

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE NEUROIMUNOLOGIA**

ALLAN PABLO DO NASCIMENTO LAMEIRA

**FENÔMENOS DE COMPATIBILIDADE
ESTÍMULO-RESPOSTA E RECONHECIMENTO
DE PARTES DO CORPO**

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE
FEDERAL FLUMINENSE VISANDO A
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
NEUROIMUNOLOGIA

Orientador: Luiz de Gonzaga Gawryszewski



**NITERÓI
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ALLAN PABLO DO NASCIMENTO LAMEIRA

**FENÔMENOS DE COMPATIBILIDADE
ESTÍMULO-RESPOSTA E RECONHECIMENTO
DE PARTES DO CORPO**

Trabalho desenvolvido no Laboratório de Neurobiologia
da Atenção e do Controle Motor
Departamento de Neurobiologia, Programa de Neuroimunologia
Instituto de Biologia – UFF

Tese de Doutorado submetida à
Universidade Federal Fluminense
como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor em
Neuroimunologia.

Orientador: LUIZ DE GONZAGA GAWRYSZEWSKI

**NITERÓI
2009**

ALLAN PABLO DO NASCIMENTO LAMEIRA

**FENÔMENOS DE COMPATIBILIDADE ESTÍMULO-RESPOSTA E RECONHECIMENTO
DE PARTES DO CORPO**

Tese de Doutorado submetida à
Universidade Federal Fluminense
como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor em
Neuroimunologia.

BANCA EXAMINADORA

**NITERÓI
2009**

Lameira, Allan Pablo do Nascimento

Fenômenos de Compatibilidade Estímulo-Resposta e Reconhecimentos de partes do corpo / Allan Pablo do Nascimento Lameira - Niterói: [s. n.], 2009

f.

Tese (Doutorado em Neuroimunologia). – Universidade Federal Fluminense, 2009.

1. Tempo de Reação Manual (TRM) 2. Compatibilidade Estímulo-Resposta (CER) 3. Reconhecimento de partes do corpo 4. Teses

I. Universidade Federal Fluminense II. Título

**A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original.**

Albert Einstein

Dedicatória

**À minha família por me mostrar
sempre o caminho certo.**

Agradecimentos

Agradeço a Deus por permitir esse momento na minha vida.

Aos meus pais, Osmar e Fátima, que são as raízes que sustentam a árvore da minha vida.

A Alinne e André por nada mais, simplesmente por existirem.

Ao Prof. Luiz Gawryszewski, que me ensinou toda a ciência que sei hoje, admiro muito sua ética e capacidade de perceber claramente complexidades e sutilezas.

Aos Professores Antônio Pereira e Cláudia Vargas pela amizade, colaboração e confiança no meu trabalho.

A Profa. Elizabeth Araújo pelos comentários e revisão desse trabalho, além de toda paciência dada no decorrer do curso.

Aos antigos e recentes companheiros de laboratório

Aos professores do curso, aos voluntários que participaram do experimento e a todos que de algum modo contribuíram para esse momento.

SUMÁRIO

RESUMO	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. A COMPATIBILIDADE ESTÍMULO-RESPOSTA	2
1.1.1. Tarefa de Compatibilidade espacial	4
1.1.2. Tarefa de Simon	5
1.1.3. Tarefa de Stroop espacial	9
1.2. RECONHECIMENTO DE PARTES DO CORPO	12
1.2.1. Bases neurais do reconhecimento da forma da mão	14
1.3. SISTEMA DE NEURÔNIOS ESPELHO	15
2. OBJETIVOS	18
3. RESULTADOS	20
4. DISCUSSÃO GERAL	22
4.1. A Compatibilidade Estímulo-Resposta	22
4.2. Reconhecimento de partes do corpo	25
4.3. Integração entre a Compatibilidade Estímulo-Resposta (CER) e o Reconhecimento de partes do corpo	27
5. CONCLUSÃO	29
6. REFERÊNCIAS	31

RESUMO

As tarefas de Compatibilidade Estímulo-Resposta mostram como as características de um estímulo são processadas pelo cérebro e influenciam a seleção de uma resposta motora. Por outro lado, reconhecer a lateralidade de estímulos que representam uma parte do corpo humano, como a mão, envolve mecanismos cognitivos específicos que não estão presentes quando o estímulo representa um objeto inanimado. Nesse trabalho investigamos ambos os fenômenos e procuramos integrá-los. Nossos resultados mostram que para coordenar o comportamento motor, a principal informação para o cérebro é o local da ação e não a posição do efetor. A postura do efetor só se torna relevante quando o estímulo representa uma parte do corpo, pois existe o envolvimento de circuitos neurais específicos que não estão presentes quando o estímulo representa um objeto inanimado. E esse comportamento pode ser modulado pela memória motora de uma tarefa prévia, independentemente de como se executou a resposta. Todos esses resultados trazem contribuições para o entendimento da neurobiologia do controle motor.

ABSTRACT

The Stimulus-Response Compatibility tasks show how the stimulus properties are processed by the brain and influence the motor response selection. On the other hand, the handedness recognition involves specific neural mechanisms different from those involved when the stimulus represent a inanimate object. In this study we investigate both phenomena and integrate them. Our results show that to control the motor behavior, the main information for the brain is the place of the action and not the posture of effector. The posture of the effector becomes relevant when the stimulus represents a body part, because there is the involvement of specific neural circuits that are not activated when the stimulus represents an inanimate object. This motor behavior may be modulated by the motor memory of a previous task, independently of the way that the response is executed. All these results are relevant to understand the neurobiology of the motor control.

1. INTRODUÇÃO

A Neurociência Cognitiva é um ramo das Neurociências que integra diversas disciplinas, tais como a Psicologia Cognitiva, a Psicobiologia e a Neurobiologia e tem como objetivo principal investigar como funções psicológicas/cognitivas são produzidas pela atividade de uma rede extensa de circuitos neurais no cérebro. Para esta finalidade tem sido empregadas técnicas não invasivas sofisticadas em seres humanos, tais como as medidas do fluxo sanguíneo e do metabolismo cerebral através do PET (Tomografia por Emissão de Pósitrons) e da fMRI (Ressonância Magnética funcional). As técnicas clássicas de cronometria mental, entretanto, que se baseiam na medida da latência da resposta a estímulos sensoriais (tempo de reação) continuam a ser instrumentos fundamentais nesta empreitada.

A medida do Tempo de Reação Manual (TRM) é empregada principalmente para identificar o tempo necessário para a execução das várias etapas entre a apresentação de um estímulo e a execução de uma resposta. Dependendo da complexidade do estímulo e do número de alternativas da resposta, o TRM será maior ou menor. Além disso, a relação entre as propriedades do estímulo e as propriedades da resposta acarretará respostas mais rápidas ou mais demoradas (Massaro, 1989).

Empregamos a medida do TRM para estudar dois fenômenos que estão relacionados com a Neurobiologia do Controle Motor: **a Compatibilidade Estímulo – Resposta (CER) e o Reconhecimento da lateralidade de partes do corpo**. Durante as investigações sobre os mecanismos responsáveis pelo reconhecimento de partes do corpo, levantamos a possibilidade da participação do **Sistema de Neurônios Espelho** nesse fenômeno.

1.1. A COMPATIBILIDADE ESTÍMULO - RESPOSTA

O termo Compatibilidade Estímulo – Resposta (CER ou SRC - Stimulus Response Compatibility) é usado para descrever como a correspondência entre elementos do estímulo e elementos da resposta influenciam (facilitando ou inibindo) a velocidade e a acurácia com que uma tarefa é executada. Ou seja, a presença de uma certa característica do estímulo pode fazer com que os sujeitos tenham uma forte tendência em selecionar uma resposta particular em vez de outra resposta. Por exemplo, um estímulo aparecendo à esquerda induz a seleção da tecla esquerda para a resposta. Assim, a interação entre o estímulo e a resposta que produz latências menores e baixas taxas de erro é dito ser mais compatível do que a interação que produz latências maiores e altas taxas de erro (Umiltà & Nicoletti, 1990).

Kornblum e colaboradores (1990) postularam a existência de vários tipos de CER baseados em dois conceitos importantes da relação estímulo – resposta. O primeiro é a noção de **Sobreposição Dimensional**, que se refere ao fato do estímulo compartilhar ou não propriedades categóricas com a resposta. Esta sobreposição não está restrita somente às propriedades físicas do estímulo e da resposta, mas também se estende para as suas representações mentais. Por exemplo, se o sujeito for instruído a pressionar uma tecla verde quando o estímulo verde aparecer e pressionar uma tecla vermelha quando o estímulo vermelho aparecer, a Sobreposição Dimensional entre o estímulo e a resposta ocorrerá através da cor, pois tanto o estímulo quanto a resposta compartilham essa propriedade categórica. Se a instrução for aperte a tecla verde quando aparecer um estímulo vermelho e a tecla vermelha quando aparecer um estímulo verde, o TRM nesta condição (incompatível) será maior do que na condição anterior (compatível).

O segundo aspecto é a **Relevância Dimensional**, considerada como sendo a distinção entre a dimensão relevante e irrelevante do estímulo. A dimensão será **relevante** quando a seleção da resposta correta depender do valor do estímulo naquela dimensão e **irrelevante** quando a seleção da resposta não estiver relacionada com o valor do estímulo nessa dimensão. Por exemplo, o sujeito é instruído a pressionar a tecla à direita quando o estímulo azul aparecer e a pressionar a tecla à esquerda quando o estímulo vermelho aparecer, sendo que os estímulos podem aparecer no hemisfério visual direito ou esquerdo (Figura 1). A dimensão relevante é a cor do estímulo, pois é esta propriedade que define qual resposta deverá ser executada. A dimensão irrelevante é o lado em que o estímulo aparece, pois o lado não tem nenhuma relevância para a seleção da resposta, mas influencia a resposta do sujeito. Assim, a resposta ao estímulo vermelho (pressionar a tecla esquerda) será mais rápida quando o estímulo aparecer à esquerda do que quando aparecer à direita e a resposta ao estímulo azul (pressionar a tecla direita) será mais rápida quando ele aparecer à direita do que à esquerda (Kornblum et al., 1990).

A localização do estímulo não pode ser ignorada e é codificada mesmo quando é irrelevante para a determinação da resposta correta (Tsal & Lavie, 1993). Os efeitos da posição do estímulo, irrelevante para a tarefa, sobre o processamento da informação visual, emergem claramente na **tarefa de Simon** e na **tarefa Stroop espacial** (Lu & Proctor, 1995). Quando é a localização do estímulo que determina a resposta correta, temos a tarefa de **Compatibilidade Espacial** (Anzola et al., 1977).

As tarefas de Simon, Stroop espacial e Compatibilidade espacial, que representam o fenômeno da Compatibilidade Estímulo-Resposta, mostram como as propriedades de um estímulo visual são processadas pelo cérebro e determinam a

seleção de uma resposta (para revisão ver Lu & Proctor, 1995, Gawryszewski et al., 2006).

1.1.1. Tarefa de Compatibilidade espacial

Nessa tarefa, a posição do estímulo é a informação que define a resposta correta. Por exemplo, o sujeito é instruído a pressionar a tecla direita quando o estímulo aparecer no hemisfério visual direito e pressionar a tecla esquerda quando o estímulo aparecer no hemisfério visual esquerdo. Os TRM nessa condição (compatível) serão mais rápidos do que na condição (incompatível) onde a instrução é pressionar a tecla direita quando o estímulo aparecer no hemisfério esquerdo e pressionar a tecla esquerda quando o estímulo aparecer no hemisfério direito. Ou seja, os TRM serão mais rápidos quando a posição do estímulo e da tecla de resposta corresponderem do que quando essas posições não corresponderem (Anzola et al., 1977; Heister & Schroeder-Heister, 1994).

Esse efeito entre a condição compatível e incompatível é atribuído, principalmente, a hipótese da codificação (Wallace, 1971). Essa hipótese diz que o efeito da compatibilidade espacial é devido a uma comparação dos códigos espaciais do estímulo e as posições da resposta. Quando esses códigos espaciais do estímulo e da resposta não coincidem, os TRM são mais lentos do que quando os códigos coincidem. Existem duas variantes dessa hipótese, uma chamada hipótese da translação (Umiltà & Nicoletti, 1990; 1992) e a hipótese da ativação automática (Kornblum et al., 1990).

A hipótese da translação de Umiltà e Nicoletti (1992) propõe o seguinte modelo de processamento: o estímulo é transformado num código espacial (normalmente direito ou esquerdo). Na condição compatível, esse código pode ser usado imediatamente para

acionar a resposta correta, enquanto que na condição incompatível, esse código deve ser primeiro “transladado” em um código inverso para se iniciar a resposta correta. Assim, na condição incompatível, um passo de translação adicional é necessário, prolongando o processamento e gerando o efeito de compatibilidade espacial.

A hipótese da ativação automática de Kornblum e colaboradores (1990) propõe que a formação do código do estímulo é seguida por dois processos independentes: processo de ativação e processo de confirmação. O processo de ativação é automático e aciona a resposta compatível se não for inibida pelo processo de confirmação. Essa inibição acontece na condição incompatível. Então, o efeito de compatibilidade espacial é devido à diferença entre facilitação e inibição de uma resposta ativada automaticamente na presença de sobreposição dimensional entre o estímulo e a resposta.

1.1.2. Tarefa de Simon

Na tarefa de Simon, a posição do estímulo é irrelevante para a definição da resposta correta, mas influencia o TRM do sujeito. A dimensão relevante do estímulo (forma ou cor) não tem nenhum tipo de sobreposição com nenhuma dimensão da resposta. Isto difere da dimensão irrelevante, onde o código da localização do estímulo (hemisfério direito ou esquerdo) se sobrepõe ao código da localização das teclas de resposta (localização direita e esquerda).

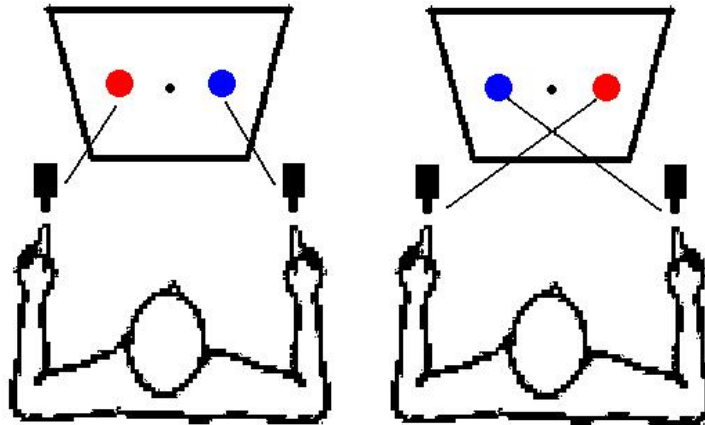


Figura 1: Tarefa de Simon. As respostas são mais rápidas quando o estímulo aparece no mesmo lado da tecla de resposta do que quando aparece no lado oposto.

Por exemplo, considere a figura 1: um estímulo de cor azul ou de cor vermelha aparecerá à direita ou à esquerda do ponto de fixação central. Se o estímulo for vermelho, o voluntário deverá apertar a tecla esquerda e se for azul, o voluntário deverá apertar a tecla direita. A informação **relevante** para a seleção da resposta é a cor do estímulo. A posição onde o estímulo aparece não importa, é uma informação **irrelevante** para a seleção da resposta correta. Neste tipo de teste (**tarefa de Simon**), foi encontrado que quando o estímulo vermelho (resposta com a tecla esquerda) aparece à esquerda do ponto de fixação central, a resposta é mais rápida do que quando o estímulo vermelho aparece à direita. E vice-versa para o estímulo azul. Ou seja, quando o estímulo azul aparece à direita, a resposta é mais rápida do que quando o estímulo azul aparece à esquerda. Esta diferença nos tempos de reação entre a condição correspondente (vermelho à esquerda ou azul à direita) e a condição não-correspondente (vermelho à direita ou azul a esquerda) foi denominada **Efeito Simon**. Este efeito tem sido atribuído a um conflito entre o código espacial da localização do estímulo (à esquerda ou à direita - informação irrelevante) e o código espacial do lado da tecla de resposta (determinada pela informação relevante). Assim, quando o estímulo vermelho

aparece no lado esquerdo, o seu código espacial irrelevante (hemicampo esquerdo) não interfere com a seleção da resposta correta (apertar a tecla esquerda) e, na verdade, pode até facilitar esta resposta devido à redundância dos códigos espaciais (hemicampo esquerdo – tecla esquerda). Por outro lado, quando o estímulo vermelho aparece no lado direito, o seu código espacial irrelevante (hemicampo direito) entra em competição com a seleção da resposta correta (tecla esquerda), provocando uma lentificação da resposta, pois os códigos são diferentes (hemicampo direito – tecla esquerda). Em resumo, quando a localização do estímulo corresponde ao lado da resposta selecionada não existe interferência entre os dois códigos espaciais e a resposta se dá imediatamente. Caso a localização do estímulo seja diferente do lado da resposta, ocorre uma interferência entre os dois códigos espaciais na etapa de seleção da resposta e a resposta apresenta uma latência maior (Umiltà & Nicoletti, 1992).

A maioria das hipóteses que atribuem o efeito Simon ao estágio de seleção da resposta postula que isso ocorre devido a uma competição entre respostas (Umiltà & Nicoletti, 1990). As hipóteses assumem que um código de resposta é gerado pela informação irrelevante do estímulo e outro código de resposta é formado pela informação relevante. Nas situações onde esses dois códigos de resposta formados pela informação relevante e irrelevante são iguais, não existe nenhuma competição e possivelmente existe até um benefício devido à redundância desses códigos de resposta. Entretanto, naquelas situações onde os códigos de resposta são diferentes, existe uma competição que deve ser resolvida antes da resposta correta ser selecionada e executada.

A influência da evolução temporal e da intensidade da ativação gerada pela informação irrelevante em relação à ativação gerada pela informação relevante sobre o efeito Simon também tem sido estudada. Existem evidências que indicam que fatores como a velocidade relativa de processamento da informação irrelevante e da relevante

influenciam a magnitude do efeito Simon. A magnitude do efeito não é influenciada apenas pela formação do código espacial, mas também pela evolução temporal desse código. Um modelo completo para explicar o efeito Simon deve levar em consideração essa interação dinâmica. A hipótese de sobreposição temporal de Hommel (1993) é um modelo que considera essa dinâmica temporal.

De acordo com Hommel (1993), a velocidade relativa de processamento influencia a magnitude do efeito Simon. Segundo essa hipótese da sobreposição temporal, o código espacial para a informação irrelevante é formado rapidamente assim que o estímulo aparece e então o efeito da ativação desse código diminui gradualmente. A magnitude do efeito Simon é função do grau de sobreposição entre as ativações dos códigos da informação irrelevante e relevante. Quando a informação relevante leva a uma resposta congruente com a informação irrelevante (condição compatível) pode existir uma facilitação da resposta. Por outro lado, quando a posição do estímulo relevante for incongruente com a resposta requerida (condição incompatível) então existirá uma inibição da resposta. Mas, existe também o fator temporal. Se o código espacial para a informação relevante for formado rapidamente então vai existir uma forte sobreposição com o código espacial formado para a informação irrelevante (código formado rapidamente e automaticamente quando o estímulo aparece), levando a uma maior diferença entre o TRM (inibido) na condição incompatível e o TRM (facilitado) na condição compatível. Ou seja, ocorrerá um efeito Simon de grande magnitude. Porém, se existir alguma demora na formação do código espacial para a informação relevante, o código formado para a informação irrelevante terá sua ativação diminuída e conseqüentemente existirá pouca sobreposição entre os códigos relevante e irrelevante. Assim, existirá uma diferença menor entre o TRM (pouco inibido) na

condição incompatível e o TRM (pouco facilitado) na condição compatível. Ou seja, a magnitude do efeito Simon será menor.

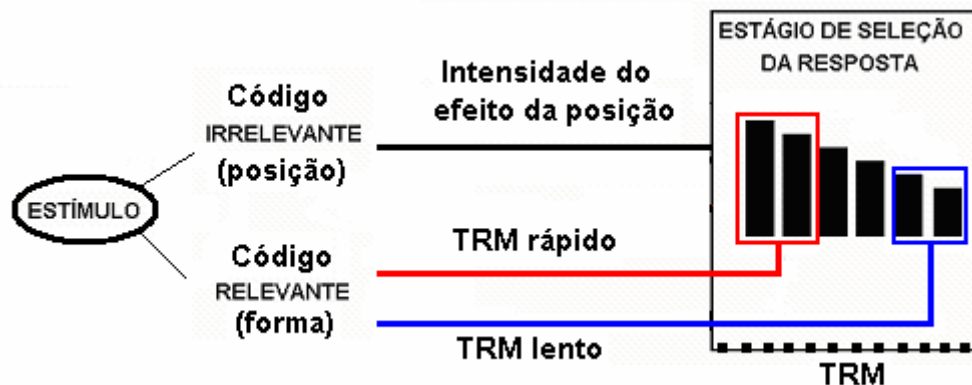


Figura 2: Esquema mostrando a interação dinâmica entre os códigos relevante e irrelevante do estímulo. Em vermelho observamos a forte sobreposição entre os códigos quando os TRM são rápidos. Em azul, a sobreposição é mínima devido a diminuição da intensidade de ativação do código irrelevante.

1.1.3. Tarefa de Stroop espacial

Nessa tarefa, existe sobreposição entre o estímulo e a resposta em ambas as dimensões relevante e irrelevante. Isto porque se usa um símbolo (ou uma palavra) que tem uma característica espacial. Por exemplo, uma seta apontando para esquerda, aparecendo no hemisfério esquerdo, ativa automaticamente uma resposta a ser executada com a tecla esquerda (Figura 2A). O que aconteceria se esta seta aparecesse no lado direito em comparação com o aparecimento no lado esquerdo. Novamente, temos uma característica (dimensão) relevante (seta para a esquerda ou direita) que pode aparecer ao longo de uma dimensão irrelevante (hemisfério esquerdo ou lado direito). A informação espacial da posição do estímulo não indica a resposta correta. A resposta correta é determinada por outra característica espacial (seta esquerda ou direita) que se sobrepõe à característica espacial das teclas de resposta (Umiltà & Nicoletti, 1990; Lu &

Proctor, 1995). Então, se o sujeito é instruído a pressionar a tecla esquerda em resposta à seta esquerda e pressionar a tecla direita em resposta à seta direita, o TRM será mais rápido quando a seta esquerda aparecer no hemisfério visual esquerdo (ou a seta direita no direito) do que quando a seta esquerda aparecer no hemisfério visual direito (ou a seta direita no esquerdo). Porém, nessa condição, existe a possibilidade de que os TRM para a seta esquerda no hemisfério esquerdo (ou a seta direita no hemisfério direito) sejam mais rápidos porque o estímulo é apresentado no mesmo lado da tecla de resposta.

Para determinar se os TRM são mais rápidos porque o significado espacial relevante do estímulo (seta esquerda ou direita) corresponde ao código espacial irrelevante (hemisfério esquerdo ou direito) ou porque o estímulo é apresentado no mesmo lado da tecla de resposta, basta realizar a condição demonstrada na figura 2B. A instrução é pressionar a tecla esquerda em resposta à seta direita e pressionar a tecla direita em resposta à seta esquerda. Nessa condição, observamos claramente que o aumento da velocidade de resposta e maior acurácia é devido à correspondência entre o significado espacial relevante do estímulo e o código irrelevante (hemisfério em que ele aparece), pois temos TRM menores para as condições onde a seta direita aparece no campo direito (ou a seta esquerda aparece no campo esquerdo) apesar de estarem no lado oposto ao da tecla de resposta.

Na tarefa de Stroop espacial, as dimensões relevante e irrelevante do estímulo contêm uma informação espacial e a maioria das teorias atribui esse efeito Stroop espacial ao estágio de processamento da seleção da resposta, principalmente devido a uma competição entre os códigos espaciais formados pela informação relevante e irrelevante.

Nesse sentido, o que pode ser observado é que o efeito Simon e o efeito Stroop espacial não são fundamentalmente diferentes e têm bases de processamento similares. A Sobreposição dimensional entre a informação relevante do estímulo e a resposta que está presente na tarefa de Stroop espacial e não na tarefa de Simon não parece ter um significado funcional e os dois efeitos exibem muitas similaridades. Em ambas as tarefas (Simon e Stroop espacial), existem fatores básicos envolvidos no processamento da informação espacial irrelevante; como a modalidade de resposta, a codificação espacial, o tempo relativo de processamento e a alocação da atenção (Lu & Proctor, 1995).

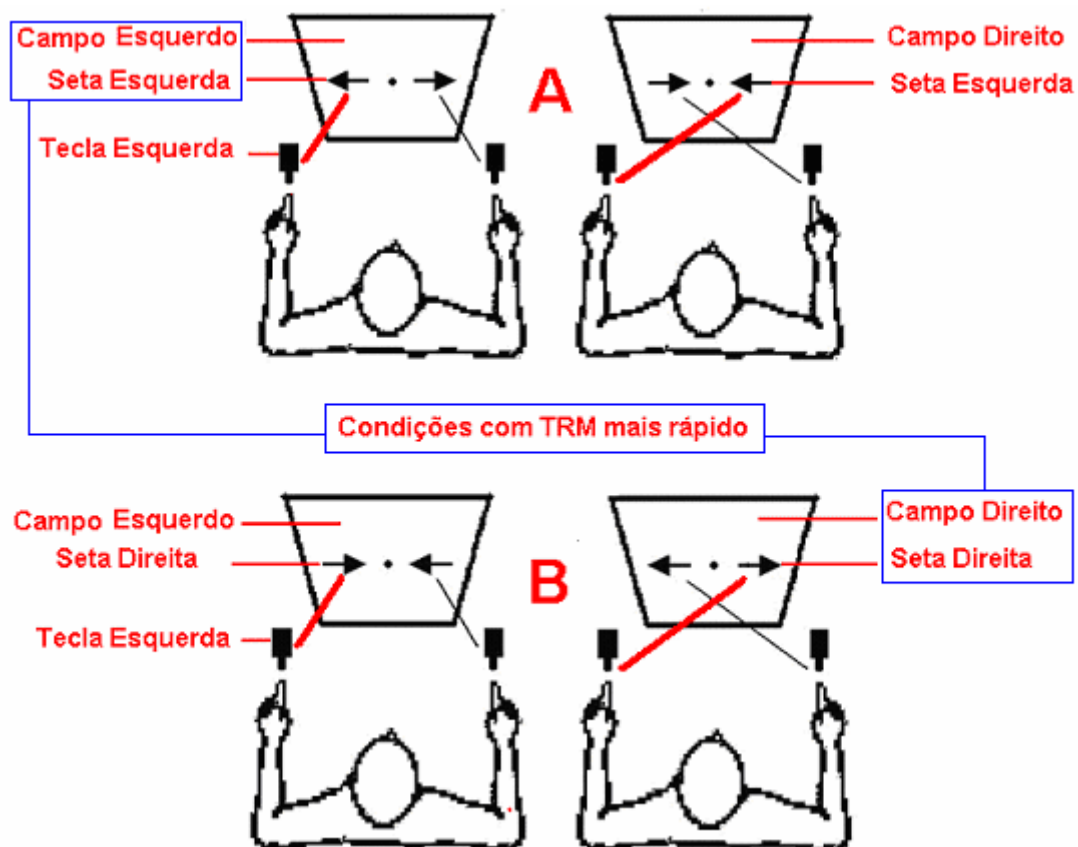


Figura 2: Tarefa Stroop espacial. As respostas são mais rápidas quando o significado espacial do estímulo corresponde ao hemisfério em que ele é apresentado do que quando não corresponde, independente da localização da tecla de resposta.

1.2. RECONHECIMENTO DA LATERALIDADE DE PARTES DO CORPO

O reconhecimento de partes do corpo é um processo no qual existe uma relação entre aquilo que o voluntário vê (figura da mão) e o que sente (informações proprioceptivas da mão do voluntário), ou seja, essa propriedade do estímulo de representar uma parte do corpo não aciona apenas o sistema visual, mas também os sistemas somestésico e motor. Assim, a decisão do julgamento da lateralidade da mão (decidir se é a figura da mão direita ou esquerda) é tomada através da formação da imagem mental de uma das mãos, sua projeção para o estímulo e a verificação da congruência ou não entre a figura e a imagem mental da mão (Parsons, 1987; Parsons, 1994; Parsons & Fox, 1998).

Essa representação mental de segmentos corporais não obedece a regras semelhantes às da representação mental de objetos externos. Isto porque as limitações biomecânicas impostas para os movimentos desses segmentos corporais podem ser consideradas também uma característica da representação mental (Petit et al., 2003). Além disso, tornou-se consenso que boa parte do circuito neural empregado durante os processos de simulação mental (por exemplo, imaginar a execução de um movimento ou a visualização de uma paisagem) é similar ao utilizado durante o processamento de uma determinada modalidade sensorial ou ação (Kosslyn et al., 2001; Jeannerod, 1994). Ou seja, no contexto do controle motor, postula-se que a simulação mental de um determinado movimento emprega os mesmos mecanismos neurais utilizados na sua execução real (Jeannerod, 1994; Parsons & Fox, 1998).

Assim, a construção e a manipulação espacial de imagens corporais têm origem basicamente visual e somato-motora (Parsons, 1994; Decety, 1996; Wolbers et al., 2003). Durante a discriminação da lateralidade da figura de uma parte do corpo, ou seja,

julgar se esta parte do corpo (mãos, por exemplo) pertence ao lado direito ou esquerdo, existe o envolvimento de ambos os sistemas (visual e somato-motor), com representações sensório-motoras e somáticas específicas ativadas e controladas pelo hemisfério cerebral contralateral (Parsons & Fox, 1998). O processo de rotação mental é, geralmente, um componente essencial para esta tarefa e também para o planejamento de um movimento real das mãos (Parsons, 1987).

Segundo Parsons (1987), numa tarefa de reconhecimento da lateralidade de figuras das mãos, o primeiro passo realizado pelos sujeitos é uma rotação mental da representação de sua própria mão, seguida de uma comparação entre a sua mão mental e a mão-estímulo para a realização do julgamento “direito” ou “esquerdo”. Desta forma, os sujeitos transformam mentalmente uma representação interna da própria parte do corpo para compará-la com o estímulo visual externo e assim comparar a forma deles e fazer o julgamento (Parsons, 1987, 1994).

Parsons (1994) realizou 3 experimentos e observou que o tempo necessário para fazer a rotação mental da mão representada internamente, fazer o julgamento da lateralidade das mãos e fazer o correspondente movimento real da mão, colocando-a na mesma posição do estímulo são similares. Devido a essa relação entre mão imaginada e o movimento real da mão, a simulação mental de um movimento da mão é influenciado pelas limitações biomecânicas induzidas pela postura do corpo, pois o tempo para rodar mentalmente uma parte do corpo (mão) com o intuito de julgar a lateralidade é menor quando a mão do sujeito é mantida numa postura mais canônica do que quando é mantida numa postura mais incomum (Parsons, 1994).

Então, a simulação mental de um movimento da mão (realizada durante o julgamento da lateralidade) é afetada pela informação proprioceptiva da postura do sujeito (Parsons, 1994). Vargas e colaboradores (2004) evidenciaram isso através de um

estudo de estimulação magnética transcraniana onde observaram que a excitabilidade córtico-espinhal estava aumentada quando o sujeito imaginava um movimento. Além disso, a compatibilidade entre a postura atual da mão e o movimento imaginado influenciava a excitabilidade de forma tal que o aumento da excitabilidade era máximo quando a postura da mão era compatível com o movimento imaginado dos dedos.

Parsons (1994) desenvolveu um modelo de reconhecimento da lateralidade de figuras das mãos (mão-estímulo) que compreende cinco passos: a) reconhecimento pré – atencional da lateralidade da mão-estímulo apresentada; b) processamento da orientação da própria mão representada mentalmente; c) planejamento da rotação mental da própria mão representada internamente para a orientação da mão-estímulo; d) simulação mental da rotação planejada; e) o “encaixe confirmatório” entre a orientação da mão representada internamente e a orientação da mão-estímulo. O estágio pré-atencional seria um conhecimento implícito precoce da lateralidade da mão-estímulo e, após o movimento imaginado da mão interna e do “encaixe confirmatório”, o sujeito tomaria a decisão consciente sobre a lateralidade desse estímulo. Esse precoce reconhecimento implícito da lateralidade da mão pode ser resultado da análise utilizando associações entre objetos ou a forma da mão e padrões de ação.

1.2.1. Bases neurais do reconhecimento da forma da mão

As bases neurais do movimento implícito usado no reconhecimento da forma da mão foram determinadas por Parsons e Fox (1998) utilizando PET. Eles observaram ativações em todas as áreas do cérebro responsáveis por representar as informações somato-sensoriais e motoras, exceto o córtex somato-sensorial primário (S1) e motor primário (M1).

Ativações no hemisfério cerebral esquerdo, independente da lateralidade do estímulo, estavam presentes na área motora suplementar, córtex parietal inferior e córtex pré-motor superior. Essas áreas estão envolvidas no planejamento, guia e atenção para a performance motora.

Ativações no hemisfério cerebral direito, independente da lateralidade do estímulo, estavam presentes no córtex pré-motor superior dorsal e ínsula, córtex parietal superior e córtex occipitotemporal. Essas áreas são responsáveis pelo planejamento motor, representação somática de alto nível, avaliação da informação visuo-espacial e representação da identidade do objeto/ação (Parsons & Fox, 1998).

As ativações no hemisfério cerebral contralateral ao lado do estímulo estavam presentes na área motora pré - suplementar, cerebelo, córtex pré-motor sulcal frontal superior e córtex pré-motor inferior. Essas áreas estão envolvidas nos aspectos de ordem superior do controle motor, preparação / seleção do movimento, cópia e reconhecimento da ação, aquisição sensorial e guia/execução de movimentos (Parsons & Fox, 1998).

Outras estruturas subcorticais como tálamo, globo pálido e caudado, bem como áreas de processamento visual também estavam ativas durante o reconhecimento da lateralidade da mão (Parsons & Fox, 1998).

1.3. SISTEMA DE NEURÔNIOS ESPELHO

Os neurônios espelho foram identificados há cerca de dez anos, quando cientistas da Universidade de Parma estudavam as propriedades dos neurônios do córtex pré-motor de macacos. Sempre que o macaco pegava ou movia um objeto, determinadas células cerebrais disparavam. Eles verificaram que a atividade de alguns destes

neurônios também era modulada quando o macaco apenas observava a mesma ação realizada por outra pessoa.

A importância desta descoberta para a compreensão direta da ação e/ou da intenção do outro animal ou ser humano foi imediatamente percebida (Gallese et al., 1996; Rizzolatti et al., 1996; Rizzolatti & Craighero, 2004). Na sua forma mais básica, isso significa que ensaiamos ou imitamos mentalmente toda ação observada, ou seja, quando alguém executa uma ação, nós automaticamente simulamos a ação no nosso cérebro. Nós estaríamos capacitados para entender diretamente aquela ação porque temos no nosso cérebro uma representação motora dessa ação baseado nos nossos próprios movimentos. Todavia, uma compreensão completa e abstrata das ações dos outros depende das áreas corticais envolvidas com a linguagem e o raciocínio presentes na espécie humana.

Desde a descoberta dos neurônios espelho no córtex pré-motor de primatas não-humanos, vários estudos utilizando neuroimagem tentam localizar e mapear a presença desses neurônios no cérebro humano. Os resultados destes estudos sugerem que existe um sistema de neurônios espelho (SNE) em humanos distribuído em várias áreas corticais fronto-parietais. A atividade deste SNE seria responsável pela habilidade supracitada de representar e entender diretamente ações observadas em outras pessoas, permitindo a interação dos humanos entre si e com o mundo (Aziz-Zadeh, Koski, Zaidel, Mazziotta & Iacoboni, 2006; Buccino et al., 2004; Rizzolatti & Craighero, 2004). O cérebro humano tem múltiplos sistemas de neurônios-espelho especializados em executar e compreender não apenas as ações dos outros, mas suas intenções, o significado social do comportamento deles e suas emoções, uma competência em humanos que é chamada de teoria da mente (TOM). Os neurônios-espelho poderiam ser o instrumento da TOM para penetrar na mente de terceiros.

Provavelmente, os neurônios espelho estão envolvidos com outras tarefas além do reconhecimento da ação e da intenção em seres humanos. Nosso grupo propõe através de artigos publicados (ver os itens 3.5 e 3.8) que o SNE está envolvido com o reconhecimento de partes do corpo. A principal evidência que suporta essa idéia é o fato de existir uma forte sobreposição entre as áreas corticais onde estão localizados os neurônios espelhos e as áreas ativadas durante o reconhecimento de partes do corpo.

2. OBJETIVOS

O estudo dos fenômenos de **Compatibilidade Estímulo-Resposta** e de **Reconhecimento da lateralidade de partes do corpo** pode trazer informações significativas para a compreensão dos mecanismos envolvidos com o comportamento motor humano. Porém, geralmente, esses fenômenos são estudados isoladamente. No presente trabalho, investigamos diversos aspectos desses fenômenos e buscamos uma interação entre eles.

No contexto da **Compatibilidade Estímulo-Resposta**, nosso objetivo foi:

- verificar se um feixe de luz pode ser considerado como uma “extensão da mão” que se projeta para uma posição do espaço, gerando os efeitos de compatibilidade espacial e cruzamento (ver item 3.1).
- verificar se existe transferência do efeito do teste de compatibilidade espacial sobre a tarefa de Simon numa condição em que as respostas são mediadas por diferentes circuitos cerebrais (ver item 3.2)..

Em relação ao **Reconhecimento de partes do corpo**, investigamos:

- a influência da postura da mão (prona ou supina) sobre o processo de julgamento da lateralidade de uma figura da mão para verificar se e como a informação proprioceptiva da postura atual do sujeito interfere neste julgamento (ver item 3.3).
- como os músculos proximais afetam os movimentos intrínsecos envolvidos com o reconhecimento de figuras da mão (ver item 3.4).
- se os desenhos que representam partes do corpo de primatas não-humanos seriam reconhecidos como objetos externos, inanimados ou seriam reconhecidos de modo equivalente à mão humana (ver item 3.5).

Integrando os dois fenômenos, estudamos:

- o papel da postura do corpo durante o processo de seleção da resposta numa tarefa de Compatibilidade Estímulo-Resposta envolvendo o julgamento da lateralidade de figuras da mão (ver item 3.6).

A partir dos nossos resultados, propusemos que:

- as tarefas de Compatibilidade Estímulo-Resposta podem ser um modelo interessante para o estudo do comportamento motor humano. Discutimos como as propriedades espaciais do estímulo interagem com as propriedades espaciais da resposta e relacionamos esta interação com a organização anátomo-funcional do cérebro humano, com os mecanismos de reconhecimento de partes do corpo e com interação modulatória entre a memórias visuo-motoras de breve e de longo prazo (ver item 3.7).
- Existe uma participação do Sistema de neurônios espelho no processo de reconhecimento de partes do corpo (ver item 3.8).

3. RESULTADOS

3.1. Gawryszewski, L. G. ; Ferreira, F. M. ; Martins, G. ; Rangel, M. L. ; Silva-Machado, R. ; Pereira Junior, A ; **LAMEIRA, A. P.** . Feixes de luz e os efeitos compatibilidade espacial e cruzamento. *Revista Psico - PUCRS*, v. 39, p. 289-297, 2008.

3.2. Moreira-Aguiar, V ; **LAMEIRA, A. P.** ; Conde, E ; Pereira Junior, A ; Umiltá, C. ; Gawryszewski, L. G. . Memória de longo prazo modulada pela memória de curto prazo. *Paideia (Ribeirao Preto)*, 2008 (*no prelo*).

3.3. **LAMEIRA, A. P.** ; Guimarães Silva, S ; Ferreira, F. M. ; Lima, L.V. ; Pereira Junior, A ; Gawryszewski, L. G. . Postura da mão e imagética motora: um estudo sobre reconhecimento de partes do corpo. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 2008. (*aceito para publicação no volume 12, número 5*).

3.4. **LAMEIRA, A. P.** ; Guimarães Silva, S ; Werneck-Galvão, C. ; Antonio Pereira Jr ; Gawryszewski, L. G. . Recognition of hand shape drawings on vertical and horizontal display. *Psychology & Neuroscience*, v. 1, p. 35-40, 2008.

3.5. Gawryszewski, L.G. ; Silva-dos-Santos, C.F. ; Santos-Silva, J.C. ; **LAMEIRA, A. P.** ; Pereira Jr, A. . Mental rotation of anthropoid hands: a chronometric study. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v. 40, p. 377-381, 2007.

3.6. LAMEIRA, A. P. ; Gawryszewski,L. G. ; Guimarães Silva, S ; Ferreira, F. M. ; Carvalho, A ; Vargas, C. D. ; Pereira Junior, A ; Umiltá, C. . Hand Posture Effects on Handedness Recognition as Revealed by the Simon effect. *Experimental Psychology*, 2008 (*submetido*).

3.7. Gawryszewski,L. G. ; **LAMEIRA, A. P. ;** Ferreira, F. M. ; Guimarães Silva, S ; Conde, E.; Pereira Junior, A . A Compatibilidade Estímulo-Resposta como Modelo para o estudo do comportamento motor. *Psicologia USP*, v. 17, p. 123-133, 2006.

3.8. LAMEIRA, A. P.; Gawryszewski,L. G.; Pereira Junior, A . Neurônios Espelho. *Psicologia USP*, v. 17, p. 123-133, 2006.

3.1. Gawryszewski, L. G.; Ferreira, F.M.; Martins, G.; Rangel, M.L.; Silva-Machado, R.; Pereira Junior, A.; **LAMEIRA, A. P.** Feixes de luz e os efeitos compatibilidade espacial e cruzamento. *Revista Psico - PUCRS*, v. 39, p. 289-297, 2008.

