



ProA: Sistema de Monitoramento Neuropsicológico Computadorizado

As Bases Teóricas e as Tarefas ProA



Índice

1. As Habilidades Cognitivas e as Tarefas ProA.....	4
1.1. Mecanismos Gerais.....	5
1.2. Atenção Seletiva.....	6
1.3. Memória de Trabalho.....	11
1.4. Habilidade Visuo-espacial.....	15
1.5. Habilidade Aritmética.....	19
2. Referências.....	23



Lista de Imagens

Figura 1: Tarefa Atenção Seletiva.....	7
Figura 2: Tarefa Memória de Trabalho.....	14
Figura 3: Tarefa de Habilidade Visuo-espacial.....	18
Figura 4: Tarefa de Habilidade Aritmética.....	22

Lista de Tabelas

Tabela 1: Efeitos entre as condições na tarefa de Stoop.....	10
--	----



1. As Habilidades Cognitivas e as Tarefas ProA

A escolha das habilidades a serem contempladas por essa bateria de monitoramento cognitivo foi motivada por diferentes fatores, dentre os quais a carência de sistemas de monitoramento cognitivo no mercado brasileiro. Após inúmeras reflexões, a Equipe Sina-Psi focou-se nas habilidades de atenção seletiva, memória de trabalho, habilidade aritmética e habilidade visuo-espacial pelo papel que elas representam juntos aos processos de aprendizagem e, as duas primeiras, junto às funções executivas.

O termo “funções executivas” tem sido utilizado para descrever uma vasta gama de processos cognitivos e competências comportamentais, incluindo raciocínio verbal, solução de problemas, planejamento, atenção seletiva e dividida, flexibilidade cognitiva e habilidade de lidar com novidades ou mudanças (Chan, Shum, Touloupoulou, & Chen, 2008). Ardila (2008) destaca como uma habilidade executiva a capacidade de filtrar estímulos intervenientes e antecipar conseqüências, seja das ações de outros ou das próprias, o que facilita a reformulação e ajuste do comportamento durante a própria execução do mesmo. As funções executivas (FEs) são essenciais para a aprendizagem e atuam na coordenação de muitos processos, influenciando o desempenho cognitivo das pessoas de diferentes formas. Avaliar uma das FEs tem sido considerada uma tarefa difícil, uma vez que cada uma delas se relacionam com todas as outras (Alvarez & Emory, 2006; Stuss & Alexander, 2000).

A primeira versão da ProA engloba 2 das habilidades que compõem o leque das funções executivas (atenção seletiva e memória de trabalho) e também pelas tarefas cognitivas de habilidade visuo-espacial e aritmética. Durante os testes de validação, verificou-se que cada tarefa proposta é capaz de avaliar o desempenho no domínio específico, minimizando ao máximo o efeito dos outros domínios avaliados. A bateria ProA é composta por 4 tarefas singulares, diferentes umas das outras. Porém, alguns mecanismos gerais são comuns a todas e serão descritas no item a seguir. Após, serão apontadas as bases teóricas que fundamentaram o desenvolvimento de cada tarefa, e suas particularidades.

1.1. Mecanismos Gerais

Um dos primeiros fatores a considerado no desenvolvimento da ProA foi a necessidade do engajamento do indivíduo para a realização de uma atividade que avalie seu desempenho. Quando realizamos avaliações enfadonhas, sejam elas difíceis ou extremamente fáceis, a tendência do cérebro humano é não se manter focado na atividade. Desse modo o desempenho pode cair e o resultado ficar prejudicado pelo desinteresse da pessoa em finalizar a tarefa. Para minimizar esse problema, a ProA foi desenvolvida no formato jogo, e apresenta elementos que servem como indicadores de desempenho. São feedbacks visuais e auditivos, que funcionam dando uma consequência para a ação realizada. No nosso dia a dia, de modo geral, recebemos consequências à nossas ações e isso nos permite ajustar nossos comportamentos.

Os feedbacks visuais são neurônios, que aparecem na tela após as jogadas e variam em função da velocidade de resposta. Existem quatro gradações para esses indicadores: acertou, valeu, bom e excelente. O primeiro nível, “acertou” é apresentado quando o usuário acerta, mas apresenta demora em emitir a resposta. É simbolizado apenas por um neurônio pequeno e por um feedback sonoro de acerto. Na gradação “valeu”, o neurônio é um pouco maior, e é possível ler essa palavra ao redor da imagem. O mesmo ocorre para “bom” e “excelente”, sendo os respectivos neurônios maiores. Os feedbacks sonoros também variam, aumentando gradativamente seu volume e duração.

Outro mecanismo importante, que aproxima os resultados com o a dinâmica do dia a dia é a capacidade de mensuração do desempenho sob pressão. O nível 3 de todos os jogos apresenta um controlador de tempo, que limita a o período de execução do último nível. Para alguns usuários esse se apresenta como um mecanismo motivador ou desafiador, em que o resultado apresenta melhores respostas em reação ao nível 2. Para outros, representa um mecanismo de pressão, e em geral o desempenho na tarefa cai.

A pontuação que aparece no painel superior corresponde ao desempenho acumulado, sendo que “acertou” não fornece pontos (zero), ao “valeu” atribui-se 1 ponto, ao “bom”, 2 pontos, e ao “excelente”, 3 pontos. No caso de erros, o usuário escutará um som característico que permitirá sua identificação, e nada acontecerá com a pontuação. A cada novo nível, a pontuação reinicia do zero, o que permite ao usuário comparar se ele realiza mais ou menos pontos em cada nível. Ao lado da pontuação, há um painel indicando o nível que está sendo



executado. Verticalmente, à esquerda da tela, existe um termômetro de desempenho. Nele, caem barras coloridas a cada acerto, independente do desempenho.

1.2. Atenção Seletiva

A atenção visual seletiva é a habilidade avaliada na primeira tarefa da ProA. Diferentes são as bases teóricas que tentam explicitar o complexo fenômeno da atenção e, cada vez mais, cientistas têm investigado as bases neurofisiológicas e neuroanatômicas envolvidas nesse processo. A percepção visual e o direcionamento a atenção ao alvo percebido envolvem processamentos boton-up e top-down onde, ao mesmo tempo em que informações relacionadas aos estímulos são levadas às áreas visuais posteriores, conexões entre as áreas visuais primárias (posteriores) e as áreas visuais anteriores permitem ajustes comportamentais e atencionais, em função de informações privadas ao indivíduo (Alvarez & Emory, 2006; Ardila, 2008; Gilbert & Burgess, 2008; Luck, 1998).

