimentos executados, isso parece ser restrito ao nível encefálico.

As evidências descritas acima tomadas em conjunto, resumidamente indicam que:

(1) pacientes com lesões somatossensoriais não apresentam deficiências em aprender novas tarefas motoras;

(2) na fase inicial o aprendizado se desenvolve independente do efetor, indicando indiretamente uma independência também aferente e

(3) o treinamento com prática mental é capaz de desenvolver aprendizado motor na ausência de qualquer realimentação sensorial.

Assim, baseados no conhecimento sobre os sistemas de memória e aprendizado e na análise crítica das evidências favoráveis e desfavoráveis à importância da realimentação para o aprendizado motor, desenvolvemos o presente estudo, que é o primeiro de conhecimento do autor, que teve como objetivo comparar os resultados imediatos e tardios de uma única sessão de treinamento realizado sob quatro diferentes condições de realimentação sensorial no aprendizado de uma nova tarefa motora de movimentos seqüenciais de oposição dos quatro últimos dedos na mão em relação ao primeiro (“polegar”).

Seqüências de movimentos de dedos têm sido consideradas dentre as melhores tarefas para o estudo do aprendizado, pois reproduzem a característica seqüencial da maioria dos movimentos funcionais e possibilitam um controle mais preciso do desempenho em comparação a outros movimentos.

As condições de treinamento foram idealizadas de forma a permitir a comparação de uma primeira condição em que não havia qualquer restrição sensorial tomada como controle; uma segunda, na qual apenas a realimentação visual foi impedida; uma terceira, na qual além da restrição visual foi adicionado um distúrbio tátil e uma última, na qual, por meio da prática mental, suprimiu-se qualquer realimentação do desempenho.

Assim, diferenças no desempenho imediato ou tardio decorrente das diferentes condições de treinamento indicariam que o nível de realimentação disponível durante o treino, de fato, interfere no processo de aprendizado. Caso contrário, a melhora no desempenho conseqüente do processo de aprendizado não dependeria necessariamente das informações sensoriais procedentes dos ensaios anteriores para aprimorar a habilidade.

2. Objetivo

Investigar a influência da realimentação sensorial no processo de aprendizado motor, por meio da comparação do desempenho durante, imediatamente e até 28 dias depois de uma única sessão de treino realizado em quatro diferentes condições sensoriais.

3. Materiais e métodos

3.1 Sujeitos

Quarenta adultos jovens saudáveis, 20 homens e 20 mulheres, randomicamente divididos em quatro grupos, sendo que cada grupo representa uma condição sensorial diferente de treinamento. Todos os participantes eram destros e com idade variando de 20 a 32 anos, com média de 26,7 e desvio-padrão (DP) de 3,23. Analisando os grupos, separadamente, cada um apresentava as seguintes médias de idade e desvios-padrão: Nl: 27,4 +/- 3,65; V: 26,6 +/- 3,89; VS: 26,3 +/- 3,59; PrM: 26,7 +/- 1,76.

Todos os participantes completaram ou cursavam o terceiro grau escolar e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – HCFMUSP.

3.2 Critérios de exclusão

Foram excluídos do estudo os sujeitos com história de distúrbios sensoriais, e/ou motores e/ou cognitivos e/ou especialmente habilidosos em movimentos de dedos como músicos ou digitadores.

Sujeitos com visão subnormal também foram excluídos do estudo.

3.3 Local

Laboratório de Aprendizado Sensório-Motora do Centro de Docência e Pesquisa da Fisioterapia, Fonoaudiologia e Terapia Ocupacional da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

3.4 Materiais

- Luvas de procedimento hospitalar
- Luvas de lã, com os dedos revestidos internamente de algodão
- Venda de olhos
- Cadeira, na qual o sujeito se ajustava da maneira que lhe fosse mais confortável
- Mesa, para que o sujeito apoiasse seu membro superior da maneira mais confortável para realizar a tarefa
- Uma cabine especial que garantia a redução de interferências auditivas e visuais do ambiente
- Fitas adesivo-metálicas coladas nos dígitos das luvas de procedimento hospitalar, às quais cabos eram conectados.
- Cabos de conexão luva-computador, para o registro do desempenho (Figura 2).

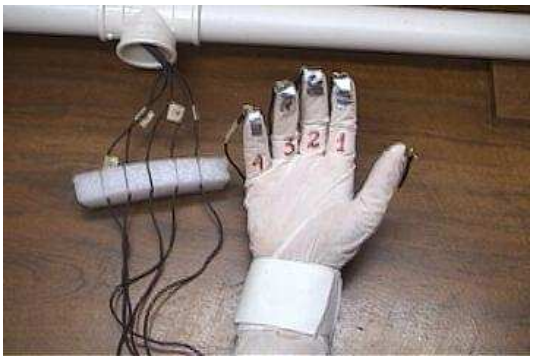

Figura 2: Mão preparada para o registro dos movimentos de oposição dos dedos. Os cabos se conectam, através de uma interface, a um microcomputador programado para registrar o contato entre o polegar e os demais dedos.

- Um computador cuja programação permitia o controle do desempenho dos movimentos de oposição de dedos.

3.5. Procedimentos

3.5.1 Apresentação da tarefa

A tarefa consistiu de movimentos seqüenciais dos dedos, em oposição, sendo que todos os sujeitos realizaram a tarefa com a mão dominante. Os dedos foram numerados de 1 a 4 (do dedo “indicador” ao “mínimo”), sendo que o primeiro dedo anatômico (“polegar”) não recebeu numeração devido aos movimentos serem realizados em função dele. Sendo assim, o segundo dedo anatômico (“indicador”) foi designado número 1, o terceiro dedo (“médio”), o número 2, o quarto dedo (“anelar”), o número 3 e o quinto dedo (“mínimo”), o número 4 (figura 3).

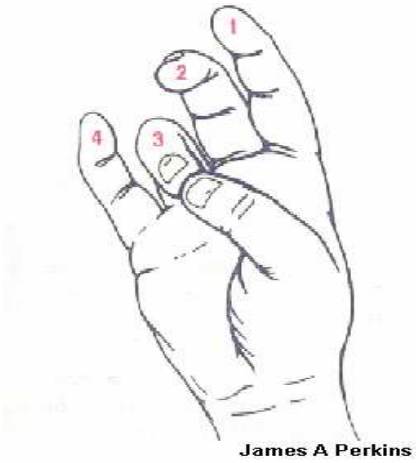

Figura 3: Representação esquemática da situação de oposição de dedos conforme Karni (1995), mostrando a oposição com o dedo “anelar” (que recebeu a numeração 3).

3.5.2 Memorização das seqüências

Foram apresentados aos sujeitos dois cartões, nos quais estavam escritas as seqüências numéricas a serem memorizadas. As seqüências eram iniciadas e finalizadas com a oposição do primeiro (“polegar”) e quinto dedo (“dedinho”), sendo que uma era a reversa da outra de forma que dos cinco sub-movimentos envolvidos, apenas o último era comum às duas seqüências (tabela 1).

Após 2 minutos, a retenção das seqüências foi verificada através da evocação verbal.

Tabela 1: Demonstração dos diferentes componentes das seqüências, exceto a última.

Subcomponentes	Seqüência 1 4*1*3*2*4	Seqüência 2 4*2*3*1*4
subcomponente 1	4 * 1	4 * 2
subcomponente 2	1 * 3	2 * 3
subcomponente 3	3 * 2	3 * 1
subcomponente 4	2 * 4	1 * 4
subcomponente 5	4 * 4	4 * 4

3.5.3 Familiarização da tarefa

Após a seqüência ser memorizada, os participantes realizaram 10 repetições de cada seqüência para a familiarização com a tarefa motora.

3.5.4 Avaliação antes do treinamento (AT)

Então, foi realizada a primeira avaliação do desempenho motor na qual, durante um minuto, os indivíduos deveriam realizar a oposição dos dedos conforme a seqüência 1, de forma mais acurada e rápida possível. O mesmo teste foi realizado para a seqüência 2

3.5.5 Treinamento

Após a primeira avaliação, os sujeitos foram randomicamente divididos em quatro grupos:

1. “Grupo normal” (NI). Realizou o treino sem restrição sensorial.