Título: FEIXES DE LUZ E OS EFEITOS DE COMPATIBILIDADE ESPACIAL E
CRUZAMENTO

Título em inglês: LIGHT BEAMS FOR THE STUDY OF COMPATIBILITY AND
CROSSED-HAND EFFECTS

Nomes dos autores: GAWRYSZEWSKI, L.G.¹, FERREIRA, F.M.¹, MARTINS, G.¹,
RANGEL, M.L.¹, SILVA-MACHADO, R.¹, PEREIRA, A.² & LAMEIRA, A.P.¹

Afilições institucionais: ¹ Departamento de Neurobiologia, UFF, CAIXA POSTAL
100.180, Niterói, 24.001-970, RJ Brasil.

² UFRN, Natal, RN, Brasil.

Endereço para correspondência: Luiz G Gawryszewski
Departamento de Neurobiologia, UFF, CAIXA POSTAL
100.180, Niterói, 24.001-970, RJ Brasil
Telefone (21) 26292271
E-mail – gawryszewski_lg@yahoo.com.br

FEIXES DE LUZ E OS EFEITOS COMPATIBILIDADE ESPACIAL E CRUZAMENTO

EMPREGO DE FEIXES LUMINOSOS PARA ESTUDAR A INTERAÇÃO ENTRE OS
CÓDIGOS ESPACIAIS DO ESTÍMULO VISUAL E DA RESPOSTA MANUAL

Resumo

Em tarefas de compatibilidade espacial, o cruzamento das mãos aumenta os tempos de reação manual (TRM). Isto ocorre porque a posição das mãos deve ser processada antes da execução da resposta. Este trabalho empregou apontadores luminosos para investigar se a posição do local iluminado corresponde ao local da projeção da ação da mão. Comparando a localização dos estímulos, a posição das mãos e a projeção da ação das mãos (local iluminado) identificamos os efeitos compatibilidade e cruzamento pela comparação dos TRMs nas condições compatível (estímulo e local iluminado no mesmo lado) e incompatível (estímulo e local iluminado em lados opostos) e nas condições cruzada (feixe dirigido para o lado oposto) e não-cruzada (feixe dirigido para o mesmo lado). Os resultados mostram que estes efeitos dependem do local iluminado e não do local de ação imediata da mão (a tecla).

Palavras-chave: Compatibilidade espacial; Efeito cruzamento; Tempo de reação manual, Facilitação; Inibição.

LIGHT BEAMS FOR THE STUDY OF COMPATIBILITY AND CROSSED-HAND EFFECTS

ACTION PROJECTION AND THE STUDY OF SPATIAL COMPATIBILITY

Abstract

The crossing of hands increases Manual Reaction Time (MRT) in spatial compatibility tasks. This occurs because the position of the hands has to be first taken into account by the brain before response is executed. This study tested the influence of two parameters on MRT: the position of the effector hand and the location of its projected action, both properly dissociated with the aid of laser pointers. While hands were kept on their respective sides the laser beam was either directed towards the stimulus (compatible condition) or to the opposite side (incompatible condition). Besides, the laser beam could be either directed towards the effector (hand) side or across the midline towards the opposite hemifield (uncrossed and crossed conditions). Our results show both compatibility and crossed effects on MRTs, indicating that spatial interactions occur between the projected action and both the stimulus (compatibility effect) and response key (crossed effect) positions.

Keywords: Spatial compatibility; Crossed-hand effect; Manual Reaction Time; Inhibition; Facilitation.

O uso de ferramentas, embora presente em outras espécies animais (Byrne, 1995, Darwin, 1871/1981), é uma característica conspícua dos seres humanos nas suas atividades cotidianas. Segundo alguns autores (Iriki, 2005, Luria, 1992, Vigotski, 1984), a fabricação e o emprego de ferramentas influenciou a evolução do cérebro e das mãos e foi um elemento importante no processo de hominização (ver revisão em Iriki, 2005, Lewin, 1993). A ferramenta pode ser considerada como uma extensão da mão (Maravita e Iriki, 2004), fazendo com que o local efetivo da ação esteja afastado da superfície cutânea, provocando mudanças na relação do sujeito com o espaço próximo. Com efeito, a representação do espaço no córtex do macaco Rhesus modifica-se pelo uso de instrumentos para alcançar alimentos localizados além da extensão das suas patas (ver revisão em Iriki, 2006).

Neste trabalho, empregamos feixes de luz gerados por apontadores luminosos (laser-pointers) como ferramentas para estudar a interação entre estímulo e resposta em testes de compatibilidade espacial (Anzola, Bertoloni, Buchtel e Rizzolatti, 1977, Umiltà e Nicoletti, 1985, 1990; Kornblum, Hasbroucq e Osman, 1990; Vu, Proctor e Pick, 2000; Vu e Proctor, 2001; Rubichi, Nicoletti, Pelosi e Umiltà, 2004, Gawryszewski et al., 2006). Segundo estes autores, as localizações são codificadas no cérebro e o código da posição do estímulo é comparado com o código da posição da tecla de resposta influenciando tanto a latência quanto a precisão da resposta do sujeito: latências e taxas de erros menores são geradas quando esses códigos são compatíveis e vice-versa.

Anzola e colaboradores (1977) mostraram que além da compatibilidade espacial entre estímulo e resposta outra relação espacial influencia o tempo de reação a estímulos visuais: a relação entre o lado da tecla de resposta e o lado anatômico da mão que responde (efeito cruzamento). No trabalho destes autores, os estímulos ocorriam aleatoriamente à esquerda ou à direita do ponto de fixação e as respostas eram executadas pressionando-se as teclas à esquerda ou à direita da linha média do corpo com a mão esquerda ou direita. Existiam, por

exemplo, as seguintes combinações para um estímulo ocorrendo à esquerda do ponto de fixação (Figura 1):

1- estímulo à esquerda e resposta com a tecla esquerda empregando o dedo indicador esquerdo (condição compatível não-cruzada - Comp-NCR). A condição é compatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão no mesmo lado e não-cruzada porque a mão esquerda responde com a tecla esquerda;

2- estímulo à esquerda e resposta com a tecla direita empregando o dedo indicador direito (condição incompatível não-cruzada - Inc-NCR). A condição é incompatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão em lados opostos e não-cruzada porque a mão direita responde com a tecla direita;

3- estímulo à esquerda e resposta com a tecla esquerda empregando o dedo indicador direito (condição compatível cruzada - Comp-CR). A condição é compatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão no mesmo lado e cruzada porque a mão direita responde com a tecla esquerda;

4- estímulo à esquerda e resposta com a tecla direita empregando o dedo indicador esquerdo (condição incompatível cruzada - Inc-CR). A condição é incompatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão em lados opostos e cruzada porque a mão esquerda responde com a tecla direita.

INSERIR FIGURA 1 AQUI

Os resultados obtidos por Anzola e colaboradores (1977) mostraram que os Tempos de Reação Manual (TRMs) nas condições incompatíveis são maiores do que nas condições compatíveis (efeito compatibilidade) e que os TRMs nas condições cruzadas são maiores do que nas condições não-cruzadas (efeito cruzamento). Os dois efeitos são aditivos e, no experimento em questão, o efeito compatibilidade no TRM foi de 37 ms e o efeito

cruzamento de 26 ms. Tais efeitos foram estudados por Matsumoto, Misaki e Miyauchi (2004) empregando técnicas de Ressonância Magnética Nuclear funcional para mapear as ativações das áreas cerebrais durante a realização de testes que variaram em relação à compatibilidade e ao cruzamento. Seus resultados sugeriram que a atividade nas regiões fronto-parietais estão relacionadas a 2 funções: a relação espacial entre as posições do estímulo e da resposta (efeito compatibilidade) e a relação entre o local da resposta e a parte do corpo que responde (efeito cruzamento), sendo que não existe sobreposição completa entre as áreas ativadas nas duas tarefas.

Tendo em vista o uso generalizado de ferramentas pelos seres humanos, o que possibilita uma dissociação entre o local de ação da mão e o lado anatômico da mão, Riggio, Gawryszewski e Umiltá (1986) realizaram dois experimentos nos quais cada mão era mantida no seu hemi-espço, mas a ação da mão podia ser dirigida para o mesmo hemi-espço ou para o hemi-espço oposto. Isto permitiu verificar se os resultados obtidos por Anzola e colaboradores (1977) foram devidos ao cruzamento das mãos (mãos em lados opostos aos anatômicos) por si só ou ao fato das mãos agirem no lado oposto ao seus lados anatômicos. No primeiro experimento, os sujeitos eram testados nas 4 condições descritas acima, mas em vez de cruzarem (ou não) as mãos, cruzavam (ou não) os dedos indicadores, os quais pressionavam as teclas "V" ou "N" do teclado de um microcomputador. No segundo experimento, os sujeitos eram testados nas 4 condições descritas acima, mas em vez de cruzarem (ou não) as mãos, cruzavam (ou não) pequenos bastões que pressionavam as teclas "V" ou "N" do teclado de um microcomputador.

Os resultados mostraram que o cruzamento dos dedos ou dos bastões provocava o mesmo efeito que o cruzamento das mãos (Anzola et al., 1997), indicando que o efeito cruzamento ocorre quando a mão (esquerda ou direita) age sobre uma tecla localizada no

hemi-espaco contralateral à localização anatômica da mão, e não porque a mão está localizada no hemi-espaco oposto.

Objetivo

O objetivo deste trabalho foi verificar se um feixe de luz pode ser considerado como uma “extensão da mão” que se projeta para uma posição do espaco, gerando os efeitos de compatibilidade espacial e cruzamento. Para testar esta hipótese, mantivemos as mãos em posições constantes e consideramos o local iluminado pelo feixe como o local da ação da mão. Assim, empregamos a relação espacial entre as posições do estímulo e do local iluminado para calcular o efeito de compatibilidade e a relação entre as posições do local iluminado e da tecla para calcular o efeito cruzamento. Mais especificamente, na condição compatível, o voluntário devia iluminar o estímulo, e na condição incompatível, iluminar o lado oposto ao do estímulo (Figura 2). Na condição não-cruzada, o voluntário iluminava o mesmo lado da tecla e na condição cruzada iluminava o lado oposto ao da tecla (Figura 2). Assim, existiam quatro condições (duas compatíveis e duas incompatíveis). É importante observar que as mãos permaneciam sempre no seu lado anatômico, tal como no experimento de Riggio et al. (1986).

INSERIR FIGURA 2 AQUI

Neste trabalho, o atributo do estímulo usado para a seleção da resposta é a sua posição espacial. Em outros estudos sobre os efeitos da correspondência estímulo-resposta (tarefa de Simon), a posição do estímulo é irrelevante para a seleção da resposta, a qual é determinada por uma característica física do estímulo tal como a cor ou a forma. Apesar disso, a posição do estímulo não pode ser ignorada e influencia a seleção da resposta (Tsal e Lavie, 1993). Isto

gerou a hipótese de que um estímulo ativaria duas vias de processamento, uma automática, relacionada à posição do estímulo e outra voluntária, relacionada à característica relevante para a seleção da resposta. (Hommel, 1993; De Jong, Liang e Lauber, 1994). Quando o estímulo relevante ocorre no mesmo lado da tecla, a resposta é facilitada. Quando as posições do estímulo e da resposta estão em lados opostos, a resposta automática deve ser inibida antes da execução da resposta correta. Além disso, estes autores investigaram a dinâmica temporal do efeito da correspondência (ou não) entre o estímulo e a resposta na tarefa de Simon através da análise distribucional (Ratcliff, 1979; Ridderinkhof, 2002).

No presente estudo, empregamos essa ferramenta analítica para avaliar as características temporais da correspondência espacial estímulo–resposta numa tarefa onde a localização do estímulo é o atributo relevante para a seleção da resposta.

MÉTODO

Participantes

Participaram do experimento oito voluntários (3 homens e 5 mulheres com idade média de 20,6 anos). Todos apresentavam acuidade visual normal (ou corrigida com lentes de contato) e eram destros segundo o inventário de Oldfield (1971).

Equipamentos e estímulos

Os testes foram realizados em uma sala com atenuação sonora e luminosidade controlada. Um microcomputador IBM PC 486 apresentava os estímulos num monitor de 20 polegadas e media os tempos de reação. Os/as voluntários/as apoiavam a cabeça em um apoiador de frente e mento de modo a existir uma distância aproximada de 57 cm entre os olhos e a tela do monitor e eram orientados a fixar o olhar em um ponto central (ponto de

fixação - PF) durante todo o teste. Além disso, deviam responder a estímulos periféricos que surgiam 9° à direita ou à esquerda do PF, projetando um feixe de luz sobre o mesmo ou sobre o lado oposto (Figura 2). Este feixe era gerado ao se pressionar a tecla de apontadores luminosos (laser-pointers) posicionados nas mãos direita e esquerda. A detecção da resposta era realizada no momento em que o/a voluntário/a pressionava a tecla de um dos apontadores. O feixe devia incidir na região do estímulo ou na região oposta ao mesmo. A fixação do voluntário era registrada através de um sistema que utiliza emissor e detectores de raios infravermelhos (Eye Track System - Modelo 210- Applied Science Laboratories).

Procedimento

Foi realizada uma única sessão composta por quatro blocos, com setenta testes cada. Precedendo os blocos era realizado um pequeno treino para a familiarização com as condições. O/a voluntário/a, em cada bloco, era testado/a em uma das seguintes condições: a) Compatível não cruzada, b) Incompatível não cruzada, c) Compatível cruzada e d) Incompatível cruzada (Figura 2). Uma condição era dita não cruzada se o feixe luminoso incidisse no mesmo lado em que foi emitido, por exemplo: mão direita iluminando o lado direito. As condições cruzadas eram aquelas em que o feixe luminoso incidia no lado oposto ao que foi emitido, ex: mão direita iluminando o lado esquerdo. A posição das mãos era mantida sempre constante e a ordem dos blocos contrabalanceada para compensar efeitos de treinamento e de fadiga.

ANÁLISES

Medida de Tendência Central

As médias dos Tempos de Reação Manual (TRM) para cada uma das condições descritas acima foram calculadas e submetidas a uma Análise de Variância (ANOVA) com os fatores Compatibilidade e Cruzamento. Quando necessário, realizamos comparações post-hoc utilizando o método Newman-Keuls. O nível de significância foi estabelecido em $\alpha < 0,05$. Os valores dos TRMs serão expressos como MÉDIA \pm EPM.

Análise Distribucional

Vincentização

Utilizamos o procedimento da vincentização (Ratcliff, 1979) para observar a dinâmica temporal do efeito compatibilidade espacial e do efeito cruzamento. Os valores médios do TRM das respostas corretas nas condições compatíveis (não-cruzada e cruzada) e incompatíveis (não-cruzada e cruzada) foram organizados separadamente em ordem crescente para cada sujeito. A seguir, estas distribuições foram divididas em 5 quintilhos proporcionais de modo que cada intervalo continha a mesma proporção (um quinto) de testes para as quatro condições (Comp-NC, Comp-Cr, Inc-NC e Inc-Cr) separadamente. As médias dos TRM em cada quintilho foram empregadas em uma segunda ANOVA com os fatores Compatibilidade, Cruzamento e Quintilho.

RESULTADOS

Porcentagem de erros

A porcentagem de erros foi de 1,6% (0,4 a 2,9%) do total dos testes e a ANOVA não mostrou efeito significativo ($p > 0,05$) dos fatores Compatibilidade e Cruzamento nem tampouco da interação dos mesmos sobre a porcentagem de erros.

Medida de Tendência Central

Tanto o fator Compatibilidade quanto o Cruzamento influenciaram significativamente os TRM (FIGURA 3). As respostas na condição incompatível ($390 \text{ ms} \pm 14,2$) tinham latência maior ($F_{1,7}=33,75$; $p<0,001$) do que as respostas na condição compatível ($348 \text{ ms} \pm 13,7$), gerando um efeito compatibilidade de 42 ms

Quando o voluntário iluminava o lado oposto ao da tecla, o TRM ($396 \text{ ms} \pm 15,2$) era maior ($F_{1,7}=36,19$; $p<0,001$) do que quando o lado iluminado era o mesmo da tecla/mão ($342 \text{ ms} \pm 11,0$), ocorrendo um efeito cruzamento de 54 ms.

Não existiu interação significativa ($F_{1,7}= 0,64519$; $p= 0,4482$) entre estes dois efeitos, ilustrados na Figura 3. Isto mostra que os dois efeitos são aditivos, sugerindo que eles são gerados por mecanismos neurais diversos.

INSERIR FIGURA 3 AQUI

Análise Distribucional

A análise distribucional mostrou que os fatores Compatibilidade ($F_{1,7}=34,04$; $p<0,001$), Cruzamento ($F_{1,7}=36,20$; $p<0,001$) e Quintilho ($F_{4,28}=104,03$; $p<0,001$) tiveram influência significativa sobre o TRM. O TRM na condição compatível ($348 \text{ ms} \pm 13,7$) foi 42 ms mais rápido que na condição incompatível ($390 \text{ ms} \pm 14,2$). O TRM na condição não-cruzada ($342 \text{ ms} \pm 11,0$) eram 54 ms mais rápido do que na condição cruzada ($396 \text{ ms} \pm 15,2$).

Foram significativas as interações entre Compatibilidade e Quintilho ($F_{4,28}= 2,96$; $p= 0,036$) e entre Cruzamento e Quintilho ($F_{4,28}= 15,51$; $p<0,001$). Em relação à interação Compatibilidade e Quintilho, a análise post-hoc mostrou que existe diferença entre os TRMs compatíveis e incompatíveis em todos os quintilhos (Figura 4- Tabela 1).

Em relação à interação Compatibilidade e Quintilho, a análise post-hoc mostrou que os TRM não-cruzados diferiram dos cruzados em todos os quintilhos (Figura 5 e Tabela 2).

INSERIR FIGURA 4 AQUI

INSERIR TABELA 1 AQUI

Variação dos efeitos compatibilidade e cruzamento em função do quintilho

As diferenças entre os TRM nas condições incompatível e compatível para cada quintilho foram empregadas em uma ANOVA com os fatores: amplitude do efeito compatibilidade e quintilho. Foi encontrado um efeito significativo ($F_{4,28}=2.96$; $p<0.0369$) e a análise post-hoc mostrou que a amplitude do efeito compatibilidade no primeiro quintilho (30 ms) é menor ($p<0,05$) do que no quinto quintilho (56 ms). Isto mostra um aumento da amplitude do efeito compatibilidade quando os TRM são maiores.

As diferenças entre os TRM nas condições não-cruzada e cruzada para cada quintilho foram empregadas em uma ANOVA com os fatores: efeito cruzamento e quintilho. Também foi encontrado um efeito significativo ($F_{4,28}=15.52$; $p<0.0000$) e a análise post-hoc mostrou que a amplitude do efeito cruzamento no primeiro quintilho (23 ms) é menor ($p< 0,05$) do que o efeito no terceiro (54 ms), quarto (72 ms) e quinto (81 ms) quintilhos. O efeito cruzamento no segundo quintilho (37 ms) é menor do que o efeito no terceiro, quarto e quinto quintilhos. O efeito cruzamento no terceiro quintilho (54 ms) é menor do que o efeito no quinto quintilho. As outras comparações não resultaram em efeito significativo. Isto mostra que a amplitude do efeito cruzamento cresce quando os TRM aumentam.

Estes resultados são diferentes dos obtidos em estudos anteriores sobre o efeito Simon, nos quais a diferença entre o TRM na condição correspondente e não correspondente tende a diminuir com os quintilhos crescentes (De Jong et al., 1994).

INSERIR FIGURA 5 AQUI

INSERIR TABELA 2 AQUI

DISCUSSÃO

Os efeitos compatibilidade espacial e cruzamento têm sido estudados com o objetivo de se compreender os efeitos da correspondência ou não entre o local do estímulo, local de resposta e posição do órgão efector. O efeito de compatibilidade espacial ocorre pela formação e comparação de dois códigos espaciais: do estímulo e das posições da resposta (Wallace, 1971). Quando esses códigos espaciais do estímulo e da resposta não coincidem, os TRM são mais lentos do que quando os códigos coincidem. Existem duas variantes dessa hipótese: a hipótese da translação (Umiltà e Nicoletti, 1990; 1992) e a hipótese da ativação automática (Kornblum et al., 1990).

A hipótese da translação de Umiltà e Nicoletti (1992) propõe que a posição do estímulo é transformada num código espacial (geralmente direito ou esquerdo). Na condição compatível, esse código pode ser usado imediatamente para acionar a resposta correta, enquanto que na condição incompatível, esse código deve ser primeiro transformado em um código inverso para se iniciar a resposta correta. Assim, na condição incompatível, um passo adicional de processamento neural é necessário, gerando o efeito de compatibilidade espacial.

A hipótese da ativação automática de Kornblum e colaboradores (1990) propõe que a formação do código espacial do estímulo é seguida por dois processos independentes: processo de ativação e processo de confirmação. O processo de ativação é automático e aciona a resposta compatível caso não seja inibida pelo processo de confirmação. Essa inibição acontece na condição incompatível. Então, o efeito de compatibilidade espacial é devido à diferença entre facilitação e inibição de uma resposta ativada automaticamente. Entretanto, é importante ressaltar que o efeito de compatibilidade depende da relação espacial entre resposta e estímulo e não da posição da mão (Riggio et al, 1986).

Em relação ao efeito cruzamento, foi proposto inicialmente que o aumento dos tempos de reação na condição cruzada era devido a um conflito entre os códigos da posição relativa da mão e de seu lado anatômico (Anzola et al. 1977). Todavia, os resultados de Riggio et al. (1986) mostraram que o conflito, na verdade, ocorria entre os códigos do local de ação da mão e de seu lado anatômico.

No presente estudo, apontadores luminosos foram utilizados como ferramentas para indicar um local de ação. Estes apontadores permitiram uma clara distinção entre a posição da mão, o local da ação imediata da mão (a tecla) e o local para onde se projeta a ação da mão (local iluminado).

Ou seja, os resultados deste trabalho mostram que a mão na sua posição anatômica agindo sobre uma tecla localizada no mesmo lado pode produzir efeito cruzamento através da projeção de um feixe de luz no hemisfério contralateral. Isto demonstra que não é somente a relação entre a posição do estímulo e a posição da tecla de resposta que gera tempos de reação mais curtos ou mais longos. O local da ação em relação à posição da tecla, ou seja, o direcionamento dos feixes luminosos, também influencia na execução da tarefa.

Estudos anteriores (Hommel, 1993; De Jong et al., 1994) investigaram a dinâmica temporal da correspondência espacial entre o estímulo e a resposta em tarefas onde a

localização do estímulo era um atributo irrelevante para selecionar a resposta correta (tarefa de Simon). O efeito Simon é reduzido ou eliminado quando o TRM aumenta (Hommel, 1993; Wascher, 2005; Wascher, Verleger, Jaskowski & Wauschkuhn, 1996; Wiegand & Wascher, 2005). Este resultado pode ser explicado pelo modelo das Duas Rotas proposto por De Jong e colaboradores (1994) que afirma que as características do estímulo influenciam a performance de duas formas independentes. Primeiro, o estímulo pode acionar uma resposta automática ipsilateral através de uma rota automática e incondicional. Essa ativação é transiente e desaparece com o passar do tempo (De Jong et al., 1994). Segundo, existe uma rota condicional, baseada nas instruções da tarefa. Essa rota atribui um código espacial de resposta à característica relevante do estímulo (cor ou forma) através de um processo de translação. Como a ativação automática é fásica, seu efeito é máximo nos TRM curtos provocando uma diferença maior entre as condições não correspondente e correspondente (efeito Simon). Com TRM mais longos, o efeito da ativação automática diminui ou desaparece e a resposta baseia-se na rota condicional levando a uma redução do efeito Simon.

No presente estudo, empregamos a mesma ferramenta analítica, a análise distribucional (Ridderinkhof, 2002), para avaliar as características temporais da correspondência espacial estímulo–resposta numa tarefa onde a localização do estímulo é o atributo relevante para a seleção da resposta. Esse procedimento foi introduzido por Ratcliff em 1979 e empregado subsequentemente por De Jong e colaboradores (1994), para o estudo do efeito Simon.

Nossos resultados mostraram que os efeitos compatibilidade e cruzamento aumentam com os TRM mais longos. Por outro lado, os estudos empregando a tarefa de Simon mostraram que a amplitude do efeito Simon tende a diminuir com os TRM mais longos. É importante ressaltar que nos testes de compatibilidade espacial, a posição do estímulo é o parâmetro relevante para a seleção da resposta enquanto que na tarefa de Simon o mesmo é

irrelevante e uma característica não-espacial (cor ou forma) determinava a resposta. O aumento dos efeitos compatibilidade e cruzamento nos TRM mais longos é mais evidente no efeito cruzamento que no efeito compatibilidade. Isto mostra que respostas mais lentas provocam uma maior interferência do código da posição anatômica da mão sobre o código do local da intenção da ação (Matsumoto et al., 2004).

Concluindo, o emprego de apontadores luminosos permitiu demonstrar o efeito cruzamento observado previamente com o cruzamento das mãos, dos dedos ou de bastões (Anzola et al., 1977, Riggio et al., 1986) através de um sistema que dissocia claramente a posição da mão e o efeito da sua ação. Deste modo, é a projeção da ação para uma posição do espaço e não a posição da mão que é codificada pelos circuitos neurais envolvidos com a compatibilidade espacial. Além disso, a análise distribucional mostrou que o efeito cruzamento, ao contrário do efeito Simon, aumenta com TRM mais longos. Isto indica que uma variável irrelevante da resposta (relação lado da mão-lado da ação) gera uma inibição maior à medida que o componente voluntário da resposta se torna mais predominante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anzola, G. P., Bertoloni, G., Buchtel, H.A., & Rizzolatti, G. (1977). Spatial compatibility and anatomical factors in simple and choice reaction time. *Neuropsychologia*, 15, 295-302.

Byrne, R. W. (1995). *The Thinking Ape: The Evolutionary Origins of Intelligence*, (1ª ed.). New York: Oxford University Press.

Darwin, C. (1871/1981). *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*, (reimpressão da edição de 1871, J. Murray, Londres). Princeton: Princeton University Press.

De Jong, R., Liang, C.C., & Lauber, E. (1994). Conditional and un-conditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 20, 731-750.

Gawryszewski, L. G., Lameira, A. P., Ferreira, F. M., Guimarães-Silva, S., Conde, E., Pereira, A. (2006). A compatibilidade estímulo-resposta como modelo para o estudo do comportamento motor. *Psicologia USP*, 17, 103-121.

Hommel, B. (1993). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research*, 55, 280-290.

Iriki, A. (2005). A prototype of Homo faber: a silent precursor of human intelligence in the tool-using monkey brain. In S. Dehaene, J-R. Duhamel, M. D. Hauser, G. Rizzolatti. *From Monkey Brain to Human Brain* (pp. 253-271). Cambridge: MIT Press.

Iriki, A. (2006). The neural origins and implications of imitation, mirror neurons and tool use. *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 6, 660-667.

Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional Overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility – A model and taxonomy. *Psychological reviews*, 97,2, 253-270.

Lewin, R. (1993). *The Origin of Modern Humans*, (1^a ed.). New York: Scientific American Library.

Luria, A. R. (1992). *A construção da mente*, (1^a ed.). São Paulo: Ícone.

Maravita, A., & Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *Trends In Cognitive Sciences*, 8, 2, 79-86.

Matsumoto, E., Misaki, M., & Miyauchi S. (2004). Neural mechanisms of spatial stimulus–response compatibility: the effect of crossed-hand position. *Experimental Brain Research*, 158, 1, 9–17.

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 1, 97-113.

Ratcliff, R. (1979). Group reaction time distributions and a analysis of distribution statistics. *Psychological Bulletin*, 86, 3, 446-461.

Ridderinkhof, K. R. (2002). Activation and suppression in conflict tasks: Empirical clarification through distributional analyses. In W. Prinz & B. Hommel. *Common mechanisms in perception and action. Attention and performance.* (pp. 494-519). Oxford: Oxford University Press..

Riggio, L., Gawryszewski, L. G., & Umiltà, C. (1986). What is crossed in crossed hands effects? *Acta Psychologica*, 62 , 89-100.

Rubichi, S., Nicoletti, R., Pelosi, A., & Umiltà, C. (2004). Right-left prevalence effect with horizontal and vertical effectors. *Perception & Psychophysics*, 66, 2, 255-263.

Tsal, Y., & Lavie, N. (1993). Location Dominance in Attending to Color and Shape. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 131-139.

Umiltà, C., & Nicoletti, R. (1985). Attention and coding effects in S-R compatibility due to irrelevant spatial cues. In M.I. Posner & O.S.M Marin. *Attention and Performance XI* (pp. 457-471). Hillsdale: L. Erlbaum Associates

Umiltà, C., Nicoletti, R. (1990). Spatial stimulus-response compatibility. In R. W. Proctor & T. G. Reeve. *Stimulus response compatibility: An integrated perspective* (pp 89-116). Amsterdam: North-Holland.

Umiltà, C., & Nicoletti, R. (1992). An integrated model of the Simon effect. In J. Alegria, D. Holender, J. Junca de Moraes, & M. Radeau.. *Analytic approaches to human cognition* (pp. 331-350). Amsterdam: North-Holland.

Vu, K. L., & Proctor, R. (2001). Determinants of right-left and top-bottom prevalence for two-dimensional spatial compatibility. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 4, 813-828.

Vu, K. L., Proctor, R., & Pick, D. F. (2000). Vertical versus horizontal spatial compatibility: Right-left prevalence with bimanual responses. *Psychological Research*, 64, 25-40.

Vigotsky, L. S. (1984) *Formação social da mente*, (1ª ed.). São Paulo: Martins Fontes

Wallace, R. J. (1971). S - R compatibility and the idea of a response code. *Journal of Experimental Psychology*. 88, 354-360.

Wascher, E. (2005). The timing of stimulus localisation and the Simon effect: an ERP study. *Experimental Brain Research*. 163, 430-439.

Wascher E, Verleger R, Jaskowski P, Wauschkuhn B. (1996). Preparation for action: an ERP study about two tasks provoking variability in response speed. *Psychophysiology*, 33, 262-272.

Wiegand, K. & Wascher, E.(2005). Dynamic aspects of stimulus-response correspondence: evidence for two mechanisms involved in the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 453-464.

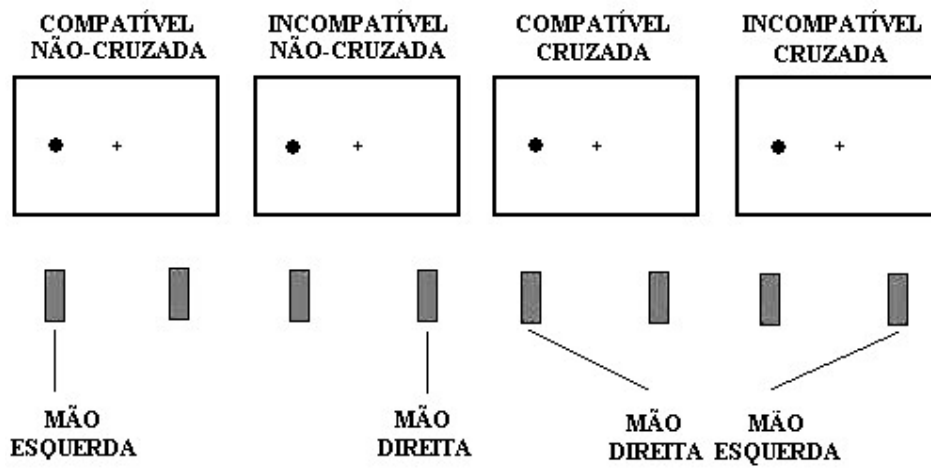


Figura 1: Esquema representando as quatro condições do experimento quando o estímulo ocorre à esquerda: Compatível não-cruzada, Incompatível não-cruzada, Compatível cruzada e Incompatível cruzada. Cada condição era testada em um bloco de testes e as mesmas condições existiam para um estímulo ocorrendo à direita.

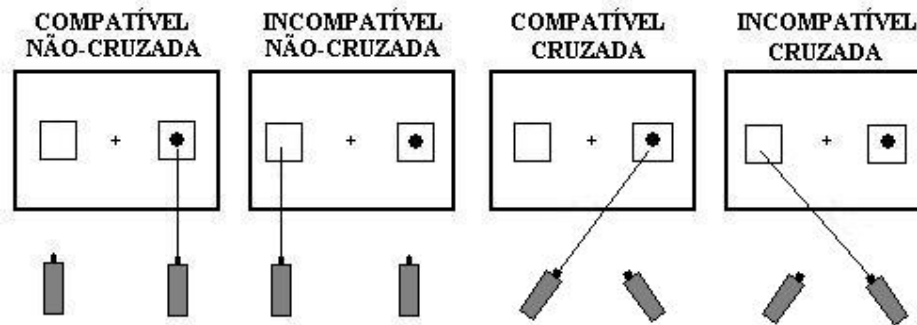


Figura 2: Esquema representando as quatro condições: Compatível não – cruzada, Incompatível não-cruzada, Compatível cruzada e Incompatível cruzada. Cada condição era testada em um bloco de testes e as mesmas condições existiam para um estímulo ocorrendo à esquerda.

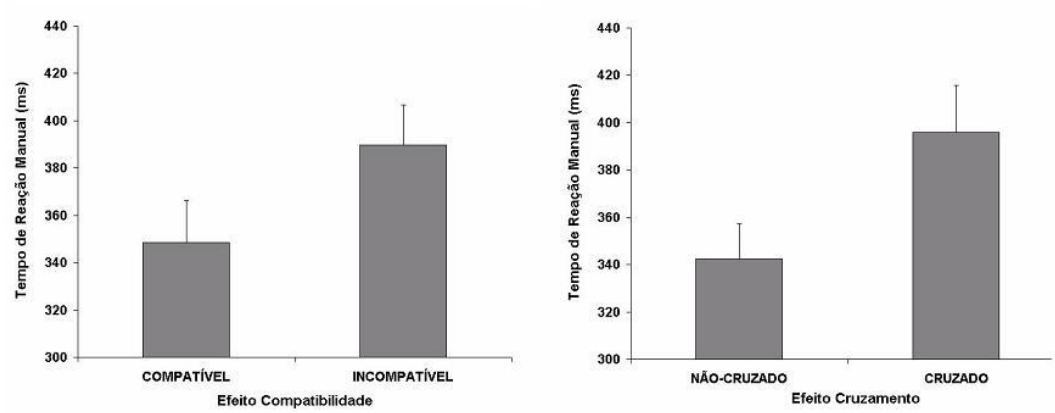


Figura 3: Influência dos efeitos Compatibilidade (ilustrado à esquerda) e Cruzamento sobre os TRM.

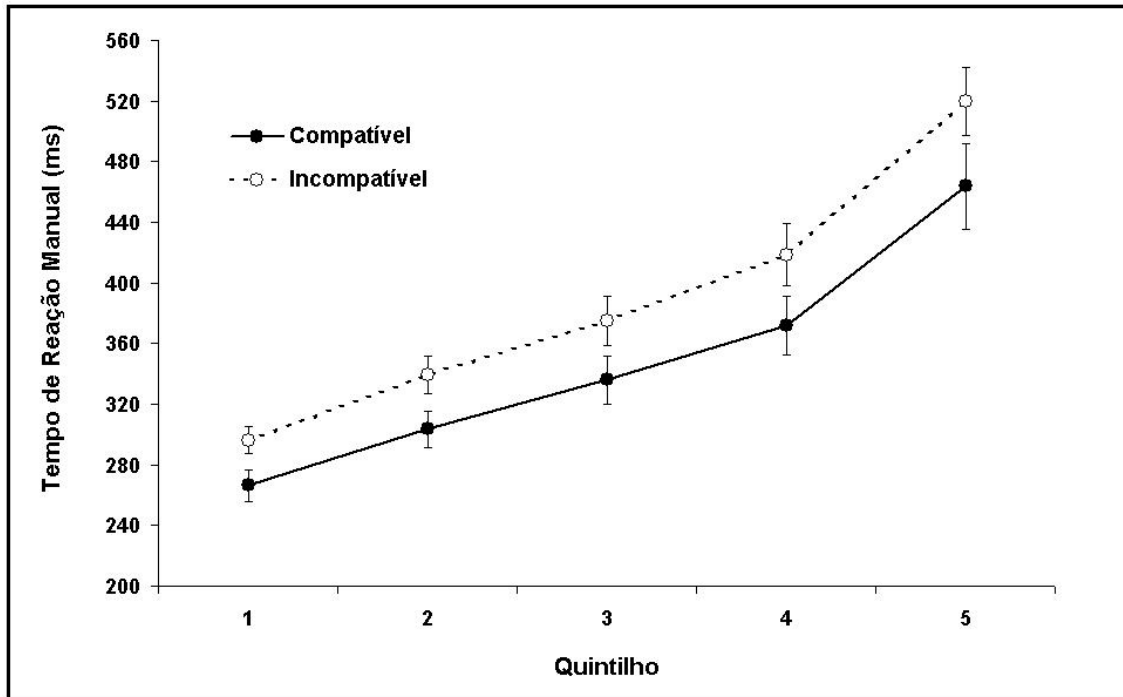


Figura 4: Variação dos TRMs nas condições compatíveis e incompatíveis para cada quintilho.

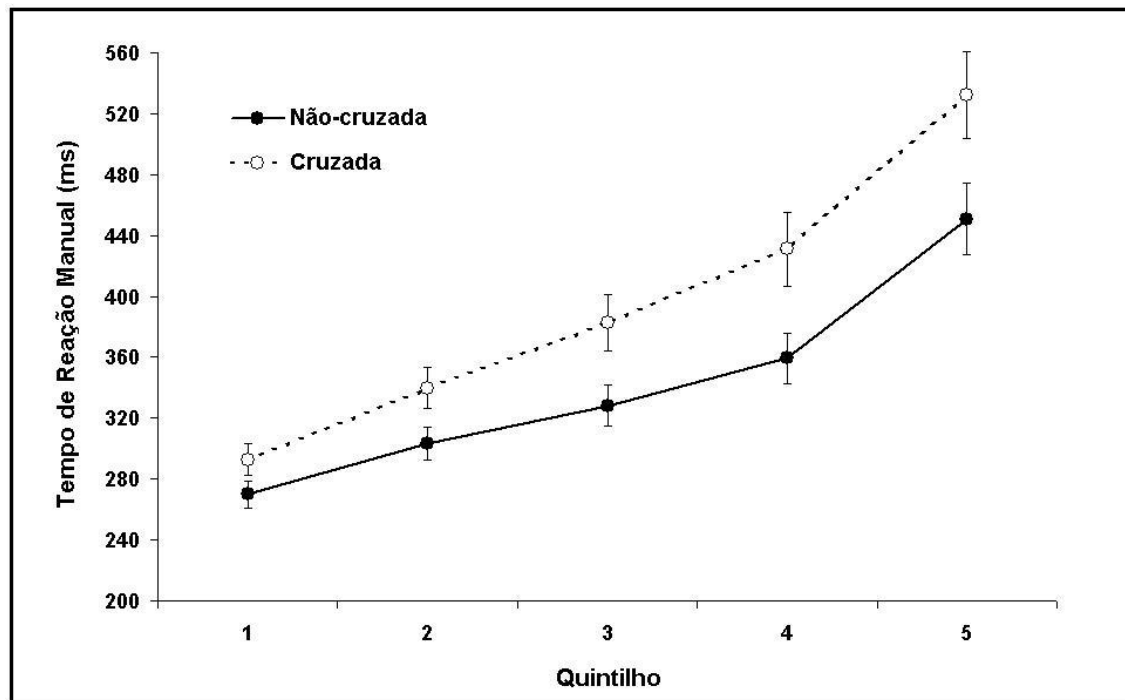


Figura 5: Variação dos TRMs nas condições não-cruzadas e cruzadas para cada quintilho.

Tabela 1: Média e EPM dos TRM (em ms) em cada quintilho para as condições compatíveis e incompatíveis e a diferença entre elas.

	Quartilho 1	Quartilho 2	Quartilho 3	Quartilho 4	Quartilho 5
Compatível	266±10,4	303±12,2	336±15,9	372±19,4	464±28,4
Incompatível	296±9,0	339±12,4	375±16,4	419±20,6	519±22,5
Diferença	30	36	39	47	55

Tabela 2: Média e EPM dos TRM (em ms) em cada quintilho para as condições não-cruzadas e cruzadas e a diferença entre elas.

	Quartilho 1	Quartilho 2	Quartilho 3	Quartilho 4	Quartilho 5
Não-cruzado	270±9,2	303±10,9	328±13,4	359±16,3	451±23,4
Cruzado	293±10,5	340±13,4	383±18,5	431±24,0	532±28,3
Diferença	23	37	54	72	81

3.2. Moreira-Aguiar, V.; **LAMEIRA, A.P.**; Conde, E.; Pereira Junior, A.; Umiltá, C.; Gawryszewski, L.G. Memória de longo prazo modulada pela memória de curto prazo. *Paideia (Ribeirao Preto)*, 2008 (*no prelo*).