Cada estímulo visual é composto por características próprias, como tamanho, cor, profundidade e movimento, dentre outras, que são processadas por diferentes neurônios. Esses, por sua vez, podem estar alocados em diferentes regiões do córtex visual. Para a identificação e compreensão do estímulo como um todo, essas diferentes informações devem ser associadas pelo cérebro. Ao mesmo tempo, porém, o cérebro deve ignorar outros estímulos que podem estar presente nos campos sensoriais, mas que não são relevantes naquele momento (Luck, 1998). Essa é a chave para o controle inibitório, que pode ser considerado como um processo escultural para o cérebro, uma vez que a seleção de informações é realizada a partir da inibição de outras menos relevantes (escolha) e da inibição de comportamentos que possivelmente prejudicariam a obtenção do objetivo final da tarefa (Garavan, Ross, Li, & Stein, 2000; Tanji & Hoshi, 2008)

Uma das tarefas mais utilizadas em pesquisas científicas para analisar a dinâmica do processo atencional foi desenvolvida por John Ridley Stroop, em 1935, e recebe o seu nome. A tarefa originalmente desenvolvida por Stroop serviu de base para a tarefa de atenção seletiva do ProA, que pode ser considerada um Stroop modificado. Atualmente, as versões computadorizadas da tarefa de cores e palavras de Stroop são mais utilizadas que as versões “lápiz e papel”, por permitirem a apresentação de um estímulo por vez e, conseqüentemente, a mensuração do tempo de cada resposta. Outras vantagens da versão computadorizada são: a possibilidade de

identificação de tipos de erros (por antecipação ou por atraso), controle do tempo de apresentação intra e entre estímulos, além de facilitar a manipulação posterior do banco de dados (Macleod, 1992, 2005).

Na tarefa de atenção da ProA, uma palavra que nomeia uma cor é apresentada no painel. Essa palavra sempre apresentará a fonte colorida, podendo ser congruente com o nome a que se refere ou não. Ou seja, a palavra **Marrom** pode aparecer escrita em **Marrom**, ou em qualquer outra cor (**Marrom** escrito com tinta rosa, por exemplo). Abaixo dessa palavra, existem dois painéis, paralelos horizontalmente, em que o nome de duas cores são apresentadas, com o mesmo padrão de cor: um dos nomes sempre corresponderá à cor da tinta em que a palavra no painel acima foi escrita. O objetivo dessa tarefa é que o usuário indique a cor visualizada, que não necessariamente reflete o nome a que a palavra se refere. No exemplo citado acima e na figura 1, a seguir, ela deveria indicar a cor “rosa”, pois essa é a cor da tinta em que a palavra está pintada.

Figura 1: Tarefa Atenção Seletiva.



A tarefa de atenção da ProA é composta por três níveis, com tentativas de aprendizagem que antecedem cada nível (tutorial). No nível 1, a tarefa apresentará um retângulo colorido e o usuário deverá clicar na palavra que corresponde ao nome da cor visualizada. Os níveis 2 e 3 apresentam estímulos incongruentes, ou seja, a palavra apresentada **não** corresponde à cor da



fonte. Nesse caso, o usuário deve identificar a cor da tinta da palavra, e clicar no nome correspondente. A instrução a ser dada para a execução desses níveis deve abordar a necessidade de identificar-se a cor da tinta da palavra, exposta no painel superior, e associá-la aos nomes indicados no painel inferior. O tutorial dessa tarefa compreende 3 acertos, contabilizados nas tentativas iniciais, já que ele é embutido nos níveis. Enquanto o usuário não obtiver 3 acertos, o sistema não registra os dados e, conseqüentemente, não avança entre níveis. Além disso, nas três primeiras tentativas o botão com o nome da cor pisca, induzindo o usuário a clicar nele. Esse número de acertos foi estipulado como mínimo para assegurar que o usuário compreendeu a atividade a ser executada. Cada nível requer 15 acertos, além dos 3 de aprendizagem.

O nível 3 diferencia-se do nível 2 pela presença de um cronômetro, que delimita o tempo de execução do nível 3 ao período de 60s. A finalidade desse cronômetro é observar o desempenho do usuário mediante um possível elemento pressionador (tempo limitado). Caso sejam identificados 10 erros em quaisquer níveis, o sistema automaticamente apresentará uma mensagem perguntando se o nível deverá ser re-iniciado ou se o sistema deve avançar para a próxima atividade da bateria. Essa medida foi implementada para evitar que o relatório apresente respostas inconsistentes em função de reduzida quantidade de dados. Caberá ao aplicador identificar se o nível deverá ser refeito, se a tarefa precisa ser mais bem explicada ou se o nível de dificuldade do usuário impossibilita a sua execução.

Já se passaram 75 anos desde o experimento original até os dias de hoje, e a tarefa de cores e palavras de Stroop continua válida e ainda instiga investigações acerca dos mecanismos cognitivos e cerebrais requisitados para a sua execução. É consenso entre os pesquisadores que em condições incongruentes, em que a palavra escrita e a tinta são diferentes, o tempo para a emissão da resposta é maior do que em uma condição neutra; e que o tempo de resposta em condições congruentes, em que a palavra escrita e a tinta são iguais, o tempo de resposta diminui. Alguns autores argumentam que a interferência observada nas condições incongruentes ocorre em função do processo de inibição cognitiva ou inibição seletiva, necessário para direcionar a atenção ao estímulo relevante (a cor em que a palavra está pintada) e ignorar o irrelevante (palavra escrita) (Matlin, 2003). Porém, alguns revisores dessas teorias mostram-se críticos ao conceito de inibição. MacLeod e colaboradores, no artigo *"In Opposition to Inhibition"* argumentam que nem toda interferência pode ser considerada inibição e mostram-se favoráveis ao princípio da interferência cognitiva durante a tarefa de Stroop em função da recuperação automática de informações da memória e do conflito na escolha para a resolução da tarefa (MacLeod, Dodd, Sheard, Wilson, & Bibi, 2003).

