

Torre de Londres e Torre de Hanói: contribuições distintas para avaliação do funcionamento executivo

*Tower of London and Tower of Hanoi: distinct contributions
to the assessment of executive functioning*

Alana Xavier Batista¹, Carla Cristina Adda², Eliane Correia Miotto³, Mara Cristina Souza de Lúcia⁴, Milberto Scaff⁵

RESUMO

Objetivo: Realizar um estudo teórico sobre comparações de aspectos cognitivos e metodológicos envolvidos no desempenho das Torres de Hanói e de Londres em indivíduos normais. **Método:** Revisão narrativa da literatura. **Resultados:** O desempenho nesses instrumentos não compartilha a variância esperada em virtude das similaridades aparentes em sua estrutura e demanda de solução. Verificaram-se correlações significativas, porém moderadas, entre o desempenho das duas torres, refletindo em média 75% da variância não compartilhada. **Conclusões:** Ambas as torres recrutam diferentes processos executivos para solução da tarefa e não podem ser utilizadas como instrumentos permutáveis.

ABSTRACT

Objective: To produce theoretical study about comparisons of cognitive and methodological aspects involved in the performance of Towers of Hanoi and London in normal individuals. **Method:** Narrative review of the literature. **Results:** The performances in these instruments do not share the expected variance due to the apparent similarities in your structure and solution demand. Correlations significant, however moderate, among the two towers performance, were found reflecting the average of 75% of the nonshared variance. **Conclusions:** Both towers recruit different executive processes for task solution and cannot be used as exchangeable instruments.

Palavras-chaves

Função executiva,
planejamento,
Torre de Londres,
Torre de Hanói.

Key-words

Executive functions,
planning,
Tower of London,
Tower of Hanoi.

Recebido
10/04/2007
Aprovado
20/07/2007

1 Divisão de Psicologia do Instituto Central do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (DIP/ICHC-FMUSP).
2 DIP/ICHC-FMUSP.
3 DIP/ICHC-FMUSP.
4 ICHC-FMUSP e Programa de Aprimoramento em Psicologia Hospitalar – Hospital Geral.
5 FMUSP.

Endereço para correspondência: Alana Xavier Batista
Rua Barra do Piraj, 8, ap. 101 – 24456-460 – São Gonçalo, RJ
Telefax: (21) 2701-6284. E-mail: alana.batista@gmail.com

INTRODUÇÃO

O planejamento é um componente da função executiva essencial para a administração efetiva das atividades da vida diária. Freqüentemente, novas demandas do ambiente surgem requisitando a ação de diferentes sistemas da função executiva no controle do comportamento dirigido a uma meta. O sistema atencional supervisor (SAS), proposto por Norman e Shallice (1980), está envolvido na coordenação e seqüenciação da atividade mental diante dessas novas demandas do ambiente. Em situações de rotina, requisita-se um mecanismo conhecido como tabela de contenção que tem o propósito de selecionar, de maneira rápida e efetiva, comportamentos habituais, controlados por esquemas formados mediante treinamento prévio e disparados por conjuntos de estímulos ou contextos específicos (Shallice, 1982).

Considera-se o SAS um modelo psicológico de controle executivo, dependente da função cortical pré-frontal (Shallice, 1982). O SAS é ativado em tarefas que envolvem capacidade de planejamento, como a Torre de Hanói (TH) e a Torre de Londres (TL), em virtude dos novos procedimentos necessários para resolver seus problemas. A TL foi desenvolvida por Shallice (1982) a partir da TH, com o objetivo de desenvolver um teste com níveis graduais de dificuldade e com maior variedade de problemas qualitativamente diferentes. O desempenho em ambos os testes é sensível à lesão pré-frontal (Andrés e van der Linden, 2001; Carlin *et al.*, 2000, Morris *et al.*, 1997; Goel e Graffman, 1995; Levin *et al.*, 1994; Owen *et al.*, 1990; Shallice, 1982) e também se encontra prejudicado em populações clínicas com outras alterações do funcionamento cortical que podem refletir disfunção pré-frontal, como a doença de Parkinson (Weintraub *et al.*, 2005, Hodgson *et al.*, 2002; Lewis *et al.*, 2003; Hanes *et al.*, 1996; Lange *et al.*, 1995; Owen *et al.*, 1992; Morris *et al.*, 1988), o transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (Murphy, 2002; Nigg *et al.*, 2002; Sonuga-Barke *et al.*, 2002; Cornoldi *et al.*, 1999; Pennington *et al.*, 1993) e outros distúrbios psiquiátricos (van den Heuvel *et al.*, 2005; Mataix-Cols, 2003; Staal *et al.*, 2000; Pantelis *et al.*, 1997; Ozonoff *et al.*, 1991; Goldberg *et al.*, 1990).