Figura 4: Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição com ausência de restrição sensorial.

2. “Grupo com restrição visual” (V). Realizou o treino com os olhos vendados, impedindo a realimentação visual que, para esta tarefa, seria importante para direcionar o movimento dos dedos em direção ao seu oponente.

Figura 5: Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição com restrição visual.

3. “Grupo com restrição visual e distúrbio somatossensorial” (VS). Realizou o treino com os olhos vendados e com uma luva especial revestida internamente com algodão para alterar a sensibilidade da ponta dos dedos ao toque de oposição, dificultando que essa informação fosse utilizada para avaliação da acurácia dos movimentos.

Figura 6: Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição com restrição visual e distúrbio das aferências somatossensoriais. Embaixo da luva de procedimentos, o sujeito utiliza uma luva de lã e com algodão nos dígitos.

4. “Grupo de prática mental” (PrM). Realizou o treino por meio de prática mental, ou seja, os sujeitos imaginaram-se realizando a tarefa, porém sem a existência de movimento real. Nesta condição, os participantes mantiveram os olhos fechados e as mãos cruzadas com os dedos entrelaçados para impedir qualquer tentativa de movimento, garantindo a ausência de realimentação durante o período de treinamento. Para atingir essa posição, eles foram instruídos a realizar extensão de cotovelos, adução dos membros superiores (MMSS) até que os mesmos fossem cruzados à frente do corpo; a partir daí, realizaram a rotação medial dos MMSS, entrelaçaram os dedos e flexionaram os cotovelos.

Figura 7: Foto de um sujeito simulando o treinamento na condição de prática mental.

Em todas as condições, o treino consistiu de 4 blocos (Bl 1, Bl 2, Bl 3 e Bl 4), intercalados por períodos de 3 minutos de descanso, de 120 repetições, correspondendo a 480 repetições seqüenciais, perfazendo um total de 2.400 movimentos de oposição dos dedos, de apenas uma das seqüências, 1 ou 2, distribuídas randomicamente entre os grupos.

O número de seqüências dos três primeiros grupos foi controlado pelo computador e na última, foi controlada por meio da evocação verbal do último componente da seqüência, pelo participante, a cada seqüência completada mentalmente.

Os indivíduos não recebiam qualquer informação sobre o seu desempenho.

Após o término do treino, os participantes foram instruídos a não realizarem qualquer treino adicional da tarefa.

3.5.6 Avaliação após o treinamento (DT)

Ao término dos blocos de treino, o desempenho para a seqüência que recebeu treinamento (ST) e para que não recebeu treinamento (SNT) foi reavaliado, sob as mesmas condições da avaliação AT, ou seja, sem nenhuma restrição sensorial, 1 minuto para cada seqüência.

3.5.7 Reavaliação 4 dias após o treinamento (4dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 4 dias após o treinamento.

3.5.8 Reavaliação 7 dias após o treinamento (7dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 7 dias após o treinamento.

3.5.9 Reavaliação 14 dias após o treinamento (14dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 14 dias após o treinamento.

3.5.10 Reavaliação 28 dias após o treinamento (28dDT)

Realizou-se o mesmo procedimento da avaliação antes do treinamento, 28 dias após o treinamento.

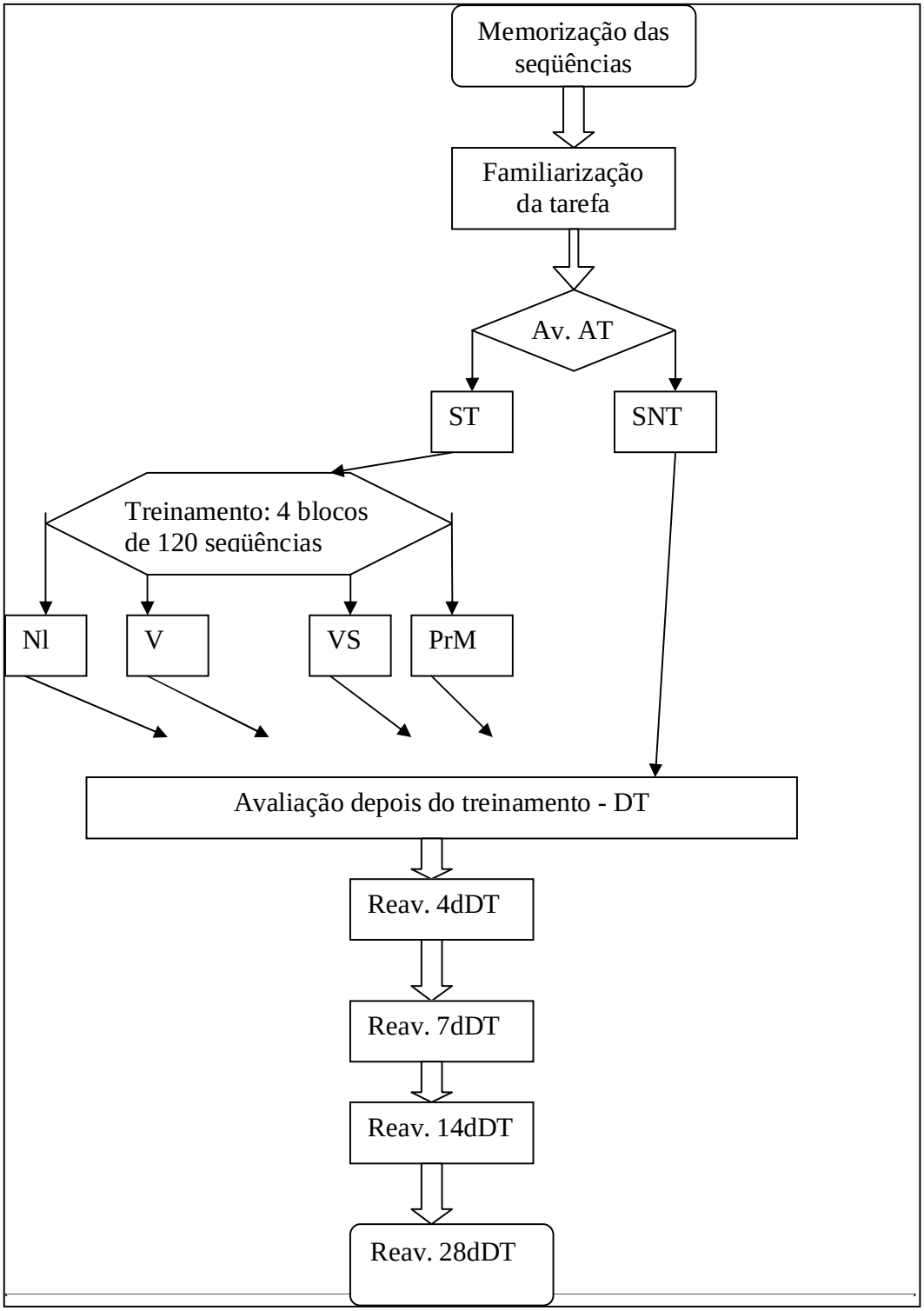

Figura 8: Diagrama do experimento ilustrando todas as fases do procedimento, desde a apresentação das seqüências para os participantes, passando pela familiarização da tarefa, avaliação antes do treinamento, treinamento dos 4 grupos experimentais e avaliações após o treinamento que foram realizadas até 28 dias depois do treinamento.

3.6 Análise estatística

Primeiro foi realizada a análise do desempenho durante o treinamento. Após testes para checar normalidade, homogeneidade e independência dos dados, o desempenho foi analisado por meio da ANOVA para medidas repetidas, considerando-se como fator, os grupos (Nl, V, VS, PrM), como variáveis independentes repetidas, os blocos (Bl 1, Bl 2, Bl 3 e Bl 4) e como variável dependente, a média de seqüências corretas por minuto.

A seguir foi realizada a análise de desempenho nas avaliações, considerando-se como medida de velocidade, o número de seqüências completadas corretamente em 1 minuto e, de acurácia, o percentual de erros em relação ao número total de movimentos. Após testes para checar normalidade, homogeneidade e independência, a velocidade e a acurácia foram analisadas isoladamente por meio da MANOVA para medidas repetidas, considerando-se como fator, os grupos (Nl, V, VS, PrM), como variáveis independentes repetidas, as avaliações (avaliação AT, DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT); as seqüências (ST e SNT) e como variável dependente, a velocidade ou a acurácia.