Mais recentemente, MacLeod (2005) questiona também a justificativa de que o efeito ocorra pelo fato de o cérebro humano ser mais treinado para ler do que para reconhecer cores, sugerida inclusive pelo próprio Stroop. Dentro desse conceito, a habilidade mais treinada ou mais rapidamente processada interfere na menos treinada, e por isso ocorre o efeito Stroop. Porém, o autor argumenta que a teoria de velocidade no processamento da habilidade mais treinada é válida enquanto construto, mas não cobre todos os aspectos de interferência existente na tarefa, como por exemplo, o fato de a menos treinada (reconhecimento da cor) também interferir na mais treinada (leitura).

Focando-se nos fenômenos observados entre os estímulos, Juvina e Taatgen (2009) retomam o princípio de mecanismos inibitório e apresentam a teoria da “inibição repetitiva” para elucidar os 4 mecanismos cognitivos observados entre as condições, resumidos na tabela 1. Cabe enfatizar que a teoria proposta pelos autores é voltada para compreensão dos efeitos que ocorrem entre as condições (*Between-Trial effect*), e não o efeito clássico da tarefa de cores e palavras de Stroop, em que observa-se maior tempo de resposta para condições incongruentes. A teoria da inibição repetitiva é baseada nos mecanismos de memória e assume que, ao final de cada condição, todas as representações visualizadas naquela situação são inibidas, e que essa inibição vai ocorrer sempre que ocorre repetição de uma das características do estímulo.

No caso “palavra-cor”, o tempo de resposta para identificação da cor na apresentação subsequente aumenta em função de a cor requisitada no segundo estímulo ter sido inibida previamente. Já na situação “cor-palavra”, a cor visualizada na condição anterior foi inibida; como na apresentação seguinte ela deve ser inibida novamente para que a outra cor seja identificada, as representações anteriores não interferem na identificação posterior, diminuindo o tempo para emissão da resposta. Quando as mesmas cores são visualizadas nas duas condições, efeito “cor-cor”, de acordo com a teoria de Juvina e Taatgen (2009) o tempo de reação deveria aumentar, tendo em vista que o estímulo “cor” foi inibido em função da repetição, e que ele deveria ser identificado no estímulo sucessor. E, finalmente, na recorrência da palavra (efeito “palavra-palavra”), espera-se a diminuição do tempo de resposta, pois a palavra já foi previamente inibida na apresentação anterior.

Tabela 1: Efeitos entre as condições na tarefa de Stoop {fonte: (Juvina & Taatgen, 2009)}.

Efeito	Estímulo Antecessor	Estímulo Sucessor	Fenômeno
Palavra - Cor	Palavra	Cor	Quando a palavra no estímulo anterior corresponde à cor visualizada no estímulo subsequente; Observa-se aumento no tempo de reação para emissão da resposta subsequente.
Cor - Palavra	Cor	Palavra	Quando a cor visualizada no estímulo anterior corresponde à palavra escrita no estímulo subsequente; Observa-se diminuição no tempo de reação para emissão da resposta subsequente.
Cor - Cor	Cor	Cor	Quando a cor visualizada no estímulo anterior corresponde cor visualizada no estímulo subsequente, independente da palavra escrita nos estímulos; Alguns autores observaram aumento, enquanto outros observaram diminuição no tempo de reação para emissão da resposta subsequente.
Palavra - Palavra	Palavra	Palavra	Quando a palavra no estímulo anterior corresponde à palavra no estímulo subsequente, independente da cor visualizada; Observou-se diminuição no tempo de reação para emissão da resposta subsequente.

Weiss et al. (2007) realizaram uma pesquisa com o objetivo de investigar e comparar o padrão de ativação cerebral de sujeitos saudáveis e com esquizofrenia durante a realização da tarefa *Stroop* modificada. Na tarefa, os participantes deveriam indicar se a cor e a palavra eram

ou não congruentes, clicando nas teclas correspondentes a essas opções. Foi verificado que os indivíduos saudáveis apresentaram maior acurácia nessa tarefa. Os pacientes esquizofrênicos apresentaram menor acurácia (maior número de erros), demonstrando ativação reduzida no córtex pré-frontal dorsolateral, no cíngulo anterior e nas regiões parietais e maior ativação nas regiões temporais e no cíngulo posterior em relação ao grupo controle. Esses resultados sugerem que as áreas do córtex pré-frontal dorsolateral, o cíngulo anterior e as regiões parietais são áreas importantes na atenção seletiva.

1.3. Memória de Trabalho

Os primeiros conceitos acerca dos mecanismos de memória existentes envolviam basicamente dois sistemas: memória de curto prazo e memória de longo prazo. A partir da revisão e reformulação dessas teorias, delineou-se o conceito de memória de trabalho, enquanto um sistema que pode integrar e interagir com os outros dois (Baddeley, 1992; Sternberg, 2008). A memória de trabalho é um sistema capaz de armazenar e manipular informações em função de alguma meta ou objetivo, e é essencial para comportamentos da vida diária, como raciocínio, compreensão, solução de problemas, aprendizagem e linguagem. Os mecanismos utilizados pela memória de trabalho para a manipulação das informações envolvem o armazenamento ou retenção dessas por um breve período de tempo, o resgate das informações a serem utilizadas e o processo executivo, que define como manipulá-las (Jonides, Lacey, & Nee, 2005).

Baddeley (Baddeley, 1992, 2003), inicialmente propôs que a memória de trabalho é composta por 3 elementos capazes de garantir a manutenção da informação para sua utilização posterior: o circuito fonológico, o esboço visuo-espacial e o executivo central. Atualmente, o mesmo autor (Baddeley, 2003, 2010; Sternberg, 2008) propõe a existência de um quarto elemento, o *buffer* episódico, que se configura em um modelo de multicomponentes, como veremos a seguir.

