UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE PSICOLOGIA

CATARINA BOURLINOVA

Efeito de diferentes tipos de tarefa suprapostural em respostas posturais
reativas a uma perturbação mecânica

São Paulo

2015

CATARINA BOURLINOVA

Efeito de diferentes tipos de tarefa suprapostural em respostas posturais reativas a
uma perturbação mecânica

(Versão definitiva)

Dissertação apresentada ao Instituto de
Psicologia da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Mestre em Ciências

Área de concentração:
Neurociências e Comportamento

Orientador: Luis Augusto Teixeira

São Paulo

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catarina Bourlinova de Jesus Cunha Folha

Catálogo na publicação

Biblioteca Dante Moreira Leite

Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Bourlinova, Catarina.

Efeito de diferentes tipos de tarefa suprapostural em respostas posturais reativas a uma perturbação mecânica / Catarina Bourlinova de Jesus Cunha Folha; orientador Luis Augusto Teixeira. -- São Paulo, 2015.

58 f.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Psicologia. Área de Concentração: Neurociências e Comportamento) – Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.

1. Controle postural 2. Equilíbrio 3. Tarefa dual 4. Atenção
I. Título.

RA781.5

Nome: Bourlinova, Catarina

Título: Efeito de diferentes tipos de tarefa suprapostural em respostas posturais reativas a uma perturbação mecânica

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências

Aprovada em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Universidade de São Paulo. Por ter proporcionado, com a sua infra-estrutura física e com a infra-estrutura humana, aprendizados muito importantes, momentos inesquecíveis e possibilidades que me eram desconhecidas.

Aos meus pais, que me trouxeram ao mundo, que me mostraram o mundo.

À CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Ao prof. Dr. Luis Augusto Teixeira, orientador que me aceitou nesta universidade e que teve a paciência de corrigir expressões até de português de Portugal para português do Brasil.

Aos meus colegas de laboratório, Daniel Boari, Marina Brito Silva, Alessandra Martinelli, Andrea de Lima-Pardini, Joane Serpa, Leon Marques, Nametala Azzi, cujos trabalhos tive a sorte de observar e acompanhar. Obrigada pelo apoio, pelas palavras de incentivo, pela paciência, e pela amizade.

Ao meu companheiro de tantas aventuras, Ricardo de Paiva Marques.

“Ninguém caminha sem aprender a caminhar,
sem aprender a fazer o caminho caminhando,
refazendo e retocando
o sonho
pelo qual se pôs a caminhar...”

Paulo Freire

RESUMO

Bourlinova, C. (2015). *Efeito de diferentes tipos de tarefa suprapostural em respostas posturais reativas a uma perturbação mecânica*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Pouco se conhece ainda sobre as demandas atencionais necessárias para o equilíbrio em condições desafiantes, como em situação de postura perturbada. Respostas posturais podem ser influenciadas por tarefas supraposturais. Tarefas de estabilidade manual parecem induzir respostas posturais mais eficientes. Já as tarefas supraposturais cognitivas apresentam resultados incongruentes nos efeitos em tarefa postural perturbada. Este estudo procurou determinar os efeitos de realizar diferentes tipos de tarefa suprapostural nas respostas posturais reativas a uma perturbação mecânica. Vinte e cinco adultos jovens foram sujeitos a uma perturbação mecânica, com liberação de carga, imprevisível. Concomitantemente com essa tarefa postural, realizaram uma tarefa de estabilidade manual, que requeria segurar uma bandeja com cilindro, em uma de duas variantes: com superfície plana para baixo, ou com superfície redonda para baixo. Os participantes realizaram ainda uma tarefa cognitiva, de contagem decrescente de três em três. Essa tarefa foi desempenhada em conjunto com a tarefa dual descrita anteriormente e ainda de forma isolada.

A realização da multitarefa prejudicou o desempenho na tarefa cognitiva e também na tarefa postural. Foi observado maior número de erros e maior tempo médio para responder à tarefa cognitiva. Na tarefa postural foram encontradas diferenças nas estratégias motoras quando foi solicitada a tarefa cognitiva: maiores amplitudes de flexão articular no quadril e ombro, maior deslocamento linear do tronco, maior velocidade do tronco e da bandeja bem como menor magnitude do gastrocnêmio. Nesta condição os participantes também demoraram mais para reverter a oscilação anterior e assim retornar a uma posição mais estável. Assim a integração entre as tarefas não foi bem sucedida, por interferência nos processos e/ou recursos atencionais necessários para realizar as tarefas. É possível que tenha ocorrido afastamento de recursos atencionais do processamento de inputs sensoriais associados ao controle postural. Tal afetaria o central set, produzindo uma influência imprecisa nas respostas posturais à perturbação.

A tarefa manual produziu efeito positivo na tarefa postural. Observou-se que a condição de maior restrição da tarefa manual induziu uma resposta postural mais

eficiente, com menor amplitude articular do ombro, quadril e tornozelo. Verificou-se ainda que as medidas referentes à mobilização do tronco: amplitude linear, velocidade e verticalidade, bem como a velocidade da bandeja, também foram menores. Este estudo indica que o central set é elaborado a partir de restrições funcionais impostas por tarefas supra-posturais e consegue exercer algum controle na tarefa postural, mesmo com um processamento paralelo para realizar uma tarefa cognitiva. A competição entre os processos e\ou recursos para realizar as tarefas propostas no presente estudo afeta o equilíbrio, de forma negativa quando uma tarefa cognitiva está presente, e de forma positiva quando existe uma restrição funcional manual.

Palavras chave: controle postural, equilíbrio, tarefa dual, atenção

ABSTRACT

Bourlinova, C. (2015). *Effect of different suprapostural tasks on reactive postural answers to a mechanical perturbation*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Attentional demands on posture challenging conditions still present many questions. Postural answers can be influenced by suprapostural tasks. Motor tasks and, specifically, manual stability tasks induce more efficient postural answers. Cognitive suprapostural tasks present incongruent effects on perturbed posture. This study aimed to determine the effects of performing different suprapostural task types on reactive postural answers. Twenty five received a mechanical perturbation through unpredictable load liberation. Concurrently to this postural task, they performed a manual stability task, to hold a cylinder on a tray, with two variations: with the flat surface down or with the round surface down. Participants also performed a cognitive task, the n-back 3 task. This task was performed as a single task and concomitantly with the dual task. Performing multitask impaired cognitive and postural task performance. More errors and greater mean time to answer to the cognitive task were observed. At the postural task we found differences on motor strategies on the cognitive task condition: greater joint flexion at hip and shoulder, greater trunk linear displacement, greater trunk and tray velocity, as well as a reduction on gastrocnemius magnitude. At this condition we also found that the participants took longer to revert the anterior oscilation to return to a more stable position. Therefore the integration between tasks was successful, given the interference between the attentional processes and/or necessary resources to accomplish the tasks. It is possible that may have been withdrawal of attentional resources form the sensorial inputs processing associated with the postural control. That would affect central set, producing an inaccurate influence on postural answers to perturbation. Manual task produced positive effect on postural task. On the higher restriction condition it was found a more efficient postural answer, with less joint range on shoulder, hip and ankle. Additionally, the trunk variables: linear displacement, velocity and verticality, as well as tray velocity, also were inferior. This study indicates that central set is elaborated based on functional restrictions imposed by suprapostural tasks and it can influence postural task, even with a parallel processing in order to execute a concomitant cognitive task.

Competition between processes and/or resources to accomplish the proposed tasks affects balance, with negative results when a cognitive task is present, and with positive results when there is a manual restriction.

Keywords: postural control, balance, dual task, attention

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da posição inicial na realização da tarefa. Do lado esquerdo estão representadas as condições de baixa restrição (BR) e alta restrição (AR).....	31
Figura 2 - A. Centro de pressão anteroposterior; B. Velocidade da bandeja; C. Velocidade do tronco; D. Amplitude de flexão do quadril; E. Amplitude de flexão plantar do tornozelo; F. Magnitude de ativação do gastrocnêmio em relação ao momento de liberação de carga	36
Figura 3 - Valores médios de amplitude de CP para os grupos de baixa e alta restrição em função da realização da tarefa cognitiva.....	37
Figura 4 - Valores médios dos grupos BR e AR em função da tarefa cognitiva para (a) amplitude de deslocamento linear do tronco (b) velocidade linear do tronco e (c) velocidade de deslocamento da bandeja.....	38
Figura 5 - Valores médios dos grupos BR e AR em função da tarefa cognitiva para (a) tempo de reversão do CP e (b) tempo de reversão do tronco.....	39
Figura 6 - Coordenação articular dos participantes do grupo BR e AR, de acordo com o contexto sem tarefa cognitiva e com tarefa cognitiva. A. Amplitude de flexão do tornozelo. B. Amplitude de flexão do quadril. C. Coordenação entre tornozelo e quadril. D. Amplitude de flexão do ombro	40
Figura 7 - Latência e magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial, de acordo com o contexto sem tarefa cognitiva e com tarefa cognitiva, para o grupo AR e para o grupo BR.....	41

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
	2.1 Controle postural e respostas corretivas	16
	2.2 Integração entre tarefas duais: tarefa suprapostural cognitiva e motora	18
3.	OBJETIVO	28
4.	JUSTIFICATIVA	28
5.	HIPÓTESES	29
6.	MÉTODOS	30
	6.1 Participantes	30
	6.2 Tarefa e equipamentos	30
	6.3 Delineamento experimental	31
	6.4 Análise de dados	32
7.	RESULTADOS	35
8.	DISCUSSÃO	42
	8.1 Limitações	51
9.	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A realização de duas ou mais tarefas em simultâneo é uma capacidade humana. Nas últimas décadas tornou-se uma qualidade cada vez mais utilizada, tomando como exemplos segurar um objeto enquanto caminhamos, comer (mastigar) enquanto lemos, entre muitas outras possibilidades. Dentre as diversas tarefas duais comuns no dia-a-dia, as que envolvem a manutenção do nosso equilíbrio são particularmente importantes. A habilidade de manter o equilíbrio e a orientação na postura ereta é crucial para a nossa mobilidade e autonomia.

A realização de tarefa dual é um assunto que continua a levantar muitas questões. Estudos com tarefas duais observaram prejuízo no desempenho de tarefa postural (Kerr, Condon, & McDonald, 1985; Maylor & Wing, 1996; Rankin, Woollacott, Shumway-Cook, & Brown, 2000; Vander Velde & Woollacott, 2008). Tais estudos foram realizados na sua maioria em condição estática ou em posturas que auto-induziam um desafio, como a posição *tandem* (Vander Velde & Woollacott, 2008; Berger & Bernard-Demanze, 2011). Na pesquisa de literatura realizada foram encontrados em muito menor quantidade estudos que se debruçassem sobre tarefas duais com uma tarefa postural de caráter dinâmico e extrínseco. É necessário ampliar o conhecimento dos processos envolvidos na tarefa dual com perturbação ao equilíbrio gerada externamente. São frequentes as situações de movimento da base de suporte e que obrigam a uma resposta postural rápida, como por exemplo ficar de pé no trem ou ônibus ou ainda quando ocorrem modificações no terreno da base de suporte quando se caminha. Pouco se conhece da neurofisiologia associada às respostas posturais necessárias nessas situações. Porém, reconhece-se que para além dos centros subcorticais, o córtex motor tem uma participação no controle postural. Essa participação parece ser ajustada de acordo com instabilidade postural (Beloozerova et al., 2003; Solopova, Kazennikov, Deniskina, Levik, & Ivanenko, 2003). Jacobs (2014) coloca que o envolvimento do córtex cerebral durante a fase de resposta inicial parece incidir mais na priorização de sinergias baseadas em características contextuais conhecidas antes da perturbação e geradas subcorticalmente. Porém, o córtex pode participar diretamente na modificação das fases tardias de resposta para melhorar a eficácia da resposta (Jacobs, 2014).

Os estudos com tarefa dual permitem aprofundar o conhecimento dos processos responsáveis pelo controle do equilíbrio, ao inferirem nas modificações que se encontram no desempenho, em situação de tarefa isolada e de tarefa dual. Os processos cognitivos responsáveis pelo desempenho de cada tarefa podem estabelecer relações entre si. Se, ao comparar o desempenho de uma tarefa realizada isoladamente com o desempenho da mesma tarefa realizada concomitantemente com outra, ocorre um prejuízo no desempenho de uma das tarefas, é porque possivelmente está ocorrendo interferência entre os processos necessários à execução dessas tarefas. Nesse caso pode-se interpretar como tendo havido uma competição entre os processos e/ou recursos atencionais. Esse é o caso de diversos resultados de pesquisas que utilizaram tarefa suprapostural cognitiva concomitante com tarefa de equilíbrio (Rankin et al., 2000; Brauer, Woollacott, & Shumway-Cook, 2001). O desempenho da tarefa cognitiva é significativamente reduzido sob condição de TD comparativamente a condição de tarefa isolada (Rankin et al., 2000) e este efeito é observado especialmente durante o período inicial pós-perturbação (até 250 ms) (Redfern, Muller, Jennings, & Furman, 2002). Importa referir que a literatura que avalia tarefas supraposturais cognitivas também relata resultados de diminuição de oscilação postural em condição de tarefa dual (Redfern, Jennings, Martin, & Furman, 2001; Dumas, Rapp, & Krampe, 2009; Berger & Bernard-Demanze, 2011).