Para todas as interações que alcançaram nível de significância, foi aplicado o pós teste de Scheffe. O nível de significância adotado foi de 0,05.

Toda a análise foi realizada através do programa *Statistic Release* 7.

4. Resultados

4.1 Análise do desempenho durante o treinamento

Inicialmente, como o esperado, todos os grupos apresentavam o mesmo desempenho para as duas seqüências em termos de velocidade e acurácia, testadas sob a mesma condição sensorial na avaliação antes do inicio do treinamento.

O desempenho durante o treinamento, número médio de seqüências corretas por minuto, mostra o desempenho de cada grupo dentro da sua condição de treino, e pode ser observado na tabela 2.

A análise do desempenho durante o treinamento (figura 9) mostrou não haver efeito de condição, mas apenas de blocos (ANOVA, $F(3,108)=151,591$; p-value<0,0000001), confirmado pelo pós-teste que mostrou melhora significativa no desempenho para todas as condições entre os blocos 1 e 3 (Nl: p-value <0,0000048; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000015 e PrM: p-value <0,000010) e 1 e 4 (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,0000001).

Tabela 2. Médias e desvios-padrão do número de seqüências corretas por minuto em cada bloco de treinamento (1, 2, 3, 4) de cada grupo (Nl, V, VS, PrM).

	Bloco	**1**		**2**		**3**		**4**	
	Total	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Grupo	40	23,92	4,69	28,42	5,74	31,65	6,38	33,81	6,74
Nl	10	26,78	4,25	31,04	5,90	34,04	5,84	35,75	5,92
S	10	21,42	3,95	25,36	6,25	29,86	7,77	33,15	8,25
SV	10	23,83	4,11	28,07	4,98	31,39	7,08	33,71	6,59
PrM	10	23,66	5,36	29,21	5,03	31,32	4,67	32,64	6,64

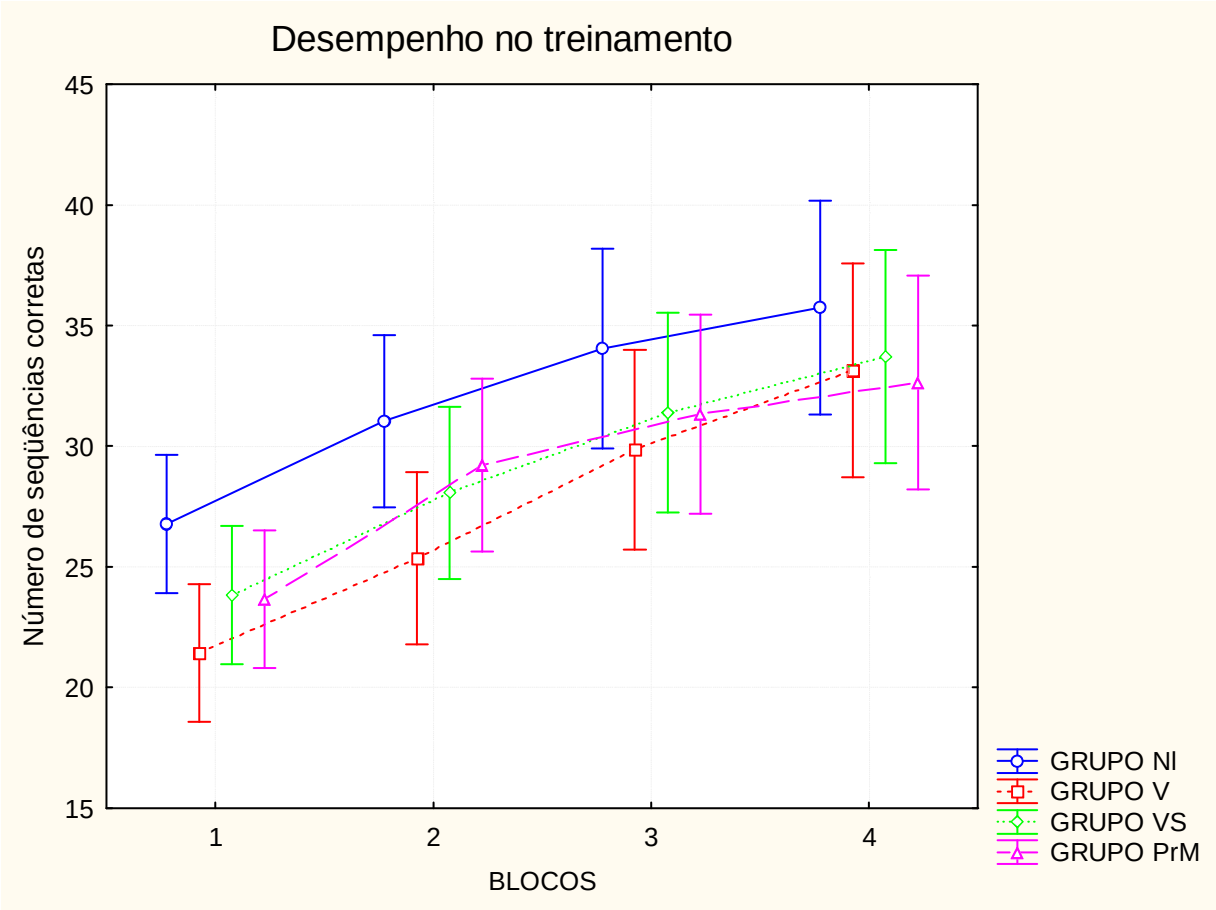

Figura 9: Média do número de seqüências corretas (expresso na ordenada) em cada um dos 4 blocos de treinamento (expresso na abscissa) nos 4 grupos. As barras verticais representam 95% do intervalo de confiança. F(9,108)=1,2913, p=0,24993. Legenda: NI, grupo com ausência de restrição sensorial; PrM, prática mental; V, restrição visual; VS, restrição visual e distúrbio somatossensorial.

4.2 Análise do desempenho nas avaliações

4.2.1 Análise da velocidade

O desempenho nas avaliações, diferentemente do desempenho durante os blocos de treinamento, mostra o desempenho dos grupos testados sempre sob as mesmas condições, ou seja, sem nenhuma restrição sensorial e pode ser observado nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Velocidade média (média do número de seqüências corretas) e médias dos desvios-padrão (DP) obtidos com a seqüência não treinada (SNT), antes (AT) e depois do treinamento (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT, 28dDT), nos 4 grupos de treinamento (NI, PrM, V, VS), dos 40 sujeitos.

	Avaliação	**AT**		**DT**		**4dDT**		**7dDT**		**14dDT**		**28dDT**	
	Total	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**
Grupo	40	27,18	4,78	31,30	5,06	33,68	5,08	38,35	5,60	39,60	5,57	41,40	5,71
NI	10	27,30	7,09	29,30	5,58	32,40	3,84	39,20	4,85	39,30	5,25	41,30	5,38
PrM	10	28,10	5,11	32,90	4,75	34,20	5,31	38,50	7,26	40,20	6,48	41,10	6,38
V	10	26,50	2,68	32,60	5,04	35,30	7,01	38,50	6,10	38,90	6,61	41,40	6,06
VS	10	26,80	3,74	30,40	4,70	32,80	3,74	37,20	4,52	40,00	4,47	41,80	5,88

Tabela 4: Velocidade média (média do número de seqüências corretas) e médias dos desvios-padrão (DP) obtidos com a seqüência treinada (ST), antes (AT) e depois do treinamento (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT, 28dDT), nos 4 grupos de treinamento (NI, PrM, V, VS), dos 40 sujeitos.