O circuito fonológico é um dos componentes mais investigados da memória de trabalho, e é responsável por armazenar um número limitado de sons por períodos curtos de tempo, como 1 ou 2s. Pode-se fazer uma analogia desse componente com a fala interna (Baddeley, 1992). Nesse circuito, quanto mais semelhante é o som e a duração das palavras, mais fácil é a tarefa de lembra-se delas (Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2006). A alça fonológica tem dois sub-componentes principais: o armazenamento fonológico e o processo de repetição subvocal. O armazenamento

retém quantidade limitada de informações que são deletadas depois de poucos segundos. O processo de repetição subvocal é a repetição em silêncio das palavras no armazenamento fonológico. Quando esse processo ocorre, os itens do armazenamento são conservados por mais tempo (Matlin, 2003). Cabe enfatizar que o período ou capacidade de retenção pode variar de pessoa para pessoa ou em função do tipo de estímulo. Baddeley (2010) exemplifica que a retenção de uma lista de palavras não familiares fica em torno de 5 palavras, porém, quando essas apresentam significado e podem ser associadas, essa capacidade pó ampliar-se para 15 palavras.

O esboço visuoespacial, ou bloco de esboço visuo-espacial, é uma representação breve que permite reter informações visuais ou código visuoespaciais (Matlin, 2003; Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2006). Verifica-se que esse processo ocorre paralelamente ao da alça fonológica, pois a execução simultânea de uma tarefa de memória visuo-espacial não influencia no desempenho do resgate de informações da alça fonológica (Baddeley, 1998). Assim como o circuito fonológico, esse componente também apresenta uma capacidade limita de armazenamento: em média entre 3 e 4 elementos (Baddeley, 2003).

O executivo central é considerado como o responsável por integrar as informações desses dois componentes com as da memória de longo prazo (Matlin, 2003). Funciona como um mecanismo de controle, coordenando e orientando os processos de memória de trabalho e selecionando as informações relevantes que devem ser processadas, direcionando a atenção para elas (Baddeley, 2003; Sternberg, 2008).

O *buffer* episódico foi o quarto componente a ser descrito. É considerado como um sistema de armazenamento, capaz de reter episódios como um todo, articulando as suas mais diversas dimensões. Ou seja, ele armazena representações da memória de longo prazo e informações sensoriais, como as visuais, auditivas, olfativas e táteis, em uma única unidade ou episódio. Também apresenta capacidade limitada. Além disso, é subordinado ao controle do executivo central e é acessível somente através da mente consciente (Baddeley, 2010).

Outras discussões importantes advindas de estudos recentes sobre os componentes visuais da memória de trabalho oferecem um olhar diferenciado à abordagem de Baddeley (Darling, Della Sala, & Logie, 2007; Darling, Della Sala, Logie, & Cantagallo, 2006). Uma delas é a proposta de que existem dois componentes separados para a memória de trabalho visuoespacial, um refere-se à localização visuoespacial e outro se relaciona com a aparência (Darling et al., 2007). O primeiro subsistema seria encarregado de lembrar a localização das coisas no espaço,

sem detalhes de aparência, como um arranjo completo, sem necessidade de retenção de detalhes desses objetos. O segundo, relacionado com a aparência, seria encarregado pela retenção de detalhes do objeto, como forma, cor, tamanho, entre outras características específicas.

Têm-se investigado, também, quais regiões cerebrais estariam envolvidas no processamento da memória de trabalho. Corroborando os indicadores de Darling, verifica-se que diferentes regiões são ativadas quando a tarefa requer uso da memória de trabalho para retenção e resgate da posição espacial de objetos em relação aquelas em que é necessária a identificação do objeto em si, considerando-se suas características de aparência. No primeiro caso, os indícios apontam para ativação do córtex parietal inferior, enquanto no segundo, esse papel é atribuído as regiões dorsais (Baddeley, 2003). Pessoas com lesões nas áreas parietais e occipitais do cérebro, especialmente no hemisfério direito, apresentam problemas em tarefas de memória de trabalho visuoespaciais não verbais, mesmo quando apresentando uma visão normal (Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2006).

Jonides, Lacey e Nee (2005) propõem que as regiões cerebrais responsáveis pelo armazenamento temporário da memória de trabalho são as mesmas responsáveis pela codificação sensorial da informação: regiões posteriores do cérebro, principalmente córtices parietal e temporal. Nesse sentido, as informações são mantidas ativas e disponíveis para resgate por um breve período de tempo, mesmo após o estímulo não estar mais presente para os órgãos dos sentidos. Já o mecanismo de resgate envolveria as mesmas áreas recrutadas para processamento da atenção seletiva, incluindo lobos frontais, variando em função do tipo de informação que foi armazenada: visual (voltada para identificação de detalhes), visuo-espacial ou ainda verbal.

Considerando-se o circuito fonológico, Baddeley (2003), em sua revisão de estudos de diversos autores, aponta que tarefas que requeiram a mobilização desse componente ativam regiões temporo-parietais do hemisfério esquerdo. Verifica-se que pessoas com lesões no giro supramarginal esquerdo (parietal inferior) ou na área pré-motora esquerda (frontal lateral) apresentam dificuldade para reter listas de palavras na memória de trabalho. Já a rede da memória de trabalho fonológica está vinculada aos lobos látero-frontal e parietal inferior (Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2006).

A tarefa de memória de trabalho da ProA (figura 2) possibilita a identificação do desempenho de pessoas no domínio da memória de trabalho visuo-espacial. A atividade consiste na memorização e resgate da posição de figuras geométricas em um painel quadriculado, com 5

linhas e 5 colunas. Detalhes sobre as figuras não precisam ser armazenados, mas apenas a posição em que esses se encontram no painel. Postma e De Haan (1996) realizaram três experimentos, que exigiam a identificação da posição de letras, símbolos sem significado e símbolos de pontuação gráfica em painéis com espaço livre e delimitado. Os autores observaram que o desempenho na tarefa de localização espacial diferiu-se entre os três experimentos. Observaram também que o significado do objeto influenciou o desempenho na tarefa que exigia associação entre os objetos específicos e suas respectivas localizações no espaço, supondo-se, assim, mobilização paralela do circuito fonológico.

Na ProA, serão utilizados figuras geométricas iguais em cada etapa de memorização-resgate, minimizando a necessidade de utilizar-se mecanismos que não sejam necessários à localização espacial. A escolha por figuras geométricas vêm ao encontro das definições apontadas por Postma e De Haan (1996), em que o desempenho pode ser facilitado pela utilização de letras e dificultado pela ausência total de significado. Os autores afirmam que muitos sujeitos relataram atribuir nomes ou significados fictícios aos objetos não simbólicos como forma de facilitar a retenção e resgate, principalmente quando o número de elementos no painel aumentava.