Se ocorre melhoria em uma das tarefas e prejuízo na segunda, é possível que se trate de uma ação de priorização que culmina com melhor desempenho na primeira tarefa. A priorização da tarefa postural indica alocação da atenção para esta tarefa. Brown, Sleik, Polych e Gage (2002) verificaram que adultos idosos alocam recursos para o controle postural, com custo para o desempenho cognitivo. Eles selecionam a tarefa mais importante, particularmente quando a complexidade da tarefa postural aumenta (Lajoie, Teasdale, Bard, & Fleury, 1996; Brown, Sleik, Polych, & Gage, 2002). Na pesquisa de Brown et al. (2002), determinou-se para esse estudo em específico a priorização como a situação em que o controle postural melhorou, por se verificar redução na área de centro de pressão, e o desempenho na tarefa voluntária de Brooks foi inferior.

Quando, ao realizar uma tarefa dual, se observa melhoria em ambas as tarefas, é coerente assumir uma relação entre os recursos e/ou processos cognitivos responsáveis pela realização das tarefas. É possível que recursos e/ou processos

responsáveis por uma tarefa de alguma forma auxiliam no desempenho na segunda tarefa. Este é o caso de pesquisas com tarefa dual que investigaram uma tarefa primária postural e uma tarefa secundária voluntária de caráter predominantemente motor (Kubicki, Petrement, Bonnetblanc, Ballay & Mourey, 2011; Elion, Bahat & Siev-Ner, 2013). Tarefas voluntárias como apontar para um alvo (Kubicki et al., 2011; Elion et al., 2013), equilibrar um taco de madeira no dedo (Cluff, Gharib, & Balasubramaniam, 2010) ou segurar uma bandeja com um objeto (Morioka, Hiyamizu, & Yagi, 2005; de Lima, de Azevedo Neto, & Teixeira, 2010; podem se beneficiar com melhor desempenho quando realizadas com outra tarefa, nomeadamente a tarefa de manutenção da postura ereta. Assim, a atenção alocada para o sucesso do desempenho da tarefa manual permitiu melhor desempenho postural, e esse melhor desempenho postural contribuiu para melhorar o desempenho na tarefa de estabilidade manual. A relação de duplo sentido permite uma regulação da tarefa postural adaptada às características da tarefa suprapostural. Quando essa tarefa suprapostural de caráter motor apresenta um determinado foco externo, relevante para a tarefa, o desempenho nessa tarefa é estabilizado ou melhora (Stoffregen, Pagulayan, Bardy, & Hettinger, 2000; Morioka et al., 2005; de Lima et al., 2010; Kubicki et al., 2011; Elion, Bahat & Siev-Ner, 2013). O foco externo parece diminuir a interferência entre os processos cognitivos responsáveis pela realização de tarefas de caráter predominantemente motor (Wulf, (Wulf, McNevin & Shea, 2001).

Na literatura verifica-se uma lacuna na comparação entre tipos diferentes de tarefas supra-posturais, nomeadamente entre uma tarefa voluntária de caráter predominantemente cognitivo e outra com características predominantemente motoras, no desempenho da tarefa postural. O presente estudo foi idealizado para avaliar os efeitos desses dois tipos de tarefas supra-posturais, combinando a tarefa de recuperação de equilíbrio com tarefas que requisitam recursos cognitivos e motores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Controle postural e respostas corretivas

O controle do equilíbrio é servido por múltiplos sistemas, que incluem o sistema vestibular, visual e somatossensorial (Horak e Nashner 1986; Horak et al. 1988). As informações desses sistemas são integradas e processadas de acordo com variados fatores, como a tarefa e o ambiente (Horak, 2006; Shumway-Cook & Woollacott, 2007), instruções, movimentos do corpo, antecipação ou expectativa (Stoffregen & Riccio, 1988; Diener, & Nashner, 1989). A integração dos inputs sensoriais é um processo dinâmico contínuo que é adaptável, como se observa em mudanças de tentativa para tentativa ou ao longo de prática (Horak, 1996; Tang, Woollacott, & Chong, 1998; Chong, Jones, et al., 1999).

Em caso de perturbação previsível, seja auto-induzida ou não, ocorrem ajustes no corpo antes do movimento se iniciar que se refletem a nível cinético e cinemático (Krishnan, Latash, & Aruin, 2012). Belen'kii, Gurfinkel e Paltsev (1967) descreveram os ajustes posturais antecipatórios como reguladores da ativação ou inibição de músculos no tronco e membros inferiores, antes da perturbação em si. Porém, um “julgamento” impreciso para realizar os ajustes posturais antecipatórios, ou processos antecipatórios prejudicados, bem como ainda as situações de perturbação imprevisível ao equilíbrio, carecem de ajustes posturais corretivos. Estes são reações compensatórias, posteriores ao início do movimento, direcionados para recuperar o equilíbrio e orientação e baseiam-se em informações dos sistemas sensoriais sobre a execução desse movimento (Fasano, Plotnik, Bove, & Berardelli, 2012).

No que se refere em particular ao controle postural corretivo, numerosas vias ao nível espinal e supraespinal servem o controle postural e constituem reflexos elementares e sinergias base, que são os fundamentos para respostas rápidas a perturbações corporais. Estes reflexos e sinergias fornecem um controle contínuo dos movimentos corporais, por meio de alças de feedback sensoriomotor, destinadas a manter certo estado de equilíbrio. Sabe-se que as respostas finais para evitar a queda são respostas musculares de latência curta, para conseguir reverter o desequilíbrio do centro de massa, e que são primariamente ativadas por inputs somatossensoriais do tornozelo e de músculos associados (Nashner & McCollum, 1985). A latência das respostas posturais corretivas é menor do que a de respostas

voluntárias e maior do que a latência de respostas automatizadas como o reflexo de estiramento (Chan, Jones & Catchlove, 1979; Taube et al., 2006). Das conexões de longa latência fazem parte ligações a áreas motoras. Estudos que utilizaram estimulação magnética transcraniana procuraram deixar mais explícito o papel do córtex motor durante resposta postural compensatória. Verificou-se participação de vias corticoespinais diretas para a compensação na postura perturbada (Taube et al., 2006) e durante a marcha (Christensen, Andersen, Sinkjaer, & Nielsen, 2001), com latências de resposta longa de cerca de 86 ms, interferindo no músculos solear e tibial anterior. Por meio de pesquisas com modelos animais (Beloozerova et al., 2003) e ainda de estimulação magnética transcranial em humanos (Solopova et al., 2003) verificou-se que o papel do córtex motor no controle de equilíbrio muda com o aumento da instabilidade. A estes dados se junta a pesquisa de Dimitrov, Gavrilenko, & Gatev (1996), que demonstrou aumento da magnitude de N1 em base de suporte estreita, comparado a condições com base de suporte normal ou alargada. Adkin, Quant, Maki e McIlroy (2006) afirmam ainda que o processamento ao nível do córtex pode mudar ou se tornar desnecessário, se as características associadas com uma perturbação ao equilíbrio são conhecidas.

Estudos prévios revelaram que, após uma perturbação de equilíbrio imprevisível, ocorrem respostas corticais com vários componentes. Nomeadamente envolvem um pequeno potencial positivo, denominado resposta P1, seguido de um potencial negativo, chamado de resposta N1. A resposta inicial, P1, mais rápida, parece ser uma representação sensorial primária da perturbação ao equilíbrio. Essa hipótese foi colocada por a magnitude dessa resposta não apresentar diferença entre condições de perturbação ao equilíbrio previsível ou imprevisível (Adkin, Quant, Maki, & McIlroy, 2006). A resposta N1 é mais distribuída, com localização da resposta máxima na região fronto-central do córtex, ocorre 100-200 ms após a perturbação. Foi sugerido que essa resposta representa o processamento cortical de perturbações de equilíbrio nos centros motores supra-espinais, especificamente o influxo sensorial e processamento posterior da informação para a coordenação das respostas de equilíbrio complexas (Dietz, Quintern, & Berger, 1984, 1985). A resposta N1 pode ser modificada pela idade do sujeito (Duckrow, Abu-Hasaballah, Whipple, & Wolfson, 1999), largura da base de suporte (Dimitrov et al., 1996), magnitude da perturbação (Staines, McIlroy, & Brooke, 2001), estímulos periféricos concorrentes (Staines et al., 2001) e tarefa cognitiva concomitante (Quant, Adkin,

Staines, Maki, & McIlroy, 2004). Adkin et al. (2006) sugerem que esse potencial negativo, N1, é dependente de uma dissociação entre o estímulo esperado e o real, em vez de um estado central de tonicidade, definido pelas condições da tarefa. Desta forma, o sinal de N1 pode estar relacionado com a detecção de erro (Adkin et al., 2006).

Para a recuperação de equilíbrio são utilizadas estratégias motoras, como a do tornozelo quando a base de suporte larga ou a do quadril e do passo quando a base de suporte é mais estreita (Nashner & McCollum, 1985). Estudos mais recentes identificaram uma combinação das participações articulares para a recuperação de equilíbrio, propondo uma gama de respostas que tem em um dos extremos a estratégia do quadril e em outro extremo a estratégia do tornozelo.

2.2 Integração entre tarefas duais: tarefa suprapostural cognitiva e motora

No dia-a-dia, o sistema nervoso central (SNC) encarrega-se de manter o equilíbrio corporal e de atingir objetivos supraposturais. A designação suprapostural é relativa a uma ação voluntária e concomitante a uma tarefa postural. Esses objetivos podem ter caráter mais puramente cognitivo, como tarefas de tempo de reação, de identificação de mudanças em imagens sucessivas ou ainda de contagem decrescente, por exemplo. Outro tipo de tarefas supraposturais muito necessárias e frequentes são as tarefas de caráter mais especificamente motor. Por a realização de várias tarefas em simultâneo ser tão usual, adiciona um desafio ao SNC para a manutenção da estabilidade postural e para o sucesso da tarefa suprapostural. Avaliar as demandas atencionais de tarefas posturais e de tarefas duais pode permitir inferir como são estruturadas e geridas as respostas às diferentes demandas.

Uma questão que tem se colocado com frequência é se a divisão de atenção ou alguma modificação dos processamentos atencionais quando se realiza tarefa dual, afeta o nível do desempenho postural, e de que formas isso ocorre. Uma forma de responder é comparar o nível de desempenho basal, isto é, da tarefa postural realizada de forma isolada, com o desempenho quando realizada concomitantemente com uma tarefa suprapostural. De acordo com Schmidt (1982), se duas tarefas podem ser realizadas simultaneamente bem como individualmente,

então pelo menos uma delas não requer atenção ou uma porção de capacidade limitada. Por outro lado, se uma tarefa é realizada menos bem em combinação com outra tarefa, então se pensa que ambas requerem atenção. Desta forma é definido ser atencionalmente exigente em função de resultados de interferência entre tarefas.

Os custos de tarefa dual parecem resultar geralmente em uma diminuição dos níveis de desempenho obtidos quando a tarefa é realizada de forma isolada. O primeiro estudo a demonstrar demanda atencional no controle postural em adultos jovens foi realizado por Kerr, Condon, & McDonald (1985). Nesse estudo pretendia-se saber se uma tarefa de equilíbrio desafiante iria interferir com tarefas cognitivas. Foram selecionadas duas tarefas cognitivas, que requeriam recursos distintos: uma tarefa de memória espacial e uma tarefa de memória verbal. Na tarefa de caráter espacial, era pedida a realização do teste de Brooks, em que se colocam números em matrizes imaginárias e depois se lembra a posição desses números. A tarefa de memória verbal envolvia lembrar frases similares. Os participantes ficaram vendados, na posição *tandem* do teste de Romberg. Verificou-se que realizar a tarefa de memória espacial concomitantemente com a tarefa postural causou um aumento no número de erros nessa tarefa cognitiva. Com a tarefa de memória verbal não houve esse efeito e não foram encontradas diferenças significativas no desempenho postural em qualquer das tarefas cognitivas. Com esse estudo, começou-se a pensar sobre a dificuldade de alocar atenção para várias tarefas, entre elas o controle da postura.

Estudos subsequentes colocaram em evidência a importância da atenção para o controle postural, ao observarem os efeitos da interferência entre os processos cognitivos para a realização de cada tarefa. Foram encontrados efeitos no desempenho cognitivo (Andersson, Yardley, & Luxon, 1998; Brauer et al., 2001; L A Brown, Shumway-Cook, & Woollacott, 1999; Shumway-Cook & Woollacott, 2000), bem como efeitos no controle postural, nomeadamente maior oscilação postural ou maior variabilidade da mesma (Brauer et al., 2001; Vander Velde & Woollacott, 2008; Little & Woollacott 2014) . De entre os efeitos no desempenho da tarefa cognitiva, o tempo de reação é uma variável frequentemente analisada e que apresenta valores maiores em situação de tarefa dual (Redfern et al., 2001, 2002). O número de erros também aumenta quando é solicitada uma tarefa postural concomitantemente (Chong et al., 2010; Doumas et al., 2009; Pellecchia, 2003).