	Avaliação	**AT**		**DT**		**4dDT**		**7dDT**		**14dDT**		**28dDT**	
	Total	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Grupo	40	26,63	4,87	39,83	5,34	39,38	5,50	41,05	5,05	42,63	5,50	43,80	5,77
NI	10	25,20	6,53	40,90	6,97	38,70	6,24	39,40	4,84	41,50	5,74	42,80	5,57
PrM	10	28,50	4,70	38,00	3,09	39,30	5,03	41,30	4,85	43,10	4,58	43,70	5,36
V	10	25,70	2,83	41,10	5,76	39,00	7,07	40,30	5,89	41,60	6,88	43,40	6,82
VS	10	27,10	4,75	39,30	5,03	40,50	3,87	43,20	4,47	44,30	4,90	45,30	5,85

A análise do desempenho em termos de velocidade (figura 10), mostrou uma interação significativa entre grupo, avaliação e seqüência (ANOVA, $F(15,180)= 2,587$; p-value<0,001555). Apesar disto, o pós-teste mostrou não

haver diferenças significativas entre os grupos em cada uma das avaliações para a ST. Os únicos aspectos que se mostraram diferentes entre os grupos se relacionam ao comportamento da SNT: (1) para todos os grupo, exceto o PrM, houve uma diferença significativa entre a ST e SNT na avaliação DT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 024719 e VS: p-value <0,008299); e (2) para todos os grupos houve uma melhora significativa no desempenho da SNT em relação a avaliação AT a partir da avaliação 7dDT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 000049 e PrM: p-value <0,000049), que se manteve nas avaliações 14dDT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,0000001) e 28dDT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,0000001), mas apenas para o grupo V, esta melhora foi observada já a partir da avaliação 4dDT (p-value <0,011037). Já em relação a ST, todos os grupos exibiram uma melhora significativa na avaliação DT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,011277), que se manteve pelas avaliações 4dDT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,0000001), 7dDT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,0000001), 14dDT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,0000001), e 28dDT (Nl: p-value <0,0000001; V: p-value <0, 0000001; VS: p-value <0, 0000001 e PrM: p-value <0,0000001).

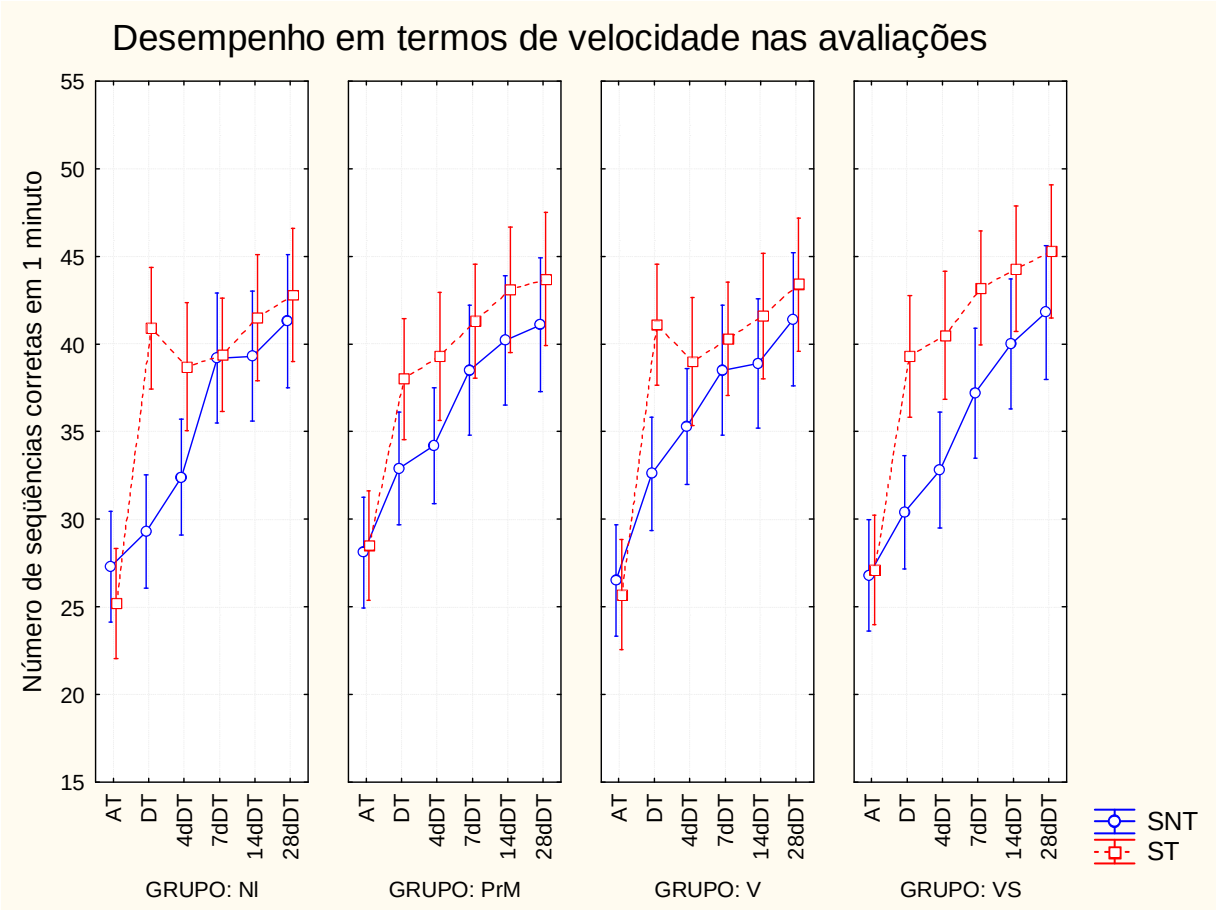

Figura 10: Desempenho das médias da velocidade (expressa na ordenada) entre os 4 grupos, antes (AT) e depois do treinamento (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT), expresso na abscissa. O primeiro gráfico à esquerda representa o comportamento do grupo normal-NI (ausência de restrição sensorial). O gráfico a seguir ilustra o comportamento do grupo de prática mental-PrM. O penúltimo gráfico refere-se ao grupo com restrição visual (V) e o da direita, ao grupo com restrição visual e distúrbio somatossensorial (VS). As barras verticais representam 95% do intervalo de confiança. $F(15,18)=2,58$, $p=0,0156$. Legenda: A linha azul representa o comportamento da seqüência não treinada (SNT) e a pontilhada vermelha, seqüência treinada (ST).

4.3.2 Análise da Acurácia

O desempenho em termos de acurácia mostra o percentual de erros em relação ao número total de tentativas e pode ser observado nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Média da porcentagem do número de erros e médias dos desvios-padrão (DP) obtidos com a seqüência não treinada (SNT), antes (AT) e depois do treinamento (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT, 28dDT), nos 4 grupos de treinamento (Nl, PrM, V, VS), dos 40 sujeitos.

Avaliação		**AT**		**DT**		**4dDT**		**7dDT**		**14dDT**		**28dDT**	
	Total	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**
Grupo	40	7,95	3,66	9,64	4,2´	7,89	3,64	6,69	3,25	6,13	3,29	5,68	2,83
Nl	10	6,75	3,66	10,94	4,37	9,24	2,34	6,75	3,77	7,21	5,49	6,86	4,28
PrM	10	6,46	3,82	8,06	1,86	6,93	2,68	5,89	2,43	5,56	2,30	5,59	2,62
S	10	7,89	3,63	10,13	6,23	8,36	5,45	7,72	4,24	5,62	2,03	4,81	1,45
SV	10	10,69	2,13	9,42	3,41	7,01	3,29	6,39	2,39	6,13	2,33	5,44	2,23

Tabela 6: Média da porcentagem do número de erros (média do número de seqüências incorretas) e médias dos desvios-padrão (DP) obtidos com a seqüência treinada (ST), antes (AT) e depois do treinamento (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT, 28dDT), nos 4 grupos de treinamento (Nl, PrM, V, VS), dos 40 sujeitos.