Manuscrito 384/2008 “Memória a longo prazo modulada pela memória a curto prazo” –

**MEMÓRIA DE LONGO PRAZO MODULADA PELA MEMÓRIA DE CURTO
PRAZO**

Modulação da memória visuomotora

LONG TERM MEMORY MODULATED BY SHORT TERM MEMORY

**MEMORIA A LARGO PLAZO MODULADA POR LA MEMORIA A CORTO
PLAZO**

VIVIANE MOREIRA-AGUIAR - Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil

ALLAN PABLO LAMEIRA - Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil

ERICK QUINTAS CONDE - Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil

ANTÔNIO PEREIRA JR - Departamento de Fisiologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

Carlo A. **UMILTÀ** - Dipartimento di Psicologia, Università degli Studi di Padova, Itália

LUIZ G. GAWRYSZEWSKI - Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil

Autor Correspondente:**Endereço:** Luiz G Gawryszewski, Departamento de Neurobiologia-UFF, CAIXA

POSTAL 100180, Niteroi, RJ, 24001-970, BRAZIL

E-mail: gawryszewski.lg@pesquisador.cnpq.br (L. G. Gawryszewski)**Telefone:** 55-21-26292271**FAX:** 55-21-26292268**Agradecimentos:** Este trabalho contou com o apoio do CNPq, FAPERJ, CAPES, PIBIC-UFF/CNPq, PROPP-UFF.

RESUMO

Quando um estímulo ocorre aleatoriamente à esquerda ou à direita, a resposta é mais rápida quando estímulo e resposta estão no mesmo lado (condição compatível) do que em lados opostos (condição incompatível). Na tarefa de Simon, embora a resposta seja selecionada pela forma (ou cor) do estímulo, a posição deste influencia o Tempo de Reação Manual (TRM). O efeito Simon corresponde à diferença entre as médias dos TRMs nas duas condições (incompatível e compatível). Neste trabalho, estudamos como uma tarefa prévia de compatibilidade realizada com um dedo indicador modula o efeito Simon. Vinte e oito voluntários realizaram uma tarefa de compatibilidade (quatorze na compatível e quatorze na incompatível) seguida pela tarefa de Simon. No grupo compatível, encontramos um efeito Simon de 24ms. No incompatível, ocorreu um efeito Simon inverso de -16 ms. Estes resultados mostram uma modulação da memória de longo prazo por uma tarefa envolvendo a memória de curto prazo, apesar das respostas serem diferentes (com um indicador na tarefa de compatibilidade e com dois indicadores na tarefa de Simon)

Palavras-chave: Controle motor, Processos motores, Tempo de reação, Percepção espacial., Lateralidade.

ABSTRACT

Spatial compatibility depends on spatial correspondence between response and stimulus positions. Reaction time is faster in compatible condition than in incompatible condition. In the Simon task, color or shape determine the correct response but it is faster when there is correspondence between stimulus and response key positions. In this work, we studied the Simon effect modulation by a previous spatial compatibility task in which just one index finger press the keys. Twenty-eight volunteers run compatibility tasks (fourteen-compatible and fourteen-incompatible). After that, they performed a Simon task in which the correct response was selected by shape. In the compatible group, we found a Simon effect of 24 ms. In the incompatible group occurred an inverse Simon effect of -16 ms. These results show a long-term memory modulation by a short-term memory task even when different responses are executed (with one index finger for compatibility task and two index finger for Simon task).

Keywords: Motor control. Motor processes. Reaction time. Spatial perception. Lateral dominance.

RESUMEN

La compatibilidad espacial depende de la correspondencia espacial entre el estímulo y la respuesta. El tiempo de respuesta es más rápido en las condiciones compatibles que en las incompatibles. En la prueba de Simon, el color o la forma del estímulo determina la respuesta, pero éste es más rápido cuando hay una correlación espacial entre el estímulo y la respuesta. En este trabajo, estudiamos la modulación del efecto Simon por la tarea de la compatibilidad espacial en la cual uno dedo índice respondió. Veintiocho voluntarios realizaron la prueba de compatibilidad (catorce, la compatible y catorce, la incompatible). Después el voluntario realizó la prueba de Simon. Nel grupo compatible, encontramos efecto de Simon de 21ms. Sin embargo, en el grupo incompatibles, ocurrió un efecto de Simon inverso de -16ms. Estos resultados demuestran una modulación de la memoria a largo plazo por la tarea de compatibilidad mismo cuando se ejecutan respuestas diversas (con el dedo índice para la prueba de compatibilidad y dos dedos índices para la prueba de Simon).

Palabras-clave: Efecto Simon, Compatibilidad espacial, Memoria de largo plazo, Memoria a corto plazo, Tiempo de reacción.

A Compatibilidade Estímulo-Resposta refere-se ao efeito da correspondência entre as características do estímulo e as características da resposta que influenciam (facilitando ou inibindo) o Tempo de Reação Manual (TRM) e a acurácia com que uma tarefa é executada (Umiltà & Nicoletti, 1990). Ou seja, a presença de uma determinada característica do estímulo pode fazer com que os participantes tenham uma forte tendência em selecionar uma resposta particular em vez de outra. Por exemplo, um estímulo aparecendo à esquerda induz à seleção da tecla esquerda para a resposta. Assim, a interação entre estímulo e resposta que produz latências menores e baixas taxas de erro é considerada mais compatível do que a interação que produz latências maiores e altas taxas de erro, que é considerada incompatível.

Existem diferentes tipos de testes que foram empregados para estudar a questão da Compatibilidade Estímulo-Resposta. Foram estudados, entre outros fatores: o tipo e localização dos estímulos, o tipo e localização da resposta e a instrução relevante à execução do teste. Em determinados testes, a característica relevante para a execução da resposta é o local onde aparece o estímulo. Em outros testes, a característica relevante para a seleção da resposta depende de propriedades intrínsecas ao estímulo (forma ou cor). Para tanto, consultar a revisão de Gawryszewski e cols. (2006).

Efeitos da compatibilidade espacial

Nos testes de Compatibilidade Espacial, a resposta é selecionada pela localização do estímulo (Anzola, Bertoloni, Buchtel & Rizzolatti, 1977). A característica importante que produz esse fenômeno de compatibilidade é a correspondência espacial entre a localização dos estímulos e a posição das teclas de resposta. As localizações são codificadas e o código da posição do estímulo é comparado com o código da posição da tecla de resposta influenciando a latência e a acurácia da resposta do sujeito. Desta forma, latências menores e baixas taxas de

erro são geradas quando esses códigos são iguais (condição compatível) e latências maiores e altas taxas de erro ocorrem quando os códigos são diferentes (condição incompatível). Ou seja, quando o voluntário deve pressionar a tecla esquerda quando um estímulo ocorre no campo esquerdo, a resposta é mais rápida do que quando ele deve pressionar a tecla direita quando um estímulo ocorre no campo esquerdo e vice-versa para o campo direito. Esta diferença entre as condições compatível e incompatível é atribuída a circuitos neurais envolvendo memória de longo prazo (Tagliabue, Zorzi, Umiltà & Bassignani, 2000).

O efeito Simon

Na tarefa de Simon, a dimensão relevante para a seleção da resposta é uma característica intrínseca do estímulo (cor ou forma) e não o local onde ele aparece (Umiltà & Nicoletti, 1990, 1992). Nestes testes, o voluntário deve pressionar, por exemplo, a tecla esquerda toda vez que um estímulo vermelho aparecer e a tecla direita quando um estímulo verde aparecer. A posição do estímulo é irrelevante para a escolha da tecla de resposta (Umiltà & Nicoletti, 1990, 1992) mas a sua posição influencia no tempo de reação (ver revisão em Gawryszewski et al, 2006). Ou seja, as respostas são mais rápidas quando o estímulo vermelho aparecer no campo esquerdo (que corresponde ao lado da tecla de resposta) do que quando aparece no campo direito (lado oposto ao da tecla de resposta) e vice-versa para um estímulo verde. O efeito Simon baseia-se na diferença entre os Tempos de Reação Manual na condição em que estímulo e tecla de resposta não-correspondem espacialmente (TRM maior) em comparação à condição em que eles se correspondem espacialmente (TRM menor, veja Umiltà & Nicoletti, 1990; Lu & Proctor, 1995; Hommel, 1993).

A diferença entre o teste de compatibilidade espacial e o teste de Simon consiste no componente relevante para realização da tarefa: posição do estímulo versus característica do

estímulo. No que diz respeito às semelhanças, em ambos os testes, o efeito se baseia em uma diferença entre os TRMs na condição em que existe uma correspondência espacial entre o estímulo e a tecla de resposta e os TRMs na condição em que não existe essa correspondência. Considera-se que esta diferença entre as condições correspondente e não-correspondente pode ser atribuída a circuitos neurais envolvendo memória de longo prazo (Tagliabue e cols, 2000).

Memória a curto e a longo prazo

Existem sistemas mnemônicos distintos com características peculiares para as inúmeras funções mentais (Bear, Connors & Paradiso, 2002, Verceze, Marques & Galera, 2006, Helene & Xavier, 2007). Desta forma, existem sistemas diferentes para o armazenamento de fatos e eventos (memória declarativa) e para o armazenamento dos aspectos que não podem ser declarados (memória não-declarativa), tais como as habilidades e hábitos motores (memória de procedimentos), para as respostas emocionais (memória emocional) e até para alguns processos fisiológicos (como a memória imunológica).

Quando se fala no armazenamento de informações, sabemos que tal retenção pode se prolongar por um longo período de tempo (memória de longo prazo) ou perdurar apenas durante a execução de determinada tarefa (memória de curto prazo) (Bear, Connors & Paradiso, 2002, Helene & Xavier, 2007).

Modulação da memória de longo prazo (efeito Simon) pela memória de curto prazo (Compatibilidade Espacial)

Segundo Tagliabue e cols (2000), a organização do sistema nervoso e do sistema osteo-articular, fruto da seleção natural, facilita a realização de alguns movimentos em comparação a outros. Por exemplo, existe uma tendência para utilizarmos a mão direita para alcançar um objeto localizado à direita do corpo e a mão esquerda para alcançar um objeto

localizado à esquerda. Esta tendência deriva de fatores inatos que são reforçados durante o desenvolvimento. De acordo com as idéias de Tagliabue e cols, nas condições de correspondência colocamos em prática algo que já estamos habituados a fazer: agir em direção aos estímulos com os efetores correspondentes. Ou seja, de forma natural costumamos atuar nas demandas situadas à direita, no nosso ambiente externo, com algum membro (braço ou perna) direito, pois assim é mais fácil e assim fomos acostumados a fazer desde que nascemos, pois isto garante uma eficácia maior. Portanto, consolidamos em nossa memória de procedimentos, as associações de longo prazo para as habilidades motoras de resposta com efetores correspondentes através das informações e práticas das tarefas simples do dia a dia, como, por exemplo, utilizar talheres em uma refeição. Por outro lado, nas condições não correspondentes, realizamos uma tarefa que não estamos acostumados (responder com o efector contralateral) e para respondermos corretamente se torna necessária a constituição de associações de memórias de curto prazo não declarativas.

Tagliabue e cols (2000) estudaram a interação entre as associações mnemônicas de curto e longo prazo. Para isto, estudaram o efeito de um teste (compatibilidade espacial), no qual a posição do estímulo é a variável relevante para a seleção da resposta, sobre outro teste (tarefa de Simon), em que a posição do estímulo é irrelevante para a seleção da resposta, a qual é determinada por outra característica do estímulo (forma ou cor). Mais especificamente, Tagliabue e cols realizaram uma série de experimentos onde os participantes realizavam inicialmente o teste de compatibilidade espacial e a seguir, a tarefa de Simon. No teste de Simon, a resposta para um estímulo ocorrendo na posição correspondente é mais rápida do que para um estímulo ocorrendo na posição não correspondente. Seu objetivo principal foi averiguar se as associações de memória de curto prazo necessárias para a realização de uma tarefa de compatibilidade espacial na condição incompatível (tarefa de não correspondência) afetariam o desempenho nos testes correspondentes e não-correspondentes (os quais se

baseiam em informações já consolidadas) em uma tarefa de Simon. Ou seja, o desaparecimento ou a inversão de efeito Simon indicaria um efeito do teste prévio de compatibilidade espacial provocando respostas mais lentas nos testes correspondentes e/ou respostas mais rápidas nos testes não-correspondentes. Assim, os voluntários nos experimentos de Tagliabue e cols foram divididos em 2 grupos: um grupo de participantes fazia um teste de compatibilidade espacial (na condição compatível) e, a seguir, uma tarefa de Simon e outro grupo realizava um teste de compatibilidade espacial (na condição incompatível) para depois serem submetidos ao teste de Simon. O primeiro experimento foi realizado com crianças e, como resultado, o grupo de crianças que praticou o teste incompatível obteve um efeito Simon reverso, ou seja, tais crianças foram mais rápidas quando não existiu correspondência entre o estímulo e a tecla de resposta, fato que não ocorreu com as crianças que tiveram como prática prévia o teste compatível.

Obedecendo ao mesmo padrão, o segundo experimento também teve como tarefa inicial o teste de compatibilidade e 24 horas depois foi realizado o teste de Simon, com a única diferença de ser realizada com adultos. Os dados do segundo experimento demonstraram que os adultos também estão sujeitos a uma alteração do efeito de correspondência através de treino prévio em uma sessão não correspondente (incompatível). Contudo, o experimento 2 não resultou em um efeito reverso como aconteceu no experimento 1. Segundo Tagliabue e cols (2000), provavelmente essa diferença se deve ao fato dos adultos terem as associações de longo prazo mais consolidadas do que nas crianças. Assim, a prática incompatível foi suficiente para eliminar o efeito de correspondência no teste de Simon, mas não para reverter o fenômeno.

Resultados parecidos foram encontrados quando Tagliabue e cols (2000) testaram, em adultos, o efeito Simon logo após o teste de compatibilidade espacial (sem intervalo entre as práticas) e também quando o intervalo entre os dois testes foi de sete dias. Em todos os

experimentos, o grupo que teve como prática prévia as sessões compatíveis demonstrou o efeito Simon, enquanto que o grupo que realizou testes incompatíveis não teve o efeito de correspondência, que é a base do efeito Simon.

Os resultados de Tagliabue e cols (2000) obtidos em crianças e em adultos mostram que o Efeito Simon pode ser anulado ou invertido se a pessoa realiza testes incompatíveis previamente ao teste Simon, mostrando que associações de curto prazo, geradas pelos pareamentos incompatíveis modulam padrões de conexões estímulo-resposta baseados na memória de longo prazo.

Objetivos deste trabalho

Nos experimentos descritos acima, a localização dos estímulos e a localização das teclas de resposta eram as mesmas nas duas tarefas (compatibilidade espacial e efeito Simon). Ou seja, as regiões cerebrais que eram ativadas pelos estímulos visuais e as regiões motoras que comandavam as respostas eram as mesmas nas duas tarefas, mas podiam estar localizadas no mesmo ou em hemisférios opostos.

Neste experimento, empregamos respostas unimanuais para a realização do teste prévio de compatibilidade e respostas bimanuais para as tarefas de compatibilidade espacial. Este desenho experimental permite verificar se existe transferência do efeito do teste de compatibilidade espacial sobre a tarefa de Simon numa condição em que as respostas são mediadas por diferentes circuitos cerebrais.

MÉTODO

Participantes

Participaram desse experimento, 28 voluntários (8 mulheres e 20 homens). Todos os participantes tinham acuidade visual normal ou corrigida com lentes de contato. Os

participantes eram destros, segundo o inventário de Edinburgh (Oldfield, 1971), compreendendo a faixa etária de 18 a 26 anos. Os participantes não faziam uso regular de medicamentos e não conheciam o propósito do experimento.

Delineamento experimental e instrumentos

Os testes foram realizados em uma sala com atenuação sonora e luminosidade controlada. Um microcomputador IBM PC 486 apresentava os estímulos num monitor de 20 polegadas e media os tempos de reação. Os/as voluntários/as apoiavam a cabeça em um apoiador de frente e mento de modo a existir uma distância aproximada de 57 cm entre os olhos e a tela do monitor e eram orientados a fixar o olhar em um ponto central (ponto de fixação - PF) durante todo o teste. Além disso, deviam responder a estímulos periféricos que surgiam 9° à direita ou à esquerda do PF pressionando teclas localizadas à direita ou à esquerda da linha média. A fixação do voluntário era registrada através de um sistema que utiliza emissor e detectores de raios infra-vermelhos (Eye Track System - Modelo 210-Applied Science Laboratories). Realizamos a medida dos Tempos de Reação Manual (TRM) para os estímulos periféricos e utilizamos as seguintes variáveis independentes para a análise dos TRM, campo (hemicampo esquerdo e hemicampo direito) e correspondência (correspondente e não-correspondente). Na condição correspondente o estímulo era apresentado no mesmo lado da tecla de resposta. Na condição não-correspondente, o estímulo e a tecla de resposta estavam em lados opostos.

Procedimentos

Este experimento compreendeu dois testes diferentes. No primeiro, foi realizada a tarefa de compatibilidade espacial onde estímulos idênticos com formato circular (de 0,5° de diâmetro) apareciam aleatoriamente à esquerda ou à direita do ponto de fixação. As respostas

eram realizadas pressionando-se uma de duas teclas localizadas próximas (3 cm) à linha média com um único indicador (Figura 1).

A tarefa de Simon realizada subsequentemente apresentava dois tipos de estímulos: um quadrado e um círculo (1° de lado e de 1° diâmetro, respectivamente), alinhados horizontalmente. Estes estímulos apareciam aleatoriamente à esquerda ou à direita do ponto de fixação. As respostas eram realizadas pressionando-se uma de duas teclas localizadas 16 cm à esquerda ou à direita da linha média.

Em ambos os testes, esteve presente um ponto de fixação no centro da tela. A distância do ponto de fixação para o estímulo era de 9,0°. Tanto o estímulo quanto o ponto de fixação eram negros sobre uma tela de fundo cinza.

Os participantes realizaram, em um único dia, duas baterias de testes, iniciando com a tarefa de compatibilidade espacial e praticando, logo a seguir, a tarefa de Simon. Em cada tipo de tarefa foram realizados 160 testes, com um intervalo para descanso no meio da sessão. A duração total de cada tarefa (160 testes) foi de aproximadamente 10 minutos. O programa repetia os erros, as antecipações e as respostas lentas no final de cada bloco.

Os voluntários foram divididos em 2 grupos. Num grupo, no teste prévio de compatibilidade espacial, o voluntário respondia pressionando a tecla localizada no mesmo lado do estímulo (Grupo Comp - condição compatível) e no outro grupo, pressionava a tecla localizada no lado oposto ao do estímulo (Grupo Inc - condição incompatível) (Figura 1). Além disso, a metade dos voluntários realizou o teste de compatibilidade empregando o dedo indicador esquerdo e a outra metade, o dedo indicador direito.

Na tarefa de compatibilidade espacial, dois segundos se passavam do início de cada teste até o aparecimento do estímulo (à esquerda ou à direita), que ficava na tela até a resposta do sujeito. Logo a seguir, um feedback visual informando o tempo de reação ou mensagens de erro aparecia na tela com a duração de 500 ms.

INSERIR FIGURA 1

Os participantes, nesta tarefa, foram divididos em dois grupos, com práticas distintas. O grupo Comp realizou o teste compatível, ou seja, eles deveriam responder com a tecla esquerda quando o estímulo aparecia à esquerda e com a direita quando o estímulo aparecia à direita. O grupo Inc praticou testes incompatíveis, respondendo com a tecla esquerda para estímulos aparecendo à direita e com a tecla direita para estímulos aparecendo à esquerda.

Durante a sessão de compatibilidade espacial, o sujeito era instruído a: I) manter o olhar no ponto de fixação durante todo o teste; II) responder, usando um dedo indicador, o mais rápido possível ao aparecimento do estímulo-alvo com as teclas localizadas próximas à linha média; III) após a resposta manual, piscar os olhos e/ou mover os olhos para evitar o ressecamento das córneas.

Após o término da tarefa de compatibilidade espacial, ambos os grupos realizaram a tarefa de Simon, que teve como instruções: I) manter o olhar no ponto de fixação durante todo o teste; II) responder usando os indicadores para pressionar a tecla correspondente o mais rápido possível após o aparecimento do estímulo-alvo; III) após a resposta manual, piscar os olhos e/ou mover os olhos para evitar o ressecamento das córneas.

INSERIR FIGURA 2

Análise Estatística

Os Tempos de Reação corretos dos voluntários de cada grupo (Comp e Inc) foram analisados separadamente para avaliar a presença do efeito Simon. Empregamos uma Análise de Variância dos TRM obtidos na tarefa de Simon usando os fatores Campo e Correspondência. Na condição correspondente, o lado do estímulo é o mesmo da tecla de

resposta e na condição não-correspondente, o lado do estímulo é oposto ao da tecla de resposta. O efeito Simon é calculado subtraindo-se o TRM obtido na condição correspondente do TRM obtido na condição não-correspondente.

RESULTADOS

O grupo que realizou a tarefa compatível previamente ao teste de Simon (Grupo Comp) mostrou um efeito significativo do fator Correspondência ($F(1,13)= 8,83, p = 0,01$). O fator Campo e a interação entre Campo e Correspondência não foram significativos ($p > 0,05$). O TRM na condição correspondente ($479 \text{ ms} \pm 10,72$) foi 21 ms menor do que o TRM na condição não-correspondente ($500 \text{ ms} \pm 8,51$). Ou seja, ocorreu um efeito Simon de 21 ms.

O grupo que realizou a tarefa incompatível previamente ao teste de Simon (Grupo Inc) mostrou que o fator Campo influenciava significativamente o TRM ($p < 0,02$). O TRM para um estímulo ocorrendo à esquerda ($484 \text{ ms} \pm 10,98$) foi maior que o TRM a um estímulo ocorrendo à direita ($473 \text{ ms} \pm 9,25$). Além disso, ocorreu um efeito significativo do fator correspondência ($F(1,13) = 6,60, p = 0,02$). O TRM na condição correspondente ($486 \text{ ms} \pm 11,38$) foi 16 ms maior do que o TRM na condição não-correspondente ($470 \text{ ms} \pm 8,62$), ou seja, ocorreu um efeito Simon inverso de 16 ms.

Baseado nestes resultados, pode-se concluir que a execução prévia de uma tarefa de compatibilidade usando só um dedo indicador provocou uma inversão do efeito Simon quando esta tarefa era incompatível.

INSERIR FIGURA 3

DISCUSSÃO

Nas tarefas de compatibilidade estímulo-resposta, observa-se nos tempos de reação um efeito baseado na correspondência ou na não-correspondência entre as propriedades do estímulo e as propriedades da resposta (Umiltà & Nicoletti, 1990, 1992). Assim, determinadas características do estímulo podem facilitar uma resposta e/ou inibir outra. Esse fenômeno é chamado de Compatibilidade Estímulo-Resposta. Na tarefa de Compatibilidade Espacial, o aspecto relevante para a seleção da resposta é a localização do estímulo. O voluntário recebe a instrução de responder com a tecla cuja posição corresponde espacialmente à posição do estímulo (condição compatível) ou com a tecla oposta à posição do estímulo (condição incompatível). Por outro lado, na tarefa de Simon, o aspecto relevante para a seleção da resposta é uma característica não espacial do estímulo (forma ou cor), não importando para a seleção da resposta o local onde o estímulo aparece. Todavia, no decorrer do teste, algumas vezes o estímulo ocorrerá no mesmo lado da tecla de resposta (condição correspondente) e em outros testes, ocorrerá no lado oposto ao da tecla de resposta (condição não-correspondente). Encontrou-se que os tempos de reação obtidos na condição não-correspondente são mais lentos dos que os obtidos condição correspondente e esta diferença foi denominada efeito Simon (Umiltà & Nicoletti, 1985, 1990).

Em ambas as tarefas (compatibilidade espacial e efeito Simon), a condição na qual existe uma correspondência entre a posição do estímulo e a posição da tecla de resposta provoca tempo de reação menor do que a condição onde esta correspondência não existe. Para ambas as tarefas, considera-se que este efeito depende da memória a longo prazo. Poder-se-ia, então, indagar se testes envolvendo condições opostas às já estabelecidas (testes mediados pela memória a curto prazo) poderiam modificar as propriedades presentes na memória a longo prazo.

Neste trabalho, utilizamos um procedimento experimental semelhante ao experimento quatro de Tagliabue e cols. (2000) para investigar esta modulação do efeito Simon por um

teste prévio de compatibilidade espacial. Ao contrário dos experimentos realizados anteriormente, o arranjo experimental para a realização do teste de compatibilidade espacial foi diferente do arranjo empregado na tarefa de Simon. No teste de compatibilidade espacial, o voluntário usava somente um dedo indicador para pressionar teclas localizadas próxima à linha média. Num grupo, o voluntário respondia pressionando a tecla localizada no mesmo lado do estímulo (condição compatível) e no outro grupo, pressionava a tecla localizada no lado oposto ao do estímulo (condição incompatível). No teste de Simon, a resposta era realizada usando-se os dedos indicadores esquerdo e direito que pressionavam teclas localizadas no lado esquerdo ou direito. Observamos que quando a tarefa era compatível existia efeito Simon. Todavia, este efeito não estava presente quando a tarefa prévia era do tipo incompatível. Desta forma, comprovamos que a modulação do efeito Simon por uma tarefa prévia de compatibilidade espacial não depende de que os arranjos experimentais nas tarefas de compatibilidade espacial e de Simon sejam idênticos. Assim, é a relação entre as posições (esquerda ou direita) dos estímulos e das teclas de resposta que é codificada e memorizada durante a tarefa de compatibilidade espacial, influenciando posteriormente a relação estímulo-resposta na tarefa de Simon. Os nossos resultados mostram que este efeito não depende do tipo de resposta empregado em cada tarefa e complementam os achados recentes no nosso laboratório (Conde, 2007) e por Vu (2007) que mostraram que também existe uma transferência do efeito da compatibilidade espacial sobre o efeito Simon quando os testes são realizados em dimensões diferentes, por exemplo, tarefa de compatibilidade no eixo horizontal e tarefa de Simon no eixo vertical ou vice-versa.

Concluindo, neste trabalho mostramos que mesmo realizando a tarefa de compatibilidade espacial onde a resposta era executada utilizando apenas um efector (unimanual), o efeito Simon da tarefa subsequente, que era executada de modo bimanual, foi modulado. Assim, o presente trabalho complementa trabalhos anteriores (Conde e cols., 2007;

Tagliabue e cols., 2000; Vu, 2007) mostrando que as associações de curto prazo criadas através dos pareamentos incompatíveis (no teste de compatibilidade espacial) foram capazes de alterar as associações de longo prazo que geram o efeito Simon independente do arranjo experimental das tarefas.

REFERÊNCIAS

- Anzola, G. P., Bertoloni, G., Buchtel, H. A., & Rizzolatti, G. (1977). Spatial compatibility and anatomical factors in simple and choice reaction time. *Neuropsychologia*, 15(2), 295-382.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2002). *Neurociências: desvendando o sistema nervoso* (2a ed.). Porto Alegre, RS: Artmed.
- Conde, E.Q. (2007). *Modulação do efeito Simon vertical e horizontal através de associações da memória visuomotora*. Dissertação de Mestrado não-publicada, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. <http://www.uff.br/neuroimuno/teseErick.pdf>
- Gawryszewski, L. G., Lameira, A. P., Ferreira, F. M., Guimarães-Silva, S., Conde, E.Q., & Pereira Jr, A. (2006). A compatibilidade estímulo-resposta como modelo para o estudo do comportamento motor. *Revista Psicologia USP*, 17(4), 103-121.
- Helene, A. F., & Xavier, G. F. (2007). Memória e (a Elaboração da) Percepção, Imaginação, Inconsciente e Consciência. In J. Landeira-Fernandez & M. T. A. Silva (Orgs.). *Intersecções entre Psicologia e Neurociências* (pp. 103-148). Rio de Janeiro: MedBook.

- Hommel, B. (1993). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 55(3), 280-290.
- Lu, C. H., & Proctor, R.W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and Spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(2),174-207.
- Tagliabue, M., Zorzi, M., Umiltá, C., & Bassignani, F. (2000) The role of long-term-memory and short-term-memory in the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, 26(2), 648-670.
- Umiltá, C., & Nicoletti, R. (1985). Attention and coding effects in S-R compatibility due to irrelevant spatial cues. In M. Posner & O. S. M. Marin (Orgs.), *Attention and performance XI* (pp. 456-471). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Umiltá, C., & Nicoletti, R. (1990). Spatial stimulus – response compatibility. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Org.), *Stimulus-response compatibility: an integrated perspective* (pp. 89-116). Amsterdam: North-Holland.
- Umiltà, C., & Nicoletti, R. (1992). An integrated model of the Simon effect. In J. Alegria, D. Holender, J. Junca de Morais & M. Radeau (Orgs.), *Analytic approaches to human cognition* (pp. 331-350). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Verzeze, N. C. A., Marques, S. L., & Galera, C. (2006). A natureza da representação de cenas visuais: Evidências baseadas no efeito de tarefas intervenientes na codificação das distâncias entre objetos. *Paidéia. Cadernos de Psicologia e Educação*, 16 (34), 215-223.

Vu, K. P. L. (2007). Influences on the Simon effect of prior practice with spatially incompatible mappings: Transfer within and between horizontal and vertical dimensions. *Memory & Cognition*, 35(6), 1463-1471.

LEGENDAS DAS FIGURAS

FIGURA 1. A- Arranjo experimental das teclas de resposta no teste de compatibilidade espacial. B- Esquema mostrando a posição do dedo indicador quando após o aparecimento do estímulo à direita, o dedo pressiona a tecla direita (condição compatível) ou a tecla esquerda (condição incompatível).

FIGURA 2. Esquema da tarefa de Simon, onde solicita-se ao sujeito que pressione determinada tecla (esquerda ou direita) quando um determinado estímulo (círculo ou quadrado, respectivamente) aparecer, independentemente da sua localização. A) Condição correspondente: o estímulo aparece no campo que corresponde espacialmente à tecla de resposta. B) Condição não-correspondente: o estímulo e tecla de resposta encontram-se em lados opostos. (As dimensões não estão em escala.)

FIGURA 3. Influência do teste prévio de compatibilidade espacial sobre o efeito Simon. No Grupo Compatível, o Tempo de Reação Manual na condição Correspondente foi menor do que na condição Não-correspondente (efeito Simon de 21 ms). No Incompatível, ocorreu o inverso (efeito Simon de -16 ms).

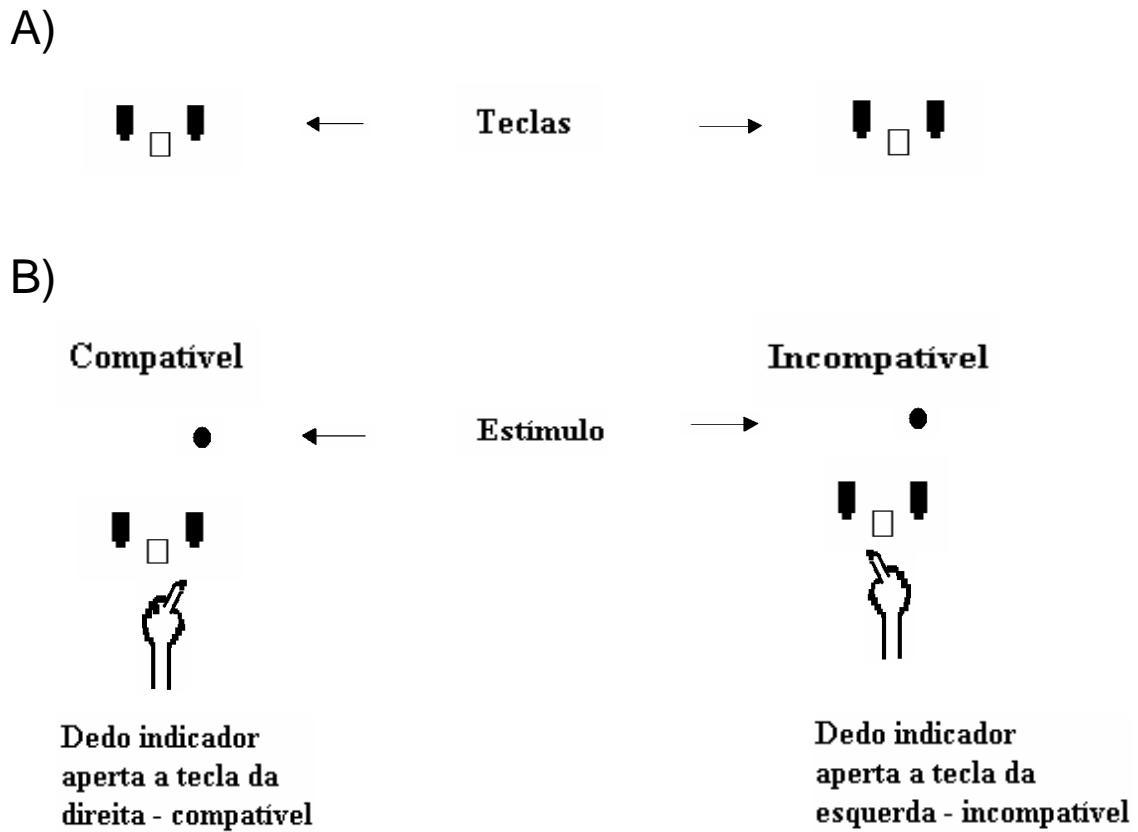


FIGURA 1. A- Arranjo experimental das teclas de resposta no teste de compatibilidade espacial. B- Esquema mostrando a posição do dedo indicador quando após o aparecimento do estímulo à direita, o dedo pressiona a tecla direita (condição compatível) ou a tecla esquerda (condição incompatível).

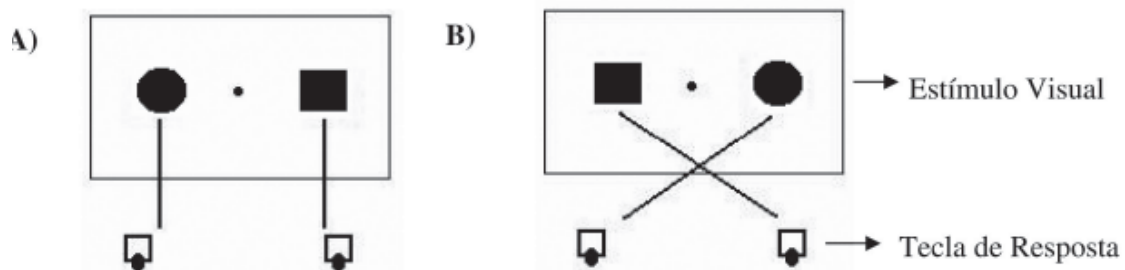


FIGURA 2. Esquema da tarefa de Simon, onde solicita-se ao sujeito que pressione determinada tecla (esquerda ou direita) quando um determinado estímulo (círculo ou quadrado, respectivamente) aparecer, independentemente da sua localização. A) Condição correspondente: o estímulo aparece no campo que corresponde espacialmente à tecla de resposta. B) Condição não-correspondente: o estímulo e tecla de resposta encontram-se em lados opostos. (As dimensões não estão em escala.)

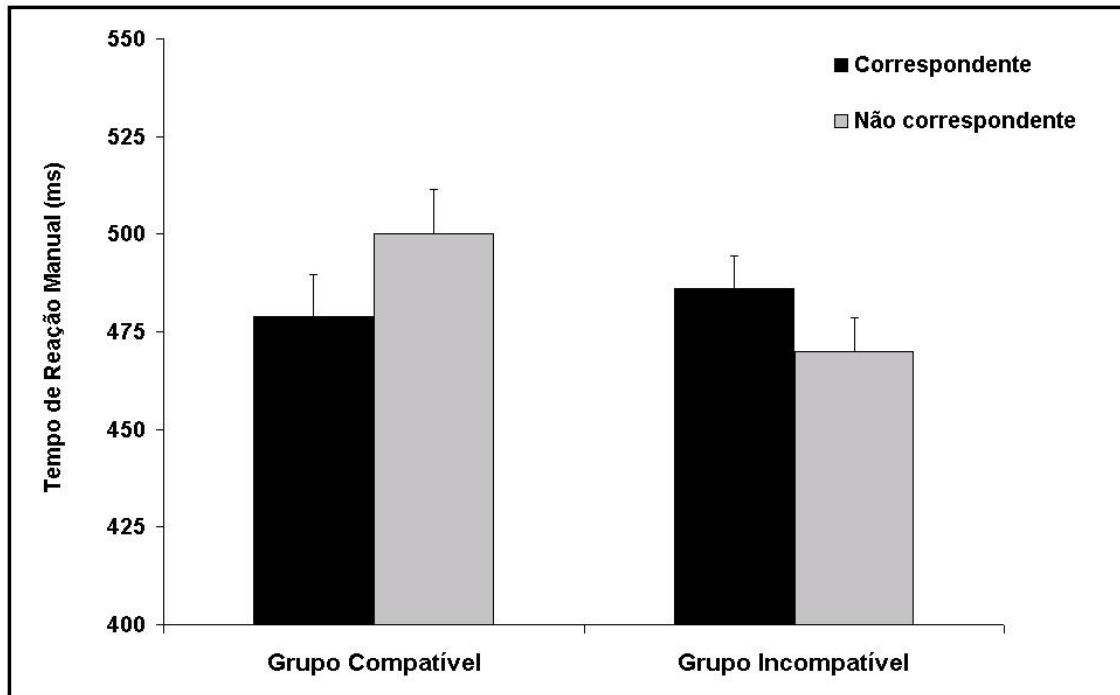


FIGURA 3. Influência do teste prévio de compatibilidade espacial sobre o efeito Simon. No Grupo Compatível, o Tempo de Reação Manual na condição Correspondente foi menor do que na condição Não-correspondente (efeito Simon de 21 ms). No Incompatível, ocorreu o inverso (efeito Simon de -16 ms).

3.3. LAMEIRA, A.P.; Guimarães Silva, S.; Ferreira, F.M.; Lima, L.V.; Pereira Junior, A.; Gawryszewski, L.G. Postura da mão e imagética motora: um estudo sobre reconhecimento de partes do corpo. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 2008. (aceito para publicação no volume 12, número 5).

Postura da mão e imagética motora: um estudo sobre reconhecimento de partes do corpo

Hand posture and motor imagery: a body-part recognition study

Título curto

Postura e imagética motora

Posture and motor imagery

Lameira AP¹, Guimarães-Silva S¹, Ferreira FM¹, Lima LV¹, Pereira Jr A², Gawryszewski LG¹

¹ Programa de Neuroimunologia, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói (RJ), Brasil

² Departamento de Fisiologia, Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém (PA), Brasil

Correspondência para: Allan Pablo Lameira, Programa de Neuroimunologia, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense, CEP 24001-970, Caixa Postal 100180, Niterói (RJ), Brasil, e-mail: allanlameira@yahoo.com.br

Resumo

Objetivos: Assim como a imagética motora, o reconhecimento de partes do corpo aciona representações somatosensoriais específicas. Essas representações são ativadas implicitamente para comparar o corpo com o estímulo. No presente estudo, investigou-se a influência da informação proprioceptiva da postura no reconhecimento de partes do corpo (mãos) e propõe-se a utilização dessa tarefa na reabilitação de pacientes neurológicos.

Métodos: Dez voluntários destros participaram do experimento. A tarefa era reconhecer a lateralidade de figuras da mão apresentada, em várias perspectivas e em vários ângulos de orientação. Para a figura da mão direita, o voluntário pressionava a tecla direita e para a figura da mão esquerda, a tecla esquerda. Os voluntários realizavam duas sessões: uma com as mãos na postura prona e outra com as mãos na postura supina. **Resultados:** Os tempos de reação manual (TRM) eram maiores para as vistas e orientações, nas quais é difícil realizar o movimento real, mostrando que durante a tarefa, existe um acionamento de representações motoras para comparar o corpo com o estímulo. Além disso, existe uma influência da postura do sujeito em vistas e ângulos específicos. **Conclusões:** Os resultados mostram que representações motoras são ativadas para comparar o corpo com o estímulo e que a postura da mão influencia esta ressonância entre estímulo e parte do corpo.

Palavras-chave: lateralidade funcional; tempo de reação; postura; reabilitação.

Abstract

Objectives: Recognition of body parts activates specific somatosensory representations in a way that is similar to motor imagery. These representations are implicitly activated to compare the body with the stimulus. In the present study, we investigate the influence of proprioceptive information relating to body posture on the recognition of body parts (hands). We propose that this task could be used for rehabilitation of neurological patients. **Methods:** Ten right-handed volunteers participated in this experiment. The task was to recognize the handedness of drawings of a hand that were presented in different perspectives and several orientations. For drawings of a right hand, the volunteers pressed the right key, and for drawings of a left hand, they pressed the left key. The volunteers underwent two sessions: one with their hands in a prone posture and the other with their hands in a supine posture. **Results:** The manual reaction time (MRT) was longer for perspectives and orientations for which the real movement was difficult to achieve. This showed that, during the task, motor representations were activated to compare the body with the stimulus. Furthermore, the subject's posture had an influence in relation to specific perspectives and orientations. **Conclusions:** These results showed that motor representations are activated to compare the body with the stimulus, and that the position of the hand influences this resonance between the stimulus and the body part.

Key words: functional handedness; reaction time; posture; rehabilitation.

Introdução

Os seres humanos têm a habilidade de gerar processos cognitivos de percepção e ação na ausência de estímulos externos, uma função conhecida como imagética¹. Esta operação cognitiva pode ser executada em diferentes modalidades, tais como visual, auditiva, tátil, cinestésica, olfativa, gustativa ou uma combinação de todos estes sentidos. A imagética do movimento é um termo geral que descreve o processo de imaginar o movimento de um objeto ou de uma pessoa. Quando o próprio corpo está envolvido, os investigadores preferem usar o termo imagética motora, que corresponde a um processo ativo em que a representação de uma ação específica é reproduzida mentalmente, sem que seja executada de fato²⁻⁴.