Para compreender as pesquisas que encontraram prejuízos de desempenho, por provavelmente ocorrer a interferência no controle de uma das tarefas quando são realizadas duas tarefas simultaneamente, foram propostas algumas explicações. Kahneman (1973) e Ackerman, Schneider e Wickens (1984) propuseram uma visão de interferência em tarefa dual como advinda da partilha paralela de conjunto limitado de recursos, com propósitos gerais ou estruturas especializadas. Assim, quando as demandas combinadas das tarefas excedem o suprimento de recursos, a nível central ou particular, observa-se prejuízo do desempenho em uma das tarefas, ou em ambas. Outra teoria para explicar prejuízos de desempenho decorrentes de contexto dual é chamada de *bottleneck*. Nessa teoria existe a preposição que o processo de tarefa dual é sequenciado, com um possível agendamento de informações na codificação de estímulos (Welford, 1952), identificação (Deutsch & Deutsch, 1963) ou estágios de decisão e resposta (Pashler, 1994). Quando tais fontes de interferência ocorrem, o sistema nervoso poderia adiar operações em uma tarefa em favor de operações na tarefa prioritária, resultando em desempenho inferior na tarefa não prioritária. Outra posição defende que diferentes pares de tarefas interferem por razões específicas (Treisman, Davies, 1973). Por outro lado, é possível que as tarefas duais não sejam ações independentes, mas antes combinadas no planejamento da ação. Dessa forma, com a prática é possível haver a coordenação entre as tarefas (Meyer, 1995).

Algumas pesquisas encontraram melhor desempenho na tarefa postural em situação de tarefa dual (Berger & Bernard-Demanze, 2011; Weeks, Forget, Mouchnino, Gravel, & Bourbonnais, 2003) ou ainda ausência de efeito de tarefa dual quer no desempenho cognitivo quer no desempenho postural (Dault, Frank, & Allard, 2001). Weeks et al. (2003) realizaram um estudo que mostrou um efeito positivo de tarefa cognitiva no desempenho na manutenção da postura estática, mas apenas na excursão mediolateral do centro de pressão, comparativamente a um contexto com tarefa secundária motora. A tarefa cognitiva era cálculo aritmético e a tarefa motora consistia em realizar uma pinça com os dedos por 30 segundos. Porém, nesse estudo a tarefa cognitiva era mensurada pelos acertos e, pelos dados apresentados, a porcentagem de acertos era sempre superior a 90%. Desta forma, parece questionável a eficácia da avaliação da tarefa cognitiva e da sua utilização para promover um desafio acrescido ao controle postural. É de se notar ainda nesse estudo que foi avaliada uma condição *trial*, com execução simultânea de tarefa

motora, cognitiva e postural, e que nesse contexto não houve uma tendência de maior excursão de centro de pressão, quer anteroposterior quer mediolateral, comparado aos resultados das duas combinações de tarefa dual. Tal pode-se dever a distribuição de recursos atencionais e de processamento suficiente para atender às demandas impostas. Assim, parece ser importante a escolha das tarefas para poder analisar com alguma precisão possíveis efeitos de interferência entre tarefas. O estudo de Kerr et al. (1985) já tinha levantado essa interessante questão: a demanda atencional varia em função do tipo de tarefa cognitiva a ser realizada?

Ao buscar os efeitos de tarefa dual no controle postural, Pellecchia (2003) procurou fornecer uma condição postural desafiante, postura ereta sobre superfície maleável. Foram comparados os efeitos de três tipos de tarefa cognitiva no desempenho postural: inversão de algarismos, classificação de algarismos e contagem decrescente de três em três. A tarefa de contagem crescente foi a que causou maior oscilação postural. Esta pesquisa verificou que a oscilação postural durante a postura estática em superfície maleável foi maior quando a dificuldade da tarefa cognitiva concorrente aumentou. Este achado apoia a ideia de que a cognição e o desempenho motor estão relacionados. Considerando do ponto de vista de uma perspectiva de atenção orientada para a ação, pode ser o caso que a integração das tarefas se torne mais desafiante conforme as demandas atencionais dos componentes das tarefas aumentam (Pellecchia, 2003).

O tipo de tarefa cognitiva pode ter relação com a sua capacidade de interferir com outra tarefa, nomeadamente com o controle postural. Embora exista um relato que observou prejuízo no desempenho da tarefa postural tanto com tarefas supraposturais espaciais quanto de outros tipos (Dault, Geurts, Mulder, & Duysens, 2001), tarefas do tipo espacial parecem interferir mais com o controle postural que uma tarefa de memória verbal (Kerr et al., 1985; Maylor & Wing, 1996) ou que tarefas auditivas ou visuais (Vander Velde & Woollacott, 2008). Uma pesquisa de 2015 avaliou, por meio de eletroencefalograma, entre outras medidas, uma tarefa dual que consistia em uma tarefa visuo-espacial e uma tarefa de recuperação de equilíbrio. Os resultados reforçam a ideia que tarefas visuo-espaciais interferem com o processamento necessário para a recepção e interpretação das informações sensoriais aferentes (Little e Woollacott, 2015).

O objetivo de um estudo recente foi determinar a interação entre uma tarefa de memória de trabalho e o controle automático da postura. Na tarefa postural havia

translações posteriores da plataforma de força e era pedido aos participantes que realizassem uma tarefa de memória de trabalho visual, que requeria identificação de mudanças em apresentações sucessivas de imagens. Eram necessárias capacidades de armazenamento de informação para realizar a tarefa cognitiva. Foram observados prejuízos quer na tarefa cognitiva quer na tarefa postural, quando realizadas concomitantemente. Houve uma redução significativa na memória de trabalho visual na postura perturbada. Observou-se ainda um aumento na área e no deslocamento de centro de pressão (Little & Woollacott, 2014). Essa pesquisa utilizou uma tarefa postural mais desafiante que a postura estática. Alguns autores têm sugerido que à medida que aumenta a demanda postural, a demanda por recursos atencionais aumenta também (Lajoie et al., 1996). Verificou-se nesse estudo uma partilha de recursos atencionais, com prejuízos quer na tarefa cognitiva quer na tarefa postural.

Uma das tarefas cognitivas mais utilizadas para avaliar desempenho em tarefa dual, a contagem decrescente (L A Brown et al., 1999; Chong et al., 2010; Dumas et al., 2009; Pellecchia, 2003; Rankin et al., 2000), envolve funções executivas de memória de trabalho. Um interessante estudo utilizou esta tarefa suprapostural e hipotetizou que em situação de tarefa dual iria ocorrer uma diminuição da atenção para a recuperação postural, que seria caracterizada como uma redução na amplitude muscular ou na latência muscular. A tarefa primária consistia em resistir a perturbações da base de suporte, por meio de translações discretas da plataforma móvel na direção posterior e a tarefa secundária era uma tarefa matemática, realizada antes e concomitante à perturbação postural. Os resultados do estudo mostraram uma diminuição na amplitude de ativação dos músculos gastrocnêmio e tibial anterior, agonista e antagonista respectivamente, na condição de tarefa dual. Estes dados permitem inferir que houve menos recursos atencionais disponíveis para manutenção do equilíbrio (Rankin et al., 2000).

No que se refere a pesquisas prévias com tarefas duais cujas tarefas supraposturais eram de caráter cognitivo, parece que na maioria dos estudos houve prejuízo na tarefa postural e na tarefa cognitiva com a realização de tarefa dual. Há uma carência de estudos com postura perturbada que avaliem de forma compreensiva os efeitos de tarefa dual e observem se ocorre modificação das respostas posturais, nomeadamente no central set.

De maneira usual realizamos também tarefas duais cuja tarefa suprapostural é de caráter predominantemente motor. O controle postural está intimamente envolvido com objetivos supraposturais de percepção-ação, como, por exemplo, orientar o corpo relativamente ao meio para realizar tarefa de apontar (Kubicki et al., 2011), ou direcionar a cabeça (Stoffregen et al., 2000) entre muitas possibilidades. Tarefas supraposturais de caráter motor requerem uma execução motora adequada para que sejam bem-sucedidas. No estudo dos fatores que interferem no desempenho da tarefa motora, surgiu a teoria de ação restrita. A teoria de ação restrita para o desempenho motor prevê diminuição da variabilidade e aumento da frequência de componentes quando o foco atencional é externo e relevante para a tarefa. Com foco interno espera-se o inverso na variabilidade e frequência. Essa teoria propõe que a atenção dedicada à execução do movimento interrompe a automaticidade do desempenho (McNevin & Wulf, 2002; Wulf & Prinz, 2001; Wulf, McNevin, & Shea, 2001). O desempenho, definido em termos de estabilidade ou variabilidade estatística da execução motora, é dependente da atenção estar direcionada para a execução motora ou para o resultado. Desta forma, um achado comum é que o foco externo, definido como atenção voltada para o resultado motor, estabiliza o desempenho. Por outro lado, o foco interno, em que a atenção é voltada para a execução motora, inibe o desempenho e a aprendizagem (Shea & Wulf 1999). Pensa-se que o efeito estabilizador do foco externo é devido à minimização de interferência entre intervenção consciente e a automaticidade do desempenho motor. Assim o sistema motor auto organiza-se mais efetivamente (Wulf et al., 2001). A automaticidade motora é corroborada pelos achados de tempo menor de reação (Siu e Woollacott, 2007) o que sugere que a competição por recursos atencionais é reduzida quando o foco de atenção é externo (Wulf & Prinz, 2001). O foco interno compromete o desempenho ao restringir na biomecânica graus de liberdade que contribuem para a execução motora (McNevin & Wulf, 2002).

Uma pesquisa de Cluff, Garib e Balasubramaniam (2010) objetivou avaliar se duas variantes de foco externo, uma relevante para a tarefa e outra irrelevante para a tarefa influenciavam a estabilidade corporal e o movimento do dedo indicador. Os participantes equilibraram um taco de madeira no dedo indicador. O foco interno foi implementado através das instruções, de minimizar os deslocamentos do dedo. O foco externo relevante para a tarefa foi dado pela instrução de minimizar o desvio do taco da posição vertical. Foi ainda dado um foco externo, irrelevante para a tarefa

motora, através da realização concomitante de uma tarefa cognitiva aritmética. Verificou-se que a estabilidade do desempenho postural e suprapostural é dependente do foco atencional para o equilíbrio. As trajetórias do centro de pressão e do dedo indicador foram menos variáveis quando o equilíbrio do taco foi realizado com carga cognitiva concomitante. Desta forma, a carga cognitiva teve um efeito estabilizador, sobretudo na trajetória do dedo, que teve aproximadamente metade da variabilidade nesse contexto, comparado aos outros contextos. Os dados sugerem que o limiar dinâmico para o deslocamento do dedo muda em função do foco atencional. Nesse estudo foi ressaltado que participantes sem experiência na tarefa teriam menos probabilidade de se beneficiarem de uma tarefa com foco externo e irrelevante, provavelmente devido à complexidade da tarefa manual.

Outros estudos observaram também o efeito estabilizador do foco externo, como Stoffregen et al. (2000) e Hunter e Hoffman (2001). No estudo de Stoffregen et al. (2000) os resultados indicaram que na condição de pesquisa visual a oscilação postural diminuía, sobretudo no alvo mais próximo, o que parece ser devido a uma regulação que permitiria facilitar a pesquisa visual em si (Stoffregen et al., 2000). Pesquisas que recorreram a foco externo em um objeto que devia ser segurado (Morioka et al., 2005; de Lima et al., 2010; Asai, Misu, Doi, Yamada, & Ando, 2014) também verificaram vantagem na tarefa de controle postural. Uma pesquisa de 2005 avaliou se a oscilação postural seria influenciada por uma tarefa secundária de estabilização manual: segurar uma bandeja com um copo cheio de água e evitar que derrame. A hipótese era que a tarefa manual iria redirecionar a atenção para a bandeja, procurando mantê-la o mais horizontal possível por meio de menor oscilação postural. Os participantes foram avaliados na postura ereta com os pés juntos e na posição *tandem* de Romberg, em três tarefas secundárias: segurar um objeto de 100 g em cada mão; segurar com as duas mãos uma bandeja de 200 g; e segurar com as duas mãos uma bandeja com um copo de água. As instruções dadas eram para prestar atenção na tarefa postural (ficar o mais quieto possível), e na situação de tarefa manual com o copo de água, para não deixar derramar a água. A oscilação postural foi reduzida durante a tarefa de segurar a bandeja com o copo, comparativamente às outras tarefas supraposturais, em ambas as tarefas posturais (Morioka et al., 2005). A integração entre as tarefas foi específica para cada combinação de tarefa dual. Verificou-se uma alça de mão dupla, porque a execução desejada da tarefa motora suprapostural com maior nível dificuldade permitiu um

desempenho melhor na tarefa postural. Stoffregen et al. (2000) sugerem que a precisão da estabilidade postural pode ser uma função do grau de estabilidade necessário para a realização de uma dada tarefa suprapostural. Assim, parece possível entrever um movimento postural diferente entre diferentes tarefas supraposturais. As diferenças seriam relacionadas (e adaptadas) às restrições impostas pelas tarefas (Stoffregen et al., 2000). O contexto de restrição no estudo de Morioka et al. (2005) induziu uma resposta pelo SNC que se traduziu em limites mais estreitos para a oscilação postural.

