



Brazilian Journal of OTORHINOLARYNGOLOGY

www.bjorl.org



ARTIGO ORIGINAL

A influência das tarefas cognitivas no desempenho do teste de organização sensorial[☆]

Nathan Morelli , Nicholas R. Heebner , Courtney J. DeFeo  e Matthew C. Hoch 

University of Kentucky, College of Health Sciences, Sports Medicine Research Institute, Lexington, Estados Unidos

Recebido em 10 de setembro de 2020; aceito em 9 de novembro de 2020

PALAVRAS-CHAVE

Integração sensorial;
Controle postural;
Dupla tarefa

Resumo

Introdução: Muitas tarefas posturais estáticas que requerem contribuições vestibulares são feitas durante a dupla tarefa.

Objetivo: Investigamos a influência da dupla tarefa na integração sensorial para o controle postural e desempenho cognitivo durante o teste de organização sensorial e examinamos a relação entre a função cognitiva e o custo da dupla tarefa durante o teste de organização sensorial.

Método: Vinte adultos completaram versões da tarefa única e dupla tarefa das seis condições do teste de organização sensorial, que foram concluídas em duas consultas com um intervalo de uma semana. Um subgrupo de 13 participantes completou três testes cognitivos do *NIH-toolbox*, inclusive o *flanker inhibitory control and attention test*, *dimensional change card sort test* e o *pattern comparison processing speed test*. O teste de postos sinalizados de Wilcoxon foi usado para comparar a oscilação postural durante o teste de organização sensorial de tarefa única e dupla. O teste de Friedman, com testes *post hoc* de comparação pareada, foi usado para comparar o desempenho da subtração em série de tarefa única para as 6 condições do teste de organização sensorial de dupla tarefa. Os coeficientes de correlação de Spearman foram usados para avaliar a relação entre o desempenho cognitivo no teste *NIH-toolbox* e o custo da dupla tarefa postural e cognitivo durante o teste de organização sensorial.

Resultados: A feitura de uma dupla tarefa cognitiva durante o teste de organização sensorial resultou em um aumento significativo na oscilação postural durante a condição 1 ($Z = -3,26$, $p = 0,001$, $TE = 0,73$), condição 3 ($Z = -2,53$, $p = 0,012$, $TE = 0,56$) e condição 6 ($Z = -2,02$, $p = 0,044$, $TE = 0,45$). O desempenho de subtração diminuiu significativamente durante a condição 6 ($Z = -2,479$, $p = 0,011$, $TE = 0,55$) em comparação com a tarefa única. O *dimensional change card sort test* demonstrou correlações moderadas com o custo da dupla tarefa de desempenho de subtração em série na condição 5

[☆] Como citar este artigo: Morelli N, Heebner NR, DeFeo CJ, Hoch MC. The influence of cognitive tasks on sensory organization test performance. *Braz J Otorhinolaryngol.* 2022;88:841-9.

* Autor para correspondência.

E-mail: nathan.morelli@uky.edu (N. Morelli).

A revisão por pares é da responsabilidade da Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial.

(*dimensional change card sort test*: $r = -0,62$, $p = 0,02$) e condição 6 (*dimensional change card sort test*: $r = -0,56$, $p = 0,04$). Os escores do *pattern comparison processing speed test* foram significativamente correlacionados com o custo da dupla tarefa do controle postural durante a condição 2.

Conclusão: A feitura de uma tarefa cognitiva durante o teste de organização sensorial resultou em um aumento significativo na oscilação postural em três condições, principalmente durante a manipulação do ambiente visual em oposição à manipulação vestibular e somatossensorial. O desempenho cognitivo diminuiu durante a condição de teste de organização sensorial mais complexa. Além disso, observamos que os participantes com função executiva pior apresentaram maior custo da dupla tarefa durante demandas de integração sensorial mais complexas.

© 2020 Associação Brasileira de Otorrinolaringologia e Cirurgia Cérvico-Facial. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introdução

Muitas atividades da vida diária requerem a feitura simultânea de uma tarefa cognitiva durante atividades de equilíbrio que dependem fortemente da função vestibular, também chamada de dupla tarefa. O desempenho prejudicado na dupla tarefa está associado ao comprometimento da marcha em indivíduos com hipofunção vestibular unilateral, aumento do risco de queda em pacientes geriátricos e com demência, limitação do potencial de deambulação na comunidade e aumento do risco de lesão musculoesquelética em atletas que retornam ao esporte após uma concussão.¹⁻⁶ Como resultado, pesquisas que integram testes de controle postural de dupla tarefa proliferaram na última década e as medidas de dupla tarefa agora são recomendadas para uso clínico em muitas populações de pacientes.⁷ Entretanto, ainda há uma falta de conhecimento sobre os mecanismos subjacentes que prejudicam o desempenho da dupla tarefa.

Várias teorias têm sido propostas em um esforço para explicar por que o controle postural e o desempenho cognitivo diminuem durante as condições de dupla tarefa. O mais notável e amplamente pesquisado é o modelo de compartilhamento de capacidade.^{8,9} Segundo essa teoria, os sistemas cognitivos e motores usariam recursos de atenção paralelos recíprocos e sobrepostos para integrar informações e gerar resultados funcionais. Quando as tarefas cognitivas e motoras estão competindo por recursos, como durante as condições de dupla tarefa, a reserva funcional que pode ser dedicada a qualquer uma das tarefas é limitada. Durante tarefas duplas simples, há amplos recursos neurais disponíveis para aprimorar e manter o desempenho motor e cognitivo. As tarefas duplas complexas, que exigem níveis mais elevados de ativação neuronal, criam uma competição entre os sistemas cognitivo e motor. Isso geralmente se manifesta em padrões variáveis de interferência cognitivo-motora conforme o desempenho da tarefa cognitiva ou motora se deteriora.⁸ Estudos anteriores sobre hipofunção vestibular durante condições de dupla tarefa apoiaram essa hipótese.^{6,10} Experimentalmente, a gravidade da interferência cognitivo-motora entre condições de tarefa única e dupla é quantificada como custo da dupla tarefa (CDT).