Ambas as torres são atualmente instrumentos amplamente utilizados para avaliação do planejamento e da capacidade de resolução de problemas e também permutáveis ou isomórficos dentro da neuropsicologia clínica e experimental. Essa concepção baseia-se em evidências de que ambas são sensíveis à lesão e à disfunção do lobo frontal e de características que ambas as versões compartilham. Contudo, a maioria dos estudos não aponta evidências empíricas que reforcem a equivalência desses dois instrumentos. Busca-se, neste estudo, realizar um estudo teórico sobre comparações de aspectos cognitivos e metodológicos envolvidos no desempenho das TH e TL em indivi-

duos normais. Poucos estudos nos últimos dez anos têm comparado o desempenho nas torres em sujeitos normais, e a maioria analisou o desempenho de um instrumento apenas. Os resultados apontados por esses estudos comparativos contribuirão de maneira substancial para a decisão de qual desses instrumentos será mais adequado para fins clínicos e de pesquisa.

MÉTODO

Realizou-se estudo teórico da literatura internacional sobre comparações de aspectos cognitivos e metodológicos envolvidos no desempenho das Torres de Hanói e de Londres em indivíduos normais, publicado no período de 1990 a 2006, em revistas e artigos indexados no portal PubMed. Utilizou-se tal período na tentativa de encontrar maior quantidade de artigos sobre comparações entre esses dois instrumentos, visto ser um tema pouco estudado. Utilizamos as palavras-chave "Torres de Hanói e Torres de Londres".

RESULTADOS

Semelhanças e diferenças entre os testes

Por serem versões de uma mesma tarefa, a TOL e a TOH apresentam algumas semelhanças. Ambas demandam a transferência de objetos (discos ou bolas) em pinos de uma posição de largada para uma posição-alvo com o mínimo de movimentos possíveis. Apesar de as regras diferirem um pouco de uma torre para outra, ambas impõem regras comuns restringindo a maneira como os objetos devem ser movimentados de um pino para outro. (Bull *et al.*, 2004; Welsh *et al.*, 1999). Além disso, ambos os testes incluem uma série de movimentos contra-intuitivos que são necessários para a solução efetiva de alguns dos seus problemas. Esses movimentos são realizados na direção oposta à posição-alvo e requerem uma ação planejada e a inibição de respostas intuitivas, que são movimentos em direção à posição-alvo (Kaller *et al.*, 2004). A falha em inibir essas respostas implicará a resolução incorreta dos problemas ou a sua solução com movimentos em excesso (Klahr, 1994). O desempenho efetivo em ambos os testes dependerá das estratégias utilizadas na resolução do problema.

Um método simples de resolver os problemas de ambas as torres é tentar reduzir a diferença entre a posição atual e a posição-alvo, que é denominada estratégia de Hill Climbing ou estratégia perceptual (Simon, 1975). O sujeito utiliza um processamento em tempo real, em que a configuração atual do objeto imediatamente guia o movimento seguinte, para sucessivamente torná-la próxima à posição-alvo (Goel e Graffman, 1995). Essa estratégia pode ser útil em alguns casos, mas falha quando a solução do problema requer que

o sujeito realize um passo contrário à direção da posição final, ou seja, um movimento contra-intuitivo (Unterrainer et al., 2004).