De acordo com Collins e De Luca (1994), o SNC normalmente permite movimentos do centro de gravidade dentro de certos limites na postura ereta estática. Esses limites podem ser afetados pela presença de tarefas secundárias. Quando não existem tarefas secundárias para cumprir, pode ser seguro deixar o sistema variar mais a posição do centro de gravidade, que numa situação com restrições impostas por uma tarefa secundária. A tarefa suprapostural pode restringir o nível de oscilação postural aceitável, fornecendo um mecanismo de segurança no período em que a atenção é dada a outra tarefa (Collins, De Luca, 1994). A restrição imposta pela tarefa suprapostural pode ser maior de acordo com o tipo desta.

Na visão do modelo de seleção, otimização e compensação (SOC), originalmente proposto por Baltes e Baltes (1990; Baltes, 1997), existem três processos de domínio através de alocação de recursos sensíveis para a tarefa e contexto (Baltes, 1987; Baltes, Lindenberger, & Staudinger, 2006; Krampe & Baltes, 2003). O primeiro, a seleção, é referente a uma distribuição da energia em um subdomínio de objetivos ou domínios funcionais, em vez de distribuir a energia em diversas áreas. A otimização refere-se a situações em que os meios são aplicados para atingir funcionamento ótimo ou resultados desejados, e os recursos são alocados e especializados para atingir os resultados desejados. A compensação é relevante na gestão de perda de recursos e descreve a substituição de meios ou o uso de meios alternativos para manter um dado nível de funcionamento (por exemplo usar uma muleta após um acidente) (Schaefer, Kramp, Lindenberger, Baltes, 2008). No trabalho de De Lima-Pardini (2013) foram observados resultados que parecem indicar um processo de otimização.

De Lima-Pardini et al. (2012) é um trabalho do nosso grupo de pesquisa com elementos em comum com o estudo que se pretende desenvolver. Na tarefa primária foram avaliadas as respostas posturais a uma perturbação externa

imprevisível. A esta tarefa juntava-se a realização simultânea de uma tarefa voluntária de estabilidade manual de um cilindro sobre uma bandeja. O cilindro podia estar apoiado na sua superfície plana (o que representava uma situação de baixa restrição) ou apoiado na sua superfície curva (que representava alta restrição). Era pedido aos participantes que mantivessem o olhar no cilindro e que procurassem mantê-lo o mais quieto possível ao longo da tentativa. Os resultados mostraram que os participantes mantiveram a bandeja mais estável no contexto de alta restrição, em conjunto com maior estabilidade postural. Os autores concluíram que os níveis superiores de controle do sistema nervoso influenciaram os ajustes posturais reativos, controlados automaticamente. Desta forma, as repostas posturais reativas apresentaram características flexíveis, e provaram que podem ser alteradas de acordo com a restrição da tarefa voluntária (De Lima-Pardini et al., 2013). Já se sabia que as funções cognitivas superiores associadas com expectativa (Horak, Diener, & Nashner, 1989) e intenção (McIlroy & Maki, 1993) afetam respostas musculares quando a estabilidade postural é ameaçada. Porém, com o conhecimento da direção e magnitude verificou-se a partir de de Lima et al., (2010) que há diferenças nas respostas à perturbação, como diminuição da latência da atividade muscular postural e modificação da contribuição de diferentes articulações na condição de alta restrição, apenas quando a direção da translação da plataforma era conhecida, isto é, quando mudanças no central set eram possíveis.

3 OBJETIVO

O objetivo do presente projeto é avaliar os efeitos de realizar tarefas supraposturais simultaneamente com a recuperação do equilíbrio corporal após perturbação mecânica imprevisível, tendo as tarefas supraposturais demandas cognitiva ou motora.

4 JUSTIFICATIVA

O presente estudo foi direcionado a investigar possíveis efeitos atencionais de dois tipos de tarefa suprapostural comuns no dia-a-dia. A integração entre uma tarefa postural primária e tarefa suprapostural manual ou cognitiva já foram exploradas, mas na postura quieta. Na literatura encontra-se reduzido número de estudos que avaliam tarefas motoras supraposturais com tarefa primária de perturbação mecânica imprevisível. É necessário ampliar o conhecimento dos processos atencionais envolvidos na tarefa dual com perturbação mecânica de equilíbrio. São frequentes as situações de movimento da base de suporte, que obrigam a uma resposta postural rápida.

Ainda se desconhece como são direcionados os recursos cognitivos, quando são solicitadas respostas rápidas de recuperação de equilíbrio e existem imposições funcionais de tarefas voluntárias.

5 HIPÓTESES

As hipóteses formuladas para este estudo são as seguintes:

1. Tarefa postural induz prejuízo do desempenho na tarefa suprapostural cognitiva.
2. Tarefa suprapostural manual de alta restrição induz respostas reativas mais bem adaptadas a uma perturbação mecânica, com menor movimentação do corpo.
3. Tarefa suprapostural cognitiva causa respostas reativas menos adaptadas a uma perturbação mecânica, com tempo de resposta mais longo e maior movimentação do corpo.

6 MÉTODOS

6.1 Participantes

Participaram deste experimento 25 adultos de ambos os sexos, com idades entre 18 e 36 anos ($M= 22,8$, $DP=4,3$). Os participantes declararam ser saudáveis, sem história de doenças neurológicas ou musculoesqueléticas, ou consumo de medicamentos, que pudessem interferir nos resultados. Foram excluídos 3 participantes por não conseguirem realizar a tarefa cognitiva simultaneamente com a tarefa de estabilidade manual e de resposta postural reativa. Os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido e o presente projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética local.

6.2 Tarefa e equipamentos

Para avaliar a recuperação do equilíbrio corporal com execução simultânea de tarefas supraposturais, foi pedido aos participantes que, em postura ortostática, sustentassem de forma equilibrada um cilindro sobre uma bandeja durante perturbação mecânica do equilíbrio corporal. Os participantes ficavam descalços sobre uma plataforma de força (AMTI OR6-WP), com os pés paralelos e imóveis em posição confortável. Os braços foram mantidos em paralelo ao tronco e os cotovelos fletidos em 90° , segurando uma bandeja (30 X 40 cm, massa: 400 g). Os participantes tinham como objetivo manter estável um cilindro (diâmetro: 9,5 cm, altura: 5 cm, massa: 124 g) no centro da bandeja em cada tentativa, mantendo o olhar fixo no cilindro. Um dispositivo eletromagnético de liberação de carga foi acoplado por meio de um colete na região lombossacral. Na parte posterior (central) do colete foi acoplado o sistema de liberação de carga (Figura 1). O seu funcionamento depende da ligação, por meio de cabo de aço, a uma carga cujo peso era aproximadamente 10% do peso corporal do participante. A carga exercia tração horizontal posterior, no tronco do participante. A liberação da carga era feita sob incerteza temporal. Foram registradas as mobilizações articulares por meio de sistema de 8 câmeras Vicon Nexus (modelo MX3+). Os sinais da plataforma de força e de cinemática foram adquiridos por meio de placa de aquisição (National

Instruments). Foi ainda registrada eletromiografia (Delsys Trigno Wireless EMG System) e voz por meio de gravador (Sony IC Recorder).

Figura 1: Representação da posição inicial na realização da tarefa. Do lado esquerdo estão representadas as condições de baixa restrição (BR) e alta restrição (AR) correspondentes às posições do cilindro sobre a bandeja, respectivamente com a face plana ou arredondada voltada para baixo.

6.3 Delineamento experimental e procedimentos

O experimento foi realizado por meio da comparação de dois grupos: alta restrição (AR, $n = 11$), em que a tarefa de estabilização manual era realizada com a face circular do cilindro voltada para baixo; e baixa restrição (BR, $n = 12$), realizando a tarefa de estabilização manual com a face plana do cilindro voltada para baixo. Os grupos foram testados em dois contextos: com tarefa cognitiva ou sem tarefa cognitiva. A tarefa cognitiva consistia de contagem decrescente de três em três, começando em um número diferente a cada tentativa, sempre entre 100 e 200.

Inicialmente era realizada familiarização com a tarefa experimental, em 5 tentativas com perturbação de equilíbrio sem tarefa suprapostural. Na sequência, eram realizados 2 blocos de 5 tentativas em cada condição de tarefa cognitiva (com versus sem), com balanceamento da sequência de condições dentro de cada grupo. Para comparar posteriormente o desempenho na tarefa cognitiva durante a tarefa dual e quando realizada separadamente, era realizado um bloco extra de 5 tentativas apenas da tarefa cognitiva no final da coleta. Neste bloco os participantes

ficavam sobre a plataforma, em postura ereta, com os pés nas marcações respectivas.

Entre o primeiro e o segundo bloco era dado intervalo de 30 s, enquanto entre o segundo e o terceiro bloco era dado tempo de descanso de 3 minutos. Entre as tentativas havia um intervalo de 15 s. Era pedido aos participantes que minimizassem as oscilações posturais produzidas pela liberação de carga, nomeadamente evitando dar um passo. Foi pedido ainda que mantivessem o olhar fixo no cilindro, evitando o seu movimento na bandeja. Na condição de tarefa manual e tarefa cognitiva simultaneamente, os participantes eram instruídos a contar olhando para o cilindro, prestando atenção às duas tarefas supraposturais. Não era fornecido feedback aos participantes.

A posição dos pés era marcada com uma fita para manter a mesma posição durante todo o experimento. Ao final de cada tentativa o participante devolvia a bandeja para o experimentador. Antes do experimento o gravador era fixado no braço esquerdo do participante para coleta de respostas verbais durante o bloco com tarefa cognitiva. Ainda antes do experimento, era registrado o comprimento dos pés. Eram colocados marcadores refletivos do lado esquerdo do corpo nos seguintes pontos anatômicos: acrômio, articulação coxo-femoral, cabeça da fíbula, maléolo externo e quinto metatarso, assim como na borda da bandeja, para análise cinemática. Eram ainda colocados eletrodos de superfície wireless (Delsys Trigno Wireless System®), compostos por 4 contatos de prata de 5x1 mm, posicionados 10 mm de distância entre eles nos músculos tibial anterior e gastrocnêmio medial da perna direita. A pele nesses locais era raspada, esfoliada e limpa antes da fixação dos eletrodos, orientada pelos posicionamentos especificados pelo projeto *Surface EMG for a Non-invasive Assessment of Muscles* (Hermens; Freriks, 1999). Os dados de cinemática e de plataforma de força foram coletados na frequência 200 Hz. Os sinais eletromiográficos foram amplificados ao ganho de 1000, com frequência de amostragem de 2000 Hz.

6.4 Análise de dados

Após inspeção visual dos dados, o programa MATLAB foi utilizado para extração automática das variáveis de estudo e análise dos dados. Os dados do

centro de pressão (CP) e de cinemática foram filtrados com filtro Butterworth de quarta ordem, passa-baixa de 10 Hz. Os dados de EMG foram filtrados com passa-banda de 20-400 Hz.

Foram analisadas as seguintes variáveis:

1. Número de erros. Contabilização de número de erros na tarefa de cálculo, por meio de frequência absoluta.
2. Tempo médio de resposta verbal na tarefa cognitiva. Registro do instante de tempo em que cada resposta foi iniciada e contabilização do intervalo de tempo entre as respostas verbais.
3. Amplitude de oscilação do CP. Diferença entre a média dos valores de CP no sentido anteroposterior nos 200 ms anteriores à perturbação e o valor máximo de CP no mesmo sentido após a liberação da carga.
4. Tempo para reversão da oscilação corporal. Tempo entre a liberação de carga e o tempo de reversão do deslocamento anterior do corpo, medido a partir do CP e da oscilação do tronco.
5. Pico de velocidade da bandeja. Velocidade máxima da bandeja após o momento de liberação da carga, no intervalo de até 500 ms.
6. Amplitude de mobilização das articulações do quadril, do tornozelo e do ombro. Diferença entre a média dos valores angulares nos 200 ms anteriores à perturbação e o valor máximo observado após a liberação da carga.
7. Relação entre amplitude de flexão do tornozelo e do quadril. Razão entre as amplitudes de flexão do tornozelo e do quadril.
8. Verticalidade corporal. Diferença entre a amplitude máxima, do ângulo formado entre tornozelo e ombro, com vértice no marcador do tornozelo, observada após a liberação de carga e a média dos valores de posição nos 200 ms anteriores à perturbação.
9. Amplitude de deslocamento linear do tronco. Diferença entre o deslocamento linear máximo do ombro observado após a liberação de carga e a média dos valores de posição nos 200 ms anteriores à perturbação.
10. Velocidade linear do tronco. Velocidade máxima alcançada, calculada pelo deslocamento linear do marcador do ombro, entre o momento de liberação de carga e os 200 ms posteriores a este momento.
11. Latência de ativação muscular. Definida como o atraso da primeira ativação sustentada (>25 ms) do músculo gastrocnêmio medial, acima de dois desvios-

padrão da atividade basal (500 ms antes da liberação de carga), após a liberação da carga.