Figura 2: Tarefa Memória de Trabalho.





O mecanismo da tarefa de memória de trabalho da ProA consiste em visualizar um painel com objetos geométricos, disponível por 1,3s e, em seguida, após um evento distrator de 0,7s, indicar suas posições no mesmo painel, porém agora vazio. O evento distrator é a animação de saída e entrada dos painéis. Essa atividade é composta por 3 níveis de jogo, sendo que no início de cada nível são necessárias 3 acertos para verificação da aprendizagem (tutorial embutido nos níveis). Já para a progressão entre os níveis, são necessários 10 acertos. O nível 1 é composto por 3 objetos. Já os níveis 2 e 3, por 4 objetos. O nível 3 apresenta um cronômetro que delimita seu tempo de duração a 40s. O objetivo no nível 3 é que o usuário tente superar o desempenho no nível 2, adicionando-se um fator de pressão. Durante o jogo, na ocorrência de 10 erros a cada nível, aparecerá uma mensagem acerca da possibilidade de reiniciar o nível ou avançar de atividade.

1.4. Habilidade Visuo-Espacial

A habilidade visuo-espacial ou cognição espacial envolve uma gama de processos relacionados com as imagens mentais, que variam desde a habilidade navegacional até a manipulação mental de objetos visuais complexos (Gleitman, Fridlund, & Reisberg, 2003; Kolb & Whishaw, 2002). O termo visuo-espacial engloba diferentes categorias de processamento, como a capacidade de rotação mental, de percepção espacial e de visualização espacial. Iremos focar os apontamentos a seguir na capacidade de rotacionar mentalmente objetos, tendo em vista que esta é a habilidade mais especificamente requisitada na terceira tarefa da bateria ProA.

Em 1971, Shepard e Metzler publicaram o primeiro artigo que, hoje em dia, é usado como referência clássica para avaliação da capacidade de rotação mental. Nesse experimento, duas figuras tridimensionais compostas por cubos foram colocadas lado a lado, e solicitava-se ao sujeito que indicasse se as imagens eram iguais ou não. As figuras congruentes, ou iguais, consistiam no mesmo objeto tridimensional rotacionado, ou seja, eram apresentadas duas figuras da mesma imagem, lado a lado, porém sob ângulos diferentes. Os objetos incongruentes consistiam em imagens espelhadas do objeto-referência. Ou seja, por mais que fossem rotacionadas, essas imagens não se sobrepunham. Os sujeitos, ao identificarem as imagens congruentes, deveriam pressionar uma alavanca com a mão direita. Em caso de incongruência, pressionava-se outra alavanca, à esquerda (Shepard & Metzler, 1971). A observação encontrada nesse estudo, de que o tempo de resposta varia em função da angulação das peças ou da

quantidade de rotações necessárias para se obter a resposta, tem sido corroborada ao longo dos anos, o que a tornou uma tarefa clássica em estudos científicos de rotação mental.

Muitas são as variações desenvolvidas a partir do paradigma de Shepard e Metzler (S/M), como a utilização de imagens de animais, partes do corpo ou letras (Wiedenbauer & Jansen-Osmann, 2008). Há, ainda, estudos que utilizam peças em uma perspectiva bidimensional ou que possibilitam a comparação da imagem-referência com um conjunto de 4 outras imagens, ao invés da comparação pareada do paradigma S/M (Peters & Battista, 2008; Terlecki, Newcombe, & Little, 2008). Peters e Battista (2008), em sua revisão, apontam que a comparação da figura alvo com o conjunto de 4 imagens (conhecida como paradigma de Vandenberg e Kuse) exige maior monitoramento visual entre as 5 figuras, além da necessidade de armazenamento na memória de trabalho das imagens visualizadas e do acionamento de mecanismos inibitórios para escolha entre as imagens semelhantes e as não semelhantes. Os autores sugerem que as diferenças metodológicas dessa última abordagem requerem a utilização de mecanismos cognitivos que vão além daqueles necessários para a rotação mental do objeto em si, o que pode influenciar nos resultados obtidos, principalmente quando se compara diferenças no desempenho entre grupos. Um exemplo são os indicadores de diferença de gênero, consistentemente verificados através do paradigma de Vandenberg e Kuse, mas que não são tão evidentes utilizando-se outras tarefas de rotação mental, inclusive o paradigma S/M (para maiores esclarecimentos, ver Peters e Battista, 2008).

Adotando o paradigma de Vandenberg e Kuse para verificação do desempenho antes e após um período de treino da habilidade de rotação mental, Terlecki et al (2008) observaram um fenômeno interessante: durante o treino, mulheres com baixo desempenho no pré-teste demoraram mais para apresentar ganhos, porém, esses persistiram por mais de 12 semanas. Já os homens e as mulheres que no pré-teste apresentaram melhor desempenho na tarefa, tiveram uma melhora inicial rápida, e depois mantiveram-se sem variações. Nesse estudo, o jogo de vídeo-game tetris foi utilizado com tarefa para o treino de rotacionar mentalmente objetos. Apesar de ainda terem sido encontradas pequenas diferenças de gênero no pós-teste entre o grupo de mulheres com baixa habilidade e de homens, os autores sugerem que fatores como a demora em ver os resultados e o desapontamento em não ter sucesso na tarefa possa, ao longo da vida, ter tido influência preponderante no desenvolvimento dessa habilidade nas mulheres com baixo desempenho. Os autores concluem que as diferenças iniciais na habilidade de rotacionar mentalmente objetos não limitam o desenvolvimento dessa habilidade durante a vida adulta e que o vídeo-game é uma boa ferramenta para se alcançar tal objetivo.