Uma limitação em relação ao modelo de compartilhamento de capacidade requer investigação contínua. De acordo com essa teoria, uma única fonte de processamento

central seria responsável pelas funções cognitivas e motoras. Isso contradiz o dogma atual a respeito do modelo de sistemas de controle postural e processamento cognitivo que surge do acoplamento dinâmico e adaptativo de diferentes áreas sensoriais e motoras do córtex.¹¹⁻¹³ O controle postural estático depende da integração adaptativa através de reponderação e modulação de informações vestibulares, somatossensoriais e visuais para as transformações sensorio-motoras que dependem do contexto e da qualidade das informações sensoriais disponíveis.¹³⁻¹⁵ Por exemplo, quando as superfícies de suporte são instáveis, indivíduos saudáveis aumentam a ponderação das entradas vestibulares e visuais em direção ao centro de estabilidade de massa.^{13,14} Consequentemente, as medidas neurofisiológicas durante as tarefas posturais demonstraram padrões aumentados de ativação das áreas parietais e frontais com aumento da demanda de tarefas sensoriais.¹⁶⁻¹⁸ Portanto, a natureza heterogênea do uso de recursos neurais durante as demandas de tarefas posturais sugere interferência cognitivo-motora e o CDT pode não ser expresso uniformemente em vários ambientes ou sistemas sensoriais.

O teste de organização sensorial (TOS) é o padrão clínico ouro atual para a avaliação das contribuições vestibulares, somatossensoriais e visuais em direção ao centro de estabilidade de massa na postura estática.^{13,14} Tradicionalmente administrado através da posturografia dinâmica computadorizada (PDC), esse teste requer que os pacientes se posicionem sobre uma plataforma de força, que é cercada por um entorno visual de três paredes. Tanto a plataforma de força quanto o ambiente visual são móveis e sistematicamente agitados para alterar os ambientes da tarefa. Estudos anteriores investigaram o efeito de uma tarefa de tempo de reação secundária no desempenho da oscilação postural durante o TOS.¹⁹⁻²¹ Entretanto, esses estudos encontraram resultados conflitantes e usaram diferentes tarefas cognitivas secundárias. Mais importante, desde a sua publicação, uma nova versão da PDC do TOS foi lançada. Em vez de um entorno de três paredes, uma meia cúpula engloba os pacientes enquanto um ambiente virtual é projetado no interior da cúpula. Além disso, não há objetos no campo visual central para os participantes se fixarem como uma pista sensorial de referência estável. Em vez disso, apenas círculos concêntricos são projetados nos campos visuais temporais para referência de oscilação. Nenhum estudo administrou paradigmas de TOS de dupla tarefa com essas

atualizações tecnológicas que forneceram ambientes visuais alterados. Portanto, as demandas da tarefa ambiental podem ser substancialmente diferentes e possivelmente resultar em diferentes padrões de interferência cognitivo-motora.

Além das demandas de tarefas, há uma escassez de informações sobre a influência da função cognitiva de ordem superior e reserva no desempenho de dupla tarefa. A reserva cognitiva é definida como a capacidade de manter o desempenho diante do aumento da demanda de tarefas, lesões ou danos cerebrais.²²⁻²⁴ Ela está associada ao desempenho cognitivo de ordem superior em testes usados rotineiramente na prática clínica e teorizados para representar uma organização mais complexa de redes funcionais dentro do sistema nervoso central (SNC) para se adaptar com flexibilidade às demandas da tarefa.²⁵⁻²⁷ A reserva cognitiva também tem implicações para o controle postural, que requer contribuições corticais complementares explícitas para as saídas subcorticais.^{28,29} Portanto, de acordo com os princípios do modelo de compartilhamento de capacidade, a função cognitiva de ordem superior e a reserva podem desempenhar um papel causal no controle da capacidade de se adaptar às demandas de dupla tarefa e minimizar o CDT.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi investigar a influência da dupla tarefa na integração vestibular, somatossensorial e visual no controle postural e no desempenho cognitivo durante o TOS. Secundariamente, nosso objetivo foi examinar a relação entre função cognitiva de ordem superior e reserva no CDT e a interferência cognitivo-motora durante o TOS. Nossa hipótese é que a adição de uma dupla tarefa cognitiva resultaria em diminuição do controle postural e do desempenho cognitivo durante condições que proporcionam maior integração sensorial e demandas de reponderação. Além disso, formulamos a hipótese de que aqueles indivíduos com maior desempenho em testes cognitivos clínicos demonstrarão redução do CDT e da interferência cognitivo-motora. Esses achados irão fornecer uma melhor compreensão dos padrões de CDT em vários estados sensoriais e elucidarão possíveis mecanismos subjacentes à capacidade de mitigar o CDT.

Método

Participantes

Vinte adultos (12 mulheres, 8 homens; idade: $21,9 \pm 3,8$ anos; altura: $1,70 \pm 0,01$ m; peso: $69,4 \pm 15,0$ kg) foram voluntários neste estudo. Os participantes foram excluídos se estivessem em tratamento atual para uma lesão em membros inferiores, transtorno de déficit de atenção (TDA) ou transtorno de déficit de atenção/hiperatividade (TDAH) autorreferido, se tomassem medicamentos que pudessem influenciar a cognição ou equilíbrio ou tivessem sofrido uma concussão nos últimos 6 meses. Antes do teste, cada indivíduo deu seu consentimento informado por escrito, que foi aprovado pelo conselho de ética e pelo comitê de ética institucional (número de aprovação 52918).