12. Magnitude de ativação muscular. Definida pela integral do sinal de EMG do músculo gastrocnêmio medial entre 0 e 75 ms após o início da ativação muscular, após a liberação da carga.

As variáveis foram analisadas por meio de análises de variância de dois fatores, 2 (restrição: BR x AR) x 2 (tarefa cognitiva: com x sem), com medidas repetidas no segundo fator. Comparações post-hoc foram feitas por meio da prova de Duncan. O nível de significância foi estabelecido em 5%.

7 RESULTADOS

Uma análise descritiva da variável número de erros, analisada por meio de frequência absoluta, está representada na Tabela 1. Nesta tabela observa-se que no contexto de perturbação postural houve maior número de erros, comparativamente ao contexto de avaliação da tarefa cognitiva isolada. Na análise do tempo para realizar a tarefa cognitiva, verificou-se efeito principal significativo relativo à presença da perturbação postural [$F(1,17) = 6,73$, $P = 0,02$]. Na condição de perturbação postural os participantes demoraram mais tempo a responder à tarefa cognitiva ($M = 2,26$ s, $EP = 0,30$) comparativamente à condição sem perturbação postural ($M = 1,99$ s, $EP = 0,37$).

Tabela 1: Frequência absoluta de erros de contagem

	Grupo BR		Grupo AR	
	Sem perturbação postural	Com perturbação postural	Sem perturbação postural	Com perturbação postural
Zero	43	33	43	35
Um	5	10	5	7
Dois	2	3	2	3

Na Figura 2 são mostradas curvas representativas de diferentes variáveis da resposta postural, tendo como referência o momento de liberação de carga, indicado pela linha vertical tracejada. As variáveis representadas são CP anteroposterior, velocidade da bandeja, velocidade do tronco, amplitude de flexão do quadril, amplitude de flexão do tornozelo e magnitude ativação do músculo gastrocnêmio medial.

Figura 2: Centro de pressão anteroposterior; B. Velocidade da bandeja; C. Velocidade do tronco; D. Amplitude de flexão do quadril; E. Amplitude de flexão plantar do tornozelo; F. Magnitude de ativação do gastrocnêmio em relação ao momento de liberação de carga (linha tracejada).

A análise de amplitude do CP mostrou efeito principal significativo de tarefa cognitiva [$F(1, 21) = 20,67$, $P = 0,0002$], com maior amplitude no contexto sem TC ($M = 16,01$ cm, $EP = 3,16$), em comparação ao contexto com TC ($M = 15,52$ cm, $EP = 2,84$). Este resultado pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3: Valores médios (erros padrão representados por traços verticais) de amplitude de CP para os grupos de baixa e alta restrição em função da realização da tarefa cognitiva (TC).

Na Figura 4 estão dispostos os resultados de verticalidade corporal (A), deslocamento (B) e velocidade (C) linear do tronco, e velocidade da bandeja (D). Na análise de verticalidade corporal foram encontrados efeitos principais significantes de restrição [$F(1, 21) = 5,32$, $P = 0,03$] e de tarefa cognitiva (TC) [$F(1, 21) = 10,15$, $P = 0,004$]. Comparações entre as médias indicaram que o grupo BR obteve valores maiores ($M = 4,02$ graus, $EP = 0,98$) do que o grupo AR ($M = 2,04$ graus, $EP = 0,29$). No contexto com TC os valores foram maiores ($M = 3,75$ graus, $EP = 0,68$) do que no contexto sem TC ($M = 3,00$ graus, $EP = 0,66$).

A análise da amplitude linear de deslocamento do tronco mostrou efeitos principais significantes de restrição [$F(1, 21) = 6,92$, $P = 0,02$] e de TC [$F(1, 21) = 8,19$, $P = 0,01$]. Os valores foram maiores no contexto com TC ($M = 96,09$ mm, $EP = 13,29$) em comparação ao contexto sem TC ($M = 68,45$ mm, $EP = 7,72$). Foi encontrada maior amplitude de deslocamento no grupo BR ($M = 103,8$ mm, $EP = 18,85$) quando comparado ao grupo AR ($M = 58,89$ mm, $EP = 5,91$).

Os resultados para velocidade linear do tronco indicaram efeitos principais significantes de TC [$F(1, 21) = 4,60$, $P = 0,04$] e de restrição [$F(1, 21) = 8,54$, $P = 0,008$]. O efeito de TC foi devido à maior velocidade no contexto com TC ($M = 355,40$ mm/s, $EP = 38,09$) quando comparado com o contexto sem TC ($M = 290,32$ mm/s, $EP = 29,13$). Os valores encontrados no grupo BR ($M = 394,31$ mm/s, $EP = 55,58$) foram maiores do que o grupo AR ($M = 241,56$ mm/s, $EP = 20,10$).

A análise de velocidade da bandeja indicou resultados efeitos principais significantes de TC [$F(1, 21) = 6,30$, $P = 0,02$] e de restrição [$F(1, 21) = 11,85$, $P = 0,002$]. O efeito de TC foi devido a valores maiores no contexto com TC ($M = 254,49$

mm/s, EP = 16,96) do que no contexto sem TC (M = 200,42 mm/s, EP = 27,38). O efeito de restrição foi devido ao grupo BR ter apresentado maior velocidade da bandeja (M = 279,22 mm/s, EP = 37,7) do que o grupo AR (M = 169,92 mm/s, EP = 12,72).

Figura 4: Valores médios (erros padrão representados por traços verticais) dos grupos BR e AR em função da tarefa cognitiva (TC) para (A) amplitude de variação da verticalidade corporal, (B) amplitude de deslocamento linear do tronco (C) velocidade linear do tronco e (D) velocidade de deslocamento da bandeja.

As análises dos tempos para reversão da oscilação corporal encontram-se representadas na Figura 5. Foi observado efeito principal significativo de TC no tempo de reversão do CP [$F(1, 21) = 5,03$, $P = 0,036$], o qual foi devido a maiores valores com TC (M = 537,32, EP = 18,39) quando comparado ao contexto sem TC (M = 511,52, EP = 17,14). O tempo de reversão da oscilação do tronco também atingiu efeito significativo de TC [$F(1, 21) = 14,94$, $P = 0,001$], o que foi devido ao maior tempo de reversão com TC (M = 649,31, EP = 27,81) quando comparado ao contexto sem TC (M = 598,58, EP = 25,43).

Figura 5: Valores médios (erros padrão representados por traços verticais) dos grupos BR e AR em função da tarefa cognitiva (TC) para (A) tempo de reversão do CP e (B) tempo de reversão do tronco.

Os valores médios da amplitude de flexão das articulações do quadril, tornozelo e ombro, bem como a razão tornozelo/quadril, são apresentados na Figura 6. A análise da amplitude de flexão do tornozelo indicou efeito principal significativo de restrição [$F(1, 21) = 7,86, P = 0,01$]. O grupo BR teve maior amplitude de flexão ($M = 11,54^\circ, EP = 1,91^\circ$) do que o grupo AR ($M = 6,44^\circ, EP = 0,91^\circ$). Os resultados para a amplitude de flexão do quadril indicaram efeitos principais significantes de restrição [$F(1, 21) = 6,21, P = 0,02$] e de TC [$F(1, 21) = 6,62, P = 0,02$]. Comparações posteriores indicaram maior amplitude de flexão no grupo BR ($M = 11,92^\circ, EP = 3,15^\circ$) do que no grupo AR ($M = 4,79^\circ, EP = 0,69^\circ$). O efeito de tarefa cognitiva foi devido a maiores valores com TC ($M = 10,67^\circ, EP = 2,18^\circ$) do que sem TC ($M = 6,43^\circ, EP = 1,24^\circ$).

A análise da razão da amplitude de flexão do tornozelo pelo quadril indicou efeito principal significativo de TC [$F(1, 21) = 12,52, P = 0,002$], em que o contexto sem TC induziu valores maiores ($M = 1,64, EP = 0,22$) do que o contexto com TC ($M = 1,32, EP = 0,17$).

A amplitude de flexão do ombro indica a diferença média de amplitude articular entre a posição do ombro nos 200 ms anteriores à perturbação e o valor máximo observado após a liberação da carga. Esta análise indicou efeitos principais significantes de restrição [$F(1, 20) = 4,87, P = 0,04$] e TC [$F(1, 20) = 7,07, P = 0,02$]. As análises posteriores indicaram maior amplitude no grupo BR ($M = 8,22^\circ, EP = 2,65^\circ$) do que no grupo AR ($M = 2,90^\circ, EP = 0,52^\circ$) e maior amplitude no contexto com TC ($M = 7,33^\circ, EP = 1,76^\circ$) em comparação ao contexto sem TC ($M = 4,33^\circ, EP = 1,21^\circ$).

Figura 6: Coordenação articular dos participantes do grupo BR e AR, de acordo com o contexto sem tarefa cognitiva (TC) e com tarefa cognitiva (TC). A. amplitude de flexão do tornozelo. B. amplitude de flexão do quadril. C. coordenação entre tornozelo e quadril. D. amplitude de flexão do ombro.

A análise de latência de início de ativação muscular não apresentou efeito principal significativo de restrição nem de TC, com valores de $F(1,21) < 0,07$, e valores de $P > 0,80$. Os valores médios são apresentados na Figura 7A. A análise de magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial mostrou efeito principal significativo de TC [$F(1, 20) = 5,63$, $P = 0,03$], com maior magnitude de ativação no contexto sem TC ($M = 0,74$, $EP = 0,04$) em comparação ao contexto com TC ($M = 0,68$, $EP = 0,04$). Os valores médios são apresentados na Figura 7B.

Figura 7: Latência e magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial, de acordo com o contexto sem tarefa cognitiva (sem TC) e com tarefa cognitiva (com TC), para o grupo AR e para o grupo BR.

8 DISCUSSÃO

Neste estudo foram examinados os efeitos de dois tipos de restrição em respostas posturais reativas. Em uma das restrições havia uma tarefa secundária com componente manual que requisitava estabilidade manual, e no segundo tipo de restrição foi empregada uma tarefa cognitiva. Os resultados mostraram que na condição de maior restrição da tarefa manual as respostas posturais reativas foram diferentes das que se encontraram na condição de menor restrição da tarefa manual. Especificamente nas amplitudes de flexão articular dos principais segmentos do corpo e na oscilação do tronco em relação à vertical, observou-se amplitudes de movimento menores e maior verticalidade na condição de maior restrição de tarefa manual. Coerentemente, a estratégia utilizada na condição de alta restrição originou valores menores de velocidade quer do tronco, quer da bandeja, comparada à condição de baixa restrição.

Na restrição por tarefa cognitiva os resultados expressaram diferenças claras nas respostas à perturbação sem e com tarefa cognitiva. Observou-se maiores amplitudes de flexão articular e maior oscilação do tronco em relação à vertical, bem como maior velocidade do tronco e da bandeja na condição que incluía a tarefa cognitiva. Foi ainda encontrada menor magnitude de ativação muscular e maior tempo para retornar à postura inicial nessa condição.

8.1 Desempenho na tarefa cognitiva

Para avaliar a influência da tarefa postural na tarefa cognitiva, analisou-se a tarefa cognitiva em duas condições: condição de tarefa isolada e condição de multitarefa. Esta última condição ocorreu quando foi pedido aos participantes que realizassem a tarefa cognitiva, em simultâneo com a tarefa de recuperação de equilíbrio e de estabilidade manual. Os resultados indicaram que o desempenho na tarefa cognitiva declinou na situação de postura perturbada em relação ao seu desempenho de forma isolada. Tal declínio foi verificado no maior tempo entre as respostas, e também no maior número de erros, quando produzindo reações posturais à perturbação.

Estes resultados indicam que no contexto de multitarefa as demandas atencionais são maiores que quando a tarefa cognitiva é realizada isoladamente. É provável que devido a uma competição pelos recursos atencionais disponíveis tenha

havido prejuízo do desempenho na tarefa cognitiva, o que explica a redução no desempenho da tarefa cognitiva ocorrer logo no período inicial pós-perturbação, tanto no presente estudo como em estudos prévios (Redfern et al., 2002).