Quanto ao mapeamento das regiões cerebrais ativadas na tarefa de rotação mental, Zacks (2008) realizou uma revisão meta-analítica, reunindo 32 estudos que usaram técnicas de PET (tomografia por emissão de prótons), MRI (ressonância magnética) ou fMRI (ressonância magnética funcional) para imageamento da ativação cerebral durante a realização de tarefas de rotação mental. Esse estudo aponta o córtex parietal superior e as regiões adjacentes como as áreas mais consistentemente ativadas, o que reforça a hipótese de que a realização da tarefa de rotação mental depende de uma representação espacial da imagem no cérebro, análoga àquela visualizada. Também, verificou-se ativação das áreas motoras do córtex frontal posterior, principalmente na área motora suplementar, que parece estar fortemente envolvida no processamento das transformações mentais da imagem. Além disso, dos 32 estudos, 8 deles apontaram ativação do córtex pré-frontal inferior lateral. Acredita-se que essas duas últimas regiões (área motora suplementar e córtex pré-frontal inferior lateral) estejam envolvidas na simulação mental do rotacionamento necessário para comparação das imagens (Zacks, 2008).

Tendo em vista o papel da área motora na simulação mental da rotação do objeto, Wiedenbauer e Jansen-Osmann (2008) realizaram um treino de rotação manual com 64 crianças. O treino consistia em rotacionar uma alavanca conectada a um computador com uma das mãos, causando a rotação de uma das imagens apresentadas na tela do computador até que esta alcançasse o ângulo zero em relação a outra imagem, ou seja, sem rotação. O objetivo era verificar se o treino de rotação motora poderia influenciar no desempenho da tarefa de rotação mental. Os resultados indicam que, após os treinos, as crianças aumentaram sua capacidade de processamento da tarefa de rotação mental no computador. Além disso, apesar de os meninos terem apresentado maior tempo de reação no pré-teste, esse indicador não foi corroborado durante o treinamento. Os autores sugerem que os meninos e meninas não diferem quanto à habilidade de rotacionar os objetos propriamente dita, mas que o tempo de reação das meninas é maior (aproximadamente 230ms de diferença) em função de outros processos cognitivos, como a codificação da imagem e a comparação entre elas.

Considerando esses apontamentos, a terceira tarefa da ProA (figura 3) seguirá as diretrizes metodológicas do paradigma S/M, em que as figuras são apresentadas pareadas para identificação da similaridade. Através da observação das duas imagens, paralelamente dispostas em um painel, o usuário deverá indicar se ambas são a mesma figura rotacionada, ou não. Abaixo desse painel, haverá dois botões de “sim” e “não”. Ao identificar-se a congruência, o usuário deverá clicar no botão “sim”, com o mouse; ao identificar-se a diferença, o usuário deverá clicar “não”. Diferentemente da versão “lápis e papel” de Shepard e Metzler, a versão computadorizada

da ProA minimiza a possibilidade de diferença no tempo de resposta em função de maior ou menor habilidade motora, pois ambas as respostas são emitidas utilizando-se o mesmo instrumento (mouse) com a mesma mão. Na ProA, essa tarefa é composta por 3 níveis, além do tutorial, que variam de dificuldade em função das angulações da imagens apresentadas.

No tutorial dessa tarefa, serão apresentadas tanto figuras sem rotação (exatamente na mesma posição) ou com rotação de 45°. Para certificação de que a tarefa de rotação mental foi compreendida, serão necessários 2 acertos na identificação das peças para que o usuário avance do tutorial para o nível 1. São considerados acertos as respostas cujas identificações de congruência ou incongruência estejam corretas, emitidas entre 200ms e 4000ms.

Figura 3: Tarefa de Habilidade Visuo-espacial.



Diferentemente do tutorial e das outras tarefas ProA descritas até ao momento, não será exigida quantidade mínima de acertos para progressão entre níveis. No nível 1, serão apresentados 12 conjuntos de imagens, sendo que uma delas estará rotacionada em relação à outra, dentro dos seguintes graus: 45° a 90° e 275° a 315. Serão mensuradas as quantidades de acertos, de erros e o tempo de respostas para cada conjunto, e o usuário avançará para o nível 2 independente do número total de erros ou acertos cometidos. Porém, se forem identificados 4 erros consecutivos, será considerada a possibilidade de a pessoa não ter compreendido a tarefa e



a mensagem para reiniciar o nível ou avançar para a próxima tarefa será apresentada. Nos níveis 2 e 3, as imagens poderão ter o ângulo de rotação de 135º, para direita ou esquerda, ou ainda 180º. O nível 3 diferencia-se pela presença do cronômetro, que delimita o tempo da tarefa ao período de 80s.

1.5. Habilidade Aritmética

A habilidade aritmética envolve a capacidade de estabelecer relações e realizar operações entre números, como cálculos numéricos. É em torno dos 6 ou 7 anos de idade, quando a criança está iniciando a educação formal, que é possível perceber maior compreensão infantil do raciocínio aritmético e ampliação na sua capacidade de realizar cálculos. Pesquisadores têm investigado quais as bases da cognição infantil que suportam o desenvolvimento dessa forma de raciocínio, assim como as regiões cerebrais envolvidas.

Alguns autores fundamentam as bases da aritmética na noção de quantidade, apontando o senso de número ou senso numérico como uma capacidade básica do cérebro humano, na qual circuitos cerebrais surgidos ao longo da história evolutiva estão engajados em reconhecer quantidade, provendo ao ser humano uma intuição básica que guia a aquisição da aritmética formal (Butterworth, 2005; Dehaene, Molko, Cohen, & Wilson, 2004). Nesse sentido, estudos com bebês apontam que, entre 4 e 6 meses de vida, já é possível observar reações nos infantes que denotam distinção de diferentes quantidades de objetos em conjuntos, sejam eles os mesmos tipos de objetos ou não (Butterworth, 2005; Spelke, 2005).

Butterworth (2005) aponta que a aprendizagem das palavras que representam os números (associação entre o significado do número e sua nomeação; pessoas surdas ou mudas também estabelecem essa relação, dentro da forma de linguagem que lhes é acessível), e de sua seqüência, são os primeiros passos para o desenvolvimento do raciocínio aritmético. A partir da habilidade de contar os objetos, a criança adquire a capacidade de manipular e relacionar a quantidade dos conjuntos, adicionando objetos ou retirando-os, estabelecendo assim a relação de soma e subtração. Essas são as habilidades mais básicas, que darão suporte à compreensão da multiplicação e divisão, que podem ser inicialmente explicadas como adições ou subtrações repetidas.