Uma estratégia mais eficiente para a solução dos problemas de ambas as torres consiste na análise de meios e fins. O sujeito compara continuamente o estado atual e a posição-alvo do problema, estabelecendo etapas para diminuir a diferença entre os dois estados. A meta final é decomposta em subalvos e uma seqüência de movimentos é gerada para atender a esses subalvos. Essa seqüência é refinada e revisada de acordo com o ensaio mental e, finalmente, a solução correta é executada (Unterrainer e Owen, 2006; Sternberg, 2000). Essa estratégia é mais exigente que a de Hill Climbing, pois requer o estabelecimento e manutenção de subalvos para diminuir o grau de diferença entre o estado atual e o final (Lovett e Anderson, 1996).

Embora a TL e a TH compartilhem propriedades e demandas gerais, essas tarefas variam substancialmente na sua estrutura, administração e avaliação de desempenho. O tamanho dos pinos é gradualmente diferenciado na TL, restringindo o número de bolas que podem ser colocados em cada pino, enquanto na TH o diâmetro dos pinos é igual, no entanto essa tarefa exige que os discos maiores nunca sejam dispostos em cima dos discos menores (Bull et al., 2004; Welsh et al., 1999). O uso de bolas de mesmo tamanho elimina essa restrição, modificando, assim, a natureza da tarefa (Morris et al., 1997).

Na maioria das versões da TL, os pacientes são instruídos a completar a tarefa com um número predeterminado de movimentos, enquanto na TH essa informação não é fornecida (Bull et al., 2004; Welsh et al., 1999). Ambas as torres também diferem em relação ao seu espaço de solução, que consiste em um mapa indicando todas as etapas que podem ser aplicadas de uma posição inicial para uma posição-alvo, por meio de movimentos legais (Gazzaniga e Heatherton, 2005; Berg e Byrd, 2002; Sternberg, 2000). Sua estrutura é determinada pela configuração dos elementos da tarefa e das regras que dirigem a execução desta. A TL tem um espaço de solução hexagonal, onde as três bolas coloridas produzem 36 posições únicas, enquanto a TH tem um espaço de solução triangular para os três discos coloridos que incluem 27 posições (Berg e Byrd, 2002). A extensão dos problemas na TH é maior que na TL, visto que esta última tem uma distância máxima de cinco movimentos entre a posição de largada e a posição-alvo (Morris et al., 1997).

Essas diferenças podem eliciar estratégias distintas para a solução dos problemas apresentados nas duas torres, exigindo demandas cognitivas únicas para cada teste (Goel e Graffman, 1995).

Comparação do desempenho entre a TH e TL

Clínicos e pesquisadores consideram a TH e a TL isomórficas ou permutáveis por serem versões de uma mesma ta-

refa, acessarem o mesmo grupo de processos cognitivos e, ainda, serem sensíveis à lesão e à disfunção frontal, porém essa visão não foi validada empiricamente (Bull et al., 2004; Welsh et al., 1999). Alguns estudos têm comparado o desempenho de pessoas normais em ambas as tarefas, com o intuito de avaliar essa questão. As principais características desses estudos são mostradas na tabela 1.

O desempenho nesses instrumentos não compartilha a variância esperada em virtude das similaridades aparentes em sua estrutura e demanda de solução (Welsh et al., 1999; Schinirman et al., 1998; Humes et al., 1997). Verificaram-se correlações significativas, porém moderadas, entre o desempenho das duas torres, variando de 0,37 a 0,61. Essas correlações refletem 75% da variância não compartilhada no desempenho de ambas as torres (Welsh et al., 1999).