Algumas pesquisas prévias já tinham observado prejuízos similares na tarefa cognitiva em postura não-perturbada (Kerr, Condon, & McDonald, 1985; Maylor 1996) e perturbada (Brown, Shumway-Cook, & Woollacott, 1999; Redfern et al. 1999; Brauer, Woollacott e Shumway-Cook, 2001; Dumas, Rapp e Krampe 2009; Little e Woollacott, 2014). Estudos prévios verificaram maior tempo para a realização da tarefa cognitiva em contexto de tarefa dual, com uma tarefa cognitiva de tempo de reação (Brauer et al., 2001) e com uma tarefa similar à do presente estudo, de contagem decrescente de três em três (Brown et al., 1999). Little e Woollacott (2014) verificaram que a capacidade de memória de trabalho diminuiu entre as condições isolada e dual, enquanto Dumas, Rapp e Krampe (2009) encontraram pior desempenho na tarefa cognitiva e maior custo de tarefa dual quando esta foi mudada de uma tarefa de contagem decrescente de dois em dois para contagem decrescente de três em três.

Os resultados dessas pesquisas e do presente estudo indicam uma interferência entre processos cognitivos, da tarefa postural no desempenho da tarefa suprapostural, cognitiva. Os mesmos processos atencionais, ou computacionais, podem estar envolvidos na realização de ambas as tarefas (Kahneman & Treisman, 1984), gerando uma competição e impedindo um desempenho da tarefa cognitiva igual ao da sua realização de forma isolada. Este dado indica o envolvimento de centros nervosos superiores no controle de equilíbrio reativo e torna imprescindível relacionar o desempenho postural com o desempenho cognitivo, para averiguar se houve alocação de recursos atencionais para a tarefa postural. A eficácia dos processamentos cognitivos no controle de equilíbrio pode ser influenciada pela dificuldade e quaisquer restrições posturais que afetam tarefa cognitiva concorrente (Huxhold et al. 2006).

8.2 Desempenho da tarefa postural e manual

Um dos objetivos do presente estudo foi comparar dois níveis de restrição de uma tarefa manual na recuperação do equilíbrio, em simultâneo com uma tarefa

cognitiva. Foi hipotetizado que a restrição imposta pela tarefa manual modula respostas posturais. Os achados de controle postural que mais foram influenciados pelo nível de restrição da tarefa manual foram amplitude linear do tronco, velocidade do tronco e da bandeja, verticalidade e amplitudes de mobilização das articulações avaliadas, corroborando a hipótese colocada. Os dados indicam que o grupo de alta restrição utilizou uma estratégia motora com amplitudes de movimento menores em todos os segmentos do corpo. Além disso, as medidas referentes à mobilização do tronco, tais como amplitude linear, velocidade e verticalidade, bem como a velocidade da bandeja, também foram menores. Os participantes conseguiram restringir o movimento do tronco e consequentemente, o da bandeja e do cilindro. Os dados relativos a variáveis temporais, tais como tempo de reversão do centro de pressão e tempo de reversão de movimento do tronco não apresentaram diferenças entre as restrições. Nesta avaliação, o tempo não é tão importante porque um tempo menor poderia prejudicar a realização da tarefa manual. Avaliando estes resultados em conjunto, os dados sugerem uma recuperação de equilíbrio mais eficiente na condição de alta em comparação a baixa restrição.

A tarefa manual utilizada no presente estudo requer movimentos voluntários que parecem interagir de forma benéfica com a postura, com um resultado de integração funcional efetiva. Pesquisas de Wulf et al. (2000; 2004) observaram que o desempenho e a própria aprendizagem de tarefa postural é favorecida com um foco externo. O presente estudo solicitava aos participantes também o foco externo, quer na tarefa de estabilidade manual quer na tarefa cognitiva e corrobora os resultados de Wulf et al. (2000; 2004).

Foi encontrado neste estudo menor deslocamento da bandeja na condição de alta restrição da tarefa manual. Desta forma, os benefícios encontrados nesta pesquisa apontam para uma relação de mão dupla, em que o aumento da restrição imposta pela tarefa suprapostural leva a respostas posturais mais eficazes e essas respostas posturais mais eficazes conduzem a maior estabilidade na tarefa manual. Estudos prévios já tinham descrito essa relação em postura estática (Morioka et al., 2005) e em postura perturbada (de Lima et al., 2010). Pesquisas prévias do nosso grupo de estudos (De Lima-Pardini, 2013) relatam também condições de tarefa dual com dois níveis de dificuldade na tarefa secundária. A tarefa secundária manual consistia em segurar uma bandeja com um cilindro, e, tal como no presente estudo, o cilindro poderia apresentar a face circular para baixo, sendo considerada situação

de alta restrição, ou a face plana para baixo, sendo considerada situação de baixa restrição. Na condição de alta restrição, foi encontrado menor movimento do quadril, do joelho e ombro, as articulações mais próximas ao plano da tarefa suprapostural comparativamente ao tornozelo. Essas articulações podem ter diminuído o seu deslocamento angular para reduzir o movimento do cilindro no desempenho da tarefa suprapostural. Houve uma modulação da magnitude do deslocamento articular em respostas reativas, o que sugere flexibilidade da coordenação interarticular para a manutenção do equilíbrio, de acordo com o contexto.

Uma possível explicação para esses resultados pode estar relacionada com o modelo de seleção, otimização e compensação (SOC), originalmente proposto por Baltes e Baltes (1990; Baltes, 1997). Esse modelo caracteriza três processos fundamentais de domínio através de alocação de recursos sensíveis para a tarefa e contexto (Baltes, 1987; Baltes, Lindenberger, & Staudinger, 2006; Krampe & Baltes, 2003). A seleção refere-se ao compromisso de um subdomínio de objetivos ou domínios funcionais, em vez de distribuir a energia a diversas áreas. A otimização refere-se a situações em que os meios são aplicados para atingir o funcionamento ótimo ou resultados desejados, e os recursos são alocados e refinados para atingir os resultados desejados. A compensação é relevante na gestão de perda de recursos e descreve a substituição de meios ou o uso de meios alternativos para manter um dado nível de funcionamento (por exemplo, usar uma muleta após um acidente) (Schaefer, Kramp, Lindenberger, Baltes, 2008). No presente estudo é possível que tenha ocorrido o processo de otimização na situação de alta restrição, em que os recursos cognitivos foram aplicados de tal forma que o desempenho na tarefa de estabilidade manual induziu uma resposta mais eficiente à perturbação postural. Essa modulação deve ocorrer nos centros superiores, que seriam então necessários para a recuperação do equilíbrio, contrariamente à ideia de um processamento automático ocorrendo em níveis inferiores de controle.

O *central set* seria uma influência de sistema central em respostas posturais automáticas a perturbações externas (Brooks, 1984). Estabelecer características da resposta antecipadamente tem se mostrado benéfico para diminuir o tempo para o sistema nervoso central transformar um estímulo sensorial em uma resposta apropriada (Horak et al., 1989). Jacobs e Horak (2007) propuseram que o córtex pode agir para modular as sinergias de resposta postural, cuja circuitaria está no cerebelo, e portanto otimizar as respostas posturais para um dado contexto

ambiental. Essa ação cortical juntar-se-ia à resposta postural automática inicial, que ocorre em níveis inferiores do sistema nervoso central. Os presentes resultados suportam a ideia de que o *central set* seria não apenas elaborado com base em pistas contextuais que indicam potenciais fontes de perturbação à postura, mas também a partir de restrições funcionais impostas por tarefas supra-posturais (de Lima et al., 2010).

8.3 Integração das três tarefas pelo sistema nervoso central

O principal objetivo do presente estudo foi determinar o efeito de realizar uma tarefa cognitiva em simultâneo com uma tarefa de recuperação de equilíbrio dinâmico. Era esperado que a realização da tarefa cognitiva produzisse uma resposta à perturbação postural mais demorada e com maior amplitude de movimento. Verificou-se maior amplitude de movimento das articulações mais próximas da bandeja, a articulação do ombro e do quadril, na avaliação com tarefa cognitiva. Neste contexto, a razão de amplitude de flexão do tornozelo pelo quadril foi inferior, o que indica que a estratégia de tornozelo foi menos utilizada na condição com tarefa cognitiva.

Os valores dessa relação entre tornozelo e quadril indicam, nas duas condições, que o tornozelo é a articulação preponderante para a recuperação de equilíbrio após a perturbação utilizada. Porém, o quadril também tem uma participação, sendo essa participação maior no contexto com tarefa cognitiva. Um estudo prévio também tinha encontrado modificação nas participações articulares para o controle postural. Brown et al. (1999) avaliaram em postura estática o efeito da realização de tarefa cognitiva de contagem decrescente e observaram mudança da estratégia de tornozelo para estratégia de quadril. Este resultado, bem como a maior amplitude linear do tronco no presente estudo, indica que o deslocamento do tronco assume um papel de maior relevância em resposta à perturbação na condição com tarefa cognitiva.

A análise dos dados musculares corrobora essa ideia. Foi observado que a tarefa cognitiva levou a menores valores de magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial. Por outro lado, não houve diferença na latência de ativação deste músculo. Como o músculo gastrocnêmio medial é o principal músculo para a

recuperação de um desequilíbrio no sentido anterior (Redfern et al., 2002), a menor magnitude de ativação sugere que tenham sido recrutados mais músculos para reverter a oscilação corporal e/ou que a magnitude de ativação de músculos que já estariam participando tenha aumentado. Estas modificações de ativação e/ou de magnitude podem ter se verificado no quadril, por esta articulação ter tido maior participação na recuperação do equilíbrio no contexto com tarefa cognitiva. Como no presente estudo não foram avaliados músculos em segmentos superiores, esta é uma suposição que fica em aberto para futuras investigações.

No presente estudo foi ainda observada maior oscilação em relação à vertical e maior velocidade do tronco e da bandeja na condição com tarefa cognitiva. Estes dados indicam uma estratégia motora em que se chega mais perto dos limites de estabilidade de uma forma mais rápida e difícil de controlar, o que pode ser interpretado como menos específico e otimizado. Estas observações indicam que as respostas para a recuperação de equilíbrio foram diferentes entre as condições com e sem tarefa cognitiva nas medidas espaciais. Nas medidas temporais verificou-se que o tempo necessário para reverter a oscilação corporal foi maior na condição com tarefa cognitiva, o que se verificou quer pela cinemática no tronco quer pelo centro de pressão. Este achado está diretamente relacionado com as medidas espaciais. Foram utilizadas estratégias motoras diferenciadas para a recuperação do equilíbrio, tendo sido ambas as estratégias capazes de satisfazer as exigências pedidas. Porém, o desempenho postural no contexto com tarefa cognitiva revelou menor eficiência, por ter induzido tempo mais longo para reverter a oscilação corporal e maiores amplitudes de movimento dos principais segmentos corporais. Assim, com respostas reativas geradas simultaneamente com uma tarefa cognitiva, os participantes aumentaram a sua oscilação corporal e mostraram que na condição de multitarefa o custo de realização é mais alto que a realização de respostas posturais sem envolvimento em tarefa cognitiva paralela requisitando uso de recursos atencionais.

Era esperado encontrar resultados de centro de pressão que apontassem que no contexto com tarefa cognitiva os participantes chegaram mais perto dos seus limites de estabilidade. Porém, esse resultado foi discrepante dos outros. Enquanto os dados relativos a deslocamentos lineares e angulares do corpo indicam maior movimentação do corpo no contexto com tarefa cognitiva, os dados coletados de deslocamento de centro de pressão indicam o oposto. Pela análise do centro de

pressão, encontrou-se maior deslocamento no contexto sem tarefa cognitiva, comparado ao contexto com tarefa cognitiva. Para melhor compreender este resultado foram feitas avaliações da oscilação em relação à linha vertical, de velocidade linear do tronco e do tempo de reversão, para além dos dados de deslocamentos lineares e angulares do corpo. Estes dados permitem ter uma visão mais completa das respostas utilizadas nas condições com e sem tarefa cognitiva. Os participantes deslocaram o tronco de forma mais rápida, atingiram maior oscilação em relação à vertical, realizaram maiores deslocamentos de todos os segmentos do corpo e demoraram mais a reverter o seu equilíbrio, no contexto com tarefa cognitiva. Devido a estes resultados serem coerentes entre si, indicando maiores deslocamentos do corpo, acredito que os dados de deslocamento de centro de pressão devam ser olhados com reservas.

O centro de pressão é uma medida de análise limitada, que acompanha parcialmente a movimentação de forças no corpo, com algum atraso de tempo. No presente estudo observou-se que grande parte dos participantes utilizou a estratégia de ficar na ponta dos pés. Na posição de ponta dos pés ocorre um deslocamento posterior do centro de pressão, contribuindo para um deslocamento anterior reduzido e provavelmente interferindo na análise dessa medida (Clément, Gurfinkel, Lestienne, Lipshits, & Popov, 1984; Nardone & Schieppati, 1988). A movimentação do corpo pode desta forma ter ficado encoberta. É provável que a avaliação do centro de pressão realizada não seja uma medida sensível para ser utilizada em estudos com este tipo de perturbação de equilíbrio. No estudo realizado por Papegaaij et al. (2012) também se verificou uma situação em que as diferenças verificadas em termos musculares, entre as condições de alta e baixa restrição, não se refletiram em modificações importantes do centro de pressão ou do centro de massa (Papegaaij et al., 2012).