Existem similaridades psicofísicas e fisiológicas entre os movimentos corporais fisicamente executados e imaginados⁵⁻⁹. Em geral, o tempo de execução dos movimentos realizados fisicamente ou imaginados são similares. A lei de Fitts, que indica que movimentos mais difíceis levam mais tempo para serem executados fisicamente do que movimentos mais fáceis, se aplica também aos movimentos imaginados^{6,8}. A congruência temporal entre movimentos imaginados e executados foi observada também após danos no cérebro¹⁰. Decety e Boisson¹¹ relataram que pacientes com lesão cerebral unilateral levam mais tempo para imaginar um movimento com seu membro afetado do que com seu membro não afetado. Por outro lado, os pacientes com uma paraplegia ou tetraplegia, causada por lesão da medula espinhal, produziram tempos de movimento imaginado comparáveis com aqueles de sujeitos saudáveis¹¹, suportando a idéia de que a imagética motora é um processo que depende da integridade das estruturas cerebrais, relacionadas com o planejamento e a execução do movimento.

A confirmação adicional da similaridade funcional entre movimentos executados e imaginados vem de estudos que mostram um aumento nas respostas autonômicas dos sujeitos (principalmente frequência cardíaca e respiratória), realizando uma tarefa de imagética motora^{7,12,13}. Estes estudos mostram que as mudanças nas reações autonômicas dos sujeitos, quando imaginam os movimentos, são menores do que quando os executam, mas são maiores do que na condição sem imaginação. Decety³ relatou que, durante atividades imaginadas, era como se a mente “iludisse” o corpo a acreditar que movimentos estavam sendo executados.

Evidências da correspondência entre movimentos imaginados e executados são fornecidas também com os estudos, empregando técnicas de mapeamento cerebral¹⁴⁻¹⁹. Estes estudos permitiram uma localização anatômica mais precisa das estruturas cerebrais implicadas nos movimentos imaginados e executados, e sugeriram que a área motora suplementar (SMA), o cerebelo, córtex pré-motor, córtex cingulado, córtex parietal superior e inferior e córtex motor primário e sensorial estão envolvidos na imaginação e execução dos movimentos.

A similaridade entre os movimentos imaginados e executados emerge também em tarefas que ativam implicitamente a imagética motora. Estudos psicofísicos mostram que para decidir se uma figura da mão é a mão esquerda ou direita, imagina-se a própria mão se movendo para a mesma orientação do estímulo, para comparar as formas, e assim decidir se é a mão direita ou esquerda^{5,6}. Esses estudos mostram que o tempo necessário para julgar a lateralidade da figura da mão é similar ao tempo necessário para executar o movimento correspondente e também similar ao tempo necessário para imaginar o movimento correspondente⁶. Parsons et al.²⁰, investigando pacientes com lesão no corpo caloso, observaram que o julgamento da lateralidade da mão ativa representações sensório-motoras específicas, que são controladas pelo hemisfério cerebral contralateral ao membro.

Evidências mostrando que o tempo para julgar a lateralidade da mão é fortemente influenciado pela posição real do corpo durante a tarefa⁶, confirmam que se julga a lateralidade da figura da mão simulando mentalmente o movimento da própria mão, ao invés de imaginar transformações espaciais de uma representação prototípica da mão⁶. Assim, a representação da postura do corpo parece ser a base funcional implícita da atividade motora também no domínio da simulação mental^{2,21}.

No presente estudo, investigou-se a influência da postura da mão (prona ou supina) sobre o processo de julgamento da lateralidade de uma figura da mão para verificar como e se a informação proprioceptiva da postura atual do sujeito influencia este julgamento. Ao contrário de estudos anteriores, empregou-se uma metodologia em que o sujeito modificava a configuração do corpo (mão na postura prona ou supina), mas executava a resposta com o mesmo movimento (flexão do indicador). Em estudos anteriores⁶, o sujeito mudava drasticamente a postura da mão e a resposta era feita com os pés. No presente trabalho, a modificação discreta da postura do corpo (mão na postura prona ou supina) e manutenção do mesmo movimento de resposta permitiu entender, mais especificamente, o quão importante é a informação proprioceptiva nos processos de imagética motora. Além disso, sugeriu-se que a tarefa de reconhecimento de partes do corpo poderia ser usada como uma estratégia adicional na reabilitação de pacientes neurológicos.

Materiais e métodos

Participaram do experimento dez voluntários destros (quatro homens e seis mulheres, entre 19 e 34 anos, com média de 22 anos). Todos eram saudáveis, tinham a acuidade visual normal e não sabiam o propósito do experimento. Um termo de anuência por escrito foi

obtido dos participantes e o estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal Fluminense (UFF), sob o parecer nº 158/05.

Os estímulos eram desenhos da mão direita e esquerda em diversas vistas (dorso, palma, face do dedo mínimo, face do polegar, vista do punho) e em vários ângulos de rotação múltiplos de 30° (Figura 1). Os vários ângulos de rotação variavam de 0° (dedos voltados para cima, exceto na vista do punho em que o 0° correspondia à palma da mão voltada para baixo) a 330° no sentido horário para mão direita e no sentido anti-horário para mão esquerda. Cada estímulo, medindo aproximadamente de 13,5 por 7,3°, era apresentado três vezes randomicamente, dando um total de 360 testes.

O experimento foi realizado em uma sala com som e iluminação controlados. Um microcomputador (PC 486) e o software Micro Experimental Laboratory (MEL), versão 2.0, foram utilizados para a apresentação dos estímulos e para o registro das respostas do voluntário. Os voluntários permaneciam sentados em frente ao monitor, localizado a 57 cm, com a cabeça descansando num apoiador de frente e mento. A seqüência temporal dos eventos começava com a apresentação de um ponto de fixação central que permanecia na tela por 1.000ms. Em seguida, o estímulo era apresentado no centro da tela, ali permanecendo até a resposta do sujeito. Após a resposta, o estímulo desaparecia e mostrava-se no monitor o tempo de reação do sujeito em caso de resposta correta ou a palavra erro, por 500ms. Em seguida, aparecia novamente o ponto de fixação e um novo teste era iniciado. A resposta executada pressionando um dos dois interruptores localizados à direita e à esquerda da linha média do corpo. A tarefa era pressionar o interruptor direito quando a figura da mão direita aparecia e pressionar o interruptor esquerdo quando a figura da mão esquerda aparecia. O parâmetro medido no teste era o tempo de reação manual (TRM), ou seja, a latência entre o aparecimento do estímulo e a execução da resposta. As figuras apareciam no centro da tela e o

voluntário era instruído a responder o mais rápido possível após o aparecimento do estímulo. O voluntário realizava duas sessões em dias diferentes e consecutivos: uma sessão com as mãos na postura prona e outra sessão na postura supina. Na postura prona, os voluntários permaneciam com a palma da mão para baixo e realizavam uma flexão do dedo indicador para pressionar a tecla de resposta. Na postura supina, o participante voltava a palma da mão para cima e novamente realizava uma flexão do dedo indicador para pressionar a tecla, que fazia um giro de 180°.

As médias do TRM para cada vista foram empregadas separadamente em uma análise de variância (ANOVA), com os seguintes fatores: postura da mão do voluntário (postura prona e postura supina) e ângulo de rotação do estímulo (0 a 330°).

Resultados

Encontrou-se (Figura 2) um efeito significativo do ângulo para todas as vistas ($p < 0,001$) e uma interação entre postura e ângulo para as vistas do punho e face do polegar ($p < 0,001$).

Uma análise post-hoc, empregando o método de Newman-Keuls, mostrou que na vista dorsal ($F_{1,9}=12,608$; $p < 0,001$), os ângulos 150 e 180° diferem significativamente de todos os outros, apresentando os TRM mais lentos. Na vista da palma ($F_{1,9}=9,543$; $p < 0,001$), os TRM mais lentos aparecem nos ângulos 90, 120, 150, 180 e 210°, diferindo significativamente de todos os outros. Na vista do dedo mínimo ($F_{1,9}=3,304$; $p < 0,001$), os ângulos 120, 150, 270, 300 e 330° diferem com relevância dos ângulos 0 e 30°. Na vista do polegar ($F_{1,9}=7,955$; $p < 0,001$), os ângulos 120, 150 e 180° diferem de todos os outros, apresentando os TRM mais lentos, e na vista do punho ($F_{1,9}=8,257$; $p < 0,001$), os TRM mais

lentos são nos ângulos 240, 270 e 300° e diferem dos demais. Desta forma, o grau de rotação da figura da mão influencia o TRM para o reconhecimento da lateralidade.

Além disso, para a vista do punho e para a face do polegar (Figura 2), a informação proprioceptiva da postura da mão do voluntário modifica significativamente a influência do ângulo de rotação sobre o tempo de reação. Na vista do punho, existem diferenças relevantes entre os TRM obtidos nas duas posturas, nos ângulos 240 e 270°, enquanto que na vista do polegar a diferença ocorre no ângulo 180°.

Discussão

No presente estudo, investigou-se como a postura da mão influencia o reconhecimento da lateralidade de mãos. Parsons⁶ também investigou a influência da postura do voluntário no reconhecimento da lateralidade de figuras da mão. Os voluntários permaneciam em duas posturas drasticamente diferentes, uma canônica (palma da mão apoiada na mesa na frente deles) e uma bastante incomum (com os dorsos voltados um para o outro) e executavam as respostas pressionando interruptores localizados no chão com os pés. O autor observou que a posição do corpo do voluntário influenciava o reconhecimento da lateralidade da mão e concluiu que o voluntário simula o movimento do próprio corpo a partir da sua posição atual, e não de uma representação fixa no cérebro.

Neste trabalho, distintamente de Parsons⁶, realizou-se uma alteração menos drástica da postura do voluntário para observar o quão importante é a informação proprioceptiva da posição do corpo. Os voluntários realizavam a tarefa com as mãos na postura prona (palmas voltadas para baixo) e na postura supina (palmas voltadas para cima). O movimento para

executar a resposta era o mesmo em ambas as posturas e os voluntários realizavam uma pequena flexão do indicador tanto na postura prona quanto na supina, pois os interruptores permitiam um giro de 180°.

Parsons⁶ observou que os TRM na postura bastante incomum (dorsos voltados um para o outro) eram paralelos, porém maiores do que os observados na postura canônica (palma da mão apoiada na mesa na frente deles). Neste trabalho, observou-se que, mesmo com uma alteração menor na configuração do corpo, existe uma influência da informação proprioceptiva da postura atual do sujeito no reconhecimento da forma da mão. Porém, agora, essa influência só ocorre em vistas e ângulos específicos (vista do punho no ângulo 240 e 270° e da face do polegar no ângulo 180°, conforme Figura 2) e não mais globalmente como no estudo feito por Parsons⁶. Acredita-se que isso tenha ocorrido com essas duas vistas porque elas são canônicas, isto é, o sujeito visualiza sua própria mão, na maior parte do tempo, nessas duas perspectivas. Quando se posiciona a própria mão em frente (como se fosse alcançar um objeto à frente) ou quando se adota uma postura para escrita, visualiza-se a mão da perspectiva do punho e da face do polegar. Desta forma, fica mais fácil uma interação entre a informação visual do estímulo e a informação proprioceptiva da postura. Para as outras vistas (dorso, palma e face do dedo mínimo), a simulação mental do movimento, a partir da postura prona e da supina, não difere significativamente, provavelmente porque a mudança da configuração do corpo é muito discreta .

No presente estudo, complementou-se os achados de Parsons^{5,6}, mostrando que modificações não drásticas da postura influenciam a resposta a figuras representando determinadas vistas da mão. Observa-se também que o grau de rotação da figura da mão influencia o TRM para o julgamento da lateralidade. Quando o estímulo se encontra numa orientação em que o movimento real para aquela orientação seria facilmente executado, os

TRM, para julgar a sua lateralidade, são menores do que quando o estímulo se encontra numa orientação em que o movimento real seria de difícil execução.

Outros estudos comportamentais e de mapeamento cerebral evidenciaram a influência da informação proprioceptiva, relacionada com a postura do corpo nos processos de imagética motora. Sirigu e Duhamel²², numa tarefa que envolvia imaginar a mão numa determinada orientação no espaço e fazer o julgamento da lateralidade, observaram que uma mudança na postura real da mão do voluntário e na instrução de como imaginar a mão (primeira ou terceira pessoa) influenciava os TRM para o julgamento da lateralidade. Ionta et al.²³, estudando o julgamento da lateralidade de mãos e pés, observaram que mudanças na postura real da mão influenciavam apenas os TRM para o reconhecimento da lateralidade das mãos e não dos pés, mostrando que a postura influencia na imagética motora de acordo com regras somatotópicas.

Vargas et al.²⁴ investigaram, através da estimulação magnética transcraniana (TMS), como a facilitação da excitabilidade corticoespinal induzida pela simulação mental de um movimento da mão é afetada pela postura real da mão. Os voluntários imaginavam o movimento de juntar as pontas do polegar e do dedo mínimo, mantendo uma postura da mão compatível ou incompatível com o movimento imaginado. Os resultados mostraram que a excitabilidade corticoespinal era maior quando os voluntários imaginaram a tarefa com a mão mantida em uma postura compatível, indicando que a postura real da mão exerce um efeito modulatório no processo de imagética motora.

Mercier et al.²⁵, também usando TMS e uma metodologia similar ao estudo de Vargas et al.²⁴, estudaram o papel da informação proprioceptiva e da visão no processo de imagética motora. Neste estudo, foi solicitado para um paciente deaferentado imaginar o movimento de juntar as pontas do polegar e do dedo mínimo, mantendo uma postura da mão compatível ou

incompatível com o movimento imaginado. O paciente realizava a tarefa com os olhos fechados e com os olhos abertos. Mercier et al.²⁵ mostraram que, quando o paciente permanecia de olhos fechados, não existia efeito da postura real do corpo durante a imaginação do movimento, porém quando este permanecia de olhos abertos, a postura exercia um efeito modulatório na excitabilidade corticoespinhal. Esses resultados sugerem que na ausência de propriocepção, a visão pode facilitar ou inibir as representações do corpo, corroborando a idéia de que a posição dos membros no cérebro é organizada por representações multissensoriais.

As principais características da tarefa de reconhecimento da lateralidade da mão e seu concomitante imaginário motor são as sensações cinestésicas similares àquelas que caracterizam o movimento real²⁶. Essa observação sugere que o reconhecimento da lateralidade de uma figura da mão, visualmente apresentada, requer uma simulação mental de um movimento da mão, que usa programas sensório-motores específicos, localizados no córtex sensório-motor contralateral^{27,28}.

Implicações práticas

Como aplicação prática para esse estudo, sugere-se que o acionamento implícito de representações sensório-motoras, durante o reconhecimento de partes do corpo, pode ser útil na reabilitação de pacientes neurológicos. Nos casos em que a condição neurológica não permite que os pacientes produzam movimentos, a imagética motora ajuda manter o programa motor ativo, facilitando a execução futura dos movimentos²⁹.

Baseado nessas evidências, é razoável sugerir e/ou propor que as tarefas de reconhecimento de partes do corpo também podem favorecer a reabilitação de pacientes

neurológicos. Essas tarefas acionam a imagética motora e ativam representações sensório-motoras específicas. Essa ativação se dá de modo implícito, pois em nenhum momento é solicitado ao paciente que simule um movimento. Esse tipo de tarefa é mais fácil de ser aplicada, tendo em vista que não necessita de comandos verbais complexos e facilita a compreensão, principalmente por crianças. Além disso, através da análise dos TRM e das taxas de erros, é possível para o fisioterapeuta quantificar objetivamente a performance do sujeito e acompanhar sua evolução.

Porém, o potencial terapêutico dessa técnica necessita ser testada em estudos clínicos. Mais especificamente, será útil elaborar protocolos para determinar a utilização dessas tarefas no processo de reabilitação. Além disso, é necessário verificar se os déficits cognitivos provocados pelas lesões cerebrais afetam a capacidade de imaginar um movimento (imagética motora), bem como escolher instrumentos adequados capazes de detectar pequenas mudanças na performance. Estes dois parâmetros são fundamentais na implementação dessa técnica.

Agradecimentos

À Lawrence M. Parsons, que deu permissão para a utilização das figuras da mão como estímulos, à Júlio César Santos Silva, por colaboração técnica e a participação dos voluntários nesse experimento. Este estudo recebeu apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e Ministério da Ciência e Tecnologia (CNPq/MCT), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), PROPP Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Federal Fluminense (PROPP-UFF), UFF, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic-UFF/CNPq).

Referências bibliográficas

1. Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, Richards C, Doyon J. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(8):1133-41.
2. Jeannerod M, Decety J. Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Curr Opin Neurobiol.* 1995;5(6):727-32.
3. Decety J. Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Brain Res Cogn Brain Res.* 1996;3(2):87-93.
4. Decety J, Grèzes J. Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends Cogn Sci.* 1999;3(5):172-8.
5. Parsons LM. Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognit Psychol.* 1987;19(2):178-241.
6. Parsons LM. Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1994;20(4):709-30.
7. Wuyam B, Moosavi SH, Decety J, Adams L, Lansing RW, Guz A. Imagination of dynamic exercise produced ventilatory responses which were more apparent in competitive sportsmen. *J Physiol.* 1995;482(Pt 3):713-24.
8. Decety J, Jeannerod M. Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts's law hold in motor imagery? *Behav Brain Res.* 1995;72(1-2):127-34.
9. Fadiga L, Buccino G, Craighero L, Fogassi L, Gallese V, Pavesi G. Corticospinal excitability is specifically modulated by motor imagery: a magnetic stimulation study. *Neuropsychologia.* 1999;37(2):147-58.

10. Sirigu A, Cohen L, Duhamel JR, Pillon B, Dubois B, Agid Y et al. Congruent unilateral impairments for real and imagined hand movements. *Neuroreport*. 1995;6(7):997-1001.
11. Decety J, Boisson D. Effect of brain and spinal cord injuries on motor imagery. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*. 1990;240(1):39-43.
12. Decety J, Jeannerod M, Durozard D, Baverel G. Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *J Physiol*. 1993;461:549-63.
13. Thill EE, Bryche D, Poumarat G, Rigoulet N. Task-involvement and ego-involvement goals during actual and imagined movements: their effects on cognitions and vegetative responses. *Behav Brain Res*. 1997;82(2):159-67.
14. Stephan KM, Fink GR, Passingham RE, Silbersweig D, Ceballos-Baumann AO, Frith CD et al. Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *J Neurophysiol*. 1995;73(1):373-86.
15. Roth M, Decety J, Raybaudi M, Massarelli R, Delon-Martin C, Segebarth C et al. Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport*. 1996;7(7):1280-4.
16. Grafton ST, Arbib MA, Fadiga L, Rizzolatti G. Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Exp Brain Res*. 1996;112(1):103-11.
17. Luft AR, Skalej M, Stefanou A, Klose U, Voigt K. Comparing motion- and imagery-related activation in the human cerebellum: a functional MRI study. *Hum Brain Mapp*. 1998;6(2):105-13.

18. Gerardin E, Sirigu A, Lehericy S, Poline JB, Gaymard B, Marsault C et al. Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cereb Cortex*. 2000;10(11):1093-104.
19. de Lange FP, Hagoort P, Toni I. Neural topography and content of movement representations. *J Cogn Neurosci*. 2005;17(1):97-112.
20. Parsons LM, Gabrieli JD, Phelps EA, Gazzaniga MS. Cerebrally lateralized mental representations of hand shape and movement. *J Neurosci*. 1998;18(16):6539-48.
21. Jeannerod M. Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*. 1995;33(11):1419-32.
22. Sirigu A, Duhamel JR. Motor and visual imagery as two complementary and neurally dissociable mental processes. *J Cogn Neurosci*. 2001;13(1):910-9.
23. Ionta S, Fourkas AD, Fiorio M, Aglioti SM. The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Exp Brain Res*. 2007;183(1):1-7.
24. Vargas CD, Oliver E, Craighero L, Fadiga L, Duhamel JR, Sirigu A. The influence of hand posture on corticospinal excitability during motor imagery: a transcranial magnetic stimulation study. *Cereb Cortex*. 2004;14(11):1200-6.
25. Mercier C, Aballea A, Vargas CD, Paillard J, Sirigu A. Vision without proprioception modulates cortico-spinal excitability during hand motor imagery. *Cereb Cortex*. 2008;18(2):272-7.
26. Parsons LM. Integrating cognitive psychology, neurology and neurimaging. *Acta Psychol (Amst)*. 2001;107(1-3):155-81.
27. Parsons LM, Fox PT. Sensory and cognitive functions. *Int Rev Neurobiol*. 1997;41:255-71.

28. Parsons LM, Fox PT, Downs JH, Glass T, Hirsch TB, Martin CC et al. Use of implicit motor imagery for visual shape discrimination as revealed by PET. *Nature*. 1995;375(6526):54-8.
29. Iacoboni M. Neural mechanisms of imitation. *Curr Opin Neurobiol*. 2005;15(6):632-7.

A)



B)

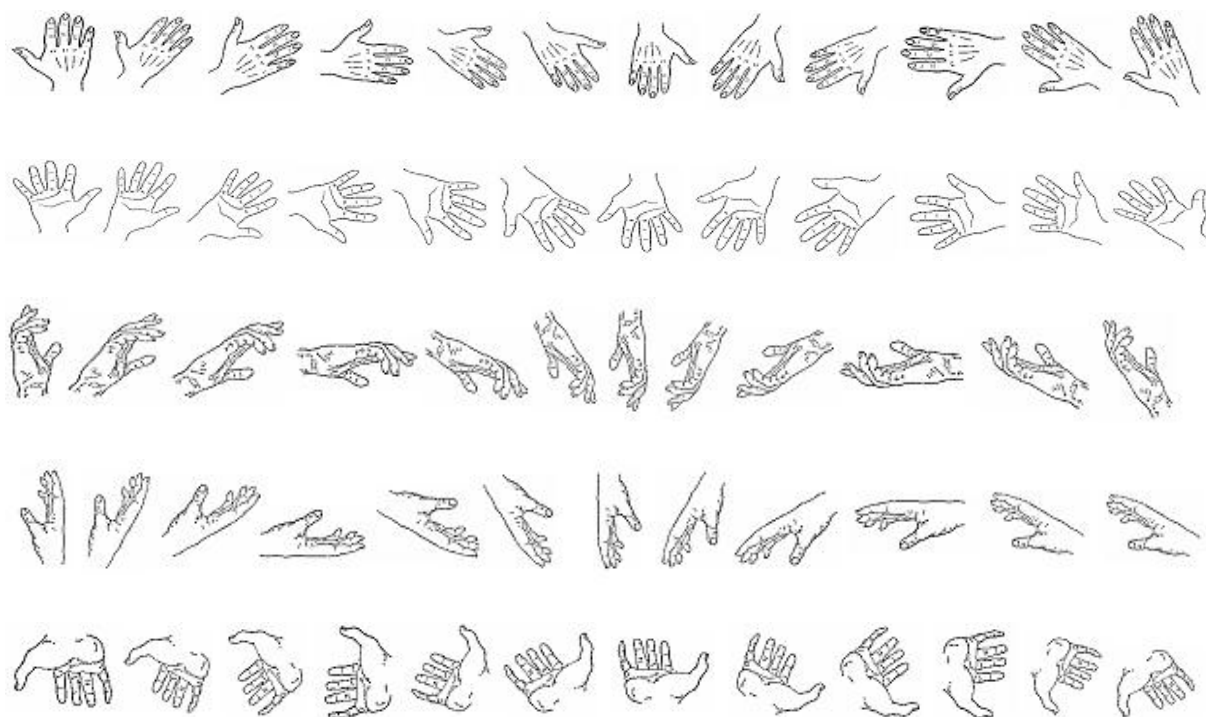
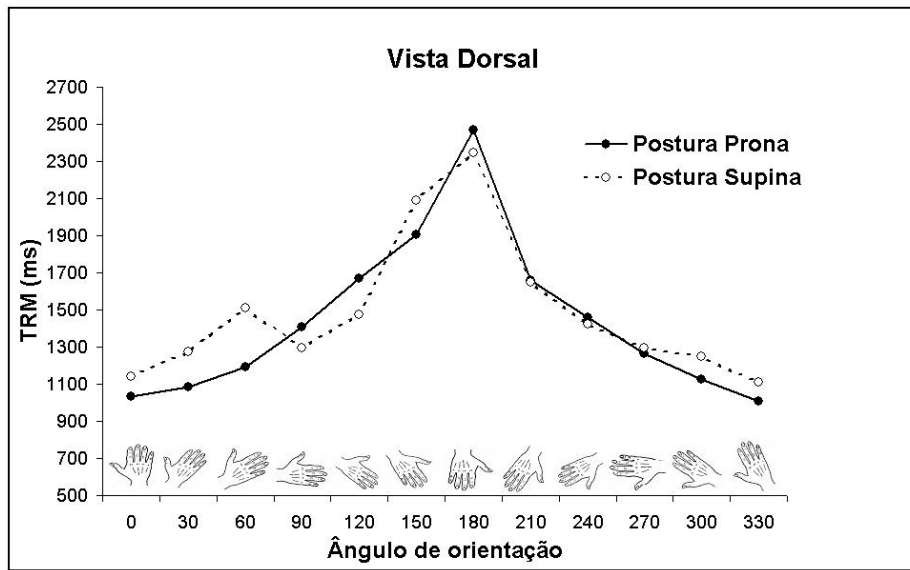


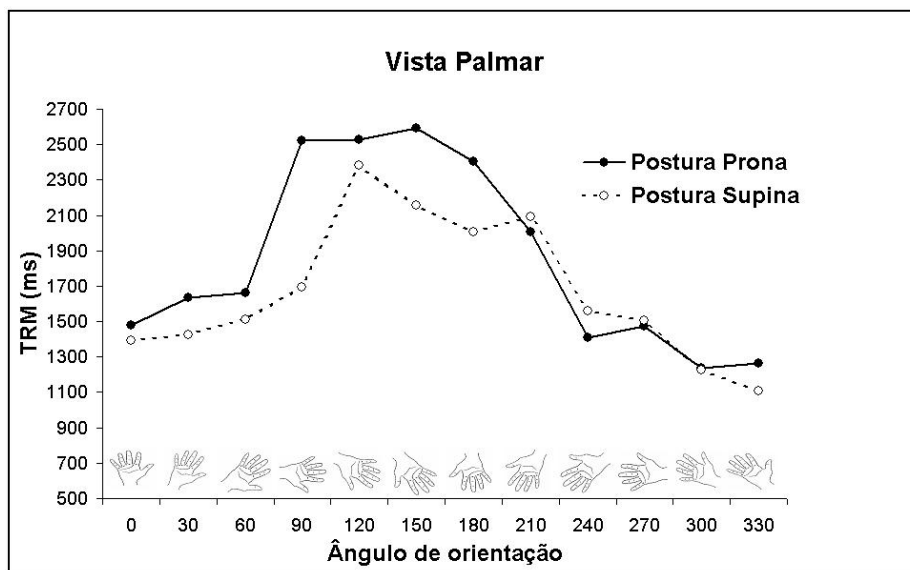
Figura 1. Os estímulos em diversas vistas (A) e em vários ângulos de rotação múltiplos de 30° (B). Observando a figura da mão direita, têm-se vários ângulos de rotação, que variam de 0° (dedos voltados para cima ou palma da mão para baixo no caso da vista do punho) a 330° no sentido horário. No caso da mão esquerda (não ilustrada), a rotação ocorre no sentido anti-horário (modificado de Parsons⁶).

DIAGRAMAÇÃO: NA FIGURA 1A, DEIXAR SOMENTE EM CAIXA-ALTA A PRIMEIRA INICIAL DE CADA PALAVRA.

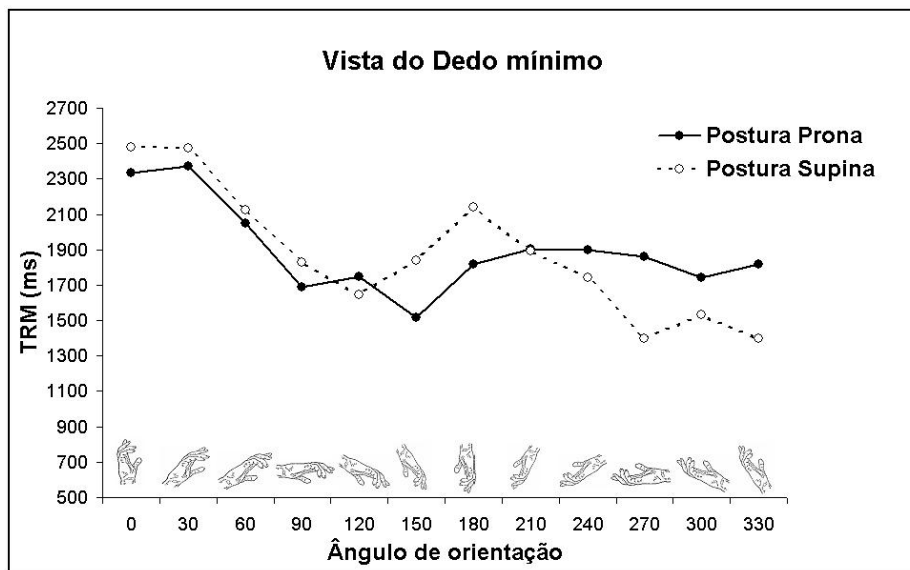
A)



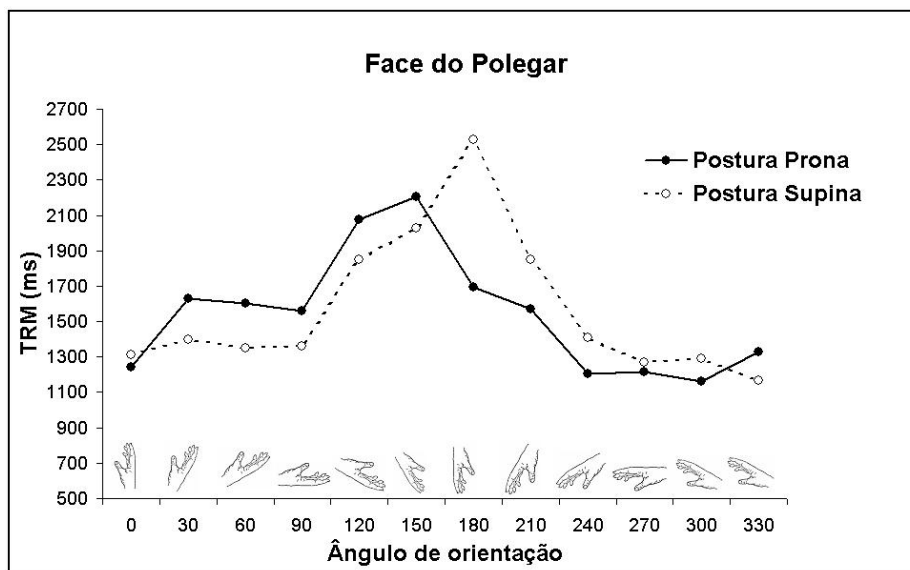
B)



C)



D)



E)

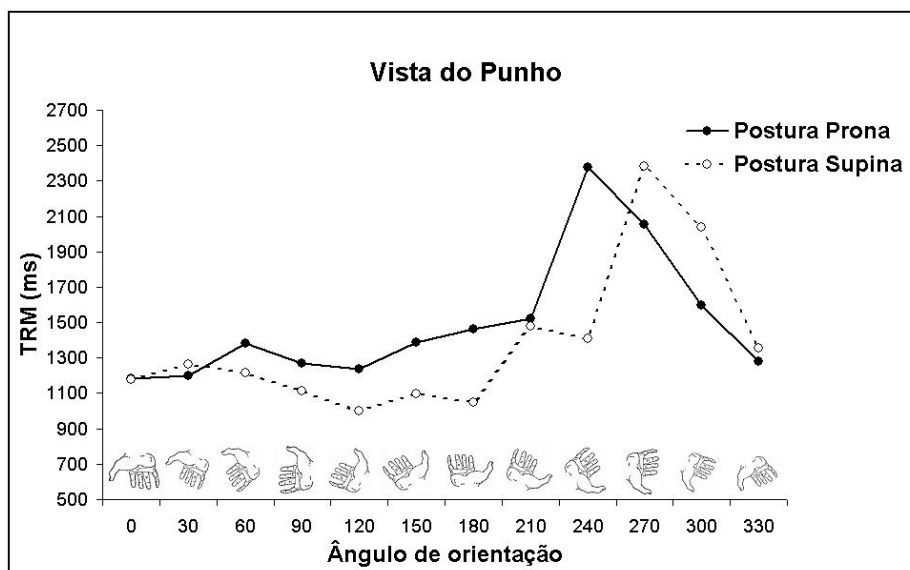


Figura 2. Variação do TRM com o ângulo de orientação da figura da mão para cada vista (A, B, C, D e E). Cada ponto do gráfico representa a média dos TRM para figuras das mãos esquerda e direita num determinado ângulo e postura. Os desenhos da mão direita nos vários ângulos de rotação são apenas para ilustrar como varia a forma do estímulo.

DIAGRAMAÇÃO: COLOCAR EM CAIXA-BAIXA, NAS FIGURAS 2A, B, C, D e E, Postura prona e Postura supina; DEIXAR TAMBÉM EM CAIXA-BAIXA: Vista dorsal, Vista palmar, Vista do dedo mínimo, Face do polegar e Vista do punho.

3.4. LAMEIRA, A.P.; Guimarães Silva, S.; Werneck-Galvão, C.; Pereira Junior, A.; Gawryszewski, L.G. Recognition of hand shape drawings on vertical and horizontal display. *Psychology & Neuroscience*, v. 1, p. 35-40, 2008.



Recognition of hand shape drawings on vertical and horizontal display

Allan Pablo Lameira¹, Sabrina Guimarães-Silva², Cinthya Werneck-Galvão¹, Antonio Pereira Junior³
and Luiz G. Gawryszewski¹

1-Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brazil

2-Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, Brazil

3-Universidade Federal do Pará, Brazil

Abstract

The visual recognition of body parts activates somato-motor representations in the brain. In the present study, we investigate the influence of the plane in which hand drawings are displayed (Vertical or Horizontal) on mental rotations evoked by a handedness recognition task. Sixteen right-handed volunteers participated in an experiment where the task was to evaluate the handedness of drawings of the human hand presented in different perspectives and orientations while the Manual Reaction Time (MRT) was measured. For eight volunteers, the hand drawings were displayed on a vertical screen monitor, while for the remainder a mirror was employed and the same drawings appeared on the horizontal plan. Our main finding was that there are no differences in MRTs among the drawings displayed vertically or horizontally, with some exceptions. However, the MRTs were longer when the hands in the drawings assumed configurations that were more awkward to perform using real movements. These results show that the implicit movements involved with handedness recognition are mainly dependent on biomechanical constraints for distal (hand), but not proximal (shoulder) movements. **Keywords:** handedness recognition, motor imagery, manual reaction time, visual representations, sensorimotor representations.

Received 17 June 2008; received in revised form 27 June 2008; accepted 29 June 2008. Available online 30 June 2008.

Introduction

The visual recognition of body parts activates somato-motor representations in the brain in a way similar to motor imagery (Parsons, 1994; Jeannerod & Decety, 1995; Decety, 1996). These representations are implicitly activated in order to compare the stimulus with one's own body (Parsons, 1994; Parsons & Fox, 1998).

Parsons (1987, 1994) showed that the time required to discriminate the handedness of a hand drawing depends on the perspective and the orientation of the drawing and is similar to the time necessary to perform either a mental movement of one's own hand or the corresponding real movement. Mental rotation is an essential component of handedness recognition, motor imagery and the actual movement planning. Surprisingly, however, the biomechanical constraints normally imposed on the movement of body segments also have to be taken into

account during the mental rotation of body parts, such as the hand (Petit, Pegna, Mayer, & Hauert, 2003).

Movements that are difficult to be executed, for instance, are also difficult to be mentally reproduced and lead to longer reaction times in handedness judgments. The mentally simulated movement activates somato-motor representations in the cerebral hemisphere contralateral to the limb (Parsons, Gabrieli, Phelps, & Gazzaniga, 1998).

Parsons (1987, 1994) proposed a model for handedness recognition containing five steps: 1) pre-attentive recognition of handedness; 2) analysis of the orientation of the internal representation of the corresponding hand; 3) planning of the rotation movement toward the orientation of the stimulus; 4) mental simulation of the planned rotation and 5) "confirmatory" matching between the internal representation of the hand and the visual stimulus. In this model, information about stimulus handedness is derived in the early pre-attentive stages of information processing, but the later mental simulation of movement and the confirmatory matching operation provide necessary confirmation for conscious decision-making (Parsons & Fox, 1998). This model can be further abbreviated as consisting of only two phases: a pre-attentive handedness-recognition process followed by a confirmatory motor imagery (Parsons, 1987, 1994; Parsons & Fox, 1998, Parsons et al., 1998). It is conceptually important to stress the distinction between these two phases, even though they can share some common neural substrates (Gentilucci, Daprati,

Allan Pablo Lameira, Cinthya Werneck-Galvão and Luiz G. Gawryszewski, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brazil. Sabrina Guimarães-Silva, Curso de Fisioterapia, Universidade Estácio de Sá, Campus Bangu, Rio de Janeiro, Brazil. Antonio Pereira Junior, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Brazil. Correspondences regarding this article should be directed to L.G. Gawryszewski - Universidade Federal Fluminense, Departamento de Neurobiologia, Caixa Postal 100.180, Niterói - RJ - 24.001.970, Brazil. E-mail: gawryszewski_lg@yahoo.com.br.

& Gangitano, 1998). The automatic recognition phase relies on “internal models” that are constructed by motor experience (Wolpert, Ghahramani, & Jordan, 1995), while motor imagery follows the same rules of the real movement, including compliance to physical constraints (De Lange, Helmich, & Toni, 2006; Parsons, 1994; Vargas et al., 2004).

One important question raised by Parsons in his 1994 seminal paper was if, in a handedness judgment task, motor imagery would be affected by modulating proprioceptive information coming from the actual limb through posture variation. The results showed that the time spent for mentally rotating one’s own hand is shorter when the hand is actually kept in a “canonical” posture than when it is maintained in a more awkward one.

The same result was obtained in a study using Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) (Vargas et al., 2004). The authors reported that the corticospinal tract excitability facilitated by TMS during the mental simulation of a hand movement is affected by the actual hand posture. Similarly, De Lange et al. (2006) reported in an fMRI study that handedness judgments activated a parieto-frontal network whose activity increased with increasing biomechanical complexity of the imagined hand movements, even when the amount of stimulus rotation was identical. Moreover, activity in the intraparietal sulcus was modulated by the volunteers’ own hand position. These results indicate that motor imagery may be influenced in real time by intrinsic factors such as the proprioceptive information coming from the limbs.

The Manual Reaction Times (MRTs) in a handedness discrimination task should be dependent not only on the orientation and the view of the hand drawings, but on the sequence of movements necessary to achieve the task, as shown by Parsons (1994). For instance, how does the involvement of proximal muscles affect the intrinsic movements involved with the handedness recognition task? In order to answer this, we measured the MRTs in a handedness task with the drawings located either on the horizontal or the vertical plane.

Methods

Subjects

Sixteen right-handed volunteers (Oldfield, 1971) participated in this study (seven male and nine female, 18-23 years old, $M = 19.5$ years). All had normal or corrected visual acuity and were naïve as to the purpose of the experiment. Written informed consent was obtained from all volunteers and the study was approved by our institution’s Research Ethics Committee.

Apparatus

The stimuli were drawings of the right and left human hand in several views (see Fig 1A) and in several orientations (separated by 30 deg steps, see Fig. 1B). A total of 120 different stimuli (2 hands x 5 views x 12

orientations) were used. Each stimulus was presented twice.

Procedure

The experiment was conducted in a quiet and dimly lit room. A PC computer (Intel 486) was used both for stimuli presentation and to record the volunteer’s response. The participants positioned their heads so that the distance between the eyes and the screen was about 57 cm. The Micro Experimental Laboratory software (MEL, version 2.0) was used to determine the events’ sequences and to measure response latency. The stimuli measured about 13.5 deg by 7.3 deg and were displayed at the center of a 20 inch (50.8 cm) VGA monitor. The stimulus remained on the screen until the execution of a response and the volunteers responded by pressing one of two micro-switches, one located to the left and the other to the right of their midline, depending on the laterality of the hand drawing (left or right, respectively). Half of the volunteers executed the task looking directly at the computer display (vertical condition). For the other half, the task was executed looking at the image of the screen as reflected in a mirror located in front of the participant, giving the illusion that the viewing surface was horizontal (Fig. 2). When watching the horizontal drawing, the volunteer had to look downwards onto a mirror. The vertical stimulus was outside the upper visual field and did not interfere with the horizontal stimulus processing.

Each trial started with the stimulus appearing at the center of the screen. Volunteers were instructed to respond as fast as possible by pressing the right micro-switch to a stimulus depicting a right hand and the left micro-switch to a stimulus depicting a left hand. After a 500 ms interval, a new trial began. Participants attended one session. The session was subdivided into 3 blocks of 80 trials, resulting in 240 trials per session.

Data analysis

For each view and angle the medians of the correct MRTs was calculated. The MRT for left and right hand drawings (left and right response keys, respectively) were pooled together. Using an experimental design similar to that proposed by Parsons (1994), we analyzed the effect of hand angle on MRT for each view, separately. Moreover, we compared the MRTs for Vertical and Horizontal presentations. We performed five Analysis of Variances (ANOVAs), one for each view (Figures 3-7) with a between subject factor (Vertical or Horizontal plane) and a within subject factor (angle). Post-hoc comparisons were done using the Newman-Keuls method.