A quantidade de variância não compartilhada entre a TL e TH pode ser resultado da baixa confiabilidade de um ou ambos os testes, o que, por sua vez, limitará o nível de correlação entre eles (Welsh e Huizinga, 2001). A TL original, desenvolvida por Shallice (1982), tem consistência interna muito baixa (alfa = 0,25), enquanto a TH tem consistência interna superior (alfa = 0,91). As correlações entre ambos os testes foram limitadas ($r = 0,37$), com 86% da variância não compartilhada entre as duas torres (Humes et al., 1997).

Desenvolveu-se uma versão modificada da TL, a Torre de Londres-Revisada (TL-R), aumentando sua consistência interna (alfa = 0,79), com correlação teste-reteste de 0,70. Quando comparada com a TH, apresentou correlação significativa, porém moderada ($r = 0,61$), com 64% de variância não compartilhada entre as duas torres (Schinirman et al., 1998). Posteriormente, comparou-se o desempenho de uma versão reduzida da TL-R com a TH. Os resultados mostraram correlação de 0,39 e 84% de variância não compartilhada entre os dois testes. Atribuiu-se a diminuição da correlação com a TH à redução dos itens da TL-R, contudo a precisão do instrumento não foi comprometida substancialmente, dada a força das correlações entre outras medidas de função executiva. Atribuiu-se parte da variância não compartilhada à mensuração de erro e ainda se verificou que processos cognitivos distintos contribuem para o desempenho em cada tarefa (Welsh et al., 1999).

Medidas de memória de trabalho e controle inibitório predisseram o desempenho na TL-R. A combinação de todas as variáveis de controle inibitório e memória de trabalho explicou mais da metade da variância no desempenho da TL-R. Entretanto, houve poucos preditores significativos do desempenho na TH. Não houve correlação significativa entre o desempenho na TH e as variáveis de memória de trabalho. Apenas o escore de erro em uma das tarefas de controle inibitório (Contingence Naming Test) e uma medida de velocidade de nomeação (Stroop Test – Cartões I e II) predisseram significativamente o desempenho na TH (Welsh et al., 1999).

A flexibilidade cognitiva é um processo importante para a execução de torres, pois o sujeito precisa alternar flexivelmente entre os movimentos possíveis para alcançar a configuração-alvo. O controle inibitório é preditivo no desempenho da TL em pré-escolares, mas não se constatou nenhuma associação entre esse construto e a TH. A flexibilidade cognitiva foi o melhor preditor para a TH. A capacidade de memória de trabalho não se relacionou à TH nem à TL (Bull *et al.*, 2004).

Quando se comparou influência da inteligência fluida, memória de trabalho e controle inibitório, observou-se que a memória de trabalho contribuiu para uma quantidade de variância significativa (25%) apenas para o desempenho na TH e não para TL. Em relação ao controle inibitório, uma medida de inibição (erros perseverativos – CCST) contribuiu significativamente para o desempenho na TH e não para TL, enquanto os escores no Teste de Stroop contribuíram significativamente para TL e não para a TH. Quando se considerou a contribuição da inteligência fluida no desempenho da TL e TH em relação à memória de trabalho e ao controle inibitório, os resultados demonstraram que a inteligência fluida foi o preditor principal do desempenho na TL, enquanto memória de trabalho, controle inibitório e inteligência fluida foram preditores do desempenho na TH (Zook *et al.*, 2004).

A baixa variância compartilhada pelas TL e TH pode ser explicada por demandas cognitivas distintas ou por influência de diferentes procedimentos de administração e pontuação entre as duas tarefas.

Uma nova versão da TH (TH-1) foi desenvolvida para ter características de administração semelhantes às da TL-R: os participantes resolveriam os problemas em apenas uma tentativa; foi dito previamente aos participantes que resolvessem o problema com um número determinado de movimentos; e todos os problemas foram administrados independentemente do desempenho do participante. Não se alteraram características estruturais de ambos os testes. As alterações realizadas não contribuíram para o aumento da correlação entre a TL-R e a TH-1, que foi semelhante aos estudos anteriores ($r = 0,40$). A análise da precisão da TH-1 demonstrou uma consistência interna baixa (alfa = 0,40) em contraste com a versão original desse instrumento (Welsh *et al.*, 2000).