Procedimentos

Os participantes completaram avaliações de tarefa única e dupla durante duas coletas de dados separadas por intervalo de uma semana. Pesquisas anteriores sobre a confiabilidade teste-reteste do TOS, em uma população semelhante, revelaram um efeito de aprendizagem entre o primeiro e o segundo teste.³⁰ Para abordar essa preocupação específica, a versão de tarefa única e dupla do TOS foi distribuída entre os dias para toda a coorte. Portanto, 10 indivíduos completaram o TOS de tarefa única na primeira visita e 10 indivíduos completaram o TOS de tarefa dupla durante a primeira visita. Além disso, as condições 2 a 6 do TOS foram randomizadas para cada indivíduo para mitigar os efeitos da prática. Os pesquisadores não orientaram os participantes a focalizar sua atenção na tarefa postural ou cognitiva durante as condições de dupla tarefa. Todos os participantes foram apreendidos a um cinto de segurança durante toda a duração do teste.

As 6 condições do TOS foram administradas com a posturografia dinâmica computadorizada (PDC) Bertec® (Bertec Corporation, Columbus, OH). As condições foram: C1: olhos abertos, superfície e ambiente visual fixos; C2: olhos fechados, superfície fixa; C3: olhos abertos, superfície fixa e ambiente visual oscilante; C4: olhos abertos, superfície oscilante e ambiente visual fixo; C5: olhos fechados, superfície oscilante; C6: olhos abertos, superfície e ambiente visual oscilantes.³¹ Os participantes foram alertados sobre as manipulações das condições antes do início do primeiro teste. Cada condição durava 20 segundos e era completada três vezes. A base foi normalizada em cada indivíduo para aproximadamente a largura dos ombros. Se um indivíduo caísse ou alterasse sua base durante o teste, o escore era descartado e um membro da equipe de pesquisa reposicionava os pés do indivíduo de volta à posição correta. Uma característica exclusiva do Bertec® PDC é que ele projeta um fundo visual virtual em uma estrutura de cúpula imersiva para referência de oscilação visual. O laboratório foi configurado para 45 ± 5 l × com um *Leaton Digital Luxmeter* (Shenzhen DeXi Electronics Co., Ltd, Shenzhen, China) para garantir uma iluminação consistente do plano de fundo projetado.

Para cada teste, um “escore de equilíbrio” é fornecido pelo *software* Bertec® Balance Advantage™ e é calculado como a razão entre a oscilação pico a pico anterior-posterior durante cada teste para os limites de estabilidade teóricos do centro de gravidade ($12,5^\circ$).³² Os escores de equilíbrio são relatados em uma escala de intervalos, 0 representa uma queda ou tentativa interrompida e 100 indica pouca ou nenhuma oscilação. A média dos escores foi calculada para cada teste para o relatório final. As relações sensoriais foram calculadas pelo *software* Bertec Balance Advantage para os sistemas somatossensorial (C2: C1), vestibular (C5: C1) e visual (C4: C1).

A subtração em série foi usada como a dupla tarefa cognitiva para este estudo. Foi dado aos participantes um número aleatório de 2 dígitos entre 99 e 80 e foi-lhes solicitado que subtraíssem por 6s ou 7s. Para o desempenho de tarefa única, os participantes sentaram-se em uma cadeira em uma sala silenciosa e foram avaliados por 20 segundos. Para versões de tarefa dupla do TOS, os participantes receberam um novo conjunto de números para cada condição enquanto

Tabela 1 Descrições do teste NIHTB

Teste	Domínio (s) cognitivo (s) avaliado (s)	Descrição
<i>Flanker inhibitory control and attention test (FICA)</i>	Função executiva; controle inibitório e atenção	Uma seta central voltada para a esquerda ou direita é cercada por setas de cada lado. As setas circundantes apontam na mesma direção ou na direção oposta à seta central. Os indivíduos devem identificar o mais rapidamente possível a direção para a qual a seta central aponta.
<i>Dimensional change card sort test (DCCS)</i>	Função executiva; flexibilidade cognitiva	Dois objetos diferentes em formato e cor são apresentados lado a lado. Um terceiro objeto é apresentado no centro da tela. Os indivíduos devem combinar o formato ou a cor dos dois objetos com um terceiro objeto o mais rápido possível.
<i>Pattern comparison processing speed test (PCPS)</i>	Velocidade de processamento cognitivo	Essa avaliação exige que os indivíduos indiquem o mais rapidamente possível se dois objetos são iguais ou diferentes.

seu desempenho era registrado. As tarefas cognitivas foram padronizadas entre os indivíduos, de modo que cada participante completou a mesma tarefa de subtração em série por condição de teste. O desempenho geral foi calculado subtraindo a soma das respostas incorretas da soma das respostas corretas.

O CDT do desempenho postural e cognitivo foi calculado para cada condição do TOS com a seguinte equação: $CDT = [(desempenho\ de\ dupla\ tarefa - desempenho\ de\ tarefa\ única) / desempenho\ de\ tarefa\ única] \times 100$. A subtração serial mais alta e CDT do escore de equilíbrio significam melhor desempenho durante as condições de dupla tarefa.

Para o objetivo secundário, um subconjunto de 13 participantes completou múltiplas avaliações cognitivas do *NIH Toolbox® (NIHTB) Cognitive Battery*, que demonstrou excelente confiabilidade e validade de construto.³³ Selecionamos testes que avaliaram atenção, processamento espacial, flexibilidade cognitiva, função executiva e velocidade de processamento. Especificamente, os participantes completaram os testes *Flanker inhibitory control and attention (FICA)*, o *dimensional change card sort (DCCS)* e o *pattern comparison processing speed (PCPS)* em um iPad 10.2 (iPad 5ª Geração, Apple, Cupertino, CA) (tabela 1). Os participantes completaram esses testes na primeira visita, sentados a uma mesa em uma sala silenciosa. Escores totalmente corrigidos, que levaram em consideração idade, sexo, nível de escolaridade, raça e etnia, foram calculados no *software NIH-tollbox (NIHTB)*. Um escore composto foi calculado para cada participante a partir da soma total dos escores totalmente corrigidos de todos os três testes NIHTB.