Results

Back view

Figure 3 presents the mean (\pm SEM) of the MRT for back view as a function of hand drawing orientation. There were no significant differences,

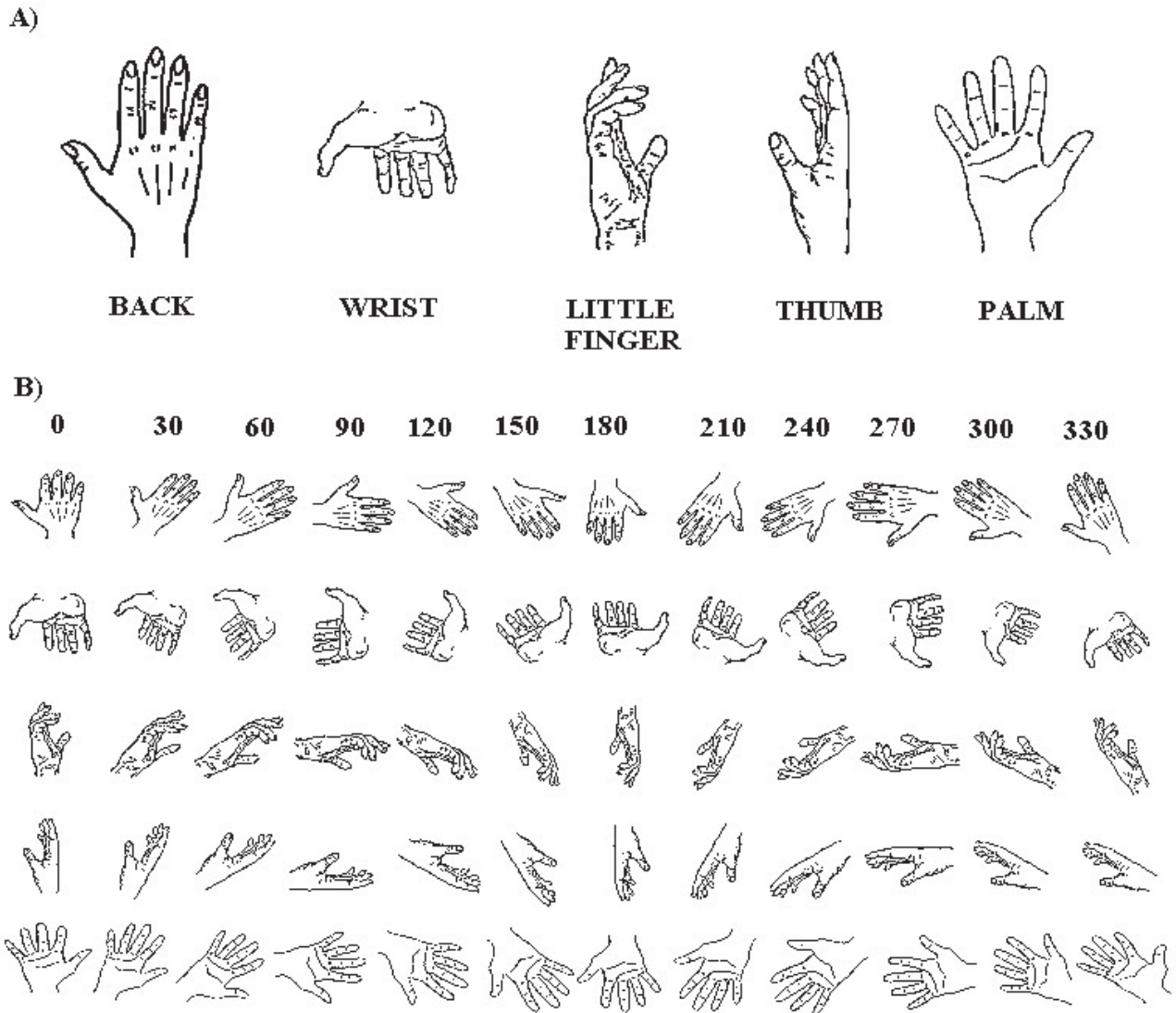


Figure 1. (A) Drawings of the right hand in the perspectives employed in this study. (B) Drawings of the right hand with angles varying from 0 to 330 deg. During the experiment, drawings for the left (not illustrated) and right hands for each view and angle were randomly presented.

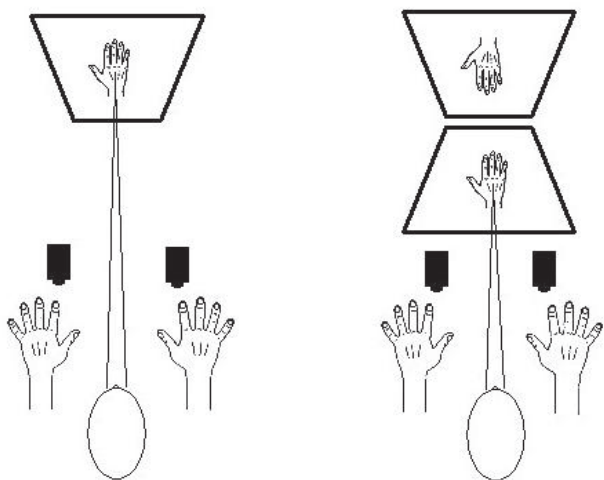


Figure 2. Schematic drawings showing the setup for handedness discrimination of drawings presented along the vertical plane (left) and along the horizontal plane (right). In the last condition, a mirror was used to project the vertical stimulus onto a horizontal plane.

$F(1, 14) = 0.17, p = .68$) between the MRTs for drawings viewed at the vertical and horizontal planes, neither an interaction between plane and angle, $F(11, 154) = 1.45, p = .16$. Only angle was a significant factor in modulating MRTs, $F(11, 154) = 16.40, p < .001$. The post-hoc analysis showed significant differences ($p < .05$) among the following MRTs (Fig. 3): 1) MRT for a drawing oriented at 180 deg (2148 ms) is longer than all others; 2) MRT for a drawing oriented at 150 deg (1702 ms) is longer than all others, except at 180 deg; 3) MRT for a drawing oriented at 210 and 240 deg (1392 and 1350 ms) are longer than 0, 300 and 330 deg (951, 878 and 874 ms). 4) MRT for a drawing oriented at 90 (1344 ms) is longer than 0, 300 and 330 deg (951, 878 and 874 ms).

No other comparison was statistically significant. These results are in agreement with the Parsons's (1994) hypothesis that handedness recognition involves mental rotation and that "awkward" movements are

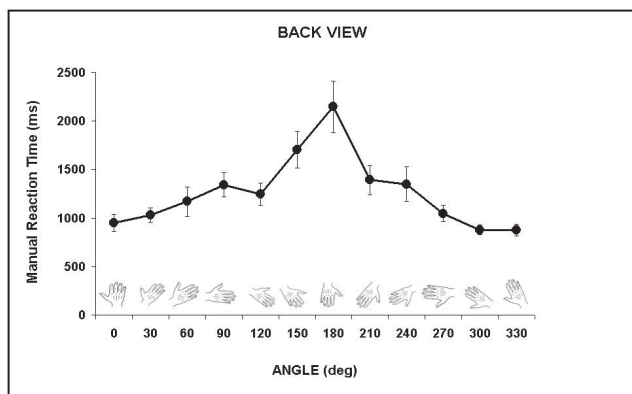


Figure 3. Graph showing the mean (+ SEM) of the MRT for back view as a function of hand drawing orientation.

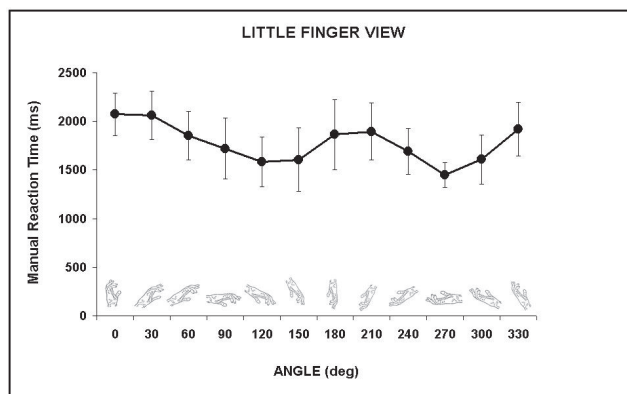


Figure 5. Graph showing the mean (+ SEM) of MRT for little finger view as a function of hand drawing orientation.

also difficult to be mentally reproduced leading to delays in handedness judgment due to biomechanical constraints.

Wrist view

Figure 4 depicts the mean (\pm SEM) of MRT for wrist view as a function of hand drawing orientation. There were no significant differences, $F(1, 14) = 0.24, p = .63$, between the MRTs for vertical and horizontal drawings nor an interaction between plane and angle, $F(11, 154) = 1.78, p = .06$. Angle was a significant factor, again, $F(11, 154) = 4.60, p < .001$, and the

drawings nor any interaction between plane and angle, $F(11, 154) = 1.60, p = .10$. Angle was a significant factor, $F(11, 154) = 2.30, p < .01$, and the post-hoc analysis showed that the MRT for drawings oriented at 270 deg (1451 ms) is shorter than the MRT for both 0 deg (2074 ms) and 30 deg (2063 ms). No other comparison was significant.

Thumb view

Figure 6 presents the mean (\pm SEM) of MRT for thumb view as a function of hand drawing orientation. There were no significant differences,

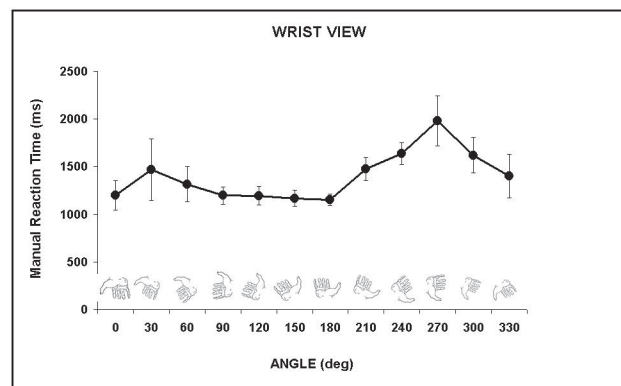


Figure 4. Graph showing the mean (+ SEM) of MRT for wrist view as a function of hand drawing orientation.

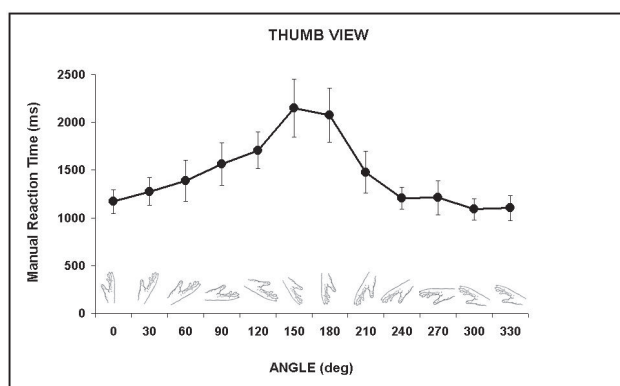


Figure 6. Graph showing the mean (+ SEM) of MRT for thumb view as a function of hand drawing orientation.

post-hoc analysis showed that the MRT for the 270 deg angle (1982 ms) is longer than all others, except for the MRT for the 300 deg angle (1621 ms). No other comparison was statistically significant.

Little finger view

Figure 5 shows the mean (\pm SEM) of MRT for little finger view as a function of hand drawing orientation. There were no significant differences, $F(1, 14) = 0.92, p = .35$, between MRTs for vertical and horizontal

$F(1, 14) = .04, p = .84$, between MRTs for vertical and horizontal drawings nor any interaction between plane and angle, $F(11, 154) = .73, p = .71$. Angle was a significant factor, $F(11, 154) = 10.13, p < .001$, and the post-hoc analysis showed that: 1) MRTs for 150 deg (2148 ms) and 180 deg (2077 ms) are longer than MRTs at any other angles. 2) MRTs for 120 deg (1707 ms) is longer than 0, 240, 270, 300 and 330 deg (1169, 1207, 1210, 1089 and 1103 ms). No other comparison was statistically significant.

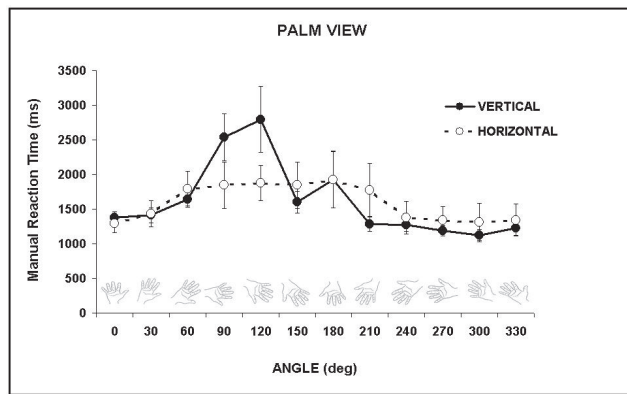


Figure 7. Graph showing the mean (+ SEM) of MRT for palm view presented in vertical and horizontal plan as a function of hand drawing orientation.

Palm view

Figure 7 indicates the mean (\pm SEM) of MRT for palm view presented in vertical and horizontal plan as a function of hand drawing orientation. There were no significant differences, $F(1, 14) = .01, p = .94$, between MRTs for vertical and horizontal drawings. This is the only view in which there was an interaction, $F(11, 154) = 2.142, p = .02$, between plane and angle. Angle was a significant factor, $F(11, 154) = 7.72, p < .001$, and the post-hoc analysis showed that: 1) in the vertical plane, MRTs for 90 deg (2191 ms) and 120 deg (2335 ms) are longer than MRTs at any other angles and 2) in the horizontal plane, there is no significant difference among the MRTs at the several angles.

Discussion

Parsons (1987, 1994) showed that the time required to discriminate the handedness of a hand drawing was similar to the time necessary to move one's own hand towards the stimulus configuration or to perform a mental simulation of the same movement. This mental rotation is the efferent copy of the actual movement without any muscle activation. It has been shown that the mental rotation of body parts, such as the hand, has to take into account the biomechanical constraints imposed on the actual movement of body segments (Petit et al., 2003). Movements that are difficult to be executed, for instance, are also difficult to be mentally reproduced and lead to longer response times.

At this point, it is worth noticing that Parsons' experimental approach, that has been largely employed for the study of motor imagery (Sirigu & Duhamel, 2001; Ionta, Fourkas, Fiorio, & Aglioti, 2007) and its neural correlates, has also been used for investigating neurological afflictions both in adults (Fiorio, Tinazzi, & Aglioti, 2006) and children (Wilson et al., 2004). Moreover, it has also been used for analyzing differences in brain processing of external objects and body parts

(Gawryszewski, Silva-dos-Santos, Santos-Silva, Lameira, & Pereira, 2007). Since the actual movement towards a hand drawing located in the vertical plane are biomechanically diverse than the movement aimed at a hand drawing located in the horizontal plane, due mostly to the differential activation of proximal muscles, we wondered whether the mental rotations corresponding to these movements would also be different, even if the stimulus was actually the same in both cases.

Our results showed that, for some views (back, little finger, thumb, wrist and palm) there is no significant difference between the MRTs for vertical and horizontal drawings (neither an interaction between plane and angle). The only minor exception occurs for the palm view, in which there is an interaction between plane and angle. Thus, there is no obvious difference between the mental rotations aimed at providing the confirmatory fit for handedness judgments of drawings located in either the vertical or horizontal plane.

Acknowledgements

We are deeply grateful to L.M. Parsons, which kindly gave his permission to use the hand drawings and to three anonymous reviewers whose comments helped improve the final version of the manuscript. We thank also the subjects who participated in the experiments. This study was supported by grants from CNPq/MCT, FAPERJ, CAPES, PROPP-UFF, UFF, UFPA

References

- Decety, J. (1996). Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Cognitive Brain Research*, 3(2), 87-93.
- De Lange, F.P., Helmich, R.C., & Toni, I. (2006). Posture influences motor imagery: an fMRI study. *Neuroimage*, 33, 609-617.
- Fiorio, M., Tinazzi, M., & Aglioti, S.M. (2006). Selective impairment of hand mental rotation in patients with focal hand dystonia. *Brain*, 129(Pt 1), 47-54.
- Gawryszewski, L.G., Silva-dos-Santos, J.C., Santos-Silva, J.C., Lameira, A.P., & Pereira, A. (2007). Mental rotation of anthropoid hands: a chronometric study. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 40, 377-381.
- Gentilucci, M., Daprati, E., & Gangitano, M. (1998). Implicit visual analysis in handedness recognition. *Consciousness and Cognition*, 7, 478-493.
- Ionta, S., Fourkas, A.D., Fiorio, M., & Aglioti, S.M. (2007). The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Experimental Brain Research*, 183, 1-7.
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Current Opinion in Neurobiology*, 5, 727-732.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Parsons, L.M. (1987). Imagined transformation of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, 19, 178-241.
- Parsons, L.M. (1994). Temporal and Kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of*

- Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 709-730
- Parsons, L.M., & Fox, P.T. (1998). The neural basis of implicit movements used in recognizing hand shape. *Cognitive Neuropsychology*, 15, 583-615.
- Parsons, L.M., Gabrieli, J.D.E., Phelps, E.A., & Gazzaniga, M.S. (1998). Cerebrally lateralized mental representations of hand shape and movement. *Journal of Neuroscience*, 18, 6539-6548.
- Petit, L.S., Pegna, A.J., Mayer, E., & Hauert, C.A. (2003). Representation of anatomical constraints in motor imagery: Mental rotation of a body segment. *Brain and Cognition*, 51, 95-101.
- Sirigu, A., & Duhamel, J.R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary and neurally dissociable mental processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 910-919.
- Vargas, C.D., Oliver, E., Craighero, L., Fadiga, L., Duhamel, J.R., & Sirigu, A. (2004). The influence of hand posture on corticospinal excitability during motor imagery: A Transcranial Magnetic Stimulation study. *Cerebral Cortex*, 14, 1200-1206.
- Wilson, P.H., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., Lum, J., & Thomas, P.R. (2004). Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Developmental Medicine and Neurology*, 46, 754-759.
- Wolpert, D.M., Ghahramani, Z., & Jordan, M.I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 269(5232), 1880-1882.

3.5. Gawryszewski, L.G.; Silva-dos-Santos, C.F.; Santos-Silva, J.C.; LAMEIRA, A.P.; Pereira Junior, A. Mental rotation of anthropoid hands: a chronometric study. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v. 40, p. 377-381, 2007.

Mental rotation of anthropoid hands: a chronometric study

L.G. Gawryszewski¹,
C.F. Silva-dos-Santos¹,
J.C. Santos-Silva¹,
A.P. Lameira¹ and
A. Pereira Jr.²

¹Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal
Fluminense, Niterói, RJ, Brasil

²Departamento de Fisiologia, Universidade Federal do Pará,
Belém, PA, Brasil

Correspondence

L.G. Gawryszewski
Departamento de Neurobiologia
UFF
Caixa Postal 100180
24001-970 Niterói, RJ
Brasil
Fax: +55-21-2629-2279
E-mail: gawryszewski_lg@yahoo.com.br

Research supported by CNPq, FAPERJ,
CAPES, PIBIC-PROPP-UFF, PROPP, UFF,
and UFPA.

Received April 28, 2006

Accepted

Authors: L.G. Gawryszewski et al.

Running title: Mental rotation of anthropoid hands

2 Abstract

It has been shown that mental rotation of objects and human body parts is processed differently in the human brain. But what about body parts belonging to other primates? Does our brain process this information like any other object or does it instead maximize the structural similarities with our homologous body parts? We tried to answer this question by measuring the manual reaction time (MRT) of human participants discriminating the handedness of drawings representing the hands of four anthropoid primates (orangutan, chimpanzee, gorilla, human). Twenty-four participants were instructed to judge the handedness of a

hand drawing by pressing a left/right key. The orientation of hand drawings varied from 0° (fingers upwards) to 90° lateral (fingers pointing away from the midline), 180° (fingers downwards) and 90° medial (finger towards the midline). The results showed an effect of rotation angle ($F(3, 69) = 19.57, P < 0.001$), but not of hand identity, on MRTs. Moreover, for all hand drawings, a medial rotation elicited shorter MRTs than a lateral rotation (960 and 1169 ms, respectively, $P < 0.05$), a result previously observed for drawings of the human hand and related to biomechanical constraints of movement performance. These findings indicate that anthropoid hands are essentially equivalent stimuli for handedness recognition. Since the task involves mentally simulating the posture and rotation of the hands, we wondered if "mirror neurons" could be involved in establishing the motor equivalence between the stimuli and our own hands.

Key words

Handedness recognition

Mental rotation

Manual reaction time

Motor imagery

Mirror neurons

Imitation

The ability to mentally transform the relative position/configuration of objects in space is important when planning actions. Shepard and Metzler (1) published a seminal work describing the mental representation of physical objects. The authors investigated the conscious imagery of three-dimensional objects by measuring the manual reaction time (MRT) **on a** task in which **human participants** should decide whether two drawings displayed on a computer screen corresponded to the same object. In order to perform the test adequately, the participants had to mentally simulate the rotation of the objects. The results showed that the dynamics of mental rotation was similar to the rotation of real objects. **For instance,** the time necessary to complete the mental rotation increased with the rotation angle in a linear fashion.

Cooper and Shepard (2) extended the investigation to include drawings of human hands and studied the influence of stimulus orientation on handedness discrimination. The authors showed that the MRT of participants varied with the orientation angle of the stimuli, being shorter when the fingers pointed upwards (0°) and longer when they pointed

downwards (180°). They concluded that participants mentally rotated the drawings to the vertical position before deciding on handedness. More recently, Parsons (3), using a slight variation of the protocol employed by Cooper and Shepard (2) showed that the MRT for handedness discrimination does not depend **solely** on the orientation of the pictures, but **mainly** on the difficulty in imagining our own hands assuming the position of the drawings. This conclusion arose from experiments comparing the MRT for handedness discrimination with the time spent by the participants to either move their hands onto the **stimulus** configuration or just imagine this movement. Based on these findings, Parsons (3) proposed that the participants, **instead of mentally rotating the drawings like non-self objects**, performed a mental simulation of their own hand's moving to match the picture on the screen. Furthermore, this motor imagery was subject to the same biomechanical constraints imposed on the real movement, thus explaining the longer MRTs obtained with pictures of the hands in "awkward" positions (3).

In the present study, we evaluated the MRT of human participants discriminating the handedness of drawings of the hands of four anthropoid primates (orangutan, chimpanzee, gorilla and human) presented in 4 orientations.

Our aim was to determine whether the drawings belonging to non-human primates would be recognized as external, non-self objects or whether they would be recognized as equivalent to the human hand. Only in the last case would the MRT be sensitive to biomechanical constraints of the movement.

The experiments involved 24 right-handed (4) volunteers (13 males and 11 females, 18-39 years old, mean = 22.6 years), with normal or corrected vision and naive about the purposes of the experiment. Written informed consent was obtained from all volunteers and the experiment was approved by the University Ethics Committee. Drawings of hands (about $16^\circ \times 9^\circ$) of 4 anthropoid primates (orangutan, *Pongo pygmaeus*; chimpanzee, *Pan troglodytes*; gorilla, *Gorilla gorilla*, and human, *Homo sapiens*) were displayed on a computer screen (Figure 1A). The drawings were presented in the following orientations (Figure 1B): for the right hand - 0° (fingers upwards), 90° (clockwise - 90° lateral), 180° , or 270° (90° medial) and for the left hand - 0° (fingers upwards), 90° (counterclockwise - 90° lateral), 180° , or 270° (90° medial).

Experiments were carried out inside a sound-attenuated room, with a PC 486 computer **used for both** controlling the stimulus display and **recording** the participants' responses.

Participants were positioned on a chin rest located 57 cm away from a 20" VGA computer monitor. The MEL 2.0 software was used to control the temporal sequence of events and to record MRTs. Stimuli were exhibited on the central region of the screen and the subject's task was to indicate handedness by pressing either a left or right switch.

All volunteers participated **of** only one experimental session, which consisted of a 32-trial training block and a full session of 320 trials divided into 4 blocks separated by rest periods of a few minutes. Each trial began with the presentation of a gray screen for 1000 ms, followed by the display of a hand drawing, which remained onscreen until the subject responded **pressing a button**. Next, the gray screen was presented again for 500 ms and a new trial began. The trials with a wrong or anticipatory (MRT <100 ms) response were rerun at the end of the session. During a session, the subject was instructed to keep his gaze fixed on the center of the screen and to respond as fast as possible to the occurrence of the stimulus.

The number of errors made by the 24 participants corresponded to only 2.3% (0-6.4%) of the trials and was not further analyzed. In addition, data from two participants were discarded due to the high number of

errors (66 and 119 errors, respectively, corresponding to 17 and 27% of the trials).

The median MRT values were analyzed by ANOVA with the following factors: angle (0°, 90° lateral, 180° and 90° medial), primate (orangutan, chimpanzee, gorilla and human) and hand (left, right). The criterion for statistical significance was preset at $\alpha = 0.05$.

The only factor with a significant effect on MRT was angle ($F(3, 69) = 19.57, P < 0.001$; Figure 2). There was also no significant interaction among the factors. Thus, rotation angle influenced MRT **irrespective of** whether the hand depicted in the drawings belonged to a human **or not**.

Figure 2 shows the MRTs obtained for each hand orientation. **The** Newman-Keuls *post hoc* analysis showed that MRT was shorter ($P < 0.05$) when fingers pointed upwards (0° - 875 ms) than when fingers pointed both away from the midline (90° lateral - 1169 ms) and downwards (180° - 1299 ms), but did not differ ($P > 0.05$) from the MRT obtained when fingers pointed towards the midline (90° medial - 960 ms). All other MRT comparisons were significantly different. It is worth noting that there was a significant difference between the MRT to **the** 90° lateral (1169 ms) and 90° medial (960 ms) orientations. This suggests that biomechanical constraints (3) must be influencing **the**

mental rotation of drawings of both human and non-human hands.

Our main finding is the equivalence **of** MRTs for handedness discrimination of **drawings representing the hands of** both human and non-human primates. These results imply that the basic elements of motor imagery associated with this task (see Refs. 3 and 5) are similar in both cases. Our initial hypothesis was that the drawings of **the hands of** non-human primates would be treated like drawings of other non-self objects, i.e., there would be no difference on MRTs due to **the lack of** biomechanical constraints **on** motor imagery (3,5). However, the results indicated just the opposite, as shown by the different MRTs for the 90° lateral and 90° medial postures (see above).

Parsons (3) had shown that participants performing a handedness recognition task based on drawings of human hands mentally simulated the movement of their own hand matching the picture displayed on the screen. According to Parsons (3), this motor imagery is subject to the same biomechanical constraints imposed on the real movement, thus explaining the longer MRTs obtained with pictures of hands displayed in "awkward" positions (3). In the present study, we showed that similar biomechanical restrictions seem to apply during handedness discrimination **of** non-

conspecifics' hands, implying that in order to accomplish the task the observer also mentally simulates the movement of his/her own hand in a confirmatory fit. **We suggest that the hand drawings of humans and anthropoid primates are mapped onto the same motor representation in the brain , regardless of anatomical differences, because of the automatic, pre-attentive nature of their initial processing (3).**

The mentally simulated movement used for handedness discrimination activates cortical areas involved in motor control in humans (for a review, see Ref. 6). More specifically, a PET study (6) showed that the pre-supplementary motor area (pre-SMA), Brodmann areas (BA) 44, 46, and 4 in the left hemisphere and BA 6, 7, and 37 in the right hemisphere are involved in both motor imagery and handedness recognition.

Buccino and coworkers (7), in an fMRI study, showed that the same motor regions in the brain are activated when human participants observe an action present in their motor repertoire, such as biting, performed **either** by humans **or** monkeys. This mapping of an observed action onto the brain's motor representation may form the basis for action understanding. This hypothesis was introduced after the discovery of neurons **located** in area F5 of the monkey's

premotor cortex that showed congruency between the visual actions they respond to and the motor behavior they specify (8,9). The discharge of these "mirror neurons" generates an internal representation of the action, which is involved in the understanding of motor events (8-10). Later, other areas in the monkey were shown to have the same properties, such as the superior temporal sulcus (STS) and area 7b, and were consolidated into a Mirror Neuron System (MNS) (for a review, see Ref. 11). Though neurons in extrastriate visual areas, such as the inferotemporal lobe and STS (11) also respond to hand and face stimuli (13, for reviews, see Refs. 14 and 15), and could also theoretically contribute to action understanding through perceptual mechanisms, they do not show any evidence of motor activation.

Several sets of experimental data demonstrate that an MNS devoted to hand, mouth, and foot actions is also present in humans (7). The homologous MNS areas in humans are the STS, the inferior parietal lobe, and the ventral premotor cortex, including Broca's area (11,16,17, see Ref. 18 for a review). Moreover, an fMRI study (10) has shown that the observation of actions performed with the hand, the mouth and the foot leads to the activation of different sectors **within these** areas (BA 44, 6), following a

somatotopic pattern that resembles the classical motor cortex homunculus (10).

We would like to propose, as a tentative parsimonious explanation, that the handedness discrimination task we just described also engages the activity of the human MNS. More specifically, the particular orientation displayed by the hand drawing would resonate with a corresponding subset of the subject's MNS. The activation of this neuronal subpopulation would then be responsible for pre-attentively triggering the implicit hand movement which precedes the conscious handedness decision (3,5). We propose that the motor imagery associated with this implicit action is mapped onto the MNS, where it *resonates* with a particular motor representation and allows for adequate handedness discrimination.

Acknowledgments

3

We dedicate this work to Professor Carlos Eduardo Rocha-Miranda (Academia Brasileira de Ciências), whose scientific achievements have inspired several generations of Brazilian neuroscientists.

References

1. Shepard RN, Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 1971; 171: 701-703.
2. Cooper LA, Shepard RN. Mental transformations in the identification of left and right hands. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1975; 104: 48-56.
3. Parsons LM. Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1994; 20: 709-730.
4. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971; 9: 97-113.
5. Parsons LM. Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging. *Acta Psychol* 2001; 107: 155-181.
6. Parsons LM, Fox PT. The neural basis of implicit movements used in recognising hand shape. *Cog Neuropsychol* 1998; 15: 583-615.
7. Buccino G, Lui F, Canessa N, Patteri I, Lagravinese G, Benuzzi F, et al. Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: an FMRI study. *J Cogn Neurosci* 2004; 16: 114-126.

8. Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Brain Res Cogn Brain Res* 1996; 3: 131-141.
9. Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 1996; 119 (Part 2): 593-609.
10. Binkofski F, Buccino G. The role of ventral premotor cortex in action execution and action understanding. *J Physiol Paris* 2006; 99: 396-405.
11. Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat Rev Neurosci* 2001; 2: 661-670.
12. Rizzolatti G, Fadiga L. The mirror-neuron system and action recognition. In: Freund HJ, Jeannerod M, Hallett M (Editors), *Higher-order motor disorders: from Neuroanatomy and Neurobiology to Clinical Neurology*. New York: Oxford University Press; 2005. p 141-157.
13. Gross CG, Rocha-Miranda CE, Bender DB. Visual properties of neurons in inferotemporal cortex of the Macaque. *J Neurophysiol* 1972; 35: 96-111.
14. Tanaka K. Inferotemporal cortex and object vision. *Annu Rev Neurosci* 1996; 19: 109-139.
15. Pinsk MA, Desimone K, Moore T, Gross CG, Kastner S. Representations of faces and body parts in macaque temporal

cortex: a functional MRI study. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2005; 102: 6996-7001.

16. Iacoboni M. Understanding others: Imitation, language and empathy. In: Hurley S, Chater N (Editors), *Perspectives on imitation: From Neuroscience to Social Science. Volume 1: Mechanisms of imitation and imitation in animals (Social Neuroscience)*. Cambridge: MIT Press; 2005.

17. Rizzolatti G. The mirror neuron system and imitation. In: Hurley S, Chater N (Editors), *Perspectives on imitation: From Neuroscience to Social Science. Volume 1: Mechanisms of imitation and imitation in animals (Social Neuroscience)*. Cambridge: MIT Press; 2005.

18. Aziz-Zadeh L, Koski L, Zaidel E, Mazziotta J, Iacoboni M. Lateralization of the human mirror neuron system. *J Neurosci* 2006; 26: 2964-2970.

19. Schultz A H. *The Life of Primates*. New York, Universe Books, 1969.

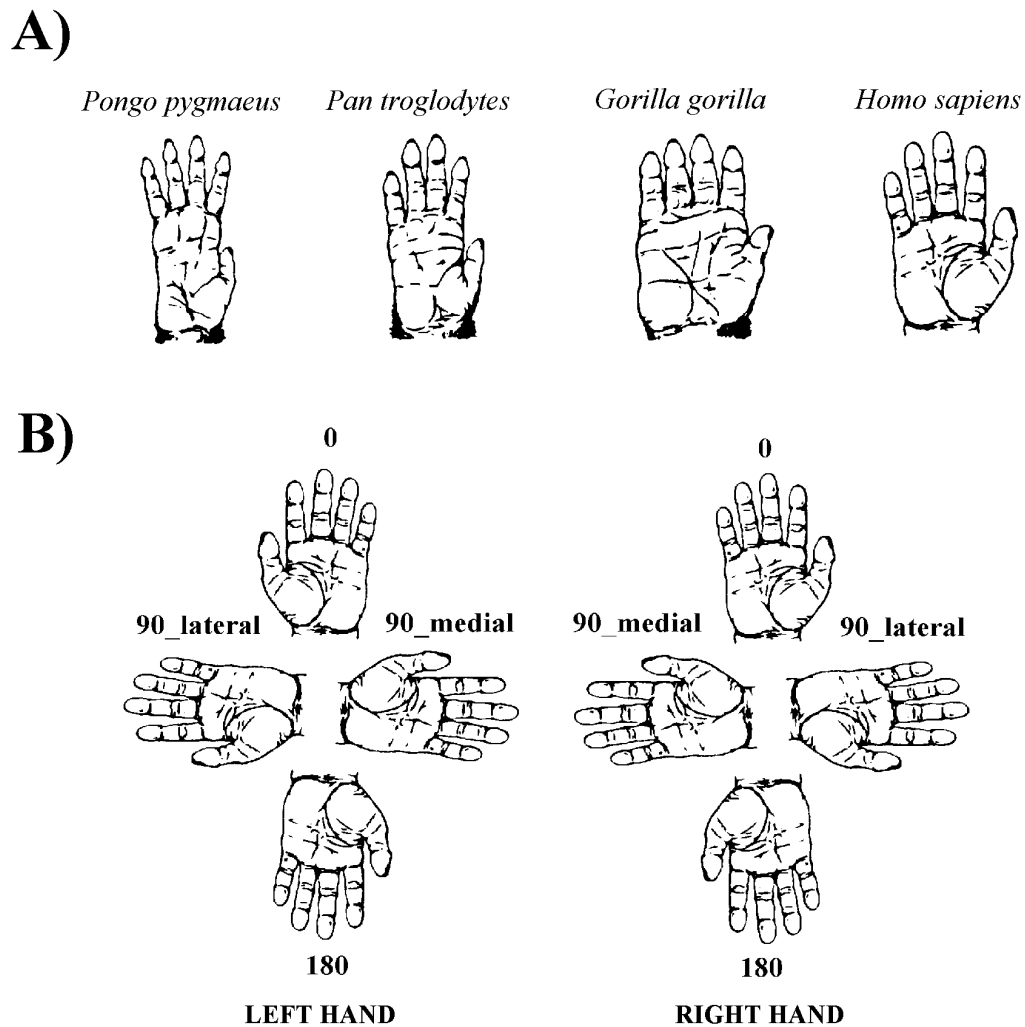


Figure 1. A, Drawings of the right hands of four anthropoid primates used in the experiment. B (left column), Drawings of the left human hand in the following orientations used in the experiment (counterclockwise): 0° (fingers upwards), 90° (90° lateral), 180° and 270° (90° medial); (right

column) drawings of the right human hand in the following orientations used in the experiment (clockwise): 0° (fingers upwards), 90° (90° lateral), 180° and 270° (90° medial) (Adapted from Reference 19).

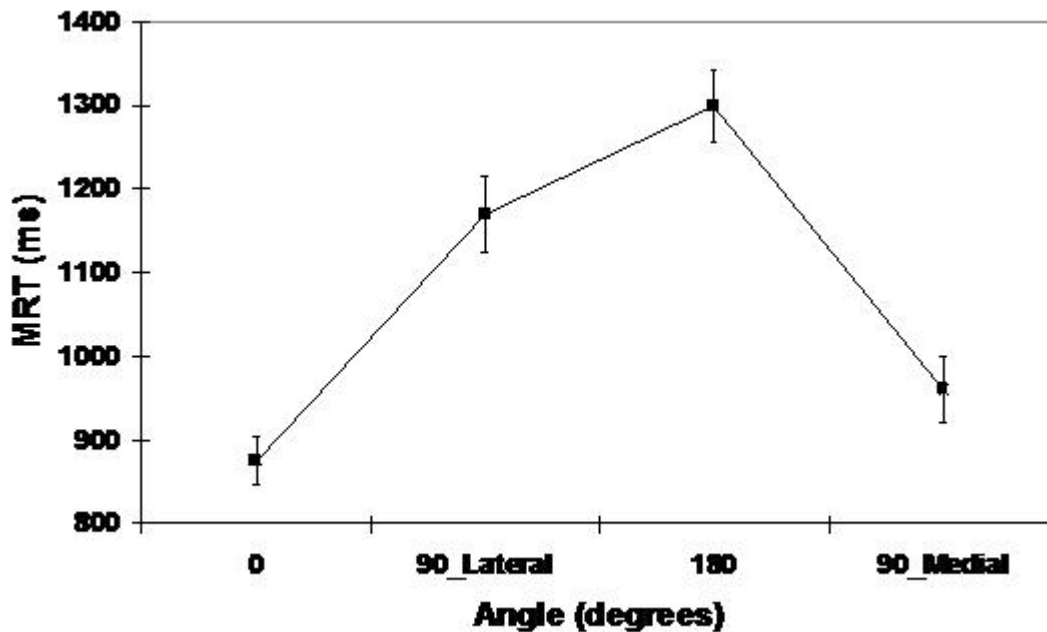


Figure 2. Manual reaction time (MRT) as a function of the orientation angle of the hand drawings. Notice that the MRT (mean \pm SEM) for the drawings with fingers pointing upwards (0°) is significantly shorter when compared to drawings with fingers pointing both away from the midline (90° lateral) and downwards (180°), but not from drawings with fingers pointing towards the midline (90° medial). Data are

3.6. LAMEIRA, A.P.; Gawryszewski, L.G.; Guimarães Silva, S.; Ferreira, F.M.; Carvalho, A.; Vargas, C.D.; Pereira Junior, A.; Umiltá, C. Hand Posture Effects on Handedness Recognition as Revealed by the Simon effect. *Experimental Psychology*, 2008 (*submetido*).

Editorial Manager(tm) for Experimental Psychology
Manuscript Draft

Manuscript Number: MS-292

Title: Hand Posture Effects on Handedness Recognition as Revealed by the Simon Effect

Short Title: Hand Posture Effects on Handedness Recognition

Article Type: Short Research Article

Keywords: Handedness recognition; Simon effect; Hand posture; Motor imagery

Corresponding Author: Dr. Allan Pablo Lameira, MSc

Corresponding Author's Institution: Universidade Federal Fluminense

First Author: Allan P Lameira, MSc

Order of Authors: Allan P Lameira, MSc; Luiz G Gawryszewski, PhD; Sabrina Guimarães-Silva, PhD; Fernanda M Ferreira, PhD; Altieri A Carvalho, MSc; Antônio Pereira, PhD; Cláudia D Vargas, PhD; Carlo Umiltà, MD

Abstract: We investigated the influence of hand posture in a handedness recognition task. We used a Simon approach, by varying the spatial correspondence between stimulus and response. Drawings of the left and right hands were displayed in either back or palm view and subjects had to use either a prone or a supine hand posture to press a left/right key for a drawing depicting the left/right hand. As a control, simple geometrical figures were used as relevant stimuli. Results show that for the prone posture, spatially corresponding trials were faster than non-corresponding trials. In contrast, for the supine posture, there was no difference between corresponding and non-corresponding trials. The control experiment confirmed that posture influences the Simon task only when the relevant stimulus is a body part. We propose that the discrepancy between hand postures is due to a difference on the strength of sensorimotor representations.

Suggested Reviewers: Jan De Houwer

University of Gent

Jan.DeHouwer@UGent.be

Iring Koch

RTWH Aachen University

koch@psych.rwth-aachen.de

Dan Zakay

Ramat-Aviv University

dzakay@post.tau.ac.il

Hartmut Leuthold

University of Glasgow

h.leuthold@psy.gla.ac.uk

Opposed Reviewers:

1. Introduction

1.1. Stimulus-Response Compatibility

In choice reaction time (RT) paradigms, the compatibility between elements of the stimulus and response (S-R) sets influences both the speed and accuracy of performance (Umiltà & Nicoletti, 1990). For example, the manual response to a stimulus appearing on the same side as the response is both faster and more accurate than that elicited by a stimulus appearing on the opposite side (see reviews in Umiltà & Nicoletti, 1990; Lu & Proctor, 1995; Hommel, 1993).

The spatial location of the stimulus affects the response selection stage (Tsal & Lavie, 1993), even when it is irrelevant to task performance, as shown by the Simon effect. The Simon effect is due to the fact that subjects are faster and more accurate when stimulus and response occur in corresponding spatial positions, even if location of the stimulus is irrelevant to the task (Umiltà & Nicoletti, 1990; Lu & Proctor, 1995). The amplitude of the Simon effect depends on the relative processing speed of the irrelevant and relevant information and decreases for longer RTs. This is further evidence that the processing of irrelevant and relevant information interacts at the response selection stage (Hommel, 1993; De Jong, Liang & Lauber, 1994; Lu & Proctor, 1995, 2001).