Realizaram-se modificações na TH-1 em um estudo posterior para aumentar a sua precisão e explorar a validade do teste. A consistência interna baixa da TH-1 pode ter sido causada pela quantidade relativamente pequena dos problemas, apenas 12, que não permitiu a apresentação de níveis diferentes de dificuldade. Sessenta problemas foram desenvolvidos e administrados em um grupo de estudantes universitários, e assim os melhores preditores para a reconstrução da nova TH foram identificados. A TH revisada (TH-R) foi administrada a um segundo grupo de universi-

tários para obter uma medida independente de consistência interna. A TL-R também foi administrada para estimar a validade convergente. A TH-R obteve nível de consistência interna aceitável (alfa = 0,77) similar ao da TL-R. Ambos os testes correlacionaram significativamente, porém em um nível moderado ($r = 0,53$), com 72% da variância não compartilhada. Os autores atribuíram os resultados à influência de demandas cognitivas distintas no desempenho de ambos os testes (Welsh e Huizinga, 2001).

DISCUSSÃO

Há, na literatura atual, evidências empíricas demonstrando que a TH e TL recrutam diferentes processos cognitivos e não podem ser utilizadas como instrumentos permutáveis. Ainda, os diferentes processos cognitivos parecem contribuir mais para a variância não compartilhada entre os testes do que diferenças na sua administração ou o grau de precisão de ambas as torres. Contudo, a influência da memória de trabalho e controle inibitório no desempenho da TH e TL varia de estudo para estudo, não havendo consenso em relação a que processos estão envolvidos na execução de cada instrumento.

Uma razão para a divergência entre os resultados é que os instrumentos utilizados, tanto a TH e a TL quanto as medidas de memória de trabalho e controle inibitório, variam de acordo com o estudo. Existem atualmente várias versões da TH e TL, e as variações desses instrumentos vão desde a seleção de diferentes problemas com um maior ou menor número de movimentos até mudanças na estrutura do teste.

Em relação às medidas de memória de trabalho e controle inibitório, ainda não há na literatura atual um consenso a respeito dos melhores instrumentos para avaliação desses construtos (Welsh *et al.*, 1999). Assim, a escolha desses instrumentos parece ter-se baseado na concepção dos autores de quais instrumentos seriam mais adequados às demandas da avaliação (como o tipo de população avaliada: adultos ou crianças; critérios de validade e confiabilidade; ou demandas de administração: por métodos tradicionais de testagem ou avaliação computadorizada). A variabilidade de instrumentos utilizados nesses estudos dificulta, mas não torna impossível, a comparação dos seus resultados, assim como a avaliação dos resultados contraditórios aparentes entre eles.

Pesquisadores consideram que a TH e a TL colocam carga substancial na memória de trabalho, pois há necessidade de reter elementos de um plano seqüencial (Pennington *et al.*, 1996). Contudo, o valor preditivo das medidas de memória de trabalho para o desempenho na TH e TL apresentou resultados divergentes entre os estudos. Essa medida contribuiu ora para o desempenho na TL (Welsh *et*

al., 1999), ora para o desempenho na TH (Zook et al., 2004), ou não contribuiu para o desempenho em nenhuma das torres (Bull et al., 2004).

Possivelmente, os testes utilizados nesses estudos interceptaram diferentes aspectos da memória de trabalho como capacidade e manipulação volitiva. Tarefas de memória de trabalho (como testes de *span* de memória) devem ser diferentes das tarefas de resolução de problema, que devem exigir mais manipulação de informações em tempo real na memória de trabalho (Roberts e Pennington, 1996). O tipo de material (verbal ou visuoespacial) avaliado nos testes de memória de trabalho também pode ter influenciado o resultado de um dos estudos (Bull et al., 2004). Neste, a capacidade de memória de trabalho verbal não se relacionou ao desempenho das torres em crianças pré-escolares. Não se utilizou um teste de memória de trabalho visuoespacial, como nos outros estudos, pela falta de instrumentos adaptados para essa faixa etária.