A modulação que ocorreu em função da restrição por tarefa cognitiva afetou a magnitude de ativação de um músculo muito importante para reverter a oscilação. Um estudo anterior avaliou respostas cognitivas durante uma tarefa de perturbação postural extrínseca e imprevisível e verificou que, durante as tentativas com uma tarefa cognitiva (similar à do presente estudo), as magnitudes de ativação dos músculos gastrocnêmio medial e tibial anterior foram menores (Rankin et al., 2000). Os estudos que demonstram interferência em tarefa dual, entre tarefas cognitiva e postural, fornecem evidência do envolvimento de recursos e/ou processos cognitivos

no controle postural (Kerr et al., 1985; Rankin et al., 2000; Stoffregen et al., 2000; Stoffregen, Smart, Bardy, & Pagulayan, 1999; Vander Velde & Woollacott, 2008). A literatura mostra uma contribuição importante dos sistemas cognitivos superiores no equilíbrio (Woollacott & Shumway-Cook, 2002).

Woollacott e Vander Velde (2008) compararam três formas do teste de contagem decrescente, isto é, com foco em um objeto visual, com foco na audição ou com foco auditivo-espacial. Eles hipotetizaram que diferentes formas de apresentação da tarefa cognitiva produziram diferentes interações com a tarefa postural, posição *tandem* do teste de Romberg. Foi verificado que o desempenho postural foi significativamente influenciado pelo tipo de carga cognitiva nessa tarefa suprapostural, com a tarefa cognitiva do tipo auditivo-espacial como a que mais interferiu, provocando maior oscilação postural. Os resultados desse estudo sugerem que os efeitos de interferência na postura estática podem ser por utilização de recursos limitados que codificam características espaciais não-visuais. É interessante notar que a quantidade de estudos que relata prejuízos quer na tarefa postural quer na tarefa cognitiva (De Haart, Geurts, Huidekoper, Fasotti, & Van Limbeek, 2004; Harley et al., 2006; Roerdink et al., 2006; Hyndman, Pickering, & Ashburn, 2009) é reduzida e esses estudos focaram-se na análise da postura estática, na sua maioria. Em postura estática os processamentos atencionais necessários são diferentes dos solicitados para uma situação de perturbação extrínseca. O presente estudo, por ter sido realizado em uma tarefa postural de perturbação externa e imprevisível, requeria uma resposta rápida, compatível com um desencadeamento de resposta em níveis de processamento diferentes. A literatura não mostra efeitos claros de interferência de tarefa cognitiva no controle em postura perturbada. Brauer et al. (2002) observaram maior tempo de reação à perturbação postural, durante o contexto de tarefa dual, comparado ao contexto de tarefa postural isolada. Contudo, os dados de centro de pressão desse estudo não apresentaram diferenças significativas entre os dois contextos (Brauer et al., 2002).

Um estudo recente comparou o efeito de dois tipos de tarefa cognitiva no desempenho postural, no teste de organização sensorial. Foi observado pior desempenho na tarefa postural sempre que se tratava da translação da plataforma e uma diminuição na velocidade e precisão das respostas durante uma das tarefas cognitivas, a de contagem decrescente de sete em sete. Porém, a avaliação realizada com a mesma condição postural e outra tarefa secundária, de geração de

palavras, não produziu os mesmos efeitos (Chong et al., 2010). A organização sensorial para o controle de equilíbrio, neste caso, utilizou processos visuoespaciais necessários para a tarefa cognitiva, mas não para a de geração de palavras.

Dois outros estudos que utilizaram perturbações extrínsecas e imprevisíveis mostraram que o efeito de tarefa cognitiva foi limitado na tarefa de controle dinâmico (Redfern et al., 2002; Doumas et al., 2009). Redfern et al. (2002) observaram que a resposta postural foi inalterada pela presença da tarefa cognitiva, de tempo de reação. Contudo, os resultados não mostram a evolução do desempenho dos participantes, que realizaram o experimento ao longo de quatro dias. É possível que uma interferência inicial nos processos responsáveis pela realização de ambas as tarefas tenha sido diluída com a prática, como um efeito colateral. Um estudo posterior incluiu um período de treino, para descobrir se as melhorias na prática de tarefa dual poderiam ser superiores a melhorias na prática das tarefas de forma isolada. Os resultados indicaram um prejuízo inicial na tarefa postural, tendo havido uma melhoria posterior ao longo das sessões de treino, a qual foi avaliada por meio de área de elipse do centro de pressão (Doumas et al., 2009). Por outro lado, Little e Woollacott (2014) relataram diferenças importantes no desempenho da tarefa postural e cognitiva sob condição de tarefa dual. Na tarefa postural havia translações posteriores da plataforma de força e era pedido aos participantes que realizassem uma tarefa de memória de trabalho visual, que requeria identificação de mudanças em apresentações sucessivas. Houve redução significativa na memória de trabalho visual na postura perturbada. Observou-se ainda aumento na área e no deslocamento de centro de pressão (Little & Woollacott, 2014). Estes resultados podem ser interpretados pela teoria da modularidade, em que a sobrecarga neural está relacionada com uma competição por processos similares, em vez de simplesmente existir uma limitação dos recursos atencionais (Chong et al., 2010).

A integração entre tarefas no presente estudo pode ser analisada de acordo com a presença de efeitos pela realização simultânea. Se ocorreu um prejuízo nas respostas posturais, causado pela presença de tarefa cognitiva, que modificou as respostas posturais a uma perturbação do equilíbrio externa e imprevisível significa que: ou recursos atencionais e/ou de processamento que eram requeridos para a resposta postural imediata foram alocados para a tarefa cognitiva; ou que houve uma competição pelos recursos existentes. O prejuízo no desempenho da tarefa cognitiva indica que ocorreu competição. Os resultados deste estudo podem ser

interpretados com base na teoria de capacidade limitada, que postula que quando a demanda atencional de duas tarefas que partilham recursos similares excede os recursos disponíveis (devido à dificuldade crescente de tarefa ou devido à patologia), o desempenho de uma ou de ambas as tarefas é afetado (Meyer & Kieras, 1997).

As respostas posturais, ainda que automáticas, partilham recursos atencionais limitados com tarefas cognitivas que requerem capacidades executivas de memória de trabalho, como é o caso do presente estudo e de Little e Woollacott (2014), Dumas et al. (2009), Woollacott e Vander Velde (2008) e Redfern et al. (2002). Little e Woollacott (2015) examinaram a influência atencional de uma tarefa visuoespacial, que requer processamento mínimo de informação, na recuperação de equilíbrio após uma perturbação. Foi encontrado um aumento significativo no pico de deslocamento do centro de pressão e redução na capacidade de memória de trabalho na condição de tarefa dual. Nessa pesquisa foram avaliados sinais de eletroencefalograma e encontrou-se atenuação do sinal relativo a processamento de inputs sensoriais para o controle postural, em tarefa dual. Estes dados sugerem uma competição entre tarefas, causando um afastamento de recursos atencionais do processamento de inputs sensoriais associados ao controle postural (Quant et al., 2004; Little e Woollacott, 2015). Este afastamento de recursos atencionais induz privação de um processamento adequado de informações sensoriais aferentes. O *central set* poderia influenciar de forma imprecisa as respostas posturais à perturbação. É possível que esta situação tenha acontecido no presente estudo.

9 CONCLUSÕES

Este estudo comparou dois níveis de restrição de uma tarefa manual na recuperação do equilíbrio, realizada em simultâneo com uma tarefa cognitiva. Na condição de maior restrição foi utilizada uma estratégia motora diferente em termos espaciais, quando comparadas à condição de baixa restrição. O desempenho foi mais eficiente, o que leva a crer que tenha ocorrido um processo de otimização da resposta à perturbação postural. Essa modulação deve ocorrer nos centros superiores. O presente estudo corroborou estudos prévios ao verificar que o *central set* é elaborado com base em restrições impostas por tarefas supraposturais, e ampliou essa conclusão ao observar que essas modificações no *central set* são válidas com uma tarefa cognitiva realizada concomitantemente.

A realização da multitarefa prejudicou o desempenho na tarefa cognitiva e na tarefa postural, quando foi solicitada a realização concomitante da tarefa cognitiva. Foram observadas diferenças nas estratégias motoras quando foi solicitada a tarefa cognitiva, em termos espaciais e em termos temporais. A integração entre as tarefas não foi bem sucedida, por interferência nos processos e/ou recursos atencionais necessários para realizar as tarefas. É possível que tenha ocorrido afastamento de recursos atencionais do processamento de inputs sensoriais associados ao controle postural. Tal efeito poderia afetar o *central set*, produzindo uma influência imprecisa nas respostas posturais à perturbação. Os prejuízos no desempenho tanto cognitivo quanto postural estão de acordo com estudos prévios (Quant et al., 2004; Little & Woollacott, 2015), corroborando a importância da tarefa cognitiva como condição que produz desafio ao controle postural. A competição entre os processos e/ou recursos para realizar as tarefas, propostas no presente estudo, afeta o equilíbrio, de forma negativa quando uma tarefa cognitiva está presente e de forma positiva quando existe uma restrição funcional manual.

REFERÊNCIAS

- Adkin, A. L., Quant, S., Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2006). Cortical responses associated with predictable and unpredictable compensatory balance reactions. *Experimental Brain Research*, 172(1), 85–93. <http://doi.org/10.1007/s00221-005-0310-9>
- Ackerman, P., Schneider, W., Wikens, C. Deciding the existence of a time-sharing ability: A combined methodological and theoretical approach. *Human Factors*, v.26, n.1, p.71-82, 1984. < doi: 10.1177/001872088402600107>
- Andersson, G., Yardley, L., & Luxon, L. (1998). A dual-task study of interference between mental activity and control of balance. *The American Journal of Otology*, 19(5), 632–637. http://doi.org/http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=9752972
- Asai, T., Misu, S., Doi, T., Yamada, M., & Ando, H. (2014). Effects of dual-tasking on control of trunk movement during gait: Respective effect of manual- and cognitive-task. *Gait and Posture*, 39(1), 54–59. <http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.05.025>
- Baltes, P. B. (1987). Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology*. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.23.5.611>
- Baltes, P. B. (1997). On the incomplete architecture of human ontogeny. Selection, optimization, and compensation as foundation of developmental theory. *The American Psychologist*, 52(4), 366–380. <http://doi.org/10.1037/0003-066X.52.4.366>
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences*. (pp. 1–34). <http://doi.org/10.1017/CBO9780511665684.003>
- Beloozerova, I. N., Sirota, M. G., Swadlow, H. A., Orlovsky, G. N., Popova, L. B., & Deliagina, T. G. (2003). Activity of different classes of neurons of the motor cortex during postural corrections. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 23(21), 7844–7853. <http://doi.org/23/21/7844> [pii]

- Berger, L., & Bernard-Demanze, L. (2011). Age-related effects of a memorizing spatial task in the adults and elderly postural control. *Gait and Posture*, 33, 300–302. <http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.10.082>
- Brauer, S. G., Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2001). The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(8). Retrieved from <http://www.mendeley.com/catalog/interacting-effects-cognitive-demand-recovery-postural-stability-balanceimpaired-elderly-persons/>
- Brown, L. A., Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1999). Attentional demands and postural recovery: the effects of aging. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 54, M165–M171. <http://doi.org/10.1093/gerona/54.4.M165>
- Brown, L. A., Sleik, R. J., Polych, M. A., & Gage, W. H. (2002). Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults? *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(12), M785–M792. <http://doi.org/10.1093/gerona/57.12.M785>
- Chan, C. W., Jones, G. M., Catchlove, R. F. (1979) The "late" eletromyographic response to limb displacement in man. II. Sensory origin. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, v. 46, n.2, p. 182-188
- Chong, R. K., Horak, F. B., Frank, J., & Kaye, J. (1999). Sensory organization for balance: specific deficits in Alzheimer's but not in Parkinson's disease. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 54(3), M122–M128. <http://doi.org/10.1093/gerona/54.3.M122>
- Chong, R. K., Mills, B., Dailey, L., Lane, E., Smith, S., & Lee, K. H. (2010). Specific interference between a cognitive task and sensory organization for stance balance control in healthy young adults: Visuospatial effects. *Neuropsychologia*, 48, 2709–2718. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.018>
- Christensen, L. O., Andersen, J. B., Sinkjaer, T., & Nielsen, J. (2001). Transcranial magnetic stimulation and stretch reflexes in the tibialis anterior muscle during human walking. *The Journal of Physiology*, 531(Pt 2), 545–557. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0545i.x>
- Clément, G., Gurfinkel, V. S., Lestienne, F., Lipshits, M. I., & Popov, K. E. (1984). Adaptation of postural control to weightlessness. *Experimental Brain Research*, 57(1), 61–72. <http://doi.org/10.1007/BF00231132>