1.2. Handedness recognition

Several studies have shown that mental rotation of external objects and of body parts engage distinct neural mechanisms (Parsons, 2003; Tomasino, Toraldo & Rumiati, 2003; Zacks, Gilliam & Ojemann, 2003). According to Parsons (1987, 1994), judging the handedness of a visually presented drawing of a hand involves a pre-attentive handedness-recognition process followed by a mental simulation of one's own hand moving towards

1
2
3
4 the stimulus (Parsons, 1987, 1994; Parsons & Fox, 1998, Parsons, Gabrieli, Phelps &
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

the stimulus (Parsons, 1987, 1994; Parsons & Fox, 1998, Parsons, Gabrieli, Phelps & Gazzaniga, 1998). It is important to stress the distinction between these two sequential phases involving the implicit or automatic recognition of the hand (first phase) and confirmatory motor imagery (second phase), even though they can share some common neural substrates (Gentilucci, Daprati & Gangitano, 1998). Automatic recognition relies on "internal models" that are constructed by motor experience (Wolpert, Ghahramani & Jordan, 1995), while motor imagery follows the same rules of the real movement, including compliance to biomechanical and physical constraints (De Lange, Helmich & Toni, 2006; Parsons, 1994; Vargas et al. 2004).

To test the influence of proprioceptive inputs on a handedness judgment task, Parsons (1994, Experiment 4, p. 721) had subjects assume two hand postures, while responding to the task with their feet: a "canonical" one (palms down on a table) and an "awkward" posture (palms facing away the midsagittal plane). Parsons (1994) observed that mental rotation is considerably faster in the former case. In another related study, Vargas et al. (2004) investigated, by means of Transcranial Magnetic Stimulation (TMS), how the corticospinal excitability facilitation induced during the mental simulation of a hand movement is affected by the actual hand posture. Subjects were asked to imagine themselves joining the tips of the thumb and the little finger while maintaining a hand posture either compatible or incompatible with the imagined movement. Results showed that corticospinal excitability was higher when subjects imagined themselves performing the task with the hand kept in the compatible posture (little finger, index and thumb extended, other fingers flexed), as compared to the incompatible one (index and thumb extended, other fingers flexed), indicating that the actual limb posture exerts a modulatory effect upon the motor imagery process through proprioceptive inputs.

1
2
3
4 A similar result was obtained by De Lange et al. (2006) in an fMRI study in which
5
6 they found that the posture of the subjects' own left and right arm influenced handedness
7
8 judgments through modulation of a parietal-frontal network whose activity increased with
9
10 increasing biomechanical complexity of the imagined hand movements, even when the
11
12 stimuli were identical. Moreover, activity in the intraparietal sulcus was modulated by the
13
14 subjects' own hand position: a larger incongruence in orientation between the subjects' hand
15
16 and the stimulus hand led to a selective increase in intraparietal activity. These results
17
18 indicate that motor imagery depends on the current configuration of the limbs, as
19
20 determined by proprioceptive inputs.
21
22
23
24
25
26
27
28

29 *1.3. Aims of the study*

30

31 In the present study, we employed drawings of the human hand as stimuli in a
32
33 Simon task to investigate the influence of hand posture on handedness recognition. In our
34
35 task, handedness of the drawings was the relevant feature for response selection, while its
36
37 location (left or right) was the irrelevant one. Besides, the hand drawings could be
38
39 displayed in two different views (palm or back) and participants performed the test using
40
41 two hand postures (prone or supine). Our hypothesis is that the motor imagery necessary
42
43 for handedness discrimination would be influenced by the posture of the responding hand
44
45 (prone or supine) in a task which evaluates the interaction between hand view (back/palm)
46
47 and hand posture. In contrast, we propose, there will be no effect of hand posture on a
48
49 regular Simon task, using geometric figures as stimuli.
50
51
52
53
54
55
56
57

58 **2. Experiment 1: Effect of hand posture on handedness recognition**

59
60
61
62
63
64
65

2.1. Methods

2.1.1. Participants

Twelve right-handed volunteers (eight male and four female, 18-22 years old, mean= 19.5 years) participated in the study. All had normal visual acuity and were naïve as to the purposes of the experiment. All subjects provided written informed consent and the study was approved by our Institution's Research Ethics Committee.

2.1.2. Stimuli

Drawings of left and right hands viewed from two perspectives (back and palm views) were presented randomly. Left and right hands were mirror images of each other. Stimuli were about 15.5° tall and 9.3° wide and were painted black on a gray background. The center of the stimuli were located 7.5° to the left or to the right of the central fixation point and were presented always in a single orientation (with the fingers upward – see Fig. 1).

Insert Fig. 1 about here

2.1.3. Apparatus

The experiment was conducted in a quiet and dimly lit room. A personal computer (PC 486) was used both for stimulus presentation and to record the subject's response. The head of participants was positioned in a forehead-and-chin rest, so that the distance between the eyes and the screen was about 57 cm (see Fig.2). The Micro Experimental Laboratory (MEL, version 2.0) software was used to determine the events' sequences and to measure response latency. The stimuli were displayed on a 20-in VGA monitor and were presented

1
2
3
4 7.5° to the left or to the right of the central fixation point. The stimulus remained in the
5
6 screen for 1000 ms and the subjects responded by pressing one of two micro-switches,
7
8 located 25 cm to the left or right. Participants employed two hand postures (prone and
9
10 supine) when responding. In both postures, they executed the same index finger movement
11
12 (flexion) to press the response key, since the apparatus allowed a 180° turn (see Fig. 2). We
13
14 used an Eye Track System (Model 210 - Applied Science Laboratories) to control subject's
15
16 fixation during the test.
17
18
19
20
21
22

23 Insert Fig. 2 about here
24
25
26
27

28 *2.1.4. Task* 29 30

31 The subject's task was to press the right key to the righthand drawing and the left
32
33 key to the lefthand drawing. The **relevant** feature for response selection was the stimulus'
34
35 handedness (left or right hand drawing) and the **irrelevant** feature was its location (left or
36
37 right). A corresponding trial was defined as the condition in which the stimulus appeared
38
39 on the side of the response key and a non-corresponding trial as the condition in which the
40
41 stimulus appeared on the side opposite to the response key.
42
43
44
45
46
47

48 *2.1.5. Procedure* 49 50

51 Participants attended two sessions on different days. Each session was subdivided
52
53 into four blocks of 68 trials, resulting in 272 trials per session. In two consecutive blocks,
54
55 the subject responded with his/her palms face down (prone posture) and, in the other two
56
57 blocks, with his/her palms face up (supine posture). Thus, hand posture could match the
58
59 view of the drawings or not. For instance, the prone posture matched drawings in back
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 view, while the palm view matched the supine posture. The left or right hand drawings
5
6 were presented randomly in either the back or palm view. Because hand views (palm or
7
8 back) were randomly presented, subjects were not able to use any local feature for
9
10 handedness recognition, such as the relative position of the thumb.
11
12

13
14 Subjects were instructed: i) to maintain the gaze at the central fixation point, ii) to
15
16 avoid looking at the stimulus and iii) to respond as fast as possible by pressing the right
17
18 micro-switch to a righthand stimulus and the left micro-switch to a lefthand stimulus.
19
20
21
22

23 24 *2.2. Analyses*

25 26 *2.2.1. Central tendency measurements*

27
28 The means of the correct manual RTs (MRTs) were entered into an ANOVA with
29
30 the following factors: hand posture (prone and supine), match (matching or non-matching
31
32 conditions) and correspondence (corresponding and non-corresponding conditions).
33
34

35
36 A matching trial was the condition in which the participant's hand was in a prone
37
38 (supine) posture and the stimulus appeared in a back (palm) view and vice-versa for a non-
39
40 matching trial. A corresponding trial was the condition in which the righthand (lefthand)
41
42 drawing appeared in the right (left) visual hemifield and the subject responded to it by
43
44 pressing the right (left) key and vice-versa for the non-corresponding trial. The Newman-
45
46 Keuls method was used for post-hoc analyses, with $\alpha=0.05$.
47
48
49
50
51
52

53 54 *2.2.2. Delta-plot analysis*

55
56 The Delta-plot procedure (Ridderinkhof, 2002) is based on correct MRT
57
58 distributions for corresponding and non-corresponding trials in prone and supine postures.
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 These rank-ordered distributions were divided into five proportional bins (quintiles) such
5 that each bin contained the same proportion of trials (one fifth). Mean MRTs for each bin is
6 calculated and its difference (the size of the correspondence) is plotted as a function of
7 response speed. Thus, Delta-plots were constructed by plotting the correspondence effect
8 amplitudes (mean MRT in non-corresponding trials minus mean MRT in corresponding
9 trials) as a function of response speeds for each hand posture. The correspondence effect
10 amplitudes were submitted to an ANOVA with the within-subjects factors: hand posture
11 (prone and supine) and quintile (1st bin, 2nd bin, 3rd bin, 4th bin and 5th bin).
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

26 2.3. Results

27 2.3.1. Central tendency measures

28
29
30 The only significant factor was match ($F_{1,11} = 15.12$, $p < .0025$). The average MRT
31 for the matching condition (641 ms) was 28 ms faster than MRT for the non-matching
32 conditions (669 ms). There was also a significant interaction between hand posture and
33 match ($F_{1,11} = 13.04$, $p = 0.0041$) and between hand posture and correspondence ($F_{1,11} = 8.60$,
34 $p = 0.0136$).
35
36
37
38
39
40
41
42

43 When the subject's hands were in the prone posture, MRT for the matching
44 condition (back view - 613 ms) was 62 ms faster than MRT for the non-matching condition
45 (palm view - 675 ms). However, when the subject's hands were in the supine posture, there
46 was no significant difference between matching and non-matching conditions (back view -
47 670 vs. palm view - 663 ms respectively; see Fig. 3).
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57

58 Insert Fig. 3 about here
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 When the subjects' hands were in the prone posture, MRT for the corresponding
5 condition (636 ms) was 17 ms faster than MRT for the non-corresponding condition (653
6 ms, see Fig. 4). However, when the subject's hands were in the supine posture, there was
7 no significant difference between corresponding and non-corresponding conditions (668 vs.
8 665 ms, respectively). Thus, only in the prone posture, there was a Simon effect.
9 Importantly, the MRT for the prone posture in both the corresponding and non-
10 corresponding conditions (636 and 653 ms) was significantly faster than the MRT for the
11 supine posture in the same conditions, respectively 668 and 665 ms.
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

23 Overall errors amounted to 8.37%, of which 5.17% were judgment errors, 3.08%
24 were omission errors and 0.12% were anticipation errors. Errors were analyzed with the
25 ANOVA, but no sources of variance were significant.
26
27
28
29
30
31
32

33 Insert Fig. 4 about here
34
35
36
37

38 2.3.2. Delta-plot analysis 39

40 Both hand posture ($F_{(1,11)}=8.45$; $p<.0143$) and bin ($F_{(4,44)}=6.58$; $p<.0003$) were
41 significant in the Delta-plot analysis. There was no significant interaction between hand
42 posture and bin ($F_{(4,44)}=1.53$; $p>.209$). Overall, the correspondence effect in the prone
43 posture (17 ms) was 20 ms larger than in the supine posture (-3 ms). Using the mean of
44 MRT obtained in both postures we found that in the first quintile, the correspondence effect
45 (26 ms) was not different from the second (17 ms), but was greater than the third (2 ms),
46 fourth (-9ms) and fifth (0.3 ms) quintile. The second quintile (17 ms) was not different
47 from both the third (2 ms) and the fifth quintile (0.3 ms), but was greater than the fourth (-9
48 ms). No other significant differences were found.
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 It is important to notice that there was no interaction between the hand posture and
5 bin factors. The size of the correspondence effect for the prone posture was larger than the
6
7
8
9 supine posture in all bins examined (see Fig. 5).

10
11
12
13
14 Insert Fig. 5 about here

15 16 17 18 19 *2.4. Discussion*

20
21 The results show an interaction between hand posture (prone/supine) and stimulus
22 perspective (back/palm views of the hand drawings). When the subjects' hands were in the
23 prone posture and the stimulus was in back view, MRTs were faster than when the stimulus
24 was in palm view. However, there is no difference between the back and palm views in the
25
26
27
28
29
30
31
32 supine posture.

33 We also described a selective hand posture effect in a Simon task employing
34 handedness as the relevant stimulus feature. When the subjects' hands assumed a prone
35 posture, MRTs for the corresponding condition were faster than MRTs for the non-
36
37
38
39
40
41
42
43
44 corresponding condition. This correspondence effect disappeared, however, when hands
45 were in the supine posture.

46 Finally, a Delta-plot analysis showed that the correspondence effect in the prone
47 posture was larger than in the supine posture in all bins and that there was no interaction
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57 between the hand posture and bin. The size of the correspondence effect for the prone
58 posture was larger than for the supine posture in all bins examined.

59 **3. Experiment 2: Effects of posture on a regular Simon task**

60 *3.1. Methods*

61
62
63
64
65

3.1.1. *Participants*

Sixteen right-handed volunteers (eight male and eight female, 17-29 years old, mean= 21 years) participated in the experiment. All had normal visual acuity and were naïve as to the purposes of the experiment (they had not participated in Experiment 1). All subjects provided written informed consent and the study was approved by our Institution's Research Ethics Committee.

3.1.2. *Stimuli*

Drawings of geometric figures (squares and circles of 1° of visual angle) were presented on a 20-in VGA monitor screen.

3.1.3. *Apparatus*

The apparatus was as described before for the handedness recognition task (Experiment 1), except that the stimuli were presented 8.5° to the left or right of the central fixation point.

3.1.4. *Task*

The subjects' task was to press a micro-switch (right or left) when a stimulus (circle or square) appeared. Usually, in this classical Simon task, the corresponding condition (stimulus on the same side as the response key) elicits faster responses than the non-corresponding condition (stimulus on the opposite side as the response key).

3.1.5. *Procedure*

1
2
3
4 There were three sessions on different days. The first session was considered
5
6 practice and was not included in the analysis. Each session was subdivided into four blocks
7
8 of 80 trials, resulting in 320 trials per session. Participants responded either with their
9
10 palms face down (prone posture) in two blocks or with their palms face up (supine posture)
11
12 in the other two. They were instructed to keep their gaze at the central fixation point until
13
14 the stimulus' appearance, avoid looking at the stimulus and to respond as fast as possible to
15
16 its appearance. Half of the participants used the right micro-switch for the square and the
17
18 left micro-switch for the circle. The others had the reverse assignment.
19
20
21
22

23 Experimental conditions were counterbalanced across subjects to account for
24
25 practice or fatigue effects. Participants performed two consecutive blocks with the same
26
27 posture.
28
29
30
31
32

33 *3.2. Analyses*

34
35 The means of the correct MRTs were entered into an ANOVA with the factors:
36
37 hand posture (prone and supine) and correspondence (corresponding and non-
38
39 corresponding conditions). The Newman-Keuls method was used for post-hoc analyses,
40
41 with $\alpha=0.05$. The Delta-plot analyses were performed as described in Experiment 1.
42
43
44
45
46
47

48 *3.3. Results*

49 *3.3.1. Central tendency measurements*

50
51 The two factors, hand posture ($F_{1,15}=5.64$, $p=0.0314$) and correspondence
52
53 ($F_{1,15}=11.30$, $p=0.0043$), were significant. The average MRT in the corresponding condition
54
55 (417 ms) was 13 ms faster than MRT in the non-corresponding condition (430 ms). When
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 the subjects' hands were in the prone posture (418 ms), MRT was 11 ms faster than in the
5
6 supine posture (429 ms). There was no significant interaction.
7
8

9 Overall, performance errors amounted to 3.25%, of which 3.17% were judgment
10
11 errors, 0.06% omission errors and 0.02% anticipation errors. Errors were analyzed with the
12
13 ANOVA, but no sources of variance were significant.
14
15
16
17
18

19 3.3.2. *Delta-plot analysis*

20
21 Only the quintile factor was significant ($F_{1,15} = 16.487, p < 0.0001$). The magnitude of
22
23 the correspondence effect in the first (24 ms), second (20 ms) and third (14 ms) quintile
24
25 was greater than in the fourth (3 ms) and fifth (-7 ms) quintile. There was no interaction (see
26
27 Figure 6).
28
29
30
31
32

33 Insert Fig. 6 about here
34
35
36
37

38 3.4. *Discussion*

39
40 Performance on corresponding conditions was 13 ms faster than in non-
41
42 corresponding conditions. Also, when the responding hands were in the prone (palm down)
43
44 posture, MRT was 11 ms faster than when they were in the supine (palm up) posture. More
45
46 interestingly, there was no interaction between hand posture and correspondence, i.e., hand
47
48 posture did not influence the Simon effect. These results show that the Simon effect is
49
50 modulated by the posture of the responding hand only in the handedness recognition task,
51
52 as shown in Experiment 1.
53
54
55
56
57
58
59

60 4. General Discussion

61
62
63
64
65

Two main findings were obtained in the present study. The first is the existence of a posture effect on the motor imagery of the hands: when the subject's hands were in the prone posture, MRT for the stimulus in back view (matching condition) was faster than the palmar view (non-matching condition). This effect did not show up with the hands in a supine posture. We interpret this as evidence for the influence of proprioceptive information on motor imagery of the hands. Similar to early studies using a behavioral task (Parsons, 1994; Sirigu & Duhamel, 2001), TMS (Vargas et al., 2004) and fMRI (De Lange et al., 2006), we showed that motor imagery depend on the current configuration of the subject's hand. It is worth noticing that there is no MRT difference between the back and palmar views with the supine posture. The supine posture is not as "canonical" as the prone posture and it is possible that the internal models for the former are not as consistent as the latter, affecting the easiness with which the mentally simulated movement is generated (Sirigu & Duhamel, 2001; Parsons, 1994).

Second, we found that the posture of the responding hand influenced the Simon effect. The Simon effect occurred only when the hand was in a prone, but not a supine posture. Besides, when the results were compared to those obtained in a classical Simon task, using simple geometrical figures as stimuli, we found that the hand posture had no influence on the Simon effect.

Previously, it had already been shown that handedness recognition is determined by automatically performing a mental simulation of one's own hand movement (Parsons, 1994; Parsons & Fox, 1998). The time spent to perform the task is shorter when the subject's hands are kept in a canonical posture (Parsons, 1994; Sirigu & Duhamel, 2001). The influence of posture we found on the Simon task further advances the claim of a powerful influence of proprioceptive inputs on motor imagery. It remains to be determined,

1
2
3
4 however, whether this influence occurs on early stages of the visual processing of the
5 stimulus (Sherman, 2007) or later, during preparation of the efferent copy that will guide
6 response selection.
7
8
9

10
11 We propose that in the task we used, the prone posture is comparatively more
12 canonical and facilitates the mentally imagined movement necessary for the handedness
13 judgment. Being more awkward, on the other hand, the supine posture may render the
14 mental simulation of the subject's hand movement more difficult, consequently delaying
15 identification of relevant stimulus information.
16
17
18
19
20
21
22

23
24 There is evidence indicating that factors such as the relative processing speed of the
25 irrelevant and relevant information influence the magnitude of the Simon effect at the
26 response selection stage (Hommel, 1993; De Jong et al., 1994; Lu & Proctor, 1995, 2001).
27
28 Thus, any delay in identifying the relevant stimulus dimension should reduce or eliminate
29 the Simon effect (e.g., Lu & Proctor, 1995).
30
31
32
33
34
35

36 We also showed that hand posture had no influence in a classical Simon task, in
37 which simple geometric shapes were the relevant stimulus feature instead of handedness.
38 This corroborates the hypothesis that the modulation of the Simon effect by hand posture in
39 Experiment 1 was due to an influence on motor imagery. Because the irrelevant spatial
40 code for stimulus location is presumed to be available rapidly and automatically, its
41 influence on the processing of relevant stimulus information should be greatest when the
42 latter can be identified quickly (e.g., Lu & Proctor, 1995).
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52

53 The distributional analysis (Ridderinkhof, 2002), which has been shown to be
54 particularly useful in studying the role of activation and suppression in conflicting tasks in
55 other studies (De Jong et al., 1994; Wascher, Schatz, Kuder & Verleger, 2001; Wiegand &
56 Wascher, 2005), was used in the present report to reveal the temporal dynamics of the
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 Simon effect in the prone and supine postures. Our results showed that in Experiment 1, the
5
6 magnitude of the Simon effect was larger in the prone than in the supine posture for every
7
8 bin. Also, for the prone posture, the amplitude of the Simon effect decreases for longer
9
10 MRTs as was observed in classical Simon tasks (De Jong et al., 1994; Wiegand &
11
12 Wascher, 2005). In Experiment 2, on the other hand, there is no effect of hand posture on
13
14 the amplitude of the Simon effect.
15
16
17

18
19 The understanding of why and how stimulus properties affect performance in tasks
20
21 like the present one is important because it may clarify how these properties are used for
22
23 action selection. In the present study, we observed a clear difference in the Simon effect
24
25 when the stimulus is a body part and when the stimulus is a geometrical figure. When the
26
27 stimulus is a body part, the effect is modulated by proprioceptive information, whereas
28
29 when the stimulus is a geometrical figure, proprioceptive information is immaterial. This
30
31 could be explained by interference between proprioceptive and visual information in early
32
33 stages of the visual pathway. It has been consistently shown that information from several
34
35 modalities converge in the thalamus and could influence the transmission of sensory
36
37 information to the cortex (Guillery, 2003). Alternatively, proprioceptive inputs could reach
38
39 the cortex through a separate pathway and be fed to motor areas in preparation of the hand
40
41 movement necessary to evaluate handedness. This movement is actively inhibited and the
42
43 efferent copy is used to discriminate between the lefthand and righthand stimuli.
44
45
46
47
48
49

50
51 In conclusion, our results show an interaction between hand posture and motor
52
53 imagery, through a Simon task. However, hand posture only influences motor imagery if
54
55 the relevant stimulus is the drawing of a body part (a hand). These results could be relevant
56
57 for studies of self-recognition mechanisms, action recognition, shape recognition and motor
58
59 ability acquisition.
60
61
62
63
64
65

Acknowledgements: We are grateful to L.M. Parsons, who kindly gave permission to use the hand drawings. We also thank Professor Giovanni Berlucchi for important discussions on the results of this manuscript and all subjects who participated in the experiments.

Financial support: This study was supported by grants from CNPq/MCT, FAPERJ, CAPES, PROPP-UFF, UFF

5. References

De Jong, R., Liang, C. C., & Lauber, E. (1994). Conditional and unconditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 731-750.

De Lange, F.P., Helmich, R.C., & Toni, I. (2006). Posture influences motor imagery: an fMRI study. *Neuroimage*, 33, 609-617.

Gentilucci, M., Daprati, E., & Gangitano, M. (1998). Implicit visual analysis in handedness recognition. *Consciousness and Cognition*, 7, 478-493.

Guillery, R. W. (2003). Branching thalamic afferents link action and perception. *Journal of Neurophysiology*, 90, 539-548.

Hommel, B. (1993). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research*, 55, 280-290.

1
2
3
4
5
6
7 Lu, C. H., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on
8
9 performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin &*
10
11 *Review*, 2, 174-207.
12

13
14
15
16 Lu, C. H., & Proctor, R. W. (2001). Influence of irrelevant information on human
17
18 performance: effects of S-R association strength and relative timing.. *The Quarterly*
19
20 *Journal of Experimental Psychology A. Human Experimental Psychology*, 2, 174-207.
21
22

23
24
25
26 Parsons, L. M. (1987). Imagined transformation of one's hands and feet. *Cognitive*
27
28 *Psychology*, 19, 178-241.
29

30
31
32
33 Parsons, L. M. (1994). Temporal and Kinematic properties of motor behavior reflected in
34
35 mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*
36
37 *Performance*, 20, 709-730.
38
39

40
41
42
43 Parsons, L. M., & Fox, P. T. (1998). The neural basis of implicit movements used in
44
45 recognizing hand shape. *Cognitive Neuropsychology*, 15, 583-615.
46
47

48
49
50 Parsons, L. M., Gabrieli, J. D. E., Phelps, E. A., & Gazzaniga, M. S. (1998). Cerebrally
51
52 lateralized mental representations of hand shape and movement. *Journal of Neuroscience*,
53
54
55 18, 6539-6548.
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 Parsons, L. M. (2003). Superior parietal cortices and varieties of mental rotation. *Trends in*
5
6
7 *Cognitive Science*, 7, 515-517.

8
9
10
11 Ridderinkhof, K. R. (2002). Activation and suppression in conflict tasks: Empirical
12
13
14 clarification through distributional analyses. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Common*
15
16 *mechanisms in perception and action. Attention and performance vol. XIX* (pp. 494-519).
17
18
19 Oxford, UK: Oxford University Press.

20
21
22
23 Sherman, S. M. (2007). The thalamus is more than just a relay. *Current Opinion in*
24
25
26 *Neurobiology*, 17, 417-422.

27
28
29
30
31 Sirigu, A., & Duhamel, J. R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary and
32
33
34 neurally dissociable mental processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 910-919.

35
36
37
38 Tomasino, B., Toraldo, A., & Rumiati, R.I. (2003). Dissociation between the mental
39
40
41 rotation of visual images and motor images in unilateral brain-damaged patients. *Brain and*
42
43 *Cognition*, 51, 368-371.

44
45
46
47
48 Tsal, Y., & Lavie, N. (1993). Location dominance in attending to color and shape.
49
50
51 *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 131-139.

52
53 Umiltà, C., & Nicoletti, R. (1990). Spatial stimulus – response compatibility. In R. W.
54
55 Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus – response compatibility: An integrated*
56
57 *perspective*, (pp. 89 – 116). Amsterdam: North – Holland.

58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4 Vargas, C.D., Oliver, E., Craighero, L., Fadiga, L., Duhamel, J.R., & Sirigu, A. (2004). The
5 influence of hand posture on corticospinal excitability during motor imagery: A
6
7
8
9 Transcranial Magnetic Stimulation study. *Cerebral Cortex*, 14, 1200-1206.

10
11
12
13
14 Wascher, E., Schatz, U., Kuder, T., & Verleger, R. (2001). Validity and boundary
15
16
17
18
19 conditions of automatic response activation in the Simon task. *Journal of Experimental
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65*

Psychology: Human Perception and Performance, 27, 731-751.

23 Wiegand, K., & Wascher, E. (2005) Dynamic aspects of Stimulus-Response
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

Correspondence: Evidence for two mechanisms involved in the Simon effect. *Journal of
Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 453-464.

33 Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995). An internal model for
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

sensorimotor integration. *Science*, 269, 1880-1882.

40 Zacks, J. M., Gilliam, F., & Ojemann, J. G. (2003). Selective disturbance of mental rotation
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

by cortical stimulation. *Neuropsychologia*, 41, 1659-1667.

Figure

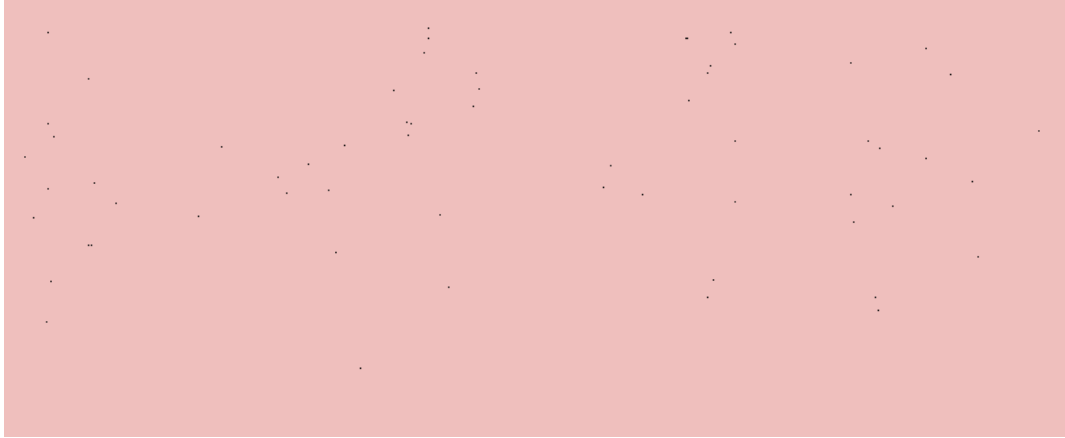


Fig. 1: Drawings of left and right hands in back and palmar views (modified from Parsons, 1994).



Fig. 2: Experimental setup and the two hand postures assumed by the participants.

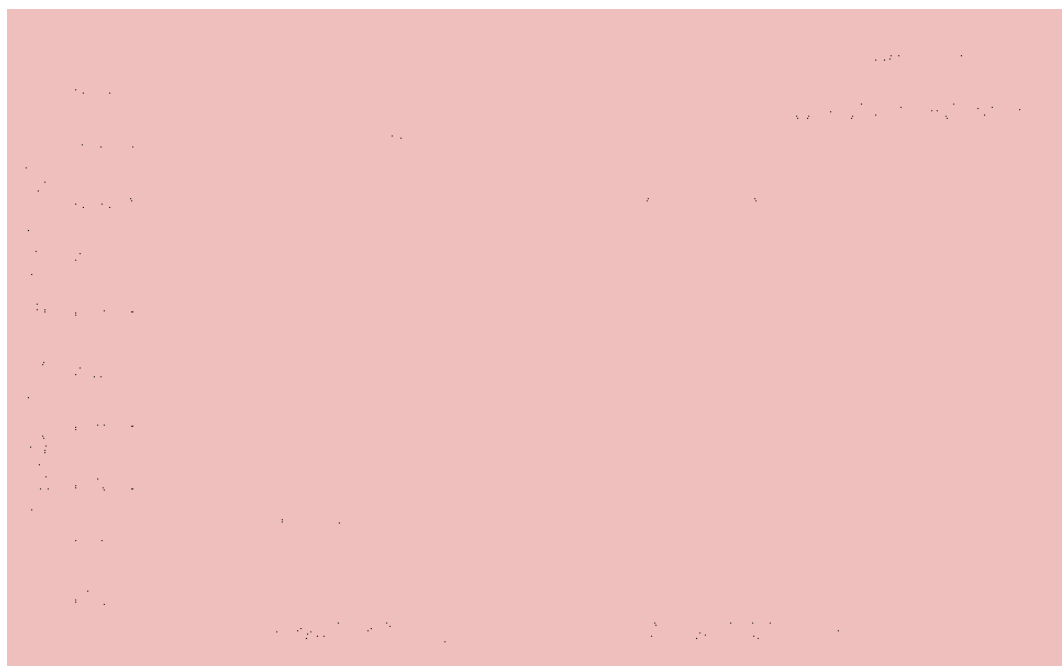


Fig. 3: MRT as a function of hand posture and match conditions. Notice the interaction between hand posture and match condition. In the prone posture, MRT for the matching condition is faster than the MRT for the non-matching condition. However, in the supine posture there is no significant difference.

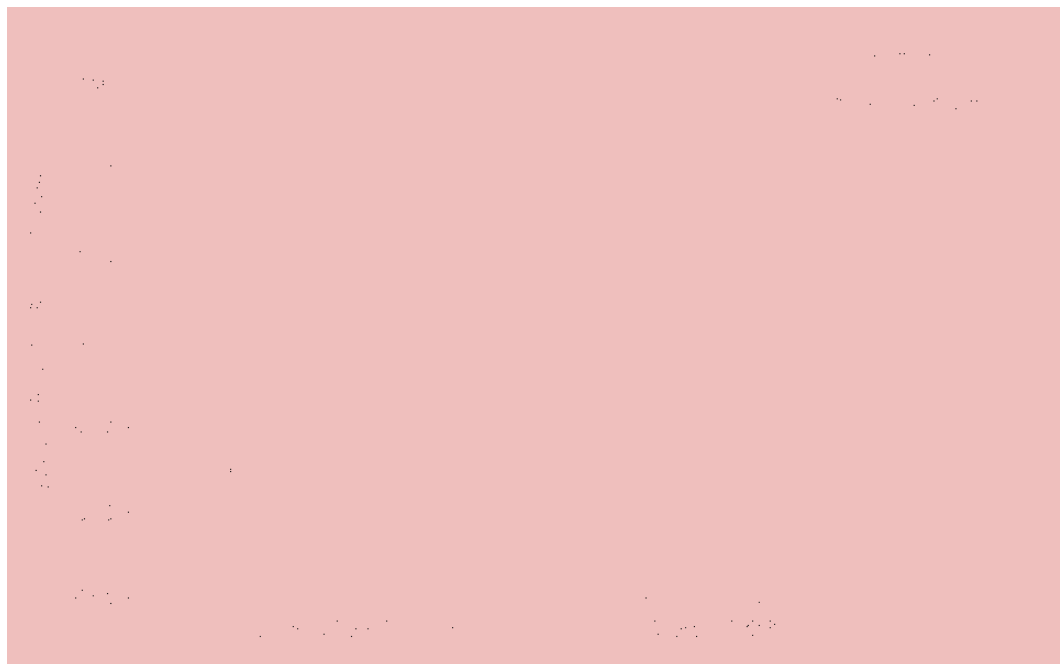


Fig. 4: MRT as a function of hand posture and the spatial correspondence between stimulus and response. Notice the interaction between hand posture and spatial correspondence. In the prone posture, MRT for the corresponding condition is faster than the MRT for the non-corresponding condition. In the supine posture, however, there is no significant difference.



Fig. 5: Influence of hand posture on amplitude of the correspondence effect for each quintile.

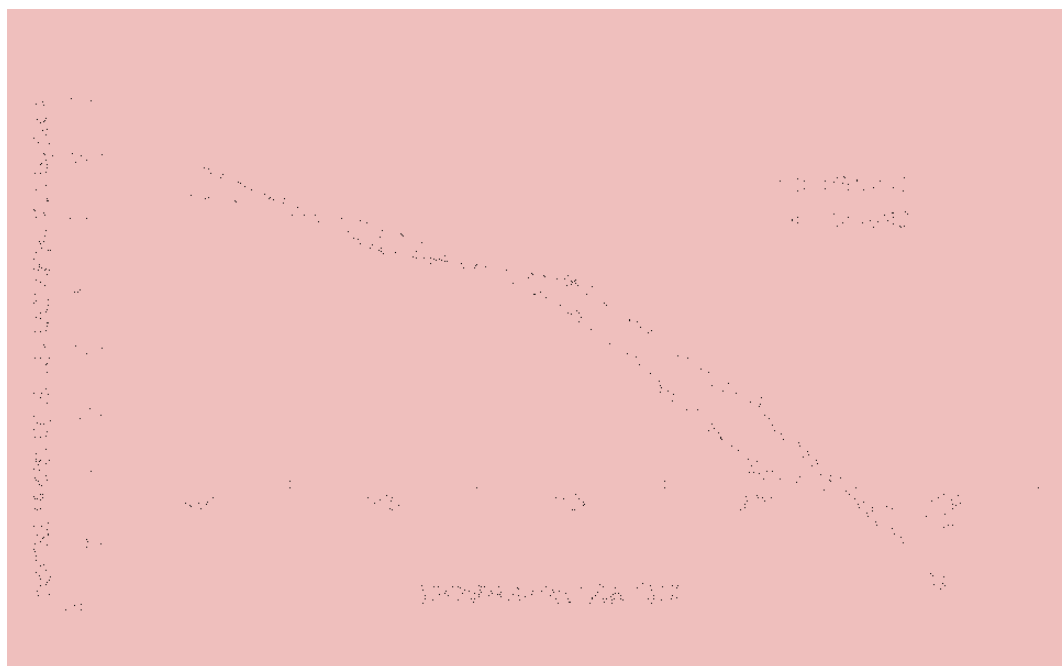


Fig. 6: Delta-plot for the classical Simon task using simple geometric shapes. There is no difference between the Simon effect for the prone and supine postures.

3.7. Gawryszewski, L.G.; **LAMEIRA, A.P.**; Ferreira, F.M.; Guimarães Silva, S.; Conde, E.; Pereira Junior, A. A Compatibilidade Estímulo-Resposta como Modelo para o estudo do comportamento motor. *Psicologia USP*, v. 17, p. 123-133, 2006.

Título: A Compatibilidade Estímulo-Resposta como modelo para o estudo do comportamento motor

Title: Stimulus-Response Compatibility as a tool for studying motor behavior

Titre: La Compatibilité Stimulus-Réponse comme modèle pour le étude du comportement moteur

Autores

- Luiz G Gawryszewski - Professor Adjunto IV, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, BRAZIL

- Allan Pablo Lameira- Aluno de pós-graduação do Programa de Doutorado em Neuroimunologia, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, BRAZIL

- Fernanda Maciel Ferreira - Aluna de pós-graduação do Programa de Doutorado em Neuroimunologia, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, BRAZIL

- Sabrina Guimaraes-Silva- Aluna de pós-graduação do Programa de Doutorado em Neuroimunologia, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, BRAZIL

- Erick Francisco Quintas Conde - Aluno de pós-graduação do Programa de Mestrado em Neuroimunologia, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, BRAZIL

- Antônio Pereira Jr - Professor Adjunto, Departamento de Fisiologia, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA, BRAZIL

Endereços:

- Luiz G Gawryszewski - Departamento de Neurobiologia- UFF, CAIXA POSTAL 100.180, Niterói, RJ, 24.001-970, BRAZIL, Tel.: 55-21-26292278, e-mail: gawryszewski@yahoo.com.br

- Allan Pablo Lameira- Departamento de Neurobiologia- UFF, CAIXA POSTAL 100.180, Niterói, RJ, 24.001-970, BRAZIL Tel.: 55-21-26292271, e-mail: allanlameira@yahoo.com.br

- Fernanda Maciel Ferreira - Departamento de Neurobiologia- UFF, CAIXA POSTAL 100.180, Niterói, RJ, 24.001-970, BRAZIL, Tel.: 55-21-26292278, e-mail: ferreira_f_m@yahoo.com.br

- Sabrina Guimaraes-Silva- Departamento de Neurobiologia- UFF, CAIXA POSTAL 100.180, Niterói, RJ, 24.001-970, BRAZIL, Tel.: 55-21-26292278, e-mail: sabrinaneuro@yahoo.com.br

- Erick Francisco Quintas Conde Departamento de Neurobiologia- UFF, CAIXA POSTAL 100.180, Niterói, RJ, 24.001-970, BRAZIL Tel.: 55-21-26292271, e-mail: psicoerick@yahoo.com.br

- Antônio Pereira Jr - Departamento de Fisiologia, UFPA, Belém, PA, 66075-100, BRAZIL, Tel.: 55-91-2266799, e-mail: apereira@ufpa.br

APOIO FINANCEIRO: CNPq, FAPERJ, CAPES, PIBIC-UFF, PROPP-UFF e UFPA.

Título: A Compatibilidade Estímulo-Resposta como modelo para o estudo do comportamento motor

Title: Stimulus-Response Compatibility as a tool for studying motor behavior

Titre: La Compatibilité Stimulus-Réponse comme modèle pour le étude du comportement moteur

Resumo

Quando um estímulo ocorre aleatoriamente à esquerda ou à direita do ponto de fixação, a resposta é mais rápida quando o estímulo e a tecla de resposta estão do mesmo lado (condição compatível) do que quando estão em lados opostos (condição incompatível). Na tarefa de compatibilidade espacial, observa-se uma diferença entre os Tempos de Reação Manual (TRMs) nas condições compatível e incompatível da ordem de 30-40 ms. No Efeito Simon, embora o critério para a seleção da resposta seja a forma (ou a cor) do estímulo, a posição do estímulo também influencia o TRM, facilitando-o na condição compatível e lentificando-o na incompatível. O Efeito Simon pode ser invertido se a pessoa realiza testes incompatíveis previamente ao teste Simon, mostrando que associações de curto prazo, geradas pelos pareamentos incompatíveis modulam padrões de conexões estímulo-resposta baseados na memória de longo prazo.

Descritores: Compatibilidade Estímulo-Resposta, Compatibilidade espacial, Efeito Cruzamento, Efeito Simon, Memória visuo-motora

Abstract

When a visual stimulus is randomly displayed either to the left or to the right of the fixation point, manual response is faster when both the response key and the stimulus are located at the same side (compatible condition) than at opposite sides (incompatible condition). In a spatial compatibility task, a difference of 30-40 ms is found between the manual reaction times (MRT) of compatible and incompatible conditions. In the Simon effect, though the criterion to response selection is primarily stimulus shape (or color), the stimulus position also influences the MRT, either increasing it in the compatible condition or delaying it in the incompatible condition. The Simon effect can be inverted if the subject has recently performed incompatible tasks, showing that short-term memory processes elicited by the incompatible associations can modulate stimulus-response relationships based on long-term memory.

Index terms: Stimulus-Response Compatibility, Spatial Compatibility, Crossed-hands effect, Simon effect, Visuo-motor memory

Résumé

Quand un stimulus apparaît aléatoirement à gauche ou à droite du point de fixation, la réponse est plus rapide lorsque le stimulus et le levier de réponse sont du même côté (condition compatible) que lorsque ceux-ci sont opposés (condition incompatible). Dans la tâche de compatibilité spatiale, la différence de temps de réaction manuel (TRMs) entre les conditions compatible et incompatible est de l'ordre de 30-40 ms. Dans l'effet Simon, bien que le critère de sélection de la réponse soit la forme (ou la couleur) du stimulus, la position du stimulus influence également le TRM, produisant une facilitation dans la condition compatible et un retard dans la condition incompatible. L'effet Simon peut être inversé si le sujet réalise des tests incompatibles préalablement au test Simon. Ceci démontre que les associations à court terme, produites par les appariements incompatibles, modulent les types de connexions stimulus-réponse basés sur la mémoire à long terme.