Nos estudos que utilizaram dois instrumentos de controle inibitório (Welsh et al., 1999; Zook et al., 2004), o instrumento que influenciou o desempenho na TH não teve valor preditivo sobre o desempenho na TL, e assim sucessivamente. Os testes utilizados devem avaliar diferentes aspectos do controle inibitório, tanto a supressão da informação automática dominante (como no Teste de Stroop) quanto a inibição consciente usada em tarefas ou estratégias prévias, medidas pela habilidade de flexibilidade mental (Bull et al., 2004). Em todos os três estudos, as medidas que influenciaram o desempenho na TL avaliaram o primeiro aspecto do controle inibitório, enquanto o desempenho na TH foi influenciado por medidas de flexibilidade cognitiva. Deste modo, processos inibitórios mais complexos podem contribuir para o desempenho na TH, em vez da inibição de informações dominantes automatizadas medidas por tarefas do tipo Stroop (Bishop et al., 2001).

O valor preditivo da inteligência fluida no desempenho da TH e TL foi considerado apenas por um dos estudos comparativos (Zook et al., 2004), entretanto outros estudos relatam sua influência tanto para a TH (Numminen et al., 2001) quanto para a TL (Unterrainer et al., 2004; Zook et al., 2006). Quando se comparou o valor preditivo desse construto a respeito da influência da memória de trabalho e controle inibitório, os resultados demonstraram que a inteligência fluida é o único preditor significativo do desempenho na TL (Unterrainer et al., 2004; Zook et al., 2004), enquanto o desempenho na TH é influenciado pela inteligência fluida, memória de trabalho e controle inibitório (Zook et al., 2004; Numminen et al., 2001).

Uma explicação para esses resultados baseia-se em características peculiares desses instrumentos. A TH envolve a apresentação repetida do mesmo problema e o desempenho efetivo neste instrumento é mais dependente da habili-

dade de o observador aprender quais manobras produzem o excesso de movimentos e inibi-las (Zook et al., 2004).

Novos problemas são apresentados em cada tentativa na TL, visto que esse teste avalia predominantemente o planejamento e a resolução de problemas e não pode ser suficientemente explicado por outras demandas cognitivas (Unterrainer et al., 2004). Outro aspecto aborda o tipo de estratégia implementada na resolução de ambos os testes. A estrutura e restrições da TH propiciam a implementação de uma regra de indução. Com base nessa regra, o sujeito pode resolver qualquer problema em qualquer nível de dificuldade. A regra consiste no reconhecimento de que o primeiro subalvo é mover o disco maior para a posição-alvo, para isso é formada uma subpirâmide (constituída pelos discos menores) no pino livre e essa estratégia é repetida até que a configuração-alvo seja alcançada (Welsh e Huizinga, 2005). Entretanto, por não possuir a estrutura recorrente que caracteriza a TH, não há regra única que possa ser aplicada à TL, a qual envolve efetivamente o planejamento das ações, enquanto a TH deve envolver o raciocínio indutivo (Wesh et al., 2002).

CONCLUSÃO

As TL e TH têm sido consideradas instrumentos equivalentes de avaliação do planejamento e solução de problemas. Entretanto, estudos recentes apontam diferenças em sua estrutura, administração e avaliação que podem eliciar estratégias distintas na solução de cada instrumento. Ainda, evidências indicam que, de alguma forma, mecanismos de funcionamento executivo específicos são recrutados para execução de cada tarefa, reforçando ainda mais a distinção entre esses dois instrumentos.

Os resultados apresentados por esses estudos contribuem substancialmente para a escolha desses instrumentos na avaliação de aspectos do comportamento executivo específicos tanto na prática clínica quanto para fins de pesquisa. Porém, estudos voltados para coleta de dados normativos desses instrumentos para população brasileira são necessários para auxiliar o diagnóstico clínico de populações psiquiátricas e neurológicas.