Porém, outros autores sugerem que enumerar itens ou diferenciar a quantidades de conjuntos com 2 ou 3 objetos, seja pela individualização dos elementos ou pelo espaço ocupado pelos conjuntos, pode não ser a base para o conceito de números, do ponto de vista aritmético (Rips, Bloomfield, & Asmuth, 2008). Esses autores corroboram o fato de os bebês e crianças mais novas representarem cognitivamente os objetos e possuírem conceito numérico (de quantidade); suas considerações envolvem a aquisição do conceito de número natural, diferenciando, desse modo, o senso de número do senso numérico. Desse ponto de vista, os números naturais são concebidos a partir de uma habilidade inata em formar esquemas numéricos, que amadurece ao longo da infância.

Spelke (2005), em sua revisão sobre diferenças sexuais na aptidão matemática, aponta 5 sistemas cognitivos que suportam esse raciocínio em adultos: o primeiro representa pequenas quantidades e os números exatos, o segundo representa grande quantidades e números aproximados. Já o terceiro está mais envolvido com a capacidade de contar e com a aquisição da linguagem que nomeia os números, e os dois últimos possibilitam representar as dimensões do espaço e do ambiente a nossa volta. Essa autora aponta que homens e mulheres usam diferentes estratégias para a solução de problemas matemáticos, sendo que os primeiros apresentam melhor desempenho em tarefas que envolvam problemas, analogias verbais e memória geométrica, enquanto essas se sobressaem em tarefas que envolvam fluência verbal, cálculos aritméticos e memória para localização espacial de objetos. Porém, de modo geral, não é possível afirmar que haja prevalência de um dos sexos no desempenho matemático global. Butterworth (2005) corrobora Spelke (2005), acrescentando ainda que, nos Estados Unidos, essa diferença é de aproximadamente 1% e que ela é mais acentuada em alguns países que em outros. De um modo geral, os autores indicam que essas diferenças podem estar relacionadas com as práticas educacionais e culturais dos países, assim como com a especificidade da tarefa utilizada para a avaliação, e não necessariamente com diferenças inatas entre os sexos.

Pesquisadores têm-se dedicado, também, à investigação do raciocínio matemático enquanto uma habilidade mais dependente da linguagem ou das habilidades visuoespaciais (Dehaene, Spelke, Pineda, Stanescu, & Tsivkin, 1999; Grabner et al., 2009; Ischebeck, Zamarian, Schocke, & Delazer, 2009). Dehaene et al. (1999) verificaram que múltiplas representações mentais são utilizadas no raciocínio matemático, mesmo no domínio da aritmética elementar. Cálculos aritméticos exatos necessitam de representações específicas de linguagem que recaem no circuito frontal esquerdo inferior, também utilizado para gerar associações entre palavras. No entanto, a aritmética aproximada não depende da linguagem e utiliza principalmente a



representação de quantidade, que é processada nas redes visuoespaciais dos lobos parietais, esquerdo e direito. Assim, as habilidades aritméticas dependem da relação entre essas áreas (frontais e parietais), sendo que para realizar operações matemáticas básicas é necessário ter ambos os sistemas intactos e ambas as habilidades (linguagem e visuo-espacial) desenvolvidas.

Dehaene (2003), por meio de uma metanálise, observou que três circuitos parietais coexistem para a realização de operações numéricas e que eles podem explicar as diferenças encontradas entre as operações matemáticas: 1) um sistema bilateral intraparietal, responsável pelos processos fundamentais de identificação de quantidade; 2) uma região no giro angular esquerdo responsável pelo processamento verbal dos números; 3) um sistema parietal posterior de atenção espacial e não espacial.

Considerando esses apontamentos, é possível visualizar a complexidade de fatores envolvidos no desenvolvimento do raciocínio aritmético do ponto de vista cognitivo, o que torna ainda mais delicada a sua avaliação, assim como o delineamento de estratégias para minimizar problemas relacionados à aprendizagem aritmética. O termo discalculia é usado para se referir a um conjunto de processos relacionados à inabilidade em aprender e executar operações nesse campo de conhecimento e sua identificação requer uma análise global das habilidades do avaliado (Butterworth, 2005; Spelke, 2005).

A quarta tarefa da ProA (figura 4) foi desenvolvida com vistas a minimizar a influência de outras habilidades, como compreensão de enunciados, para a solução de questões aritméticas. Seu foco está na avaliação do raciocínio aritmético, com base nas duas operações aritméticas fundamentais: soma e subtração. O objetivo dessa atividade é que o usuário calcule, mentalmente, o valor indicado no painel superior esquerdo, com os números e operações disponíveis no painel à sua direita. Em geral, são disponibilizado entre 3 e 4 números para se efetuarem os cálculos, e esses ficam destacados com uma tonalidade mais forte que os números que não podem ser utilizados. Para efetuar os cálculos, o usuário pode usar quantos números e operações ele precisar. Pode repetir os mesmos números e pode não utilizar todas as opções disponíveis para aquela jogada. Cada cálculo tem 30s para ser realizado, caso contrário é considerado uma tentativa errada e uma nova opção de valor é apresentada.

Espera-se que jovens e adultos possam realizar os cálculos mentalmente, e ao aplicador cabe a responsabilidade de observar a execução dessa atividade e registrar, quando necessário, o tipo de estratégia utilizada para a obtenção de cada resultado: se calculou mentalmente, se realizou os cálculos por tentativa e erro ou ainda se usou os dedos das mãos ou afins como apoio

para a realização das operações. Cabe observar, também, características específicas da pessoa avaliada, como idade ou existência de transtornos do desenvolvimento.

Figura 4: Tarefa de Habilidade Aritmética.



A tarefa é composta por um tutorial e por 3 níveis, que variam em função do grau de dificuldade para se obter o resultado. No tutorial, o usuário deve acertar duas operações de modo a indicar que compreendeu a natureza da tarefa a ser executada. Caso ocorram 3 erros, a tela com instruções é reapresentada. O nível 1 é programado para apresentar valores que possam ser alcançados sem a necessidade de mais que 1 cálculos, a partir dos números disponíveis. Porém, as estratégias utilizadas por cada usuário, a exemplo da tentativa e erro, podem evocar um número maior de operações. Para avançar ao nível 2, o usuário deve completar 5 acertos. Já os níveis 2 e 3 demandarão uma média entre 2 cálculos, e são necessários 5 acertos para finalizar cada nível. Assim como nas outras atividades da ProA, o nível 3 diferencia-se pela presença da bomba, que na tarefa de habilidade aritmética terá a duração de 90s.