Análise estatística

Estatísticas descritivas (mediana e intervalo interquartil) foram calculadas para os escores de equilíbrio e desempenho da subtração serial durante as condições de tarefa única e dupla. A normalidade das variáveis incluídas foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. O teste de Friedman com testes de postos sinalizados de Wilcoxon foi usado para determinar

a influência das tarefas cognitivas duplas no desempenho da oscilação postural (ou seja, escores de equilíbrio) para cada condição do TOS, bem como as relações sensoriais. A influência das condições da tarefa no desempenho da subtração em série foi avaliada com os testes de postos sinalizados de Wilcoxon entre o desempenho da tarefa única e cada condição do TOS de dupla tarefa. Os coeficientes de correlação de Spearman foram usados para avaliar a relação entre o desempenho cognitivo no teste NIHTB e o CDT postural e cognitivo durante o TOS. Tamanhos de efeito (TE) não paramétricos foram calculados para a oscilação postural e o desempenho cognitivo entre condições de tarefa única e dupla. Os tamanhos de efeito foram interpretados como pequeno: 0,2, médio: 0,5 e grande: 0,8.³⁴ Os coeficientes de correlação foram interpretados como pouca ou nenhuma relação: $\leq 0,25$, regular: 0,26–0,50, moderado a bom: 0,51–0,75 e bom a excelente: $> 0,75$.³⁵ O nível de significância para todas as análises foi definido como α -priori em $p \leq 0,05$. Todas as estatísticas foram feitas com o *software SPSS*, versão 25 (IBM, Armonk, NH).

Resultados

A feitura de uma dupla tarefa cognitiva durante o TOS resultou em uma diminuição significativa nos escores de equilíbrio durante C1 ($Z = -3,26$, $p = 0,001$, $TE = 0,73$), C3 ($Z = -2,53$, $p = 0,012$, $TE = 0,56$), e C6 ($Z = -2,02$, $p = 0,044$, $TE = 0,45$) (tabela 2 para resultados detalhados). Um teste de Friedman significativo ($p = 0,038$) com o teste *post hoc* de postos sinalizados de Wilcoxon revelou uma diminuição significativa no desempenho da subtração em série durante C6 ($Z = -2,48$, $p = 0,013$, $TE = 0,55$) em comparação com o desempenho de tarefa única (tabela 3).

A relação entre função cognitiva de ordem superior e reserva cognitiva para o CDT do desempenho postural e subtração serial durante o TOS é apresentada nas tabelas 4 e 5. Houve apenas uma associação significativa entre os testes NIHTB e o CDT dos escores de equilíbrio durante o TOS. Especificamente, PCPS para o CDT do escore de equilíbrio em C2 ($r = 0,55$, $p = 0,05$). Além disso, os escores totalmente

Tabela 2 Desempenho de controle postural durante condições de tarefa única e dupla do TOS (mediana [IIQ])

Condição do TOS	Tarefa única	Dupla tarefa	p-valor	Tamanho do efeito
C1	92,7 (2,2)	89,8 (6,2)	0,001	0,73
C2	90,7 (4,2)	89,8 (8,2)	0,064	0,41
C3	91,3 (4,9)	88,3 (7,42)	0,012	0,56
C4	76,0 (13,3)	76,8 (17,8)	0,322	0,22
C5	63,0 (10,3)	64,2 (17,13)	0,467	0,16
C6	65,3 (15,5)	60,0 (21,7)	0,044	0,45
Somatossensorial	98,5 (3,72)	100,0 (6,5)	0,407	0,19
Visual	82,0 (9,75)	83,0 (21,75)	0,602	0,12
Vestibular	67,5 (11,5)	74,0 (29)	0,421	0,18
Escore composto	75,6 (11,2)	75 (14,0)	0,286	0,24

Tabela 3 Desempenho de subtração em série entre condições de tarefa única e dupla (mediana [IIQ]), (significância e tamanhos de efeito representam comparação com TOS)

	Desempenho de subtração em série	p-valor	Tamanho de efeito
Tarefa única	7,5 (5,75)		
Dupla tarefa condição de TOS			
C1	5,83 (5,00)	0,167	0,31
C2	5,67 (5,77)	0,126	0,34
C3	5,67 (6,17)	0,13	0,34
C4	6,00 (4,25)	0,083	0,38
C5	5,67 (4,83)	0,145	0,33
C6	5,33 (2,83)	0,013	0,55

Tabela 4 Correlações de Spearman entre as medidas do NIHTB e CDT do desempenho de subtração serial do TOS

Condição do TOS	<i>Dimensional change card sort test</i>	<i>Flanker inhibitory control and attention test</i>	<i>Pattern comparison processing speed test</i>	NIHTB Composto
C1	0,05	-0,01	-0,32	-0,10
C2	-0,14	-0,20	0,01	-0,15
C3	-0,03	-0,10	-0,13	0,01
C4	-0,30	-0,36	-0,51	-0,35
C5	-0,62 ^a	-0,25	-0,40	-0,59 ^a
C6	-0,56 ^a	-0,50	-0,50	-0,66 ^a

^a $p < 0.05$.**Tabela 5** Correlações de Spearman entre as medidas de NIHTB e CDT dos escores de equilíbrio do TOS