	Avaliação	**AT**		**DT**		**4dDT**		**7dDT**		**14dDT**		**28dDT**	
	Total	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**
Grupo	40	8,54	4,09	4,41	3,18	5,16	2,55	5,25	2,39	5,45	2,90	4,58	2,55
Nl	10	8,49	3,61	2,91	3,20	5,32	3,05	5,81	3,05	5,52	3,10	5,67	3,73
PrM	10	6,76	4,34	4,61	3,16	4,86	1,19	5,13	1,22	5,51	2,59	4,20	2,23
S	10	9,69	4,65	4,12	3,58	5,24	3,96	5,63	3,01	5,35	3,59	4,49	1,63
SV	10	9,20	3,68	6,01	2,31	5,21	1,22	4,41	1,89	5,42	2,67	3,95	2,15

A análise estatística não encontrou efeito de grupo (figura 11), apenas interação entre seqüência e avaliação (MANOVA, $F(5, 180)= 12,9270$; p-value<0,0000001). De fato, o pós-teste mostrou uma diferença significativa na acurácia entre as seqüências nas avaliações DT (p-value <0,0000001) e 4dDT (p-value <0,017908), que se extinguiu nas três últimas avaliações.

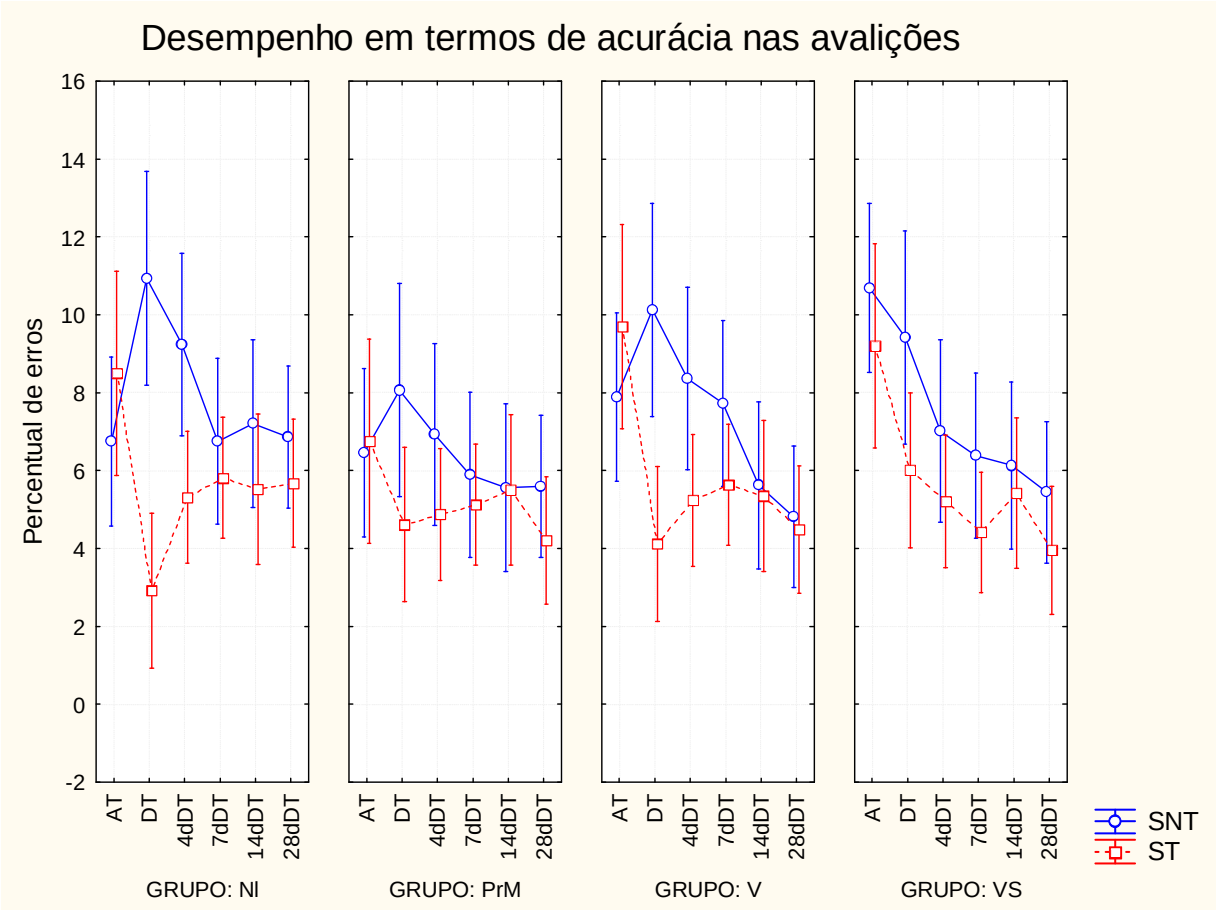

Figura 11: Desempenho das médias percentuais do número de erros (expressa na ordenada) entre os 4 grupos, antes (AT) e depois do treinamento (DT, 4dDT, 7dDT, 14dDT e 28dDT), expresso na abscissa. O primeiro gráfico à esquerda representa o comportamento do grupo normal-Nl (ausência de restrição sensorial). O gráfico a seguir ilustra o comportamento do grupo de prática mental-PrM. O penúltimo gráfico refere-se ao grupo com restrição visual (V) e o da direita, ao grupo com restrição visual e distúrbio somatossensorial (VS). As barras verticais representam 95% do intervalo de confiança. F(15,18)=1,34, p=0,18158. Legenda: A linha azul representa o comportamento da seqüência não treinada (SNT) e a pontilhada vermelha, da seqüência treinada (ST).

5. Discussão

O aprendizado motor é considerado a principal modalidade do sistema implícito. Sendo assim, tem como principais características ser processado de forma lenta, dependente de um grande número de repetições, apresentando como resultado final uma melhora expressiva no desempenho. Essas características explicam a necessidade de treinamentos extensivos para se atingir um desempenho satisfatório em qualquer tarefa motora como, por exemplo, na prática esportiva ou na habilidade com instrumentos musicais. O mesmo pode ser observado na prática da reabilitação de pacientes com seqüelas motoras devido lesões no sistema nervoso, onde é necessário treinamento extensivo para recuperação de respostas motoras tão habituais que, para indivíduos saudáveis parecem inatas, como andar, comer e se vestir. A repetição permitiria que o sistema nervoso, por meio da realimentação sensorial conseqüente do movimento, aperfeiçoasse a programação da próxima tentativa, alcançando ao final do treinamento um desempenho mais eficiente, dirigido, agora, por um controle antecipatório, construído com base na experiência sensorial das tentativas anteriores, capaz de prever as conseqüências do movimento. Assim, não só a repetição, mas a realimentação seriam fundamentais para o processo de aprendizado, como, de fato, foi demonstrado em vários estudos (JOHANSSON et al., 1992; YUEN et al., 1993; ROSSETTI et al., 1994; KELLIS; BALTZOPOULOS, 1996; DESMURGET et al. 1997; CORDO et al., 1995; BÉDARD; PROTEAU, 2001).

Diante de novas evidências que interrogam o papel da realimentação no aprendizado motor levantadas na introdução deste estudo (DRISKELL et al., 1994; BARD et al., 1995; RAND et al., 2000; VAN MIER; PETERSEN, 2006) e da importância do assunto para a reabilitação motora, o presente estudo comparou o desempenho a curto e longo prazo desenvolvido por meio de um mesmo número de repetições, obtido em quatro condições sensoriais distintas disponíveis para a realimentação dos movimentos. Assim, foi possível comparar o desempenho final na mesma tarefa para indivíduos que treinaram tendo todas as aferências sensoriais disponíveis para a realimentação, com outros que treinaram em condições que impunham diferentes restrições a esse tipo de informação.

Os resultados mostraram que independente da condição de treinamento, todos os indivíduos alcançaram a mesma melhora no desempenho motor da seqüência de movimentos que recebeu treinamento, tanto em termos de acurácia como de velocidade, imediatamente e até 28 dias após o final do treinamento. O desempenho durante o treinamento também foi o mesmo para todos os indivíduos.