2. REFERÊNCIAS

Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychol Rev*, 16(1), 17-42.

Ardila, A. (2008). On the evolutionary origins of executive functions. *Brain Cogn*, 68(1), 92-99.

Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.

Baddeley, A. (1998). Recent developments in working memory. *Curr Opin Neurobiol*, 8(2), 234-238.

Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nat Rev Neurosci*, 4(10), 829-839.

Baddeley, A. (2010). Working memory. *Curr Biol*, 20(4), R136-140.

Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *J Child Psychol Psychiatry*, 46(1), 3-18.

Chan, R. C., Shum, D., Touloupoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: review of instruments and identification of critical issues. *Arch Clin Neuropsychol*, 23(2), 201-216.

Collie, A., Maruff, P., Darby, D. G., & McStephen, M. (2003). The effects of practice on the cognitive test performance of neurologically normal individuals assessed at brief test-retest intervals. *J Int Neuropsychol Soc*, 9(3), 419-428.

Collie, A., Maruff, P., McStephen, M., & Darby, D. G. (2003). Psychometric issues associated with computerised neuropsychological assessment of concussed athletes. *Br J Sports Med*, 37(6), 556-559.

Darling, S., Della Sala, S., & Logie, R. H. (2007). Behavioural evidence for separating components within visuo-spatial working memory. *Cogn Process*, 8(3), 175-181.

Darling, S., Della Sala, S., Logie, R. H., & Cantagallo, A. (2006). Neuropsychological evidence for separating components of visuo-spatial working memory. *J Neurol*, 253(2), 176-180.



Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. *Curr Opin Neurobiol*, 14(2), 218-224.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284(5416), 970-974.

Falletti, M. G., Maruff, P., Collie, A., & Darby, D. G. (2006). Practice effects associated with the repeated assessment of cognitive function using the CogState battery at 10-minute, one week and one month test-retest intervals. *J Clin Exp Neuropsychol*, 28(7), 1095-1112.

Garavan, H., Ross, T. J., Li, S. J., & Stein, E. A. (2000). A parametric manipulation of central executive functioning. *Cereb Cortex*, 10(6), 585-592.

Gilbert, S. J., & Burgess, P. W. (2008). Executive function. *Curr Biol*, 18(3), R110-114.

Gleitman, H., Fridlund, A. J., & Reisberg, D. (2003). *Psicologia* (6 ed.). Lisboa: Gulbenkian.

Grabner, R. H., Ischebeck, A., Reishofer, G., Koschutnig, K., Delazer, M., Ebner, F., et al. (2009). Fact learning in complex arithmetic and figural-spatial tasks: The role of the angular gyrus and its relation to mathematical competence. *Hum Brain Mapp*.

Ischebeck, A., Zamarian, L., Schocke, M., & Delazer, M. (2009). Flexible transfer of knowledge in mental arithmetic--an fMRI study. *Neuroimage*, 44(3), 1103-1112.

Jonides, J., Lacey, S. C., & Nee, D. E. (2005). Processes of Working Memory in Mind and Brain. *Current Directions in Psychological Science*, 14(1).

Jovina, I., & Taatgen, N. A. (2009). A repetition-suppression account of between-trial effects in a modified Stroop paradigm. *Acta Psychol (Amst)*, 131(1), 72-84.

Kolb, B., & Wishaw, I. Q. (2002). *Neurociência do Comportamento* (A. T. T. Técnicas, Trans. 2 ed.). São Paulo: Manole.

Luck, S. J. (1998). Neurophysiology of Selective Attention. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 257-295). Brighton, UK: Psychology Press.

Macleod, C. M. (1992). The Stroop Task: The "Gold Standard" of Attentional Measures. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(1), 12-14.

Macleod, C. M. (2005). The Stroop Task in Cognitive Research. Cognitive methods and their application to clinical research. In A. Wenzel & D. Rubin (Eds.), *Cognitive methods and their application to clinical research*. (pp. 17-40). Washington, DC, US: American Psychological Association.



MacLeod, C. M., Dodd, M. D., Sheard, E. D., Wilson, D. E., & Bibi, U. (2003). In Opposition to Inhibition. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. (Vol. 43, pp. 163-214). New York, NY, US.: Elsevier Science.

Matlin, M. W. (2003). *Psicologia Cognitiva* (5 ed.). Rio de Janeiro: LTC.

Peters, M., & Battista, C. (2008). Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library. *Brain Cogn*, 66(3), 260-264.

Rips, L. J., Bloomfield, A., & Asmuth, J. (2008). From numerical concepts to concepts of number. *Behav Brain Sci*, 31(6), 623-642; discussion 642-687.

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(972), 701-703.

Spelke, E. S. (2005). Sex differences in intrinsic aptitude for mathematics and science?: a critical review. *Am Psychol*, 60(9), 950-958.

Sternberg, R. J. (2008). *Psicologia Cognitiva* (R. C. Costa, Trans. 4a. ed.). Porto Alegre: Artmed.

Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychol Res*, 63(3-4), 289-298.

Tanji, J., & Hoshi, E. (2008). Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control. *Physiol Rev*, 88(1), 37-57.

Terlecki, M. S., Newcombe, N. S., & Little, M. (2008). Durable and generalized effects of spatial experience on mental rotation: gender differences in growth patterns. *Applied Cognitive Psychology*, 22(7), 996-1013.

Ullén, F., Forsman, L., Blom, O., Karabanov, A., & Madison, G. (2008). Intelligence and variability in a simple timing task share neural substrates in the prefrontal white matter. *J Neurosci*, 28(16), 4238-4243.

Weiss, E. M., Siedentopf, C., Golaszewski, S., Mottaghy, F. M., Hofer, A., Kremser, C., et al. (2007). Brain activation patterns during a selective attention test--a functional MRI study in healthy volunteers and unmedicated patients during an acute episode of schizophrenia. *Psychiatry Res*, 154(1), 31-40.



Wiedenbauer, G., & Jansen-Osmann, P. (2008). Manual training of mental rotation in children. *Learning and Instruction, 18*(1), 30-41.

Zacks, J. M. (2008). Neuroimaging studies of mental rotation: a meta-analysis and review. *J Cogn Neurosci, 20*(1), 1-19.