REFERÊNCIAS

- Andres P, Van der Linden M. Supervisory attentional system in patients with focal frontal lesions. *J Clin Exp Neuropsychol*, 23:225-39, 2001.
- Berg WK, Byrd DL. The Tower of London spatial-solving task: enhancing clinical and research implementation. *J Clin Exp Neuropsychol*, 24:586-604, 2002.
- Bishop DVM et al. Individual differences in cognitive planning on Tower of Hanoi task: Neuropsychological maturity or measurement error? *J Child Psychiat*, 42:551-6, 2001.
- Bull R, Espy KA, Senn TE. A comparison of performance on the Towers of London and Hanoi in young children. *J Child Psychol Psychiatry*, 45:723-54, 2004.

- Carlin D *et al.* Planning impairments in frontal lobe dementia and frontal lobe lesion patients. *Neuropsychologia*, 38:655-65, 2000.
- Cornoldi C *et al.* Strategic memory deficits in attention deficit disorder with hyperactivity patients: the hole of executive processes. *Dev Neuropsychol*, 15:53-71, 1999.
- Gazzaniga MS, Heatherton TF. *Ciência psicológica: mente, cérebro e comportamento*. Porto Alegre: ArtMed; 2005.
- Goel V, Graffman J. Are the frontal lobes implicated in "planning" functions? Interpreting data from the Tower of Hanoi. *Neuropsychologia*, 33:623-42, 1995.
- Goldberg TE, Saint-Cyr JA, Weinberger DR. Assessment of procedural learning and problem solving in schizophrenic patients by Tower of Hanoi type tasks. *J Neuropsychiatr*, 2:165-73, 1990.
- Hanes KR *et al.* A brief assessment of executive control dysfunction: discriminant validity and homogeneity of planning set shift, and fluent measures. *Arch Clin Neuropsychol*, 11:185-91, 1996.
- Hodgson TL *et al.* Abnormal gaze strategies during problem solving in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 40:411-22, 2002.
- Humes GE *et al.* Towers of Hanoi and London: reliability and validity of two executive function tasks. *Assessment*, 4:249-57, 1997.
- Lange KW *et al.* Dopaminergic effects on cognitive performance in patients with Parkinson's disease. *J Neural Transm, (Suppl)* 46:423-32, 1995.
- Levin HS *et al.* Tower of London performance in relation to magnetic resonance imaging following closed head injury in children. *Neuropsychology*, 8:171-9, 1994.
- Lewis SJ *et al.* Using executive heterogeneity to explore the nature of working memory deficits in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 41:645-54, 2003.
- Lovett MC, Anderson JR. History of success and current context in problem solving. *Cognit Psychol*, 31:168-217, 1996.
- Kaller CP *et al.* The impact of problem structure on planning: insights from the Tower of London task. *Cog Brain Res*, 20:462-72, 2004.
- Klahr D. Discovering the present by predicting the future. In: Haith M, Benson J, Roberts R, Pennington B, editors. *The development of future-oriented processes*. Chicago: University of Chicago p. 177-220, 1994.
- Mataix-Cols D. Declarative and procedural learning in individuals with subclinical obsessive-compulsive symptoms. *J Clin Exp Neuropsychol*, 25:830-41, 2003.
- Morris RG *et al.* Planning and spatial working memory in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 51:757-66, 1988.
- Morris RG *et al.* Planning ability after frontal and temporal lobe lesions in humans: the effects of selection equivocation and working memory load. *Cogn Neuropsychol*, 14:1007-27, 1997.
- Murphy P. Cognitive functioning in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Atten Disord*, 5:203-9, 2002.
- Nigg JT *et al.* Neuropsychological executive functions and DSM-IV ADHD subtypes. *J Am Acad Child Adolesc Psych*, 41:59-66, 2002.
- Norman DA, Shallice T. Attention to action: willed and automatic control of behavior. Center for Human Information Processing Technical Report, 99, 1980.