- Cluff, T., Gharib, T., & Balasubramaniam, R. (2010). Attentional influences on the performance of secondary physical tasks during posture control. *Experimental Brain Research*, 203(4), 647–658. <http://doi.org/10.1007/s00221-010-2274-7>
- Collins, J. J., & De Luca, C. J. (1994). Random walking during quiet standing. *Physical Review Letters*, 73(5), 764–767. <http://doi.org/10.1103/PhysRevLett.73.764>
- Dault, M. C., Frank, J. S., & Allard, F. (2001). Influence of a visuo-spatial, verbal and central executive working memory task on postural control. *Gait and Posture*, 14(2), 110–116. [http://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00113-8](http://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00113-8)
- Dault, M. C., Geurts, A. C. H., Mulder, T. W., & Duysens, J. (2001). Postural control and cognitive task performance in healthy participants while balancing on different support-surface configurations. *Gait and Posture*, 14(3), 248–255. [http://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00130-8](http://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00130-8)
- De Haart, M., Geurts, A. C., Huidekoper, S. C., Fasotti, L., & Van Limbeek, J. (2004). Recovery of standing balance in postacute stroke patients: A rehabilitation cohort study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(6), 886–895. <http://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.05.012>
- De Lima-Pardini, A. C. Adaptabilidade de respostas posturais reativas em função de restrição imposta por tarefa voluntária: efeito do envelhecimento e da doença de Parkinson. 2013. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola de Educação Física e Esporte - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/39/39132/tde-10062013-085810/pt-br.php> >
- De Lima, A. C., de Azevedo Neto, R. M., & Teixeira, L. A. (2010). On the functional integration between postural and supra-postural tasks on the basis of contextual cues and task constraint. *Gait & Posture*, 32(4), 615–8. <http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.09.003>
- De Lima-Pardini, A. C., Papegaaij, S., Cohen, R. G., Teixeira, L. A., Smith, B. A., & Horak, F. B. (2012). The interaction of postural and voluntary strategies for stability in Parkinson's disease. *Journal of Neurophysiology*. <http://doi.org/10.1152/jn.00118.2012>
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*. <http://doi.org/10.1037/h0042712>

- Dietz, V., Quintern, J., & Berger, W. (1984). Cerebral evoked potentials associated with the compensatory reactions following stance and gait perturbation. *Neuroscience Letters*, 50(1-3), 181–186. [http://doi.org/10.1016/0304-3940\(84\)90483-X](http://doi.org/10.1016/0304-3940(84)90483-X)
- Dietz, V., Quintern, J., & Berger, W. (1985). Afferent control of human stance and gait: evidence for blocking of group I afferents during gait. *Experimental Brain Research*, 61(1), 153–163. <http://doi.org/10.1007/BF00235630>
- Dimitrov, B., Gavrilenko, T., & Gatev, P. (1996). Mechanically evoked cerebral potentials to sudden ankle dorsiflexion in human subjects during standing. *Neuroscience Letters*, 208(3), 199–202. [http://doi.org/10.1016/0304-3940\(96\)12580-5](http://doi.org/10.1016/0304-3940(96)12580-5)
- Doumas, M., Rapp, M. A., & Krampe, R. T. (2009). Working memory and postural control: adult age differences in potential for improvement, task priority, and dual tasking. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 64(2), 193–201. <http://doi.org/10.1093/geronb/gbp009>
- Duckrow, R. B., Abu-Hasaballah, K., Whipple, R., & Wolfson, L. (1999). Stance perturbation-evoked potentials in old people with poor gait and balance. *Clinical Neurophysiology*, 110(12), 2026–2032. [http://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00195-9](http://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00195-9)
- Elaine Little, C., & Woollacott, M. (2014). Effect of attentional interference on balance recovery in older adults. *Experimental Brain Research*, 232, 2049–2060. <http://doi.org/10.1007/s00221-014-3894-0>
- Elion, O., Bahat, Y., Siev-Ner, I., Sela, I., Weiss, P., Karni, A. (2013). Effect of a secondary task on the time course and specificity on learning a balance skill. In: International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013, Philadelphia.
- Fasano, A., Plotnik, M., Bove, F., & Berardelli, A. (2012). The neurobiology of falls. *Neurological Sciences*. <http://doi.org/10.1007/s10072-012-1126-6>
- Harley, C., Boyd, J. E., Cockburn, J., Collin, C., Haggard, P., Wann, J. P., & Wade, D. T. (2006). Disruption of sitting balance after stroke: influence of spoken output. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 77(5), 674–676. <http://doi.org/10.1136/jnnp.2005.074138>

- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? In *Age and Ageing* (Vol. 35). <http://doi.org/10.1093/ageing/afl077>
- Horak, F. B., Diener, H. C., & Nashner, L. M. (1989). Influence of central set on human postural responses. *Journal of Neurophysiology*, 62(4), 841–853.
- Horak, F. B., Frank, J., & Nutt, J. (1996). *Effects of dopamine on postural control in parkinsonian subjects: scaling, set, and tone. Journal of neurophysiology* (Vol. 75).
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369–1381. <http://doi.org/3734861>
- Hunter, M. C., & Hoffman, M. A. (2001). Postural control: Visual and cognitive manipulations. *Gait and Posture*, 13(1), 41–48. [http://doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00089-8](http://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00089-8)
- Hyndman, D., Pickering, R. M., & Ashburn, A. (2009). Reduced sway during dual task balance performance among people with stroke at 6 and 12 months after discharge from hospital. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(8), 847–854. <http://doi.org/10.1177/1545968309338192>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- Kerr, B., Condon, S. M., & McDonald, L. A. (1985). Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 11(5), 617–622. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.11.5.617>
- Krampe, R. T., & Baltes, P. B. (2003). Intelligence as adaptive resource development and resource allocation: A new look through the lenses of SOC and expertise. In *The Psychology of Abilities, Competencies, and Expertise* (pp. 31–69). Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=de&lr=&id=9LEthsZ9oCoC&pgis=1>
- Krishnan, V., Latash, M. L., & Aruin, A. S. (2012). Early and late components of feed-forward postural adjustments to predictable perturbations. *Clinical Neurophysiology*, 123(5), 1016–1026. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.09.014>

- Kubicki, A., Petrement, G., Bonnetblanc, F., Ballay, Y., & Mourey, F. (2012). Practice-related improvements in postural control during rapid arm movement in older adults: A preliminary study. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 67 A(2), 196–203. <http://doi.org/10.1093/gerona/qlr148>
- Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C., & Fleury, M. (1996). Attentional demands for walking: Age-related changes. *Advances in Psychology*, 114(C), 235–256. [http://doi.org/10.1016/S0166-4115\(96\)80011-2](http://doi.org/10.1016/S0166-4115(96)80011-2)
- Maylor, E. A., & Wing, A. M. (1996). Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 51(3), P143–P154. <http://doi.org/10.1093/geronb/51B.3.P143>
- McIlroy, W. E., & Maki, B. E. (1993). Do anticipatory postural adjustments precede compensatory stepping reactions evoked by perturbation? *Neuroscience Letters*, 164(1-2), 199–202. [http://doi.org/10.1016/0304-3940\(93\)90891-N](http://doi.org/10.1016/0304-3940(93)90891-N)
- McNevin, N. H., & Wulf, G. (2002). Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. *Human Movement Science*, 21(2), 187–202. [http://doi.org/10.1016/S0167-9457\(02\)00095-7](http://doi.org/10.1016/S0167-9457(02)00095-7)
- Meyer, D. Adaptive Executive Control: Flexible multi-task performance without pervasive immutable response-selection bottlenecks. *Acta Psychologica*, v.90, p. 163-190, 1995. <[http://dx.doi.org/10.1016/0001-6918\(95\)00026-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0001-6918(95)00026-Q)>
- Morioka, S., Hiyamizu, M., & Yagi, F. (2005). The Effects of an Attentional Demand Tasks on Standing Posture Control. *Journal of physiological anthropology and Applied Human Science*, 24(3), 215–219. <http://doi.org/10.2114/jpa.24.215>
- Nardone, A., & Schieppati, M. (1988). Postural adjustments associated with voluntary contraction of leg muscles in standing man. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Experimentation Cerebrale*, 69(3), 469–480. <http://doi.org/10.1007/BF00247301>
- Nashner, L. M., & McCollum, G. (1985). The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*. <http://doi.org/10.1017/S0140525X00020008>
- Papegaaij, S., De Lima-Pardini, A. C., Smith, B. a., Otten, E., Cohen, R. G., & Horak, F. B. (2012). Keeping your balance while balancing a cylinder: Interaction

- between postural and voluntary goals. *Experimental Brain Research*, 223, 79–87. <http://doi.org/10.1007/s00221-012-3242-1>
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220–244. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.116.2.220>
- Pellecchia, G. L. (2003). Postural sway increases with attentional demands of concurrent cognitive task. *Gait & Posture*, 18(1), 29–34. [http://doi.org/10.1016/S0966-6362\(02\)00138-8](http://doi.org/10.1016/S0966-6362(02)00138-8)
- Quant, S., Adkin, A. L., Staines, W. R., Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2004). The effect of a concurrent cognitive task on cortical potentials evoked by unpredictable balance perturbations. *BMC Neuroscience*, 5, 18. <http://doi.org/10.1186/1471-2202-5-18>
- Rankin, J. K., Woollacott, M. H., Shumway-Cook, A., & Brown, L. A. (2000). Cognitive Influence on Postural Stability: A Neuromuscular Analysis in Young and Older Adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(3), M112–M119. <http://doi.org/10.1093/gerona/55.3.M112>
- Redfern, M. S., Jennings, J. R., Martin, C., & Furman, J. M. (2001). Attention influences sensory integration for postural control in older adults. *Gait and Posture*, 14(3), 211–216. [http://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00144-8](http://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00144-8)
- Redfern, M. S., Müller, M. L. T. M., Jennings, J. R., & Furman, J. M. (2002). Attentional dynamics in postural control during perturbations in young and older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 57, B298–B303. <http://doi.org/10.1093/gerona/57.8.B298>
- Roerdink, M., De Haart, M., Daffertshofer, A., Donker, S. F., Geurts, A. C. H., & Beek, P. J. (2006). Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Experimental Brain Research*, 174(2), 256–269. <http://doi.org/10.1007/s00221-006-0441-7>
- Schaefer, S., Krampe, R. T., Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (2008). Age differences between children and young adults in the dynamics of dual-task prioritization: body (balance) versus mind (memory). *Developmental Psychology*, 44(3), 747–757. <http://doi.org/10.1037/0012-1649.44.3.747>

- Shea, C. H., & Wulf, G. (1999). Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, 18(4), 553–571. [http://doi.org/10.1016/S0167-9457\(99\)00031-7](http://doi.org/10.1016/S0167-9457(99)00031-7)
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(1), M10–M16. <http://doi.org/10.1093/gerona/55.1.M10>
- Siu, K. C., & Woollacott, M. H. (2007). Attentional demands of postural control: The ability to selectively allocate information-processing resources. *Gait and Posture*, 25(1), 121–126. <http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.02.002>
- Solopova, I. A., Kazennikov, O. V., Deniskina, N. B., Levik, Y. S., & Ivanenko, Y. P. (2003). Postural instability enhances motor responses to transcranial magnetic stimulation in humans. *Neuroscience Letters*, 337(1), 25–28. [http://doi.org/10.1016/S0304-3940\(02\)01297-1](http://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)01297-1)
- Staines, W. R., McIlroy, W. E., & Brooke, J. D. (2001). Cortical representation of whole-body movement is modulated by proprioceptive discharge in humans. *Experimental Brain Research*, 138(2), 235–242. <http://doi.org/10.1007/s002210100691>
- Stoffregen, T. A., Pagulayan, R. J., Bardy, B. G., & Hettinger, L. J. (2000). Modulating postural control to facilitate visual performance. *Human Movement Science*, 19(2), 203–220. [http://doi.org/10.1016/S0167-9457\(00\)00009-9](http://doi.org/10.1016/S0167-9457(00)00009-9)
- Stoffregen, T. A., Smart, L. J., Bardy, B. G., & Pagulayan, R. J. (1999). Postural stabilization of looking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.25.6.1641>
- Tang, P. F., & Woollacott, M. H. (1999). Phase-dependent modulation of proximal and distal postural responses to slips in young and older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* (Vol. 54).
- Taube, W., Schubert, M., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., & Gollhofer, A. (2006). Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 101(2), 420–429. <http://doi.org/10.1152/japplphysiol.01447.2005>

- Vander Velde, T., & Woollacott, M. (2008). Non-visual spatial tasks reveal increased interactions with stance postural control. *Brain Research*, 1208, 95–102. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.03.005>
- Weeks, D. L., Forget, R., Mouchnino, L., Gravel, D., & Bourbonnais, D. (2003). Interaction between attention demanding motor and cognitive tasks and static postural stability. *Gerontology*, 49(4), 225–232. <http://doi.org/10.1159/000070402>
- Welford, A. T. (1952). The “psychological refractory period” and the timing of high-speed performance - a review and a theory. *British Journal of Psychology*, 43, 2–19. <http://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1952.tb00322.x>
- Wulf, G., McNevin, N., & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 54(4), 1143–54. <http://doi.org/10.1080/713756012>
- Wulf, G., & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: a review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(4), 648–660. <http://doi.org/10.3758/BF03196201>