Ainda que considerássemos que a realimentação visual e tátil não fossem, de fato, imprescindíveis para o aprendizado da tarefa estudada, pois as aferências proprioceptivas poderiam compensar suas ausências, estudos anteriormente aqui descritos mostraram que mesmo com aferências proprioceptivas intactas, a realimentação visual interfere no desempenho (YUEN et al., 1993; KELLIS; BALTZOPOULOS, 1996; DESMURGET et al., 1997; BÉDARD; PROTEAU, 2001). Ainda assim, na condição de treino que envolveu apenas a prática mental, nenhum tipo de realimentação foi possível, já que não havia a realização de

movimentos. Acreditamos que, embora a maioria dos estudos anteriores que mostraram ser possível aprender com este tipo de prática tenham detido suas discussões nas questões relacionadas à ausência de eferência motora (DRISKELL et al, 1994; BOHAN et al., 1999; ZIJDEWIND et al, 2003), a questão relacionada à ausência de realimentação também mereça atenção, já que a maior vantagem do ensaio real consiste na possibilidade de gerar aferências sensoriais que possibilitariam o aperfeiçoamento da programação motora para a próxima tentativa, conforme proposto pelos atuais modelos de aprendizado motor, que embora apresentem discordância em alguns pontos, são consensuais na importância das aferências sensoriais, pelo menos no início do processo (ADAMS, 1971; SCHMIDT, 1975; NEWELL, 1991).

As únicas diferenças encontradas entre os grupos foram relacionadas ao desempenho da seqüência não treinada. Esta seqüência foi introduzida no estudo para controlar o aprendizado específico da seqüência treinada. Como o esperado, inicialmente a aprendizado foi específico para a seqüência que recebeu treinamento, mas no decorrer do tempo, observou-se o desenvolvimento de aprendizado, também, para a outra seqüência. Atribuímos este aprendizado à prática de 1 minuto envolvida em cada uma das seis avaliações, no decorrer dos 28 dias do estudo. Assim, acreditamos que potencializada pelo aprendizado da seqüência treinada, a seqüência adotada como controle (SNT) desenvolveu um processo de aprendizado lento, porém eficiente, baseado em apenas 211,5 repetições em média por indivíduo, diante da média de 233,3, resultantes das 6 avaliações, somadas às 480 do treinamento, para a seqüência treinada. Esse achado vem ao encontro aos observados por Hikosaka et al. (1995; 1999), que

mostraram que o aprendizado prévio pode facilitar o aprendizado de tarefas similares. Somado a isso, trabalhos anteriores mostraram que a prática distribuída alcança resultados superiores comparada à prática maciça (MACKAY et al., 2002; DAIL et al., 2004). Ainda assim, é necessário considerar que Karni (1995), estudando a mesma tarefa por um período de treino mais longo (5 semanas), não observou melhora significativa do desempenho da SNT, o que o levou a afirmar que o aprendizado seria específico para ST. No atual estudo, houve sem dúvida, aprendizado para a SNT.

Retomando a questão das diferenças com a SNT encontradas entre os grupos, essas se restringiram ao desempenho em termos de velocidade nas duas primeiras avaliações após o treino (avaliações DT e 4dDT), observados num primeiro momento para o grupo de PrM e num segundo, para o grupo V. Consideramos que essas diferenças não podem ser desprezadas, mas após uma análise extensa e detalhada que mostrou que se trata de aspectos isolados que não podem indicar nenhuma tendência, concluímos que são necessários outros estudos, desenvolvidos especificamente, para investigar a influência da realimentação não sobre o aprendizado, mas sobre os efeitos do treino de uma tarefa sobre outra, não sendo possível levantar nenhuma hipótese, no momento.

Confrontando nossos resultados com estudos de pacientes com deficiência sensorial (BARD et al., 1995; LA RUE et al., 1995) que mostraram ser possível aprender na ausência de realimentação sensorial, nossos resultados mostram que não só pacientes com disfunções sensoriais crônicas podem desenvolver estratégias alternativas para aprender novas habilidades, mas indivíduos saudáveis seriam também capazes de, rapidamente, desenvolver outras

estratégias diante das diferentes condições de treino, sem prejuízo na aprendizagem.

Nossos resultados confirmam também ser possível aprender por meio da prática mental, ampliando a discussão envolvida neste tipo de treinamento para a questão da ausência da realimentação sensorial conseqüente da ausência do ensaio motor (DRISKELL et al., 1994; BOHAN, 1999; ZIJDEWIND et al., 2003). Os estudos que mostraram que pelo menos no início do processo de aprendizado a melhora de desempenho é independente do efetor, o que possibilitaria que segmentos não treinados também se beneficiassem do treino (RAND, 1998; 2000; OSMAN et al., 2005), no atual estudo foram tomados como evidência indireta da possibilidade de aprender sem realimentação sensorial, pois as informações sensoriais conseqüentes ao movimento estariam estritamente relacionadas as suas respostas eferentes. Assim, a melhora de desempenho dos segmentos não treinados seria possível na ausência de realimentação sensorial do próprio segmento. Nossos resultados mostraram que, diferentemente dos estudos acima citados que associam este fenômeno apenas às fases iniciais do processo e limitado ao aumento da acurácia e não da velocidade, a melhora de desempenho observada para todos os indivíduos envolveu, além da acurácia, aumento da velocidade, e se manteve por 28 dias.

Como apresentado na introdução deste estudo, vários autores propõem a existência de duas diferentes fases do processo de aprendizado: uma fase inicial, caracterizada por ser efetor-independente, expressa fundamentalmente pela melhora na acurácia (RAND, 1998, VAN MIER; PETERSEN, 2006), na qual uma

rotina ou plano para realizar a tarefa é selecionado (KARNI et al., 1998) e as informações são codificadas sob um aspecto mais abstrato, como a ordem específica de ativação dos componentes de uma seqüência (BAPI et al., 2000.; VANGHELUWE et al., 2006), sendo, portanto, seqüência-específica (KARNI et al., 1995; HIKOSAKA et al., 1999); e uma fase tardia, caracterizada por ser efetor-dependente, na qual os aspectos sensório-motores da tarefa são aperfeiçoados, permitindo uma melhora expressiva da velocidade (RAND, 1998; VAN MIER; PETERSEN, 2006), que atinge uma platô que não se altera mesmo com a continuidade do treino. Esse fato marca a consolidação do aprendizado (KARNI et al. 1998), o que permitiria que a experiência adquirida com a tarefa favorecesse o aprendizado de novas seqüências (HIKOSAKA et al., 1999).

Analisando os resultados encontrados no atual estudo, uma possível hipótese para explicar porque não foi encontrada influência da realimentação sobre a melhora do desempenho, seria que como houve apenas uma sessão de treino, o processo de aprendizado alcançou apenas a fase inicial, e como a melhora de desempenho nesta fase dependeria da formação de um modelo abstrato de movimento, independente das eferências motoras, a realimentação sensorial, de fato não seria fundamental. Três aspectos se contrapõem a essa hipótese: (1) a melhora de desempenho na ST atingiu um platô dentro da sessão de treino, pois não foram encontradas diferenças no desempenho entre os últimos blocos de treinamento, além da manutenção do desempenho até o final do estudo, o que sugere a consolidação do processo de aprendizado, característico das fases tardias; (2) a melhora do desempenho inicialmente envolveu um aumento da velocidade e da acurácia, mas nas avaliações 7, 14 e 28 dias após o treino, se

expressou fundamentalmente em termos de velocidade, que seria também uma característica das fases tardias e (3) a melhora de desempenho da SNT sete dias após o treino, como já discutido, sugere uma facilitação do seu aprendizado em decorrência da consolidação do aprendizado da ST, característica também das fases tardias.

Apesar dos argumentos acima listados, consideramos que a hipótese dos indivíduos não terem atingido as fases mais tardias do aprendizado não pode ser descartada, sendo necessários novos estudos que comparem treinamentos de diferentes extensões. Ainda assim, nossos resultados estariam em contraponto com as teorias de aprendizado que defendem que a realimentação é importante exatamente nas fases iniciais do processo (ADAMS, 1971; SCHMIDT, 1975; NEWELL, 1991).

Autores têm propostos novos modelos que consideram que o aprendizado motor envolve componentes implícitos e explícitos, processados paralelamente, que se reforçam reciprocamente. Essa característica refletiria mecanismos adaptativos que teriam como função otimizar o aprendizado conforme a demanda da tarefa (WILLINGHAM, 1998; BROWN, 1999, POLDRACK et al, 2001).