Mots-clés: compatibilité stimulus-réponse, compatibilité spatiale, effet croisement, effet Simon, mémoire visuel-moteur

Introdução

A Neurociência cognitiva tem como objetivo estudar a relação entre fenômenos mentais e as estruturas neurais do cérebro humano. Para isto, técnicas sofisticadas, tais como as medidas do fluxo sanguíneo e do metabolismo cerebral através do PET (Tomografia por Emissão de Pósitrons) e da fMRI (Ressonância Magnética funcional), têm sido empregadas. Porém, as técnicas que se baseiam na medida da latência da resposta a estímulos continuam sendo instrumentos fundamentais para a compreensão dos mecanismos envolvidos com o processamento sensorial e a programação da resposta motora.

A medida do Tempo de Reação Manual (TRM) é empregada principalmente para desenvolver modelos que permitam identificar as várias etapas de processamento e para estimar o tempo envolvido em cada etapa entre a apresentação de um estímulo e a execução de uma resposta. Dependendo da complexidade do estímulo e do número de alternativas da resposta, o TRM será maior ou menor. Além disso, a relação entre as propriedades do estímulo e as propriedades da resposta acarretará respostas mais rápidas ou mais demoradas (Massaro, 1989).

Neste artigo, iremos analisar o fenômeno da Compatibilidade Estímulo-Resposta. Mais particularmente, discutiremos como as propriedades espaciais do estímulo interagem com as propriedades espaciais da resposta, facilitando ou retardando a execução da resposta. Além disso, estes resultados serão relacionados com a organização anatomo-funcional do cérebro humano, com os mecanismos de reconhecimento de partes do corpo e com interação modulatória entre a memórias visuo-motoras de breve e de longo prazo.

1.1- Tempo de Transferência Inter – Hemisférica (TTIH)

A localização do estímulo visual no espaço é uma propriedade que influencia a seleção de uma ação para este estímulo. Poder-se-ia supor que esta influência resultaria principalmente da organização anatomo-funcional do Sistema Nervoso. Na Figura 1, mostramos um esquema em que estão representados os dois hemisférios cerebrais e os dois efêtores (mão esquerda e mão direita). Pode-se observar que um estímulo localizado à esquerda projeta-se para o hemisfério direito, o qual controla a mão esquerda. Da mesma forma, um estímulo localizado à direita projeta-se para o hemisfério esquerdo, o qual controla a mão direita. Para um estímulo localizado à esquerda desencadear uma resposta com a mão direita, é necessário que a

ativação dos neurônios do hemisfério direito seja de alguma forma transferida para o hemisfério esquerdo. Isto é feito através dos sistemas de fibras comissurais que conectam os dois hemisférios cerebrais, sendo o corpo caloso a principal comissura do cérebro humano.

Considerando agora um estímulo localizado à direita, a projeção deste para o hemisfério esquerdo poderia provocar diretamente uma resposta com a mão direita (condição NÃO-CRUZADA). Por outro lado, uma resposta com a mão esquerda dependeria do cruzamento da informação do hemisfério esquerdo para o hemisfério direito, o qual, então, desencadearia a resposta com a mão esquerda (estímulo à direita-resposta com a mão esquerda - condição CRUZADA). A diferença entre os TRMs nas condições cruzada e não-cruzada corresponde ao tempo de transferência inter-hemisférica (TTIH- Poffenberger, 1912, ver revisão em Zaidel & Iacoboni, 2003).

A medida do TTIH é feita medindo-se o TRM em 4 condições:

- 1- apresenta-se uma série de estímulos à esquerda para o/a voluntário/a responder com a mão esquerda (condição não-cruzada);
- 2- apresenta-se uma série de estímulos à direita para o/a voluntário/a responder com a mão direita (condição não-cruzada);
- 3- apresenta-se uma série de estímulos à esquerda para o/a voluntário/a responder com a mão direita (condição cruzada) e
- 4- apresenta-se uma série de estímulos à direita para o/a voluntário/a responder com a mão esquerda (condição cruzada).

Estas 4 condições são alternadas entre os voluntários de modo a compensar os efeitos devidos ao cansaço e/ou treinamento. A estimativa do TTIH é feita subtraindo-se a média dos TRM nas condições cruzadas da média dos TRM nas condições não-cruzadas. Os valores comumente encontrados variam entre 1 a 5 ms (Zaidel & Iacoboni, 2003)

Como veremos a seguir, os efeitos de Compatibilidade Estímulo-Resposta provocam, geralmente, diferenças de 20 a 40 ms, ou seja, são, aproximadamente, uma ordem de grandeza acima do TTIH (1-5 ms).

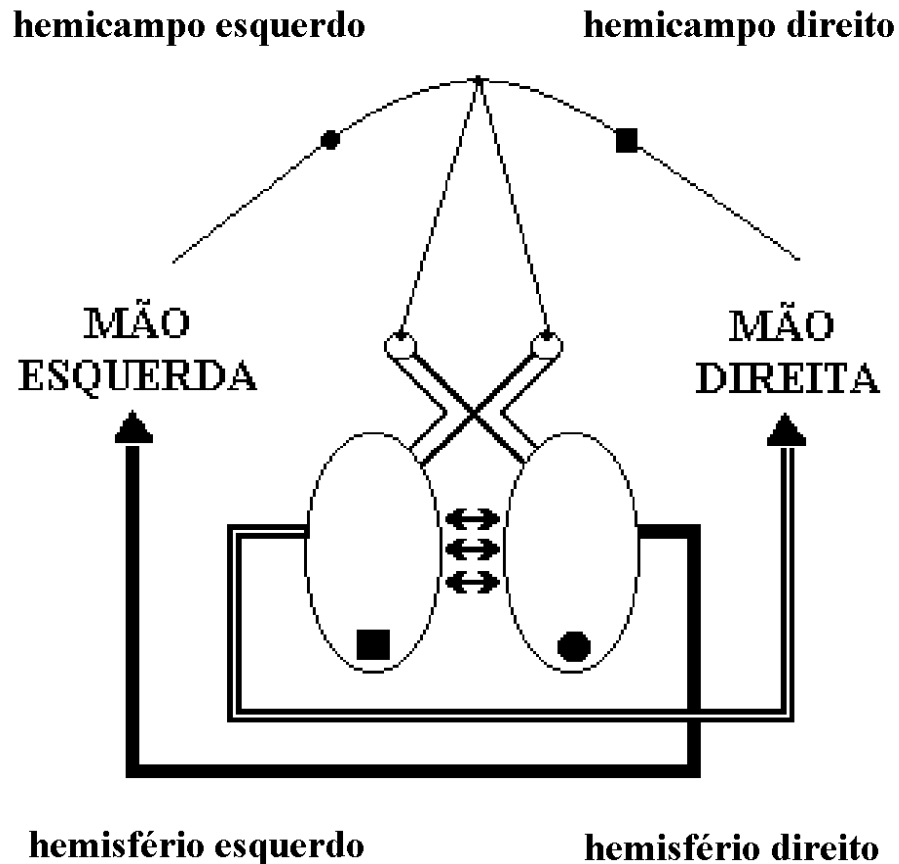


Figura 1: Esquema em que estão representados os dois hemicampos visuais, os dois hemisférios cerebrais e os dois efetores (mão esquerda e mão direita). Pode-se observar que um estímulo localizado à esquerda projeta-se para o hemisfério direito, o qual controla a mão esquerda. Da mesma forma, um estímulo localizado à direita projeta-se para o hemisfério esquerdo, o qual controla a mão direita.

1.2- Compatibilidade Estímulo – Resposta: A Compatibilidade Espacial

O termo Compatibilidade Estímulo – Resposta (CER ou SRC - Stimulus Response Compatibility) é usado para descrever os efeitos da correspondência entre características do estímulo e características da resposta que influenciam (facilitando ou inibindo) o TRM e a acurácia com que uma tarefa é executada. Ou seja, a presença de determinada característica do estímulo pode fazer com que os sujeitos tenham uma forte tendência em selecionar uma resposta particular em vez de outra resposta. Por exemplo, um estímulo aparecendo à esquerda induz à seleção da tecla esquerda para a resposta. Assim, a interação entre o estímulo e a resposta que produz latências menores e baixas

taxas de erro é considerada mais compatível do que a interação que produz latências maiores e altas taxas de erro (Umiltà & Nicoletti, 1990).

Existem diferentes tipos de testes que foram empregados para estudar a questão da Compatibilidade Estímulo – Resposta. Foram estudados, entre outros os fatores: o tipo e localização dos estímulos, o tipo e localização da resposta e a instrução relevante à execução do teste. Em determinados testes, a característica relevante para a seleção da resposta é o local onde aparece o estímulo. Assim, solicita-se ao sujeito que pressione determinada tecla quando o estímulo aparecer em uma posição e outra tecla quando aparecer em outra posição. Em outros testes, a característica relevante para a seleção da resposta depende de propriedades intrínsecas ao estímulo (forma ou cor). Quando a localização do estímulo é usada para selecionar a resposta, o teste é denominado de **Compatibilidade Espacial** (Anzola, Bertoloni, Buchtel & Rizzolatti, 1977).

Como a localização de um estímulo visual no espaço influencia a seleção de uma ação para esse estímulo? A característica importante que produz esse fenômeno de compatibilidade é a correspondência espacial entre a localização do estímulo e a posição das teclas de resposta (Umiltà & Nicoletti, 1985). As localizações são codificadas e o código da posição do estímulo é comparada com o código da posição da tecla de resposta influenciando a latência e a acurácia da resposta do sujeito. Desta forma, latências menores e baixas taxas de erros são geradas quando esses códigos são iguais e latências maiores e altas taxas de erros quando os códigos são diferentes.

1.2.1– Compatibilidade Espacial: Posição Absoluta vs. Posição Relativa

Os resultados obtidos por Umiltà e Nicoletti (1990) mostraram que quando a instrução dada ao/a voluntário/a era: "pressione a tecla esquerda quando um estímulo aparecer à esquerda e a tecla direita quando o estímulo aparecer à direita" (condição compatível), o TRM e o número de erros eram menores do que quando a instrução era: "pressione a tecla direita quando um estímulo aparecer à esquerda e a tecla esquerda quando o estímulo aparecer à direita" (condição incompatível).

Poder-se-ia perguntar se esta relação entre o estímulo e a tecla é estabelecida através da posição absoluta do estímulo (e da tecla) em relação à linha média do/a voluntário ou se o que importa é a posição relativa dos estímulos (e das teclas) entre si (ver revisão em Umiltà & Nicoletti, 1990). Os resultados mostraram que os códigos são relativos, de modo que as correspondências se dão entre os estímulos mais à esquerda (ou mais à direita) e as teclas mais à esquerda (ou mais à direita).

Estes resultados mostram que não é a divisão do campo visual em metades esquerda e direita, nem é o controle motor contralateral que determina estes fenômenos de compatibilidade estímulo-resposta.

1.2.2- Compatibilidade Espacial: Dimensão Vertical

Outra evidência de que a compatibilidade não é mediada pela organização anátomo-funcional dos hemisférios cerebrais humanos, per se, é a presença de compatibilidade estímulo-resposta ao longo da dimensão vertical. Nicoletti e Umiltà (1984) demonstraram que o efeito de compatibilidade espacial entre as localizações do estímulo e da resposta também existia quando os estímulos e as respostas eram verticalmente posicionados, apesar de existir um efeito mais robusto na dimensão horizontal do que na dimensão vertical.

A existência desse fenômeno de compatibilidade espacial, mesmo quando os estímulos estão dispostos verticalmente, mostra que esse fenômeno não é devido a organização anátomo-funcional dos hemisférios cerebrais, pois quando um estímulo é apresentado em cima ou embaixo do ponto de fixação central, ele ativa ambos os hemisférios, diferentemente de um estímulo disposto horizontalmente, o qual ativa um ou outro hemisfério dependendo da sua localização e a resposta pode ser executada pelo hemisfério cerebral ativado pelo estímulo ou executada pelo hemisfério oposto.

Assim, esse efeito de compatibilidade espacial ocorre porque as localizações do estímulo e da resposta geram códigos espaciais e é a formação desses códigos que determina a performance da ação, esta sendo executada mais facilmente quando esses códigos espaciais coincidem do que quando eles não coincidem.

1.2.3- Compatibilidade Espacial: O Efeito Cruzamento

Na figura 2, estão representadas 4 condições relacionando a ocorrência de um estímulo à esquerda e a resposta a este estímulo (Anzola et al., 1977):

1- o estímulo ocorre à esquerda e o/a voluntário/a responde apertando a tecla esquerda empregando o dedo indicador esquerdo. Esta condição será denominada condição compatível não-cruzada. Compatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão no mesmo lado e não-cruzada porque a mão esquerda responde apertando a tecla esquerda;

2- o estímulo ocorre à esquerda e o/a voluntário/a responde apertando a tecla direita empregando o dedo indicador direito. Esta condição será denominada condição

incompatível não-cruzada. Incompatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão em lados opostos e não-cruzada porque a mão direita responde apertando a tecla direita;

3- o estímulo ocorre à esquerda e o/a voluntário/a responde apertando a tecla esquerda empregando o dedo indicador direito. Esta condição será denominada condição compatível cruzada. Compatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão no mesmo lado e cruzada porque a mão direita responde apertando a tecla esquerda e

4- o estímulo ocorre à esquerda e o/a voluntário/a responde apertando a tecla direita empregando o dedo indicador esquerdo. Esta condição será denominada condição incompatível cruzada. Incompatível porque o estímulo e a tecla de resposta estão em lados opostos e cruzada porque a mão esquerda responde apertando a tecla direita.

Este experimento foi importante para estabelecer uma distinção entre o efeito de compatibilidade e o efeito de cruzamento. Todavia, na condição cruzada, a mão esquerda pressiona a tecla à direita e a mão direita pressiona a tecla à esquerda, de forma que poder-se-ia perguntar se a lentificação da resposta é devida ao fato da mão estar **localizada** no hemi-espço oposto ou ao fato da mão **agir** no espço oposto. Para distinguir entre o efeito provocado pela posição da mão e o efeito devido ao local de ação da mão, Riggio, Gawryszewski e Umiltá (1986) realizaram dois experimentos nos quais cada mão era mantida no seu hemi-espço, mas a ação da mão era dirigida para o hemi-espço oposto. No primeiro experimento, os sujeitos eram testados nas 4 condições descritas acima mas em vez de cruzarem (ou não) as mãos, cruzavam (ou não) dos dedos indicadores, os quais pressionavam as teclas "V" ou "N" do teclado de um microcomputador. No segundo experimento, os sujeitos eram testados nas 4 condições descritas acima, mas em vez de cruzarem (ou não) as mãos, cruzavam (ou não) pequenos bastões que pressionavam as teclas "V" ou "N" do teclado de um microcomputador.

Os resultados mostraram que o cruzamento dos dedos ou dos bastões provocava o mesmo efeito que o cruzamento das mãos (Anzola et al., 1997), indicando que o efeito **cruzamento** ocorre quando a mão **age** sobre uma tecla localizada no hemi-espço contralateral à localização anatômica da mão, e não porque a mão está **localizada** no hemi-espço oposto.

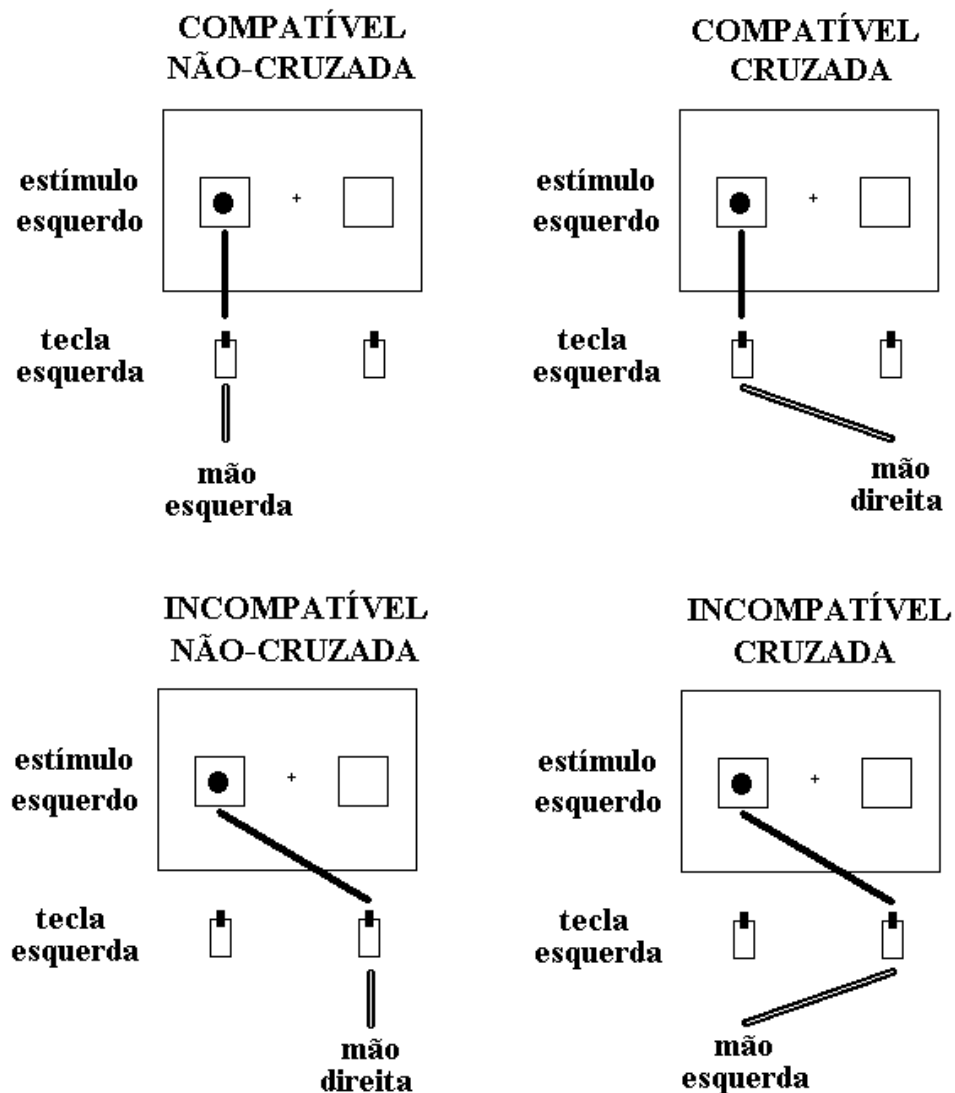


Figura 2: Esquema representando as quatro condições: Compatível não – cruzada, Compatível cruzada, Incompatível não – cruzada e Incompatível cruzada.

É importante observar também que, o efeito de compatibilidade (estímulo e resposta do mesmo lado gerando latências menores do que estímulo e resposta em lados opostos) existia mesmo quando as mãos, dedos ou bastões estavam na posição cruzada. Isto evidencia mais uma vez que o efeito de compatibilidade não é devido a uma ativação hemisférica e sim devido à formação de códigos espaciais relacionados com as localizações do estímulo e da resposta. Assim, mesmo quando os sujeitos estavam com as mãos, dedos ou bastões na posição cruzada, a resposta ao **estímulo esquerdo**, por exemplo, era mais rápida quando se pressionava a **tecla esquerda** (condição compatível) do que quando se pressionava a tecla à direita (condição incompatível).

Além disso, não existia interação entre o efeito de compatibilidade e o efeito cruzamento, indicando que eles se originam de mecanismos diferentes: relação estímulo-tecla e relação lado da mão-local de ação da mão, respectivamente (Riggio et al., 1986).

1.3- Compatibilidade Estímulo – Resposta: O Efeito Simon

Na tarefa de Simon (Figura 3), a posição do estímulo é irrelevante para a seleção da resposta, mas mesmo assim influencia no tempo de reação do sujeito. A dimensão relevante do estímulo (forma ou cor) para a seleção da resposta não tem nenhum tipo de sobreposição com nenhuma dimensão da resposta. Isto difere da dimensão irrelevante para a seleção da resposta, onde o código da localização do estímulo (hemicampo visual direito ou esquerdo) se sobrepõe ao código da localização das teclas de resposta (localização direita e esquerda). Por exemplo, figuras geométricas são apresentadas aos sujeitos e eles são instruídos a pressionar a tecla esquerda em resposta a uma figura e a tecla direita em resposta à outra figura. Os estímulos são apresentados no hemicampo visual direito ou esquerdo. Apesar da localização do estímulo ser irrelevante para a tarefa, pois o sujeito tem que reconhecer a forma para selecionar a resposta, as latências serão menores quando o lado da tecla de resposta corresponder ao lado onde o estímulo aparece do que quando estímulo e resposta estiverem em lados opostos. O mesmo é observado quando se usa estímulos com a mesma forma mas com cores diferentes (Umiltà & Nicoletti, 1990).

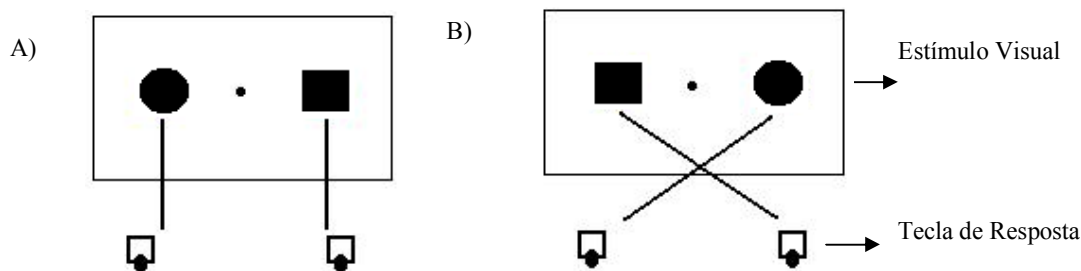


Figura 3: Tarefa de Simon. Na condição compatível (A), o estímulo está no mesmo lado da tecla de resposta e, na condição incompatível (B), o estímulo e a resposta estão em lados opostos. A dimensão relevante do estímulo (quadrado ou círculo) não tem nenhum tipo de sobreposição com nenhuma dimensão da resposta (tecla esquerda ou direita), ao contrário da dimensão irrelevante (posição esquerda ou direita).

Desta forma, a resposta correta é selecionada empregando-se uma característica não espacial do estímulo (forma ou cor), mas a localização (característica espacial) do estímulo influencia a resposta do sujeito, pois se sobrepõe à característica espacial das posições das teclas de resposta (Umiltà & Nicoletti, 1992).

Historicamente, o Efeito Simon foi atribuído ao estágio de processamento de seleção da resposta, possivelmente devido ao fato de que efeitos da mesma natureza serem obtidos quando a localização do estímulo é a informação relevante para determinar a resposta correta (Lu & Proctor, 1995). Em tarefas de tempo de reação de escolha onde a localização do estímulo é a informação relevante, as respostas serão mais rápidas quando o estímulo esquerdo for associado com a resposta esquerda e o estímulo direito for associado com a resposta direita do que quando essas associações forem inversas (Proctor & Dutta, 1993). Evidências muito consistentes atribuem esse efeito de compatibilidade espacial (tarefa de compatibilidade espacial) ao estágio de seleção da resposta (Lu & Proctor, 1995).

A maioria das hipóteses que atribuem o efeito Simon ao estágio de seleção da resposta diz que isso ocorre devido a uma competição da resposta (Umiltà & Nicoletti, 1990). As hipóteses assumem que um código de resposta é gerado pela informação irrelevante do estímulo (sua posição) e um outro código de resposta é formado pela informação relevante (cor ou forma do estímulo). Nas situações onde os códigos de resposta formados pela informação relevante e irrelevante são iguais, não existe nenhuma competição e possivelmente existe até um benefício devido à redundância desses códigos de resposta. Entretanto, naquelas situações onde os códigos de resposta são diferentes, existe uma competição que deve ser resolvida antes da resposta correta ser selecionada e executada.

Essas teorias sobre o estágio de seleção da resposta assumem que um código de resposta é formado pela informação irrelevante do estímulo, porém, elas diferem nas razões propostas sobre como e porque esse código é formado (Lu & Proctor, 1995). As três principais hipóteses que atribuem o efeito Simon ao estágio de seleção da resposta enfatizam a orientação atencional, a codificação espacial e a sobreposição dimensional entre a informação irrelevante do estímulo e a resposta, respectivamente (Umiltà & Nicoletti, 1990).

1.3.1- Efeito Simon: Dimensão Vertical

Assim como o efeito de compatibilidade espacial, vários trabalhos descrevem o efeito Simon ocorrendo com um arranjo vertical dos estímulos e das teclas de resposta (Rubichi, Nicoletti, Pelosi & Umiltá, 2004, Rubichi, Nicoletti, & Umiltá, 2005 e Vallesi, Mapelli, Schiff, Amodio, & Umiltá, 2005). No entanto, apesar de ocorrer uma facilitação nas resposta da condição correspondente e também uma inibição na não correspondente, algumas peculiaridades são observadas no efeito Simon vertical em comparação ao realizado na horizontal.

Vallesi et al. (2005) compararam os resultados obtidos em testes realizados na dimensão horizontal e também na vertical utilizando-se também de uma análise distribucional dos TRM e de registros encefalográficos destinados a registrar a atividade cerebral no intervalo de tempo entre a apresentação do estímulo e o início da atividade eletromiográfica (Potencial de Prontidão Lateralizado - PPL). A análise distribucional possibilitou detectar que o efeito Simon na vertical esteve presente tanto na realização dos testes mais rápidos quanto nos mais lentos. Na horizontal foi detectada uma diminuição do efeito Simon nos testes 40% mais lentos. Já, na análise do PPL, os autores verificaram um atraso para a atividade de preparação da resposta na condição não correspondente em testes verticais.

Vallesi et al. (2005) propuseram uma explicação baseada na teoria de translação para o efeito de correspondência do teste de Simon na vertical. De acordo com esse modelo teórico, tanto a posição do estímulo quanto a posição da resposta seriam cognitivamente representados por meio de códigos espaciais. Esses códigos seriam comparados durante a geração da resposta e a correspondência entre os códigos influenciaria os tempos de resposta: em situações correspondentes seriam acelerados e nas não correspondentes, lentificados.

1.3.2- Efeito Simon: Reconhecimento de partes do corpo

Essas tarefas de Compatibilidade Estímulo – Resposta (tarefa de Simon e de Compatibilidade espacial) servem para nos mostrar como as características do estímulo influenciam na seleção de uma ação (Lu & Proctor, 1995). Entretanto é importante observar que selecionar uma ação para um objeto externo é um processo que envolve diferentes mecanismos neurais daqueles envolvidos com a seleção de uma ação para uma figura que representa uma parte do corpo (Tomasino, Toraldo & Rumiati, 2003).

A medida do TRM para determinar a lateralidade de uma figura da mão não envolve apenas o sistema visual, mas também os sistemas somestésico e motor, ou seja,

é um processo no qual existe uma relação entre aquilo que o sujeito vê (figura da mão) e o que sente (a informação proprioceptiva da mão). Assim, a decisão do julgamento da lateralidade da mão é tomada através da formação da imagem mental de uma das mãos, sua projeção para a tela e a verificação da congruência ou não entre a figura na tela e a imagem da mão (Parsons, 1987; Parsons, 1994; Parsons & Fox, 1998).

O processo de reconhecimento da lateralidade da mão está envolvido com mecanismos de auto - reconhecimento, reconhecimento e imitação de ações e aquisição de novas habilidades motoras. Levando em consideração que usamos a informação proprioceptiva para identificar a lateralidade da mão e que a localização do estímulo visual no espaço influencia na seleção de uma ação para este estímulo, uma importante questão a ser observada é como esses fenômenos de Compatibilidade Estímulo – Resposta se comportam quando códigos espaciais somestésicos-motores, relacionados com a localização e postura das mãos, são acionados pelo estímulo.

De acordo com Lameira et al. (2004) quando a figura da mão é o estímulo relevante para a seleção da resposta existe um efeito de compatibilidade, o qual pode ser modulado por diferentes códigos espaciais/motores relacionados com a postura da mão. Nesse experimento foram apresentados desenhos de mãos no hemisfério visual direito ou esquerdo e a resposta era pressionar a tecla esquerda após o aparecimento do desenho da mão esquerda e a tecla direita após o aparecimento da mão direita. Os participantes do experimento executavam a resposta pressionando a tecla com as mãos na postura prona (palmas para baixo) e na postura supina (palmas para cima). Na postura prona, existiu o efeito Simon, porém quando os participantes estavam com as mãos na postura supina esse efeito Simon desapareceu. Esses resultados mostram uma interação entre os fenômenos de compatibilidade Estímulo - Resposta e a postura da mão.

1.4- O Estudo da memória visuomotora através do tempo de reação manual

Como já foi descrito, vemos que a diferença entre o teste de compatibilidade espacial e o teste de Simon consiste no componente relevante para realização da tarefa: posição do estímulo versus característica do estímulo. No que diz respeito às semelhanças, em ambos os testes, o efeito se baseia em uma diferença entre os TRMs na condição em que existe uma correspondência espacial entre o estímulo e a tecla de resposta e os TRMs na condição em que não existe essa correspondência.

Segundo Tagliabue, Zorzi, Umiltá, e Bassignani (2000), a organização do sistema nervoso e do sistema osteo-articular, fruto da seleção natural, facilita a realização de alguns movimentos em comparação a outros. Por exemplo, existe uma tendência para utilizarmos a mão direita para alcançar um objeto localizado à direita do corpo e a mão esquerda para alcançar um objeto localizado à esquerda. Esta tendência deriva de fatores inatos que são reforçados durante o desenvolvimento. De acordo com as idéias de Tagliabue et al. (2000), nas condições de correspondência colocamos em prática algo que já estamos habituados a fazer: agir em direção aos estímulos com os efetores correspondentes. Ou seja, de forma natural costumamos a atuar nas demandas situadas à direita, no nosso ambiente externo, com algum membro (braço ou perna) direito, pois assim é mais fácil e assim fomos acostumados a fazer desde que nascemos, pois isto garante uma eficácia maior. Portanto, consolidamos em nossa memória de procedimentos, as associações de longo prazo para as habilidades motoras de resposta com efetores correspondentes através das informações e práticas das tarefas simples do dia a dia, como, por exemplo, utilizar talheres em uma refeição. Por outro lado, nas condições não correspondentes, realizamos uma tarefa que não estamos acostumados (responder com o efector contralateral) e para respondermos corretamente se torna necessária a constituição de associações de memórias de curto prazo não declarativas.

Tagliabue et al. (2000) decidiu estudar a interação entre as associações mnemônicas de curto e longo prazo. Para isto, estudou o efeito de um teste (compatibilidade espacial), no qual a posição do estímulo é a variável relevante para a seleção da resposta, sobre outro teste. No segundo teste (teste de Simon), a posição do estímulo é irrelevante para a seleção da resposta, a qual é determinada por outra característica do estímulo. Mais especificamente, Tagliabue et al. (2000) realizou uma série de experimentos onde os sujeitos realizavam inicialmente o teste de compatibilidade espacial e a seguir, a tarefa de Simon. No teste de Simon, a resposta para um estímulo ocorrendo na posição correspondente é mais rápida do que para um estímulo ocorrendo na posição não correspondente. Seu objetivo principal foi averiguar se as associações de memória de curto prazo necessárias para a realização de uma tarefa de compatibilidade espacial na condição incompatível (tarefa de não correspondência) afetariam a performance nos testes correspondentes (que se baseia em informações já consolidadas) de uma tarefa tipo Simon. Ou seja, o desaparecimento ou a inversão de Efeito Simon pode ser devido a testes correspondentes mais lentos e/ou a testes não-correspondentes mais rápidos. Assim, os voluntários nos experimentos de Tagliabue et

al. (2000) foram divididos em 2 grupos: um grupo de sujeitos fazia um teste de compatibilidade espacial (na condição compatível) e, a seguir, uma tarefa de Simon e outro grupo realizava um teste de compatibilidade espacial (na condição incompatível) para depois serem submetidos ao teste de Simon. Seu primeiro experimento foi realizado com crianças e, como resultado, o grupo de crianças que praticou o teste incompatível obteve um efeito Simon reverso, ou seja, tais crianças foram mais rápidas quando não existiu correspondência entre o estímulo e a tecla de resposta, fato que não ocorreu com as crianças que tiveram como prática prévia o teste compatível.

Obedecendo ao mesmo padrão, o segundo experimento também teve como tarefa inicial o teste de compatibilidade e 24 horas depois foi realizado o teste de Simon, com a única diferença de ser realizada com adultos. Os dados do segundo experimento demonstraram que os adultos também estão sujeitos a uma alteração do efeito de correspondência através de treino prévio em uma sessão não correspondente (incompatível). Contudo, o experimento 2 não resultou em um efeito reverso como aconteceu no experimento 1. Provavelmente essa diferença se deve ao fato dos adultos terem as associações de longo prazo mais consolidadas do que nas crianças. Assim, a prática incompatível foi suficiente para eliminar o efeito de correspondência no teste de Simon mas não para reverter o fenômeno.

Resultados parecidos foram encontrados quando ela testou o efeito Simon logo após o teste de compatibilidade espacial (sem intervalo entre as práticas) e também quando o intervalo entre os dois testes foi de sete dias. Em todos os experimentos, o grupo que teve como prática prévia as sessões compatíveis, demonstrou o efeito Simon, enquanto que o grupo que realizou testes incompatíveis não teve o efeito de correspondência, que é à base do efeito Simon.

Estes resultados mostram que o Efeito Simon pode ser invertido se a pessoa realiza testes incompatíveis previamente ao teste Simon, mostrando que associações de curto prazo, geradas pelos pareamentos incompatíveis modulam padrões de conexões estímulo-resposta baseados na memória de longo prazo.

O estudo de Tagliabue et al. (2000) utilizou apenas a dimensão horizontal para apresentação dos estímulos e também para o arranjo das teclas de respostas. Todavia, Vallesi et al. (2005) acharam diferenças significativas entre os efeitos Simon obtidos nas dimensões horizontal e vertical. Desta forma, podemos indagar se o efeito de modulação gerado pelo treino prévio em testes incompatíveis ocorreria também na dimensão vertical. Finalmente, uma questão importante refere-se à generalização do

efeito. Ou seja, o que ocorreria se a tarefa de compatibilidade espacial fosse realizada em uma dimensão e o teste de Simon em uma outra, alinhada ortogonalmente?

Estudos recentes realizados no Laboratório de Neurobiologia da Atenção e do Controle Motor da Universidade Federal Fluminense (UFF) sugerem que a modulação do efeito Simon pelos pareamentos incompatíveis ocorre seja na dimensão vertical, seja quando as tarefas são praticadas em dimensões ortogonais (Conde, Gawryszewski & Martins, 2006).

1.5 Conclusões

Os experimentos descritos acima mostram que a relação entre a posição do estímulo e posição da tecla de resposta (Compatibilidade Estímulo-Resposta) exerce uma influência importante sobre o Tempo de Reação Manual a estes estímulos. Todavia, estes vínculos espaciais entre o estímulo e a resposta não estão somente relacionados com a organização anatômica do sistema nervoso, ou seja, esta relação tem um caráter relativo e não absoluto. Além disso, estes vínculos são dinâmicos, pois podem ser modulados pelo tipo de estímulo (formas geométricas versus representações de partes do corpo) ou pelo treinamento prévio em tarefas incompatíveis, as quais influenciam a memória visuo-motora de longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anzola, G.P., Bertoloni, G., Buchtel, H.A. & Rizzolatti, G. (1977). Spatial compatibility and anatomical factors in simple and choice reaction time. *Neuropsychologia*. 15, 295-382.

Conde, E. Q., Gawryszewski, L. G. & Martins, G. (2006). A compatibilidade espacial influencia o efeito simon na mesma dimensão e na dimensão ortogonal: uma análise da memória visuomotora. In *Resumos de Comunicações Científicas*, XXI Reunião Anual da Federação das Sociedades de Biologia Experimental – FeSBE (p. 50). Águas de Lindóia, São Paulo, Brasil.

Lameira, A.P., Gawryszewski, L.G., Carvalho, A.A., Soeiro-Santos, R., Guimarães-Silva, S., Ferreira, F.M., Pereira Jr, A., Vargas, C.D. & Umiltà, C.A. (2004). A postura da mão influencia a compatibilidade Estímulo – Resposta numa tarefa de

reconhecimento da lateralidade da mão. In: Ferreira, A; Gonzalez, MEQ; Coelho, JG. (Org.). *Encontro com as Ciências Cognitivas*. 1ª edição,. São Paulo: Cultura Acadêmica Editora, 2004, v. 4, p. 153-165.

Lu, C.H. & Proctor, R.W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and Spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2:174-207.

Massaro, D.W. (1989). *Experimental Psychology: An Information Processing Approach*, Orlando, FL: *Harcourt Brace College Publishers*.

Nicoletti R. & Umiltá, C. (1984). Right – left prevalence in spatial compatibility. *Perception and Psychophysics*. 35: 333-343.

Parsons, L. M. (1987). Imagined transformation of one's hands and feet. *Cognitive Psychology* 19: 178 – 241.

Parsons, L. M. (1994). Temporal and Kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 20: 709 – 730.

Parsons, L. M., & Fox, P. T. (1998). The neural basis of implicit movements used in recognising hand shape. *Cognitive Neuropsychology*. 15: 583 – 615.

Poffenberger, A.T. (1912). Reaction time to retinal stimulation, with special reference to the time lost in conduction through nerve centers. *Archives of Psychology*. 23: 1-73

Proctor, R.W. & Dutta, A. (1993). Do the same stimulus-response relations influence choice reactions initially and after practice? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 19: 922-930.

Riggio, L., Gawryszewski, L. & Umiltá, C. (1986). What is crossed in crossed hands effects? *Acta Psychologica*. 62: 89-100.

Rubichi, S., Nicoletti, R. & Umiltá, C. (2005). Right–left prevalence effect with task irrelevant spatial codes. *Psychological Research*. 69: 167-178.

Rubichi, S., Nicoletti, R., Pelosi, A. & Umiltá, C. (2004). Right–left prevalence effect with horizontal and vertical effectors. *Perception and Psychophysics*. 66: 255-263.

Tagliabue, M., Zorzi, M., Umiltá, C. & Bassignani, F. (2000). The role of long-term-memory and short-term-memory in the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 26: 648-670.

Tomasino, B., Toraldo, A. & Rumiati, R.I. (2003). Dissociation between the mental rotation of visual images and motor images in unilateral brain-damaged patients. *Brain & Cognition*. 51: 368-371.

Umiltá, C., & Nicoletti, R. (1990). Spatial stimulus – response compatibility. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus – response compatibility: An integrated perspective* (pp. 89 – 116). Amsterdam: North – Holland.

Umiltá, C. & Nicoletti, R. (1985). Attention and coding effects in S-R compatibility due to irrelevant spatial cues. In M. I. Posner & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and performance XI*, (pp. 457-471). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Umiltá, C. & Nicoletti, R. (1992). An integrated model of the Simon effect. In J. Alegria, D. Holender, J. Junca de Moraes, & M. Radeau (Eds.), *Analytic approaches to human cognition* (pp. 331-350). Amsterdam: Elsevier.

Vallesi, A., Mapelli, D., Schiff, S., Amodio, P., Umiltá, C. (2005). Horizontal and vertical Simon effect: different underlying mechanisms? *Cognition*. 96: B33-B43. Erratum in: *Cognition*. 2005, 96:B115

Zaidel, E. & Iacoboni, M. (2003). Introduction: Poffenberger’s simple reaction time paradigm for measuring interhemispheric transfer time. In Zaidel, E. & Iacoboni (Eds.), *The Parallel Brain* (pp. 1-7). Cambridge, MA: The MIT Press.

3.8. LAMEIRA, A.P.; Gawryszewski, L.G.; Pereira Junior, A. Neurônios Espelho. *Psicologia USP*, v. 17, p. 123-133, 2006.

Neurônios espelho

Autores

- Allan Pablo Lameira - Aluno de pós-graduação do Programa de Doutorado em Neuroimunologia, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, BRAZIL
- Luiz G Gawryszewski - Professor Adjunto IV, Departamento de Neurobiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, BRAZIL
- Antônio Pereira Jr. - Professor Adjunto, Departamento de Fisiologia, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA, BRAZIL

Endereços:

- Allan Pablo Lameira - Departamento de Neurobiologia- UFF, CAIXA POSTAL 100.180, Niterói, RJ, 24.001-970, BRASIL Tel.: 55-21-26292271, e-mail: allanlameira@yahoo.com.br
- Luiz G Gawryszewski - Departamento de Neurobiologia- UFF, CAIXA POSTAL 100.180, Niterói, RJ, 24.001-970, BRASIL, Tel.: 55-21-26292278, e-mail: gawryszewski@yahoo.com.br
- Antônio Pereira Jr. - Departamento de Fisiologia, UFPA, Belém, PA, 66075-100, BRASIL, Tel.: 55-91-2266799, e-mail: apereira@ufpa.br

APOIO FINANCEIRO: CNPq, FAPERJ, CAPES, PIBIC-UFF, PROPP-UFF e UFPA.

Os neurônios espelho foram descritos inicialmente em macaco Rhesus. Estes neurônios disparavam quando o macaco realizava ações específicas (como pegar uvas passa) ou quando ele observava a mesma ação realizada por outro macaco ou por um pesquisador. Assim, estes neurônios possibilitam a compreensão da ação e/ou da intenção de outro animal pela ativação subliminar desta ação nos circuitos fronto-parietais. Estes neurônios estariam envolvidos com a origem da linguagem humana e a sua disfunção poderia causar autismo. Nesta revisão, descrevemos, em humanos e em primatas não-humanos, as áreas corticais com atividade tipo "neurônio espelho" e as áreas envolvidas com o planejamento e a execução explícita e implícita de ações. Existe uma grande sobreposição entre estas áreas, bem como com as áreas envolvidas com o reconhecimento da lateralidade de partes do corpo. Sugerimos então que os neurônios espelho também podem estar envolvidos com o reconhecimento da lateralidade de partes do corpo.