Condição do TOS	<i>Dimensional change card sort test</i>	<i>Flanker inhibitory control and attention test</i>	<i>Pattern comparison processing speed test</i>	NIHTB Composto
C1	0,04	0,43	0,08	0,10
C2	0,10	0,31	0,55 ^a	0,33
C3	0,22	0,16	0,31	0,28
C4	-0,46	-0,35	-0,04	-0,30
C5	-0,46	-0,25	-0,11	-0,37
C6	-0,13	-0,15	-0,08	-0,24

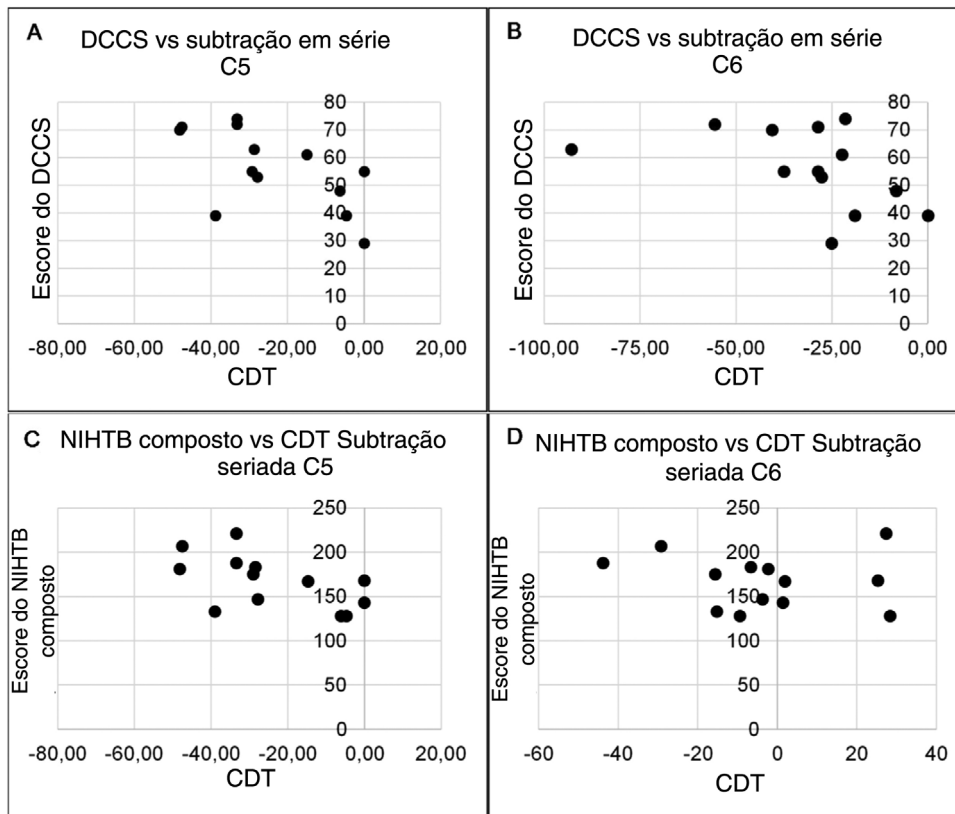


Figura 1 O CDT do desempenho da subtração em série foi significativamente associado ao desempenho do teste Dimensional Change Card Sort (DCCS) em C5 (A) e C6 (B) do TOS. Além disso, os escores compostos do NIHTB demonstraram correlações significativas com C5 (C) e C6 (D) do TOS.

corrigidos do DCCS e do NIHTB composto demonstraram correlações moderadas a boas com o CDT do desempenho de subtração em série em C5 (DCCS: $r = -0,62$, $p = 0,02$; NIHTB composto: $r = -0,59$, $p = 0,03$) e C6 (DCCS: $r = -0,56$, $p = 0,04$; NIHTB composto: $r = -0,66$, $p = 0,01$) (fig. 1).

Discussão

O objetivo principal deste estudo foi explorar a influência das tarefas duplas no controle postural e no desempenho cognitivo durante vários estados sensoriais do TOS, administrado através do Bertec® PDC. Verificamos que fazer uma tarefa de subtração em série resultou em aumento significativo da oscilação postural em três condições e diminuição do desempenho cognitivo durante a C6 do TOS. O objetivo secundário deste estudo foi investigar a relação entre a função cognitiva de ordem superior e a reserva no CDT durante o TOS. Contrário à nossa hipótese, os resultados sugerem que o aumento da função cognitiva de ordem superior, inclusive função executiva, atenção, velocidade de processamento e resolução de conflitos, está associado a maior CDT do desempenho cognitivo durante condições de dupla tarefa. É importante ressaltar que essas relações estavam presentes apenas em condições que exigiam demandas significativas de integração sensorial aos sistemas somatossensorial e visual. Nossos resultados fornecem suporte suplementar às investigações anteriores da complexidade da tarefa no desempenho de dupla tarefa e novos

conhecimentos sobre a interação entre a função cognitiva de ordem superior e o CDT.

Os achados deste estudo são semelhantes às investigações anteriores de desempenho de dupla tarefa durante diferentes estados sensoriais de controle postural estático. Em relação ao TOS, Lanzarin et al.²¹ encontraram diminuição do controle postural durante a conclusão simultânea de tarefas de matemática em C1 e C6. Remaud et al.³⁶ observaram que a oscilação postural aumentou significativamente apenas durante as condições de dupla tarefa do *balance error Scoring system* com demandas desafiadoras de integração somatossensorial e visual do sistema e reponderação. A fim de gerar comandos motores posturais apropriados, as informações sensoriais devem ser integradas e os estímulos salientes usados para orientar as respostas devem ser identificados. Esses achados sugerem que a feitura simultânea de uma tarefa cognitiva interfere nesse processo, limita a capacidade de identificar informações sensoriais necessárias para orientar o controle postural durante condições que manipulam ou perturbam as informações visuais e somatossensoriais.