- Numminen H, Letho JE, Ruoppila I. Tower of Hanoi and working memory in adult persons with intellectual disability. *Res Dev Disabil*, 22:373-87, 2001.
- Owen AM *et al.* Planning and spatial working memory following frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 28:1021-34, 1990.
- Owen AM *et al.* Fronto-striatal cognitive deficits at different stages of Parkinson's disease. *Brain*, 115:1727-51, 1992.
- Ozonoff S, Pennington BF, Rogers SJ. Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind. *J Child Psycho*, 32:1081-105, 1991.
- Pantelis C *et al.* Frontal-striatal cognitive deficits in patients with chronic schizophrenia. *Brain*, 120:1823-43, 1997.
- Pennington BF, Groisser D, Welsh MC. Contrasting cognitive deficits in attention deficit hyperactivity disorders versus reading disability. *Dev Psychol*, 29:511-23, 1993.
- Pennington BR *et al.* Executive functions and working memory: theoretical and measurement issues. In: Lyon GR, Krasnegor NA, editors. *Attention, memory and executive function*. Baltimore: Brookes p. 327-348, 1996.
- Roberts RJ, Pennington BF. An interactive framework for examining prefrontal processes. *Dev Neuropsychol*, 12:105-26, 1996.
- Staal WG *et al.* Neuropsychological dysfunctions in siblings discordant for schizophrenia. *Psychiatry Res*, 95:227-35, 2000.
- Sonuga-Barke EJ *et al.* Are planning, working memory, and inhibition associated with individual differences in preschool ADHD symptoms? *Dev Neuropsychol*, 21:255-72, 2002.
- Schinirman GM, Welsh MC, Retzlaff PD. Development of the Tower of London-Revised. *Assessment*, 5:355-60, 1998.
- Shallice T. Specific impairments of planning. *Philos Trans R Soc Lond*, 298:199-209, 1982.
- Simon HA. The functional equivalence of problem solving skills. *Cognit Psychol*, 7:268-88, 1975.
- Sternberg RJ. *Psicologia cognitiva*. Porto Alegre: ArtMed; 2000.
- Unterrainer JM, Owen AM. Planning and problem solving: from neuropsychology to functional neuroimaging. *J Physiol Paris*, 99:308-17, 2006.
- Unterrainer J *et al.* Planning abilities and the Tower of London: is task measuring a discrete cognitive functions? *J Clin Exp Neuropsychol*, 26:846-56, 2004.
- van den Heuvel OA *et al.* Frontal-striatal dysfunction during planning in obsessive-compulsive disorder. *Arch Gen Psychiatry*, 62:301-9, 2005.
- Welsh MC, Huizinga M. The development and preliminary validation of tower of Hanoi-Revised. *Assessment*, 8:167-76, 2001.
- Welsh MC, Huizinga M. Tower of Hanoi disk-transfer task: influences of strategy, knowledge and learning on performance. *Learn Individ Differ*, 15:283-98, 2005.
- Welsh MC, Satterlee-Cartmell T, Stine M. Towers of Hanoi and London: contribution of working memory and inhibition to performance. *Brain Cogn*, 41:231-42, 1999.
- Welsh MC *et al.* Towers or Hanoi and London: is the nonshared variance due to differences in task administration? *Percept Mot Skills*, 90:562-72, 2000.
- Welsh MC *et al.* A structural equation model of executive function in normal young adults. *J Int Neuropsychol Soc*, 8:264, 2002.
- Weintraub D *et al.* Dimensions of executive function in Parkinson's disease. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 20:140-4, 2005.
- Zook N, Welsh MC, Ewing V. Performance of healthy, older adults on the Tower of London Revised: associations with verbal and nonverbal abilities. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn*, 13:1-19, 2006.
- Zook N *et al.* Working memory, inhibition, and fluid intelligence as predictors of performance on Tower of Hanoi and Tower of London Tasks. *Brain Cogn*, 56:286-92, 2004.