Baseados, então, na possibilidade que conforme a demanda da tarefa, o sistema nervoso favoreça diferentes formas de processamento de informações, propomos que a melhora no desempenho conseqüente do processo de aprendizado não depende, necessariamente, das informações sensoriais procedentes dos ensaios anteriores para aprimorar a habilidade, devido à capacidade do sistema nervoso de rapidamente avaliar a disponibilidade sensorial

proporcionada pelas condições de treino e desenvolver estratégias igualmente eficientes para programar os movimentos, aperfeiçoando o desempenho tanto em termos de velocidade como de acurácia. Provavelmente, as estratégias envolvidas nas condições de treino nas quais as informações sensoriais resultantes dos movimentos foram limitadas ou ausentes, utilizaram informações sensoriais resgatadas da memória motora, associadas às informação declarativas, para estabelecer um novo programa motor. Desta forma, a tarefa deste estudo, a qual envolveu movimentos rotineiros de oposição de dedos, guiados por um modelo seqüencial numérico que permitia um controle declarativo, possibilitou este tipo de estratégia. Podemos, também, supor que mesmo nesta tarefa, se ainda fosse possível alcançar níveis mais elevados de especialização por meio de treino extensivo, a realimentação sensorial de aspectos muito específicos a ela associados, seriam, agora, imprescindíveis.

Considerando a hipótese acima como verdadeira, apesar de todos os indivíduos terem atingido o mesmo desempenho, é provável que não o tenham alcançado por meio das mesmas estratégias, o que demonstra toda a potencialidade e complexidade do processo de aprendizado.

As evidências deste estudo questionam se a ênfase dada à realimentação sensorial presente nos processos de reabilitação motora, realmente, potencializam a melhora de desempenho decorrente do treinamento e indicam ser necessário fundamentar melhor os princípios de tratamento utilizados nestas práticas. Este estudo alerta, também, sobre a importância de se investir não só nos aspectos sensório-motores da tarefa, mas também em aspectos cognitivos declarativos como construção das seqüências de movimentos envolvidas nas tarefas, ensaios

mentais, simulações, noções espaço-temporais que poderiam acrescentar níveis significativos de desempenho independente da realimentação sensorial e da execução dos movimentos.

É importante que se dê continuidade a investigação do real papel da realimentação sensorial para o processo de aprendizado motor, ampliando os estudos para outros tipos de tarefas e de treinamento, para buscar formas cada vez mais eficientes de se conduzir o treinamento motor, tanto de indivíduos saudáveis, como para indivíduos portadores de lesões no sistema nervoso.

6. Conclusão

A realimentação sensorial, durante o treino, não é fator essencial para o desenvolvimento de aprendizado motor imediato e tardio de seqüências de movimentos, pois o sistema nervoso é capaz de avaliar rapidamente as demandas da tarefa e as condições de treino e, então, estabelecer a estratégia mais eficiente para aperfeiçoar o desempenho.

Referências Bibliográficas

1. ADAMS, J. A. A closed-loop theory of motor learning. **J. Mot. Behav**., v. 3, p. 111-150, 1971.
2. ANDERSON, D. I.; MAGILL, R. A.; SEKIYA, H. Motor learning as a function of kr schedule and characteristics of task-intrinsic feedback. **J. Mot. Behav.**, v. 33, n. 1, p. 59-66, 2001.
3. BALTZOPOULOS, V.; WILLIANS, J. G.; BRODIE, D. A. Sources of error in isokinetic dynamometry: effects of visual feedback on maximum torque measurements. **J.O.S.P.T.** v. 13, n. 3, p. 138-144, 1991.
4. BAPI, R. S.; DOYA, K.; HARNER, A. M. Evidence for effector independent and dependent representations and their differential time course of acquisition during motor sequence learning. **Exp. Brain Res.** v. 132, p. 149-162, May. 2000.
5. BARD, C.; et al. Contribution of proprioception for calibrating and updating the motor space. **Can. J. Physiol. Pharmachol.** v. 73, p. 246-254, 1995.
6. BÉDARD, P.; PROTEAU, L. On the role of static and dynamic visual afferent information in goal directed aiming movements. **Exp. Brain. Res.**, v. 138, p. 419-431, Apr. 2001.
7. BILODEAU, E.A. & BILODEAU, I.M. Some effects of introducing and withdrawing knowledge of results early and late in practice. **Journal of Experimental Psychology**. v. 58, n. 2, p. 142-144, 1959.

8. BOHAN, M.; PHARMER, J. A.; STOKES, A. F. When does imagery practice enhance performance on a motor task? **Percept. Mot. Skills.** v. 88, p. 651-658, Mar. 1999.
9. BROWN R. G. et al. The role of cortiço-striatal circuits in learning sequential information. **Parkinson's Disease: Advances in Neurology**, v. 80, p. 31 – 39, 1999.
10. BUTKI, B. D.; HOFFMAN, S. J.; Effects of reducing frequency of intrinsic knowledge of results on the learning of a motor skill. **Percept. Mot. Skills**, v. 97, n. 2, p. 569-80, 2003.
11. CORDO, P.; et al. Proprioceptive coordination of discrete movement sequences: mechamism and generality. **Can. J. Physiol. Pharmachol.** v. 73, p. 305-315, May. 1995.
12. DAIL, T. K.; CHRISTINA, R. W. Distribution of practice and metacognition in learning and long-term retention of a discrete motor task. Res. Q. Exerc. Sport. v.75, n. 2, p. 148-55, Jun. 2004.
13. DESMURGET, M.; et al. Viewing the hand prior to movement improves accuracy of pointing performed toward the unssen contralateral hand. **Exp. Brain. Res.** v. 115, p. 180-186, 1997.
14. DOYON, J.; et al. Role of striatum, cerebellum and frontal lobes inthe automatization of a repeated visumotor sequence of movements. **Neuropsychologia**. v. 36, n. 7, p. 625-41, 1998.
15. DOYON, J.; PENHUNE, V.; UNGERLEIDER, L. G. Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. **Neuropsychologia**, v. 41, p. 252-62, 2003.

16. DRISKELL, J. E.; COPPER, C.; MORAN, A. Does mental practice enhance performance? **Journal os Applied Psychology**. v. 79, n. 4, p. 481-492, 1994.

17. ERNI, T.; DIETZ, V. Obstacle avoidance during human walking: learning rate and cross-modal transfer. **Journal of Physiology.** v. 534, n. 1, p. 303-312, Mar. 2001.

18. FLOYER-LEA, A.; MATTHEWS, P.M. Changing brain networks for visuomotor control with increased movement automaticity. **J. Neurophysiol.**, v. 92, n. 4, Oct. 2004.

19. HALLET, M.; GRAFMAN, J.; Executive function and motor skill **l**earning. **International Review of Neurobiology**, v. 41, p. 297-323, 1997.

20. HAUPTMANN, B.; et al The predictive value of the leveling off of within session performance for procedural memory consolidation. **Brain Res. Cogn. Brain Res**., v. 24, n. 2, p. 181-89, 2005.

21. HAUPTMANN, B.; KARNI, A. From primed to learn: the saturation of repetition priming and the induction of long-term memory. **Brain Res. Cogn. Brain Res.**, v. 13, n. 3, p. 313-22, May. 2002.

22. HERBERT, R. D.; DEAN, C.; GANDEVIA, S. C. Effects of real and imagined training on voluntary muscle activation during maximal isometric contractions. **Acta Physiol. Scand.** v. 163, p. 361-368, Jan. 1998.

23. HIKOSAKA, O.; et al. Central mechanisms of motor learning. **Cuurent Opinion in Neurobiology**, v. 12, p. 217-222, Mar. 2002.

24. HIKOSAKA, O.; et al. Learning of sequential movements in monkey: process of learning and retention of memory. **Journal of Neurophysiology**, v. 74, n. 4, p. 1652-1661, Oct. 1995.

25. HIKOSAKA, O.; et al. Parallel neural networks for learning sequencial procedures. **Trends Neurosci**, v. 22, p. 464-71, 1999.

26. JACKSON, P. L.; et al. Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. **Neuroimage**, v. 20, p. 1171-1180, Jun. 2003.

27. JACKSON, P. L.; et al. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. **Arch. Phys. Med. Rehabil.** v. 82, p. 1133-1141, Aug. 2001.