Nossos achados diferem ligeiramente dos de Lanzarin et al.,²¹ pois encontramos escores de equilíbrio significativamente diminuídos em C3. É possível que a manipulação da oscilação do campo visual virtual induza maiores demandas de reponderação sensorial em comparação com a Neurocom® PDC. Nesse caso, as demandas gerais da tarefa podem ter sido maiores em nosso paradigma, ultrapassado

os limiares de processamento de dupla tarefa, resultado em diminuição do controle postural. Isso poderia fornecer uma explicação parcial para os tamanhos de efeito moderados vistos em C3 e C6 deste estudo. Além disso, isso apoiaria investigações anteriores de oscilação postural deletéria durante condições que conferem maior integração somatossensorial e visual e demandas de reponderação.^{36–38} As condições que requerem maior contribuição do sistema vestibular, C5 e C6, demonstram uma deterioração apenas parcial durante a dupla tarefa. Juntos, esses dados fornecem evidências adicionais da natureza deletéria da manipulação somatossensorial e visuossensorial em direção à interferência motora-cognitiva.

Curiosamente, a C1 mostrou diferenças significativas de tarefa única e dupla em estudos anteriores^{19,21} e demonstrou efeitos maiores do que C3 e C6 neste protocolo atual. Essas descobertas são opostas aos conceitos do modelo de compartilhamento de capacidade, pois C1 oferece as demandas de tarefa menos difíceis. As diferenças significativas no desempenho durante C1 podem, portanto, ser resultado da novidade da tarefa, pois ela sempre foi concluída primeiro durante a coleta de dados neste e em estudos anteriores. Isso pode influenciar não apenas o desempenho geral da tarefa, mas alterar a priorização da atenção, que é conhecida por impactar o CDT.⁸

O desempenho da subtração em série durante o TOS mostrou uma diminuição significativa apenas durante as condições posturais que perturbaram a informação sensorial somatossensorial e visuossensorial (ou seja, C6). Curiosamente, o desempenho cognitivo demonstrou pequenos tamanhos de efeito durante outras condições de TOS com diminuições significativas de desempenho postural (ou seja, C1 e C3). Esses dados sugerem que, quando a dificuldade da tarefa cognitiva é mantida constante, pode haver um limiar crítico de complexidade da tarefa postural antes que a função cognitiva também experimente deterioração significativa. Esses achados são semelhantes aos de Resch et al.¹⁹ e Remaud et al.,³⁶ que também encontraram a maior deterioração no desempenho de tarefas cognitivas secundárias durante condições que manipulavam os ambientes visual e somatossensorial. Além disso, uma vez que nenhuma instrução foi dada para focar a atenção na tarefa postural ou cognitiva, esses achados podem representar uma relação saliente de interações cognitivo-motoras implícitas. Ou seja, quando nenhuma instrução explícita é dada, o desempenho cognitivo pode ser preservado com menos dificuldades de integração sensorial, mesmo na presença de deterioração do controle postural. Deterioração significativa do desempenho cognitivo pode ocorrer apenas durante demandas sensoriais extremamente complexas ou quando a falha em desviar recursos explícitos para respostas motoras posturais pode resultar em perda de equilíbrio.

Os decréscimos de desempenho demonstrados neste estudo oferecem suporte parcial ao modelo de compartilhamento de capacidade. Registros neurofisiológicos durante o controle postural estático demonstraram que a atividade cortical de áreas associadas à integração das informações somatossensoriais e visuais aumenta com a complexidade da tarefa.^{17,18} Além disso, essas regiões demonstraram atividade aumentada durante a dupla tarefa.³⁹ O aumento da oscilação postural durante as condições de dupla tarefa que

manipulou o ambiente virtual (ou seja, C3 e C6) sugere que as tarefas cognitivas limitam a capacidade de integrar e reponderar as informações visuais. Enquanto C6 também perturba a informação somatossensorial, um resultado da superfície instável, a diferença mínima no tamanho do efeito entre C3 e C6 sugere que as tarefas duplas cognitivas têm pouca influência na integração somatossensorial e reponderação. Portanto, a natureza heterogênea da interferência cognitiva-motora observada durante o TOS sugere que as limitações de processamento de dupla tarefa do modelo de compartilhamento de capacidade não são expressas uniformemente em vários ambientes sensoriais.

O desempenho de tarefa dupla tem sido baseado na integridade funcional e capacidade adaptativa da função executiva, atenção, memória de trabalho e sistemas de seleção de resposta.^{37,40} De acordo com os princípios do modelo de compartilhamento de capacidade, a função cognitiva de ordem superior e a reserva podem desempenhar um papel causal no controle da capacidade de modular o CDT. Um estudo recente de atletas universitários que completaram o teste *clinical test of sensory interaction on balance* modificado, um substituto clínico do TOS, encontrou correlações fracas ($r < -0,20$, $p < 0,05$) entre a avaliação pós-concussão imediata e a velocidade visual motora do teste cognitivo e relações vestibulares de dupla tarefa (olhos fechados, superfície de espuma: olhos abertos, superfície firme).⁴¹ Entretanto, a comparação direta com o desempenho de dupla tarefa é inerentemente falha, pois essa análise falha em levar em consideração a capacidade do indivíduo de se adaptar a demandas de tarefas complexas relativas ao desempenho de tarefa única. A única medida do NIHTB que demonstrou associação significativa com o CDT do controle postural foi o teste *pattern comparison processing speed* para C2 ($r = 0,55$, $p = 0,05$). Contrariamente à nossa hipótese, os escores compostos de NIHTB e escores mais alto do teste DCCS foram associados a maior CDT negativo do desempenho cognitivo durante C5 e C6. Essa relação se opõe àquelas observadas em adultos mais velhos, em doença de Parkinson e esclerose múltipla.^{42–44} Entretanto, a associação entre função cognitiva de ordem superior e reserva e CDT pode ser funcionalmente significativa, pois essas relações foram observadas somente nas duas condições mais difíceis do TOS.