Descritores: Neurônios. Sistema dos neurônios espelho. Tempo de reação. Lateralidade.

Histórico

Os neurônios espelho foram descobertos por Rizzolatti e colaboradores na área pré-motora de macacos Rhesus na década de 90 (Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti, 1996; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996). Estes pesquisadores demonstraram que alguns neurônios da área F5, localizada no lobo frontal, que eram ativados quando o animal realizava um movimento com uma finalidade específica (tipo apanhar uma uva passa com os dedos) também eram ativados quando o animal observava um outro indivíduo (macaco ou ser humano) realizando a mesma tarefa.

A importância desta descoberta para a compreensão direta da ação e/ou da intenção do outro animal ou ser humano foi imediatamente percebida (Gallese, et al., 1996; Rizzolatti, et al., 1996; Rizzolatti & Craighero, 2004). Ou seja, os neurônios espelho, quando ativados pela observação de uma ação, permitem que o significado da mesma seja compreendida automaticamente (de modo pré-atencional) que pode ou não ser seguida por etapas conscientes que permitem uma compreensão mais abrangente dos eventos através de mecanismos cognitivos mais sofisticados (ver revisão em Gallese, 2005).

Além de um estímulo visual explícito (observação de uma ação), estes neurônios podem também ser ativados por eventos que possuem apenas relação indireta com uma determinada ação: (1) a partir de um som habitualmente associado a uma ação, como por exemplo o barulho da quebra da casca de um amendoim (Kohler, et al., 2002) (2) pela dedução implícita da continuidade de uma ação, como, por exemplo, quando um macaco observa o movimento de uma mão na direção de um objeto oculto por um anteparo colocado posteriormente à apresentação do objeto ao animal (Umiltà, et al., 2001).

Da mesma forma, não é só a ação manual que é capaz de ativar os neurônios espelho. Por exemplo, existem neurônios-espelho que são ativados quando o macaco executa e/ou observa ações relacionadas com a boca, tais como lamber, morder ou mastigar alimentos. Além disso, na mesma região onde são encontrados estes neurônios existe uma pequena percentagem de células que dispara quando macaco observa o experimentador fazer ações faciais comunicativas na sua frente (Ferrari, Gallese, Rizzolatti, & Fogassi, 2003). Em um outro estudo foram comparadas as regiões cerebrais ativadas pela observação de ações comunicativas da região orofacial de cães (latir), macacos (movimentos labiais) e humanos (fala em silêncio). Os resultados, em seres humanos, mostraram que a observação da fala em silêncio ativa a área de Broca no

hemisfério esquerdo e a observação dos movimentos labiais de macacos ativa uma parte menor da mesma região cerebral em ambos os hemisférios, mas que a observação do latir do cão só ativa áreas visuais extra-estriadas (Buccino, Binkofski, & Riggio, 2004). Ou seja, quando a ação observada (o latir) não faz parte do repertório de ações do ser humano, os neurônios espelho não são ativados (Buccino, et al., 2004, Gallese, 2005).

Os neurônios espelho foram associados a várias modalidades do comportamento humano: imitação, teoria da mente, aprendizado de novas habilidades e leitura da intenção em outros humanos (Gallese, 2005; Rizzolatti, Fogassi, & Gallese, 2006) e a sua disfunção poderia estar envolvida com a gênese do autismo (Ramachandran & Oberman, 2006). Além disso, considerando que a capacidade humana de abstrair intenção a partir da observação de conspecíficos é considerada crucial na transmissão de cultura (ver revisão em Tomasello, Carpenter, Call, Behne, & Moll, 2005), a descoberta dos neurônios-espelho é de importância fundamental para compreendermos o que nos faz diferente de outros animais, em termos cognitivos.

Evidências da existência dos neurônios espelho em humanos

Estudos funcionais usando PET e fMRI

Desde a descoberta dos neurônios espelho em primatas não-humanos, vários estudos utilizando ferramentas de neuroimagem tentam localizar e mapear a presença desses neurônios em humanos. Os resultados sugerem que existe um sistema de neurônios espelho (SNE) em humanos distribuído em várias áreas corticais fronto-parietais. Recentemente, Buccino, et al. (2004), através de um estudo com ressonância magnética funcional (fMRI), demonstraram a ativação de áreas frontais (giro frontal inferior e córtex pré-motor) em humanos durante a execução-observação de ações realizadas com a mão, com a boca e com os pés. Essas ativações ocorriam em diferentes setores corticais, de acordo com o efector envolvido, e seguindo um padrão somatotópico. Mais importante, ainda, estes autores demonstraram a ativação da área de Broca pela observação de ações, confirmando resultados anteriores de Rizzolatti e Arbib (1998) obtidos através de tomografia por emissão de pósitrons (PET). Outras funções do SNE foram observadas através do emprego da ressonância magnética funcional (ver revisão em Gallese, 2005; Rizzolatti, et al., 2006). Por exemplo, a observação da expressão de nojo em uma outra pessoa que cheira um líquido de odor desagradável

ativa a parte anterior da ínsula, estrutura que é também ativada quando a própria pessoa sente nojo (Wicker, et al., 2003).

Estes resultados mostraram que a área de Broca não está somente envolvida com o processamento da linguagem oral e do significado de gestos linguísticos. A homologia proposta entre a área de Broca e a área F5 dos macacos, junto com a comprovação recente da participação da área de Broca no SNE sugere que os neurônios espelho podem ter contribuído para a gênese da linguagem humana, servindo de base para a apropriação simbólica de atos motores.

Estudos usando Estimulação Magnética Transcraniana (EMT)

Segundo Fadiga, Craighero e Olivier (2005), estudos de neuroimagem funcional como o fMRI permitem ao pesquisador localizar o SNE no cérebro humano, mas a demonstração de que o córtex motor é realmente ativado pela mera observação de movimentos somente pode ser obtida por técnicas como a estimulação magnética transcraniana (EMT), que permite estimar a modulação na excitabilidade da via cortico-espinal decorrente da simulação mental. O SNE humano foi investigado através da EMT durante a observação de ações executadas por outros indivíduos. Os resultados demonstraram que o SNE realmente simula a ação observada, pois a transmissão neuronal é facilitada para os músculos associados com a realização dessa ação (Gangitano, Mottaghy, & Pascual-Leone 2001; ver revisão em Fadiga, et al., 2005). Semelhante ao observado em estudos empregando ressonância nuclear magnética funcional (fMRI), outros sistemas, além dos envolvidos com a ação manual, mostraram uma facilitação devido à observação de ações. Por exemplo, Watkins, Strafella e Paus (2003) mostraram que a observação de ações buco-faciais da fala facilitam a excitabilidade do sistema motor envolvido com a produção das mesmas ações.

Possível papel dos neurônios espelho no reconhecimento da lateralidade de figuras da mão

Provavelmente, os neurônios espelho estão envolvidos com outras tarefas além do reconhecimento da ação e da intenção em seres humanos. Por exemplo, Parsons (1994) analisou o Tempo de Reação para a discriminação da lateralidade de figuras de mãos. Ele empregou 5 vistas da mão (dorso, palma, vista a partir do polegar, a partir do dedo mínimo e a partir do punho) e analisou a influência do ângulo de rotação sobre o

Tempo de Reação separando as rotações realizadas no sentido lateral (afastando-se da linha média do corpo) e medial (na direção da linha média do corpo). Parsons (1994) verificou que o Tempo de Reação para decidir a lateralidade do desenho de uma mão não depende somente do ângulo de rotação do desenho, mas depende principalmente da dificuldade em colocarmos a nossa mão na orientação do desenho. Baseado nestes resultados, Parsons (1994) propôs que, nesta tarefa, a pessoa não gira o desenho para a posição vertical para então decidir a lateralidade. Ao contrário, a pessoa gira mentalmente a **representação interna** da sua própria mão de modo a fazer com que ela se encaixe no desenho da mão mostrado na tela.

Em resumo, na tarefa de decidir a lateralidade (esquerda ou direita) da figura de uma mão mostrada na tela de um computador, a pessoa deve imaginar **implicitamente** a sua mão movendo-se para assumir a postura apresentada na tela e, então, verificar se o desenho é da mão direita ou esquerda a partir da correspondência ou não entre a sua mão e o desenho. Cabe ressaltar que a pessoa, geralmente, projeta inconscientemente a mão correta (direita ou esquerda) para a tela e que esta escolha automática (pré-atentiva) é confirmada ou não por processos conscientes (atentivos) posteriormente.

A nossa hipótese é que os neurônios espelho estejam envolvidos com esta tarefa detectando automaticamente tanto a **postura** quanto a lateralidade da figura da mão e desencadeando o movimento implícito da própria mão (ou seja, da representação mental da mão) em direção à figura. No momento, duas são as evidências (indiretas) suportando essa hipótese. A primeira é que, embora as figuras de patas/mãos de primatas antropóides (chimpanzé, gorila, orangotango e homem) sejam muito diferentes, a decisão sobre a lateralidade destas patas/mãos obedece às mesmas regras observadas na rotação mental de figuras da mão humana. Ou seja, para decidirmos se a figura de uma pata de orangotango é a esquerda ou a direita, projetamos mentalmente a nossa mão para a tela do monitor. Observou-se que é necessário algum tempo para que a orientação da representação mental da nossa mão se modifique até coincidir com a orientação da figura na tela. Isto é evidenciado pelo fato de que as posturas mais difíceis de serem reproduzidas resultam em um Tempo de Reação maior (Gawryszewski, Silva-dos-Santos, Santos-Silva, Lameira, & Pereira Jr., no prelo).

A segunda evidência resulta da comparação entre as áreas corticais que são ativadas durante as tarefas clássicas dos neurônios espelho (observação de ações) e aquelas que são ativadas durante a rotação mental e a determinação da lateralidade de partes do corpo. Esta comparação é descrita no item a seguir.

Circuitos corticais comuns envolvidos com os neurônios espelho e com o reconhecimento da lateralidade da mão

Vários experimentos demonstram que os neurônios-espelho relacionados com a execução-observação de ações da mão, da boca e dos pés estão presentes também em humanos (Iacoboni, 2005). As áreas homólogas em humanos são o sulco temporal superior (STS), a parte rostral do lóbulo parietal inferior, e o córtex pré-motor ventral, incluindo a área de Broca (Iacoboni, 2005; Rizzolatti, et al., 2001; Rizzolatti & Craighero, 2004; Rizzolatti, 2005).

Da mesma forma, a rotação mental de partes do corpo provoca a ativação de sistemas corticais e subcorticais envolvidos com o planejamento e a execução do movimento, tal como os gânglios da base, as áreas motoras e as pré-motoras. Especificamente, Parsons e Fox (1998), através de um estudo usando PET, mostraram que durante uma tarefa de discriminação da lateralidade manual, a área pré-motora suplementar (pré-SMA), as áreas de Brodmann (BA) 44/46 e 4 no hemisfério esquerdo e BA 6, 7 e 37 no hemisfério direito, estão envolvidas com o imaginário motor e a discriminação da lateralidade de partes do corpo.

Outros estudos de neuroimagem também demonstram a ativação do córtex pré-motor e do córtex parietal posterior durante o reconhecimento da lateralidade de figuras da mão (De Lange, Hagoort, & Toni, 2005; Vingerhoets, De Lange, Vandemaele, Deblaere, & Achten 2002).

Desta forma, podemos observar que ocorre uma sobreposição entre as áreas responsáveis por planejar ou simular ações da mão e as áreas do SNE. A nossa proposta é que o SNE esteja envolvido com a tarefa de discriminação da lateralidade da figura da mão, detectando a **postura** e a lateralidade automaticamente (reconhecimento pré-atencional), para haver depois o movimento implícito da própria mão do sujeito em direção à figura para comparar as formas e assim julgar (conscientemente) a lateralidade da figura.

Implicações

Os neurônios espelho desempenham uma função crucial para o comportamento humano. Eles são ativados quando alguém observa uma ação de outra pessoa. O mais

impressionante é o fato desse *espelhamento* não depender obrigatoriamente da nossa memória. Se alguém faz um movimento corporal complexo que nunca realizamos antes, os nossos neurônios-espelho identificam no nosso sistema corporal os mecanismos proprioceptivos e musculares correspondentes e tendemos a imitar, inconscientemente, aquilo que observamos, ouvimos ou percebemos de alguma forma.

Mas esses neurônios-espelho permitem não apenas a compreensão direta das ações dos outros, mas também das suas intenções, o significado social de seu comportamento e das suas emoções. Iacoboni, et al. (2005) usaram a fMRI para demonstrar que os neurônios-espelho não codificam somente ações, mas também a intenção da ação. Nesse estudo foram apresentados três vídeos: “ação”, “contexto (sem ação)” e “intenção”. O vídeo “ação” mostrava uma mão pegando uma xícara de duas formas (preensão em pinça e em garra). O vídeo “contexto (sem ação)” mostrava uma cena com a mesa preparada para se fazer um lanche ou uma mesa com o cenário após o lanche. Os vídeos “intenção” eram a união dos vídeos “contexto” e “ação”. Ou seja, um vídeo mostrava a ação da mão (pegar uma xícara) no contexto de fazer o lanche e outro vídeo, a ação da mão no contexto de arrumar a mesa. Assim, os vídeos forneciam as pistas necessárias para entender a intenção da mão pegando a xícara. Mais especificamente, a mesa preparada para se fazer um lanche (ou após o lanche) e a mão pegando a xícara com uma determinada preensão, sinalizava que “alguém” se preparava para beber (ou para limpar a mesa). A observação de ações realizadas em contextos determinados, comparadas com as outras duas (só ação ou só o contexto), provocaram uma ativação significativamente maior no giro frontal inferior e no córtex pré-motor ventral, onde as ações da mão estão representadas. Desta forma, as áreas pré-motoras com neurônios espelho estão também envolvidas com a compreensão da intenção da ação (Iacoboni, et al., 2005).

As emoções também podem ser espelhadas pois, quando vemos alguém chorar, por exemplo, nossas células refletem a expressão do sentimento que pode estar por trás das lágrimas e trazem de volta a lembrança de momentos que já vivenciamos. A essa capacidade dá-se o nome de **empatia**, uma das chaves para decifrar o comportamento e a socialização do ser humano. Essas células também refletem uma série de elementos da comunicação não verbal, como por exemplo, pequenas mudanças na face e no tom de voz nos ajudam a compreender o que o outro está pensando ou sentindo. (Dobbs, 2006).

De acordo com Rizzolatti e Craighero (2004), o que caracteriza e garante a sobrevivência dos seres humanos é o fato de sermos capazes de nos organizar

socialmente, e isso só é possível porque somos seres capazes de entender a ação de outras pessoas. Além disso, também somos capazes de aprender através da imitação e essa faculdade é a base da cultura humana (Ramachandran & Oberman, 2006; Rizzolatti et al., 2006)

Crianças com autismo têm grande dificuldade para se expressar, compreender e imitar sentimentos como medo, alegria ou tristeza. Por isso se fecham num mundo particular e acabam desenvolvendo sérios problemas de socialização e aprendizado. O comportamento autista reflete um quadro compatível com a falha do sistema de neurônios-espelho. O entendimento de ações (essencial para a tomada de atitude em situações de perigo), a imitação (extremamente importante para os processos de aprendizagem) e a empatia (a tendência em sentir o mesmo que uma pessoa na mesma situação sente, a qual é fundamental na construção dos relacionamentos) são funções atribuídas aos neurônios-espelho e são exatamente essas funções que se encontram alteradas em pessoas autistas (ver revisão em Ramachandran & Oberman, 2006).

Os neurônios-espelho podem explicar muitas habilidades mentais que permaneciam misteriosas e inacessíveis aos experimentos e os neurocientistas acreditam que o aparecimento e o aprimoramento dessas células propiciou o desenvolvimento de funções importantes como linguagem, imitação, aprendizado e cultura.

Lameira, A. P., Gawryszewski, L. G., & Pereira Jr., A. (2006). Mirror neurons. *Psicologia USP, 17*(4). ??-??.

Abstract: The mirror neurons were initially described in the rhesus monkey's premotor cortex. Characteristically, the firing rate of mirror neurons increases not only during performance of a goal-directed action, but also when the animal is observing a similar action performed by another subject. These results led to the hypothesis that mirror neurons are components of a circuit involved with providing information crucial to social interactions, such as intention recognition, and that its malfunctioning could underlie social inabilities characteristic of autism, for instance. In this review, we propose a new methodology to study the mirror neuron system (MNS) in humans, based on measurements of manual reaction times during handedness recognition tasks.

Index terms: Neurons. Mirror neuron system. Reaction time. Lateral dominance.

Lameira, A. P., Gawryszewski, L. G., & Pereira Jr., A. (2006). Neurones miroir. *Psicologia USP, 17*(4). ??-??.

Résumé: Des neurones-miroirs, décrits initialement dans le cortex prémoteur du singe, voient leur taux de décharge augmenter non seulement durant l'exécution d'une action dirigée vers un but, mais aussi lorsque l'animal observe un autre sujet qui réalise une action similaire. Ces observations ont conduit à l'hypothèse que les neurones-miroirs participent d'un circuit qui fournit des informations cruciales pour les interactions sociales, comme la reconnaissance des intentions, la théorie de l'esprit, etc. Un dysfonctionnement de ce circuit pourrait expliquer l'aliénation sociale propre à l'autisme. Dans cette révision, nous proposons une nouvelle méthode pour étudier le Système des Neurones Miroirs (MNS) chez l'homme, basée sur la mesure de temps de réaction manuels durant des tâches de reconnaissance main droite/ main gauche.

Mots-clés: Neurone. Système neurone miroir. Temps de réaction. Dominance latérale.

Referências

Buccino, G., Binkofski, F., & Riggio, L. (2004). The mirror neuron system and action recognition. *Brain and Language, 89*, 370–376.

De Lange, F. P., Hagoort, P., & Toni, I. (2005). Neural topography and content of movement representations. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*, 97–112.

Dobbs, D. (2006). Reflexos reveladores. *Mente & Cérebro, 161*, 46-51.

Fadiga, L., Craighero, L., & Olivier, E. (2005). Human motor cortex excitability during the perception of others' action. *Current Opinion in Neurobiology, 15*, 213–218.

- Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European Journal of Neuroscience*, *17*, 1703-1714.
- Gallese, V. (2005). What do mirror neurons mean? Intentional Attunement. The Mirror Neuron system and its role in interpersonal relations. Recuperado em 05 de Dezembro de 2006, de <http://www.interdisciplines.org/mirror/papers/1>
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, *119*, 593-609.
- Gangitano, M., Mottaghy, F. M., & Pascual-Leone, A. (2001). Phase-specific modulation of cortical motor output during movement observation. *Neuroreport*, *12*, 1498-1492.
- Gawryszewski, L. G., Silva-dos-Santos, C. F., Santos-Silva, J. C., Lameira, A. P., & Pereira Jr., A. (no prelo). A chronometric study of mental rotation of anthropoid hands. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*.
- Iacoboni, M. (2005). Understanding others: Imitation, language and empathy. In S. Hurley & N. Chater (Eds.), *Perspectives on imitation: From neuroscience to Social Science* (Vol. 1: Mechanisms of imitation and imitation in animals - Social Neuroscience). Cambridge, MA: MIT Press.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biology*, *3*, e79.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: Action representation in mirror neurons. *Science*, *297*, 846-848.

- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 709-730.
- Parsons, L. M., & Fox, P. T. (1998). The neural basis of implicit movements used in recognising hand shape. *Cognitive Neuropsychology*, *15*, 583-615.
- Ramachandran, V. S., & Oberman, L. M. (2006). Espelhos quebrados. *Scientific American*, *55*, 53-59.
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends Neuroscience*, *21*, 188-194.
- Rizzolatti, G. (2005). The mirror neuron system and imitation. In S. Hurley & N. Chater (Eds.), *Perspectives on imitation: From Neuroscience to Social Science* (Vol. 1: Mechanisms of imitation and imitation in animals - Social Neuroscience). Cambridge, MA: MIT Press.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 169-192.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, *3*, 131-141.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*, 661-670.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2002). Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current Opinion Neurobiology*, *12*, 149-54.

- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2006). Espelhos na mente. *Scientific American*, *55*, 44-51.
- Tomasello, M., Carpenter, M., Call, J., Behne, T., & Moll, H. (2005). Understanding and sharing intentions: The origins of cultural cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, *28*, 675-735.
- Umiltà, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., et al. (2001). I know what you are doing. a neurophysiological study. *Neuron*, *31*, 155-165.
- Vingerhoets, G., de Lange, F. P., Vandemaele, P., Deblaere, K., & Achten, E. (2002). Motor imagery in mental rotation: An fMRI study. *Neuroimage*, *17*, 1223–1233.
- Watkins, K. E., Strafella, A. P., & Paus, T. (2003). Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia*, *41*, 989-994.
- Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J-P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in my insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, *40*, 655-664.

4. DISCUSSÃO GERAL

4.1. A Compatibilidade Estímulo-Resposta

Existem diferentes tipos de testes que são empregados para estudar a questão da Compatibilidade Estímulo – Resposta (CER). São estudados, entre outros, os fatores: o tipo e localização dos estímulos, o tipo e localização da resposta e a instrução relevante à execução do teste. Nessas tarefas, usualmente, existe um efeito provocado pela correspondência (ou não) entre o estímulo e a tecla de resposta, ou seja, uma determinada característica do estímulo induz (facilita) a uma resposta particular. A informação espacial sobre a localização do estímulo é uma importante característica responsável por esses efeitos de correspondência. Assim, quando a localização do estímulo tem correspondência com a localização da tecla de resposta, os TRM são mais rápidos do que quando a localização do estímulo não tem correspondência com a localização da tecla de resposta (Umiltà & Nicoletti, 1990; ver Gawryszewski et al, 2006 no item **3.7**).

No estudo mostrado no item **3.1**, procuramos entender a relação entre os códigos formados pela localização do estímulo, localização das teclas de resposta e posição anatômica dos efetores (ver Riggio et al., 1986). No nosso estudo, apontadores luminosos foram utilizados como ferramentas para indicar um local de ação. Estes apontadores permitiram uma clara distinção entre a posição da mão, o local da ação imediata da mão (a tecla) e o local para onde se projeta a ação da mão (local iluminado). Ou seja, os resultados deste trabalho mostram que a mão na sua posição anatômica agindo sobre uma tecla localizada no mesmo lado pode produzir efeito cruzamento através da projeção de um feixe de luz no hemisfério contralateral. Isto demonstra que

não é somente a relação entre a posição do estímulo e a posição da tecla de resposta que gera tempos de reação mais curtos ou mais longos. O local da ação em relação à posição da tecla, ou seja, o direcionamento dos feixes luminosos, também influencia na execução da tarefa.

No estudo seguinte (item **3.2**), investigamos a modulação do efeito Simon por um tarefa prévia de compatibilidade espacial. Segundo Tagliabue e colaboradores (2000), a organização do sistema nervoso e do sistema osteo-articular, fruto da seleção natural, facilita a realização de alguns movimentos em comparação a outros. Por exemplo, existe uma tendência para utilizarmos a mão direita para alcançar um objeto localizado à direita do corpo e a mão esquerda para alcançar um objeto localizado à esquerda. Esta tendência deriva de fatores inatos que são reforçados durante o desenvolvimento. De acordo com as idéias de Tagliabue e colaboradores (2000), durante as tarefas de CER nas condições de correspondência espacial entre as localizações do estímulo e das teclas de resposta, colocamos em prática algo que já estamos habituados a fazer: agir em direção aos estímulos com os efetores correspondentes. Ou seja, de forma natural, costumamos, no nosso ambiente externo, atuar nas demandas situadas à direita com algum membro (braço ou perna) direito, pois assim é mais fácil e assim fomos acostumados a fazer desde que nascemos, pois isto garante uma eficácia maior. Portanto, consolidamos, em nossa memória de procedimentos, as associações de longo prazo para as habilidades motoras de resposta com efetores correspondentes através das informações e práticas das tarefas simples do dia a dia, como, por exemplo, utilizar talheres em uma refeição. Por outro lado, nas condições não correspondentes, realizamos uma tarefa que não estamos acostumados (responder com o efector contralateral) e para respondermos corretamente se torna necessária a constituição de associações de memórias de curto prazo não declarativas.

Quando se fala no armazenamento de informações, sabemos que tal retenção pode se prolongar por um longo período de tempo (memória de longo prazo) ou perdurar apenas durante a execução de determinada tarefa (memória de curto prazo) (Bear, Connors & Paradiso, 2002). Tomando como exemplo o estudo conduzido por Tagliabue e colaboradores (2000), estudamos as associações das memórias de curto e longo prazo através das tarefas de compatibilidade espacial e Simon respectivamente. Porém, nós empregamos respostas unimanuais para a realização do teste prévio de compatibilidade espacial e respostas bimanuais para a tarefa de Simon. Este desenho experimental permite verificar se existe transferência do efeito do teste de compatibilidade espacial sobre a tarefa de Simon numa condição em que as respostas são mediadas por diferentes circuitos cerebrais.

Comprovamos que a modulação do efeito Simon por uma tarefa prévia de compatibilidade espacial não depende de que os arranjos experimentais nas tarefas de compatibilidade espacial e de Simon sejam idênticos. Assim, é a relação entre as posições (esquerda ou direita) dos estímulos e das teclas de resposta que é codificada e memorizada durante a tarefa de compatibilidade espacial, influenciando posteriormente a relação estímulo-resposta na tarefa de Simon. Os nossos resultados mostram que este efeito não depende do tipo de resposta empregado em cada tarefa. Assim, este estudo complementa trabalhos anteriores (Tagliabue et al., 2000; Vu, 2007) mostrando que as associações de curto prazo criadas através dos pareamentos incompatíveis (no teste de compatibilidade espacial) foram capazes de alterar as associações de longo prazo que geram o efeito Simon independente do arranjo experimental das tarefas.

4.2. Reconhecimento de partes do corpo

De acordo com Parsons (1994), o tempo necessário para girar mentalmente uma parte do corpo com intuito de julgar sua lateralidade é menor quando o sujeito está numa postura mais comum (canônica) do que quando ele está numa postura mais incomum. Parsons (1994) sugeriu que o tempo maior de resposta obtido quando o sujeito está numa postura incomum é resultado de um passo mental adicional necessário para sair da postura incomum e ir para uma postura mais comum antes de fazer o julgamento (veja também Vargas et al., 2004).

No estudo realizado por Parsons (1994), o participante utilizava uma postura comum (palma das mãos relaxadas sobre a mesa) ou mudava drasticamente a postura (dorso das mãos unidos com polegares para baixo) e a resposta era executada com os pés. No item 3.3, ao contrário do estudo feito por Parsons (1994), nós empregamos uma metodologia onde o sujeito modificava a configuração do corpo (mão na postura prona ou supina), mas executava a resposta com o mesmo movimento (flexão do indicador). Neste trabalho, a modificação discreta da postura do corpo (mão na postura prona ou supina) e manutenção do mesmo movimento de resposta nos permitia entender, mais especificamente, o quão importante é a informação proprioceptiva nos processos de imagética motora.

Parsons (1994) observou que os TRM na postura incomum (dorsos voltados um para o outro) eram paralelos porém maiores do que os observados na postura canônica (palma da mão apoiada na mesa na frente deles). Neste trabalho, observamos que, mesmo com uma alteração menor na configuração do corpo, existe uma influência da informação proprioceptiva da postura atual do sujeito no reconhecimento da forma da mão. Porém agora, essa influência só ocorre em vistas e ângulos específicos (vista do

punho no ângulo 240° e 270° e da face do polegar no ângulo 180°) e não mais globalmente. Assim, complementamos os achados de Parsons (1994), mostrando que modificações "não drásticas" da postura influenciam a resposta a figuras representando determinadas vistas da mão. Então, o TRM em uma tarefa de discriminação da lateralidade de uma figura que representa a mão humana não é dependente somente da orientação e da vista dos desenhos da mão, mas o é também da seqüência de movimentos necessários para concluir a tarefa, ou seja, do movimento imaginado feito para comparar o corpo com o estímulo.

Parsons (1987, 1994) também mostrou que o tempo necessário para discriminar a lateralidade de uma figura da mão é similar ao tempo necessário para mover a própria mão em direção ao estímulo e colocá-la na mesma configuração ou ainda para executar uma simulação mental do mesmo movimento. Desde que o movimento real para um desenho da mão situado no plano vertical é biomecanicamente diverso do movimento para um estímulo situado no plano horizontal, devido principalmente à ativação distinta dos músculos proximais, nós investigamos se as rotações mentais correspondentes a estes movimentos também seriam diferentes, mesmo se o estímulo fosse o mesmo em ambos os casos. A fim de responder a esta pergunta, no item **3.4** nós medimos o TRM em uma tarefa de julgamento da lateralidade da mão com os desenhos localizados no plano horizontal ou vertical. Nossos resultados mostraram que não há nenhuma diferença significativa entre as rotações mentais necessárias para o julgamento da lateralidade da mão dos desenhos situados no plano vertical ou horizontal.

Na literatura, existem evidências de que a manipulação mental de objetos externos e de partes do corpo é mediada por circuitos neurais diferentes no cérebro humano (Tomasino, Toraldo & Rumiati, 2003; Zacks, Gilliam & Ojemann, 2003, Parsons, 2003). Mas como seria o reconhecimento da lateralidade de partes do corpo de

primatas não-humanos? Nosso cérebro processaria o estímulo visual que representa uma parte do corpo de um primata não-humano (uma pata) como um objeto externo ou seguiria as mesmas regras para o reconhecimento do corpo humano? No item **3.5**, respondemos a esta pergunta medindo o TRM de sujeitos realizando uma tarefa de julgamento de partes do corpo de primatas antropóides (orangotango, chimpanzé, gorila e humanos).

O principal resultado desse trabalho foi mostrar que há uma equivalência no TRM para a discriminação da lateralidade da figura de primatas humanos e não-humanos. Estes resultados implicam que os elementos básicos da imagética motora, fundamental para a execução dessa tarefa, são similares em ambos os casos. Assim, os estímulos visuais com diferenças estruturais óbvias, mas que todavia compartilham similaridades dada sua ascendência filogenética comum, são mapeadas sobre a mesma representação motora, ou seja, os participantes comparam a própria mão com o estímulo através de um movimento simulado para decidir se a figura pertence ao lado direito ou esquerdo do corpo dos primatas antropóides. Nesse trabalho sugerimos a participação do Sistema de Neurônios Espelho durante o reconhecimento de partes do corpo (ver também item **3.8**).

4.3. Integração entre a Compatibilidade Estímulo-Resposta (CER) e o Reconhecimento de partes do corpo

As tarefas de CER são interessantes porque permitem compreender como as propriedades do estímulo influenciam a seleção da resposta (Lu & Proctor, 1995). Além disso, estas tarefas mostram que informações irrelevantes para a seleção da resposta são processadas pelo cérebro e influenciam a performance do sujeito (De Jong

et al., 1994; Umiltà & Nicoletti, 1990; Tsal & Lavie, 1993). Classicamente, os estímulos usados nestas tarefas são formas geométricas, cores, palavras ou símbolos (como uma seta) que contém uma informação espacial (Fitts & Seeger, 1953; Umiltà & Nicoletti, 1990, 1992; Tsal & Lavie, 1993; Hommel, 1993; Lu & Proctor, 1995; Kornblum & Lee, 1995). Porém, selecionar uma resposta para estes tipos de estímulos é um processo que envolve mecanismos neurais diferentes daqueles envolvidos em uma resposta para estímulos que representam uma parte do corpo (Tomasino, & de Toraldo; Rumiati, 2003; Zacks, & de Gilliam; Ojemann, 2003, Parsons, 2003). O reconhecimento de partes do corpo envolve processos cognitivos específicos entre a percepção do estímulo visualmente apresentado (parte do corpo) e as representações visuais e proprioceptivas do corpo (Parsons, 1987; 1994; Parsons & Fox, 1998, Parsons et al., 1998; Gentilucci et al., 1998).

No item **3.6**, nós analisamos o reconhecimento da forma da mão em uma tarefa de CER. Nós observamos que existe uma diferença no fenômeno da CER quando o estímulo relevante é uma “parte do corpo” em comparação quando o estímulo relevante é uma figura geométrica. Quando o estímulo representa uma parte do corpo (mão), o fenômeno da CER pode ser modulado pela informação proprioceptiva da postura das mãos do sujeito, mas quando o estímulo é uma figura geométrica, essa informação proprioceptiva não influencia no efeito de compatibilidade.

A influência da informação proprioceptiva da postura da mão do sujeito sobre o fenômeno da CER pode ser devido à natureza do estímulo (figura de uma parte do corpo), pois este estímulo não é somente “visto” mas é também “internamente representado”. Durante uma tarefa de julgamento da lateralidade da mão existe uma interação entre o estímulo visual (figura da mão) e a mão do sujeito (efetor) através de um movimento implícito imaginário da própria mão do sujeito em direção ao estímulo

visual para fazer uma comparação das formas e o posterior julgamento da lateralidade (Parsons, 1994; Parsons & Fox, 1998).

Considerando que existe uma relação entre o estímulo visual (figura da mão) e a mão do sujeito, além da interação entre a localização do estímulo e a localização das teclas de resposta, é possível concluir que, em uma tarefa de julgamento da lateralidade da mão, a informação proprioceptiva sobre a postura do sujeito aciona códigos sensório-motores que modulam o processamento da informação irrelevante do estímulo.

5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mostram que uma ferramenta pode ser considerada uma extensão da mão e o local da ação, apesar de distante da superfície cutânea, é a informação essencial para o cérebro coordenar o comportamento motor. Comportamento esse que sofre influência das associações de memória de curto prazo, ou seja, uma instrução para agir do lado oposto ao estímulo modula, independentemente de como se executa a resposta, o comportamento natural (memória de longo prazo) de agir do mesmo lado do estímulo.

Se esse estímulo que requer uma resposta motora representar uma parte do corpo, observamos que circuitos neurais específicos, diferentes dos circuitos envolvidos caso o estímulo fosse uma figura geométrica, são acionados. Assim, a facilidade natural de agirmos no mesmo lado do estímulo depende de informações proprioceptivas do corpo do sujeito. Então, verificamos que a postura do corpo tem uma forte influência sobre a resposta para esse tipo de estímulo. Porém, a posição desse estímulo no espaço, seja num plano vertical ou horizontal, não parece modular o comportamento do sujeito. Estímulos de partes do corpo de outros primatas antropóides não-humanos, com

diferenças estruturais óbvias, também são mapeadas sobre as mesmas representações do corpo humano. Esse reconhecimento de partes do corpo parece ser mediado pelos neurônios espelho.

Todos esses achados estão relacionados com a Neurobiologia do Controle Motor Humano. Esses resultados são de grande importância para compreendermos os mecanismos de auto-reconhecimento e reconhecimento de padrões de ação, entender o processo de imitação de ação e a aquisição de novas habilidades motoras e compreender como o cérebro diferencia o estímulo que representa uma parte do corpo de uma figura geométrica.

Perspectivas futuras:

Pretendemos avançar ainda mais nas investigações sobre esse fenômeno, principalmente integrando-os. Uma proposta de investigação é determinar se um estímulo representando uma figura da mão humana causa efeito Simon ou efeito Stroop espacial. Esse estudo permitirá entender se o significado semântico da lateralidade da mão é uma característica fundamental para o seu reconhecimento, ou se a sua forma é que é espelhada e conseqüentemente comparada a uma representação mental do próprio corpo. Outro estudo que pretendemos concluir é a interação da lateralidade da mão com objetos e determinar se a representação de uma ação acionada por um objeto (“affordance”) pode ser utilizada durante o processo de encaixe-confirmatório necessário para o julgamento da lateralidade da mão.

Todos esses estudos, juntamente com os que já estão publicados, têm grande importância para a compreensão dos mecanismos responsáveis pelo controle do movimento humano e possibilitam o desenvolvimento de novas estratégias para a reabilitação de pacientes neurológicos com alterações no controle motor.

6. REFERÊNCIAS

ANZOLA, G.P., BERTOLONI, G., BUCHTEL, H.A., RIZZOLATTI, G. (1977). Spatial compatibility and anatomical factors in simple and choice reaction time. *Neuropsychologia* 15:295-382.

AZIZ-ZADEH, L., KOSKI, L., ZAIDEL, E., MAZZIOTTA, J., IACOBONI, M. (2006). Lateralization of the Human Mirror Neuron System. *Journal of Neuroscience*. 26: 2964 –2970.

BEAR, M.F., CONNORS, B.W., PARADISO, M.A. (2002). *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 2ª ed, Porto Alegre: Artmed.

BUCCINO, G., BINKOFSKI, F., RIGGIO, L. (2004). The mirror neuron system and action recognition. *Brain and Language*. 89: 370 – 376.

DECETY, J. (1996). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behavioral Brain Research* 77: 45-52.

DE JONG, R., LIANG, C.C., LAUBER, E. (1994). Conditional and un-conditional automaticity: A dual-process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*. 20: 731-750.

FITTS, P.M., SEEGER, C.M. (1953). S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*. 46:199-210.

GALLESE, V., FADIGA, L., FOGASSI, L., RIZZOLATTI, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*. 119: 593-609.

GAWRYSZEWSKI, L.G., LAMEIRA, A.P., FERREIRA, F.M., GUIMARÃES SILVA, S., CONDE, E., PEREIRA JUNIOR, A. (2006). A Compatibilidade Estímulo-Resposta como Modelo para o estudo do comportamento motor. *Psicologia USP*, 17: 123-133.

GENTILUCCI, M., DAPRATI, E., GANGITANO, M. (1998). Implicit visual analysis in handedness recognition. *Consciousness and Cognition*, 7: 478-493.

HEISTER, G., SCHROEDER-HEISTER, P. (1994). Spatial S-R compatibility: Positional instruction vs. compatibility instruction. *Acta Psychologica* 85:15-24.

HOMMEL, B. (1993). The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research/Psychologische Forschung*. 55: 280-290.

JEANNEROD, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*. 17: 187-245.

KORNBLUM, S., HASBROUCQ, T., OSMAN, A. Dimensional Overlap: Cognitive basis for Stimulus-Response Compatibility-A model and taxonomy, *Psychological Review* 97: 253-270.

KORNBLUM, S., LEE, J.W. (1995). Stimulus-response compatibility with relevant and irrelevant stimulus dimensions that do and do not overlap with the response. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 21: 855-75.

KOSSLYN, S.M., GANIS, G.E., THOMPSON, W.L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Neuroscience* 2: 639-42.

LU, C.H., PROCTOR, R.W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and Spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2:174-207.

MASSARO, D.W. (1989). *Experimental Psychology: An Information Processing Approach*, Orlando, FL: Harcourt Brace College Publishers.

PARSONS, L.M. (1987). Imagined spatial transformation of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*. 19: 178-241.

PARSONS, L.M. (1994). Temporal and kinematics properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 20: 709-730.

PARSONS, L.M., FOX, P. T. (1998). The neural basis of implicit movements used in recognizing hand shape. *Cognitive Neuropsychology*, 15: 583 – 615.

PARSONS, L.M., GABRIELI, J.D.E., PHELPS, E.A., GAZZANIGA, M.S. (1998). Cerebrally lateralized mental representations of hand shape and movement. *The Journal of Neuroscience*. 18: 6539-6548.

PARSONS, L.M. (2003). Superior parietal cortices and varieties of mental rotation. *Trends in Cognitive Sciences* 7: 515-517.

PETIT, L.S., PEGNA, A.J., MAYER, E., HAUERT, C.A. (2003). Representation of anatomical constraints in motor imagery: Mental rotation of a body segment. *Brain and Cognition* 51: 95-101.

RIGGIO, L., GAWRYSZEWSKI, L. G., UMILTÀ, C. (1986). What is crossed in crossed hands effects? *Acta Psychologica*, 62: 89-100.

RIZZOLATTI, G., FADIGA, L., GALLESE, V., FOGASSI, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research* 3: 131-141.

RIZZOLATTI, G., CRAIGHERO, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*. 27:169 – 192.

TAGLIABUE, M., ZORZI, M., UMILTÀ, C., BASSIGNANI, F. (2000) The role of long-term-memory and short-term-memory in the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26: 648-670.

TOMASINO, B., TORALDO, A., RUMIATI, R.I. (2003). Dissociation between the mental rotation of visual images and motor images in unilateral brain-damaged patients. *Brain & Cognition*. 51: 368-371.

TSAL, Y., LAVIE, N. (1993). Location Dominance in Attending to Color and Shape. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 19:131-139.

UMILTÀ, C., NICOLETTI, R. (1990). Spatial stimulus - response compatibility. *Stimulus - response compatibility: An integrated perspective*. 89-116.

UMILTÀ, C., NICOLETTI, R. (1992). An integrated model of the Simon effect. *Analytic approaches to human cognition*, 331-350.

VARGAS, C.D., OLIVER, E., CRAIGHERO, L., FADIGA, L., DUHAMEL, J.R., SIRIGU, A. (2004). The Influence of Hand Posture on Corticospinal Excitability during Motor Imagery: A Transcranial Magnetic Stimulation Study. *Cerebral Cortex* 14:1200-1206.

VU, K.P.L. (2007). Influences on the Simon effect of prior practice with spatially incompatible mappings: Transfer

within and between horizontal and vertical dimensions.
Memory & Cognition, 35: 1463-1471.

WALLACE, R.J. (1971). S - R compatibility and the idea of a response code. *Journal of Experimental Psychology*. 88:354-360.

WOLBERS T., WEILLER, C., BUCHEL, C. (2003). Contralateral coding of body parts in the superior parietal lobe. *Cerebral Cortex* 13: 392-9.

ZACKS JM, GILLIAM F, OJEMANN JG. Selective disturbance of mental rotation by cortical stimulation. *Neuropsychologia*. 2003;41(12):1659-67.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)