28. JEANEROD, M. Mental imagery in the motor context. **Neuropsychologia**, v. 33, n. 11, p. 1419-1432, 1995.

29. JOHANSSON, R. S.; HÄGER, C.; BÄCKSTRÖM, L. Somatosensory control of precision grip duringu umpredictable pulling loads III. Impairments during digital anesthesia. **Exp. Brain. Res**, v. 89, p. 204-213, 1992.

30. KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M. **Fundamentos da Neurociência e do Comportamento.** s/e. Rio de janeiro, R. J. Guanabara Koogan S. A., 2000. 591 p.

31. KARNI, A.; et al. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during skill learning. **Nature**, v. 377, p. 155-158, Sep. 1995.

32. KARNI, A.; et al. The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor córtex. **Proc. Natl. Acad. Sci**., v. 95, p. 861-868, Feb. 1998.

33. KASAI, T.; et al. Evidence for facilitation of motor evoked potentials (MEPs) induced by motor imagery. **Brain Research.** v. 744, p. 147-150, 1997.

34. KEELE, S. W. Movement control in skilled motor performance. **Psychol. Bull**. v. 70, p. 387-403, 1968.

35. KELLIS, E.; BALTZOPOULOS, V. Resistive eccentric exercise: effects of visual feedback on maximum moment of knee extensors and flexors. **J.O.S.P.T.** v. 23, n. 2, p. 120-124, Feb. 1996.

36. KIM, H. J.; KRAMER, J., F. Effectiveness of visual feedback during isokinetic exercise**. J. Orthop. Sports Phys. Ther**., v. 26, n. 6, p. 318-23, Dec. 1997.

37. LA RUE, J.; et al. Is proprioception important for the timing of motor activities? **Can. J. Physiol. Pharmacol.** v. 73, p. 255-261, 1995.

38. LAND, M. F. Eye movements and the control of actions in everyday life. **Progress in Retinal and Eye Research.**, v. 25, n. 3, p. 296-324, 2006.

39. LASHLEY, K.S. Cerebral organization and behavior. **Res. Publ. Assoc. Res. Nerv. Ment. Dis**. v. 36, p. 1-4, 1958.

40. LU, X.; HIKOSAKA, O.; MIYACHI, S. Role of monkey cerebellar nuclei in skill for sequential movement. **J. Neurophysiol**.; v. 79, n. 5, p. 2245-54, 1998.

41. MACHADO, A. **Neuroanatomia Funcional**. 2 ed. São Paulo: Atheneu, 1993. 363p.

42. MILNER G. Modified confinement motor activity test for use in mice. **J. Pharm. Sci.**,v. 57, n. 11, p. 1900-2Nov. 1968.

43. MIYACHI, S.; et al. Differential roles of monkey striatum in learning of sequential hand movement. **Exp. Brain. Res.**;v. 115, p. 1-5, 1997.

44. MOLINARI, M.; et al. Cerebellum and procedural learning evidence from focal cerebellar lesions**. Brain**, v. 120, p. 1753-62, Nov. 1997.

45. MONONEN, K.; VIITASALO, J. K.; ERA, P. The effects of augmented kinematic feedback on motor skill learning in the rifle shooting. **J. Sports Sci**., v. 21, n. 10, p. 867-76, Oct. 2003.

46. MULDER, T.; et al. The role of motor imagery in learning a totally novel movement**. Exp. Brain Res**., v. 154, n. 2, p. 211-217, 2004.

47. NEWELL, K. M. Motor skill acquisition. **Annu. Rev. Psychol.**, v. 42, p. 213-237.

48. OSMAN, M.; BIRD, G.; HEYES, C. Action observation supports effector-dependent learning of finger movement sequences. **Exp. Brain Res**., v. 165, p. 19-27, 2005.

49. PARK, J. H.; SHEA, C. H. Sequence learning: response structure and effector transfer. **The Quartely Journal of Experimental Psychology,** v. 58 A., n. 3, p. 387-419, 2005.

50. PARSONS, M. W.; HARRINGTON, D. L.; RAO, S. M. Distinct neural systems underlie learning visuomotor and spatial representations of motor skills. **Hum. Brain Mapp**., v. 24, n. 3, p. 229-47, Mar. 2005.

51. POLDRACK, R. A. et al. Interactive memory systems in the human brain. **Nature**, v. 414, p. 546 – 50, 2001.

52. RAND, M. K. et al. Characteristics of a long-term procedural skill in the monkey. **Experimental Brain Research**, v. 118, p. 293–97, 1998.

53. RAND, M. K. et al. Characteristics of sequential movements during early learning period in monkeys. **Exp. Brain Res.**, v. 131, p. 293-304, 2000.

54. RAYMOND, J. L.; et al. The cerebellum. A neuronal learning machine? **Science**, v. 272, p. 1126-1131, May. 1996.

55. ROSSETTI, Y.; et al. The effect of viewing the static hand prior to movement onset on pointing kinematics and variability. **Exp. Brain. Res.**, v. 101, n. 2, p. 323-330, 1994.

56. SAKETT, R.S. The influence of symbolic rehearsal upon the retention of a maze rabit. **Journal of General Psychology**, v. 10, p. 376-95, 1934.

57. SCHMIDT, R. A. A schema theory of discrete motor skill learning. **Psychol. Rev.**, v. 82, p. 225-260, Jul. 1975.

58. SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. **Aprendizagem e Performance Motora: uma abordagem da performance baseada no problema.** 2 ed. Porto Alegre.: Artmed, 2001. 331p.

59. SHANKS, D., R.; CAMERON, A. The effect of mental practice on performance in a sequential reaction time task**. Journal of Motor Behavior**, v. 3, n. 32, p. 305-313, 2000.

60. SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. **Controle Motor: teoria e aplicações práticas.** 2. ed. Barueri: Manole, 2003. 592 p.

61. TANI, G. **Comportamento Motor: aprendizagem e desenvolvimento.** São Paulo.: Guanabara Koogan, 2005. 333p.

62. TONI, I.; et al. The time course of changes during motor sequencelearning: a whole brain fMRI study. **Neuroimage**, v. 8, p. 50-61, 1998.

63. VAN MIER, H. I.; PETERSEN, S. E. Intermanual transfer effects in sequential tactuomotor learning: evidence for effector independent coding. **Neuropsychologia**, v. 44, n. 6, p. 939-49, Sep. 2006.

64. VANGHELUWE, S. et al. Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: effector-independent and effector-specific levels of movement representation. **Exp. Brain Res**., v. 170, p. 543-54, 2006.

65. WILLINGHAM D. B. et al. Implicit motor sequence learning is represented in response locations. **Memory & Cognition**, v. 28, n. 3, p. 366 – 75, 2000.

66. WILLINGHAM, D. B. A neuropsychological theory of motor skill learning. **Psychological Review**, v. 105, n. 3, p. 558-584, 1998.

67. WILLINGHAM, D. B.; NISSEN, M. J.; BULLEMER, P. On the development of procedural knowledge. **Journal of Experimental Psychology,** v. 15, n. 6, p. 1047-1060, 1989.

68. WINSTEIN, C. J.; MERIANS, A. S.; SULLIVAN, K. J. Effects of physical guidance and knowledge of results on motor learning: support for guidance hipothesis**. Res. Q. Exerc. Sport**., v. 65, n. 4, p. 316-23, 1994.

69. WULF, G.; et al. Enhancing the learning of sports skills throw external focus feedback. **J. Mot. Behav**, v. 34, n. 2, p. 171-82, 2002.

70. WULF, G.; PRINZ, W. Directing attention to movement effects enhances learning. A review. **Psychonomic Bulletin & Review**, v. 8, n. 4,p. 648-660, 2001.

71. WULF, G.; SCHIMITH, R. A. Feedback-Induced variability and the learning of generalized motor programs**. J. Mot. Behav**., v. 26, n. 4, p. 348-361, 1994.

72. YUEN, H. K. et al. Prosthesis training as a context for studying occupational forms and motoric adaptation. **The American Journal of Occupational Therapy**, v. 48, n. 1, p. 55-60, Jul. 1993.

73. ZIJDEWIND, I. et al. Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. **Muscle & Nerve**, v. 28, p. 168-173, Mar. 2003.