A implantação futura deste teste em populações de pacientes patológicos pode melhorar a detecção clínica de déficits de dupla tarefa e elucidar possíveis deficiências de integração sensorial. Lesão e atrofia do SNC podem reduzir a capacidade funcional para aprimorar otimizar o desempenho de dupla tarefa. As consequências disso podem não apenas se manifestar como CDT maior, mas também resultar em CDT em limites mais baixos de complexidade da tarefa. Além disso, os distúrbios do campo visual durante a postura estática provocaram um aumento da oscilação em patologias que afetam áreas do córtex responsáveis pela integração de informações sensoriais multimodais (por exemplo, lesão cerebral traumática) ou que criam dependência excessiva de informações visuais para controle postural (por exemplo, doença de Parkinson).^{45,46} Os paradigmas do TOS de tarefa dupla usando o campo visual virtual ao redor do sistema PDC Bertec® podem aumentar a sensibilidade do teste para detectar essas deficiências. Além disso, a investigação contínua sobre o papel da função cognitiva de ordem superior e

reserva para CDT poderia fornecer mais informações sobre a capacidade de manter o desempenho de dupla tarefa em várias condições posturais.

Existem várias limitações neste estudo. Houve um pequeno tamanho da amostra de indivíduos incluídos em ambos os objetivos. Embora os tamanhos de efeito e as correlações encontrados neste estudo sejam robustos, isso, no entanto, minimiza a certeza de nossa conclusão. Tentamos mitigar os efeitos da prática randomizando C2-C6. Entretanto, todos os participantes completaram C1 primeiro e não fizeram os testes práticos antes de iniciar o teste. Isso pode explicar as diferenças significativas no desempenho durante C1 observadas aqui e em investigações anteriores. Além disso, o desempenho da tarefa cognitiva durante as tarefas duplas foi avaliado com o número de respostas corretas e incorretas. Esse método foi usado em uma investigação anterior de paradigmas de controle postural de dupla tarefa.^{41,47} Uma medida mais sensível de desempenho, como o tempo de reação, poderia ser mais sensível para detectar o CDT.

Conclusão

Este estudo expande as investigações anteriores sobre a interferência cognitivo-motora em adultos saudáveis durante várias demandas de tarefas posturais. A feitura de uma tarefa cognitiva durante o TOS resultou em aumento significativo da oscilação postural em três condições e em uma diminuição significativa do desempenho de subtração em série durante C6. Esses resultados fornecem uma visão suplementar sobre o modelo de compartilhamento de capacidade de deterioração do desempenho de dupla tarefa durante tarefas que manipulam informações sensoriais somatossensoriais e visuossensoriais. Além disso, verificamos que a função cognitiva estava negativamente associada ao CDT durante demandas de integração sensorial mais complexas (ou seja, C5 e C6). Esses dados fornecem novas informações sobre os possíveis mecanismos que regulam a capacidade de modular o CDT durante várias demandas de tarefas posturais.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

1. Amboni M, Barone P, Hausdorff JM. Cognitive contributions to gait and falls: evidence and implications. *Mov Disord*. 2013;28:1520–33.
2. Bekkers EMJ, Dockx K, Devan S, Rossom SV, Verschueren S, Bloem BR, et al. The Impact of Dual-Tasking on Postural Stability in People With Parkinson's Disease With and Without Freezing of Gait. *Neurorehabil Neural Repair*. 2018;32:166–74.
3. Fritz NE, Cheek FM, Nichols-Larsen DS. Motor-Cognitive Dual-Task Training in Persons With Neurologic Disorders: A Systematic Review. *J Neurol Phys Ther*. 2015;39:142–53.
4. Howell DR, Buckley TA, Lynall RC, Meehan WP. Worsening Dual-Task Gait Costs after Concussion and their Association with Subsequent Sport-Related Injury. *J Neurotrauma*. 2018;35:1630–6.
5. Feld JA, Zukowski LA, Howard AG, Giuliani CA, Altmann LJP, Najafi B, et al. Relationship Between Dual-Task Gait Speed and Walking Activity Poststroke. *Stroke*. 2018;49:1296–8.
6. Nascimbeni A, Gaffuri A, Penno A, Tavoni M. Dual task interference during gait in patients with unilateral vestibular disorders. *J Neuroeng Rehabil*. 2010;7:47.
7. Quatman-Yates CC, Hunter-Giordano A, Shimamura KK, Landel R, Alsalaheen B, Hanke T, et al. Physical Therapy Evaluation and Treatment After Concussion/Mild Traumatic Brain Injury. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2020;50:CPG1–73.
8. Bayot M, Dujardin K, Tard C, Defebvre L, Bonnet C, Allart E, et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiol Clin*. 2018;48:361–75.
9. Tombu M, Jolicoeur P. A central capacity sharing model of dual-task performance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2003;29:3–18.
10. Roberts JC, Cohen HS, Sangi-Hagheykar H. Vestibular disorders and dual task performance: impairment when walking a straight path. *J Vestib Res*. 2011;21:167–74.
11. Horak FB, Diener HC, Nashner LM. Influence of central set on human postural responses. *J Neurophysiol*. 1989;62:841–53.
12. Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol*. 1986;55:1369–81.
13. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiology*. 2002;88:1097–118.
14. Horak F. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006;35:7–11.
15. Peterka RJ, Loughlin PJ. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*. 2004;91:410–23.
16. Wittenberg E, Thompson J, Nam CS, Franz JR. Neuroimaging of Human Balance Control: A Systematic Review. *Front Hum Neurosci*. 2017;11(170).
17. Edwards AE, Guven O, Furman MD, Arshad Q, Bronstein AM. Electroencephalographic Correlates of Continuous Postural Tasks of Increasing Difficulty. *Neuroscience*. 2018;395:35–48.
18. Gebel A, Lehmann T, Granacher U. Balance task difficulty affects postural sway and cortical activity in healthy adolescents. *Exp Brain Res*. 2020;238:1323–33.
19. Resch J, May B, Tomporowski P, Ferrara M. Balance Performance With a Cognitive Task: A Continuation of the Dual-Task Testing Paradigm. *J Athl Train*. 2011;46:170–5.
20. Ross LM, Register-Mihalik JK, Mihalik JP, McCulloch KL, Prentice WE, Shields EW, et al. Effects of a single-task versus a dual-task paradigm on cognition and balance in healthy subjects. *J Sport Rehabil*. 2011;20:296–310.
21. Lanzarin M, Parizzoto P, de Cassia T, Sinhorim L, Tavares GMS, Santos GM. The influence of dual-tasking on postural control in young adults. 2015;22:61–8.
22. Stern Y. What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *J Int Neuropsychol Soc*. 2002;8:448–60.
23. Valenzuela MJ, Sachdev P. Brain reserve and dementia: a systematic review. *Psychol Med*. 2006;36:441–54.
24. Barulli D, Stern Y. Efficiency, capacity, compensation, maintenance, plasticity: emerging concepts in cognitive reserve. *Trends Cogn Sci*. 2013;17:502–9.
25. Hackett K, Krikorian R, Giovannetti T, Melendez-Cabrero J, Rahman A, Ceasar EE, et al. Utility of the NIH Toolbox for assessment of prodromal Alzheimer's disease and dementia. *Alzheimers Dement (Amst)*. 2018;10:764–72.
26. Arenaza-Urquijo EM, Landeau B, La Joie R, Mevel K, Mezenge F, Perrotin A, et al. Relationships between years of education and

- gray matter volume, metabolism and functional connectivity in healthy elders. *NeuroImage*. 2013;83:450–7.
27. Marques P, Moreira P, Magalhaes R, Costa P, Santos N, Zihl J, et al. The functional connectome of cognitive reserve. *Hum Brain Mapp*. 2016;37:3310–22.
 28. Bolton DAE. The role of the cerebral cortex in postural responses to externally induced perturbations. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015;57:142–55.
 29. Jacobs JV, Horak FB. Cortical control of postural responses. *J Neural Transm*. 2007;114:1339.
 30. Quintana C, Heebner N, Picha K, Andrews M, Abt J, Hoch M. Test–Retest Reliability and Methodological Considerations of the Sensory Organization Test in Healthy Young Adults. *Athl Train Sports Health Care*. 2020:3928.
 31. Basta D, Todt I, Scherer H, Clarke A, Ernst A. Postural control in otolith disorders. *Hum Movement Sci*. 2005;24:268–79.
 32. Vanicek N, King SA, Gohil R, Chetter IC, Coughlin PA. Computerized dynamic posturography for postural control assessment in patients with intermittent claudication. *J Vis Exp*. 2013;(82):e51077.
 33. Weintraub S, Dikmen SS, Heaton RK, Tulskey D, Zelazo P, Bauer P, et al. Cognition assessment using the NIH Toolbox. *Neurology*. 2013;80 11 Suppl 3:S54–64.
 34. Sawilowsky S. New Effect Size Rules of Thumb. *J Mod Appl Stat Methods*. 2009;8:597–9.
 35. Portney LG, Watkins MP. *Foundations of clinical research: applications to practice*. 2015.
 36. Remaud A, Boyas S, Caron GA, Bilodeau M. Attentional demands associated with postural control depend on task difficulty and visual condition. *J Mot Behav*. 2012;44:329–40.
 37. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture*. 2002;16:1–14.
 38. Shumway-Cook A, Woollacott M. Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *J Gerontol*. 2000;55:M10–6.
 39. Leone C, Feys P, Moumdjian L, D’Amico E, Zappia M, Patti F. Cognitive-motor dual-task interference: A systematic review of neural correlates. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017;75:348–60.
 40. Yogev-Seligmann G, Hausdorff JM, Giladi N. The role of executive function and attention in gait. *Mov Disord*. 2008;23:329–42.
 41. Ketcham C, Cochrane G, Brown L, Vallabhajosula S, Patel K, Hall E. Neurocognitive Performance Concussion History, and Balance Performance During a Distraction Dual-Task in Collegiate Student-Athletes. *Athl Train Sports Health Care*. 2019;11:90–6.
 42. Kirkland MC, Wallack EM, Rancourt SN, Ploughman M. Comparing Three Dual-Task Methods and the Relationship to Physical and Cognitive Impairment in People with Multiple Sclerosis and Controls. *Mult Scler Int*. 2015;2015:650645.
 43. Wajda DA, Motl RW, Sosnoff JJ. Correlates of dual task cost of standing balance in individuals with multiple sclerosis. *Gait & Posture*. 2014;40:352–6.
 44. Varalta V, Picelli A, Fonte C, Amato S, Melotti C, Zatezalo V, et al. Relationship between Cognitive Performance and Motor Dysfunction in Patients with Parkinson’s Disease: A Pilot Cross-Sectional Study. *BioMed Res Int*. 2015;2015:365959.
 45. Park J-H, Kang Y-J, Horak FB. What Is Wrong with Balance in Parkinson’s Disease? *J Mov Disord*. 2015;8:109–14.
 46. Teel E, Gay M, Arnett P, Slobounov S. Differential Sensitivity Between a Virtual Reality Balance Module and Clinically Used Concussion Balance Modalities. *Clin J Sport Med*. 2016;26:162–6.
 47. Howell D, Oldham J, DiFabio M, Vallabhajosula S, Hall E, Ketcham C, et al. Single-Task and Dual-Task Gait Among Collegiate Athletes of Different Sport Classifications: Implications for Concussion Management. *J Appl Biomech*. 2017;33:24–31.