

MARINA BRITO SILVA

Organização central na geração de ajustes posturais reativos em idosos

São Paulo

2013

MARINA BRITO SILVA

Organização central na geração de ajustes posturais reativos em idosos

Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo para obtenção do grau de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento Humano

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira

São Paulo

2013

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.

Catálogo da Publicação

Serviço de Documentação

Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Silva, Marina Brito

Organização central na geração de ajustes posturais reativos em idosos /
Marina Brito Silva; orientador Luis Augusto Teixeira. – São Paulo, 2013. 65p.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2013

1 Controle Postural. 2. Ajustes Reativos. 3. Dicas. 4. Idosos. I. Teixeira, Luis Augusto. II. Título: Organização central na geração de ajustes posturais reativos em idosos.

Nome: Marina Brito Silva

Título: Organização central na geração de ajustes posturais reativos em idosos

Tese apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo para obtenção do grau de Doutora em Ciências.

Aprovado em:

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por colocar nela pessoas e momentos iluminados.

Ao professor Luis Augusto Teixeira, por me conceder a oportunidade de ingressar no doutorado e embarcar comigo nesse desafio. Agradeço seu empenho e disponibilidade durante todo esse processo.

Aos membros do Laboratório de Sistemas Motores Humanos, pela troca de experiência e pelo convívio harmonioso. Obrigada amigos queridos de todas as horas, Daniel, Alessandra e Andréa por ofertarem o encorajamento sem conta para enfrentar todas as intempéries e celebrarem comigo cada conquista. Andréa, obrigada por abrir o caminho para esse doutorado e por estar sempre ao meu lado iluminando cada passo com seus ensinamentos e amizade. Dani, amigo companheiro, obrigada pelo suporte imensurável, em todos os sentidos e momentos.

Ao meu amor, Rodrigo, pelo seu companheirismo e compreensão, sempre. Levo comigo seu exemplo de determinação e serenidade.

Aos meus queridos irmãos, Elisa, Saulo e Cláudia, pelo laço fraterno que me renova e fortalece. Agradeço em especial à Mana e o Fábio, que acompanharam de perto essa minha trajetória, me transmitindo força, sabedoria e momentos de alegria.

Aos meus queridos pais, Dora e Joaquim, por semear e cultivarem em mim o fruto do conhecimento e aprimoramento na vida acadêmica e pessoal.

À todos os familiares e amigos que me acompanharam ao longo dessa trajetória, me incentivando e revigorando com palavras e gestos de carinho.

À secretaria de Pós-Graduação da Escola de Educação Física e Esporte, por estar sempre solícita e apta a me ajudar.

À FAPESP (processo #2010/00307-00) e CNPq (processo #402108/2011-7) pelo apoio financeiro.

RESUMO

Silva, M.B. **Organização central na geração de ajustes posturais reativos em idosos**. 2013. 65p. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Estudos prévios têm mostrado que a resposta postural automática pode ser influenciada por processamentos corticais associados com aprendizagem, experiência prévia e dica prévia. No entanto, pouco se sabe sobre como as respostas posturais de idosos são moduladas através de diferentes informações contextuais. O presente estudo objetivou investigar como a combinação de diferentes informações de contexto, dadas por experiência com tentativas prévias e dicas sobre aspectos temporais e espaciais de uma perturbação iminente, modulam respostas reativas em indivíduos idosos em comparação a adultos jovens. A tarefa consistiu em manter a postura ereta em resposta à rotação da base de suporte nos sentidos de dorsi ou plantiflexão do tornozelo, com amplitude e velocidade fixas. No Experimento 1 adultos jovens e idosos foram submetidos a quatro condições experimentais, resultantes da combinação de dica por indicação visual do sentido de rotação e de sequência de rotações, as quais eram feitas de forma aleatória ou repetitiva. No Experimento 2 foram oferecidas dicas sobre direção e/ou tempo de rotação da plataforma. Os resultados indicaram séries de tentativas com mesma direção de rotação induziram menor oscilação do centro de pressão e menor ativação muscular, enquanto que séries aleatórias induziram menor latência de ativação muscular. Dica temporal induziu latências mais curtas de ativação muscular, e dica sobre direção de perturbação induziu respostas musculares de menor magnitude (efeito observado apenas no Experimento 1). Não foi observado efeito diferencial de dicas entre os grupos etários. Os resultados sugerem que informações contextuais modulam respostas posturais reativas, e que o controle postural em indivíduos idosos é beneficiado por informações contextuais de forma similar a adultos jovens.

Palavras-chave: Controle Postural, Ajustes Reativos, Dicas, Idosos.

ABSTRACT

Silva, M.B. **Central organization in the generation of reactive postural adjustments in the elderly**. 2013. 65p. Doctoral dissertation – School of Physical Education and Sport, University of São Paulo, São Paulo, 2013.

Previous studies have shown that automatic postural responses can be influenced by cortical processing associated with learning, prior experience, and precue. However, scarce behavioral evidence has been provided about how postural responses are modulated by different contextual information in the elderly. The present investigation aimed at evaluating how different contextual information through prior experience and precueing about direction and/or time of basis of support rotation modulate reactive postural responses of elderly. The task consisted of recovering stable upright body balance in response to rotation of the support basis, inducing dorsi or plantar flexion with fixed amplitude and velocity. In Experiment 1 young and elderly people performed four experimental conditions resulting from combination of visual precue about direction of rotation and prior experience through repetitive or random sequences of trials. In Experiment 2 participants were provided with precueing about direction and/or time of platform rotation. Results showed that series of trials with the same direction of rotation induced decreased center of pressure oscillation and muscular activation, whereas random series induced shorter latencies of muscular activation. Precueing about time of platform rotation induced shorter latencies of muscular activation, and precueing about direction of rotation induced decreased muscular activation (effect observed in Experiment 1 only). No differential effect of precueing was observed between age groups. Results suggest that contextual information modulates reactive postural responses, and that elderly's reactive postural responses are benefited by contextual cues in a similar way as young adults' responses.

Keywords: Postural Control, Reactive Responses, Precue, Elderly.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação do desempenho de um sujeito em uma tentativa de rotação da plataforma no sentido “flexão plantar”. Estão representados o deslocamento do CP e a ativação do músculo gastrocnêmio. A linha vertical em zero no eixo temporal indica o início da perturbação postural e a segunda linha indica o primeiro pico de reversão da curva do CP. O círculo na curva do EMG representa o início da ativação muscular. 32
- Figura 2 - Médias e erros-padrão (barras verticais) dos valores de latência (A) e magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial (B), e amplitude de deslocamento do centro de pressão (C) no sentido de flexão-plantar comparando grupos de indivíduos idosos e jovens em função das condições experimentais. 34
- Figura 3 - Média e erros-padrão dos valores de latência (A) e magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial (B), e amplitude de deslocamento do centro de pressão (C) na direção flexão-plantar comparando os grupos de indivíduos idosos e jovens em função da dica. 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da análise estatística de três fatores das variáveis do Experimento 1	63
Tabela 2 - Valores da análise estatística de dois fatores das variáveis do Experimento 2	63
Tabela 3 - Valores de médias e erros-padrão [M (EP)] das variáveis analisadas no Experimento 1 em função das condições experimentais	64
Tabela 4 - Valores de médias e erros-padrão [M (EP)] das variáveis analisadas no Experimento 2 em função da dica	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	PARTICIPAÇÃO DE CIRCUITOS CORTICAIS NAS RESPOSTAS POSTURAS REATIVAS.....	16
2.2	EFEITO DE DICAS PRÉVIAS NO CONTROLE POSTURAL	19
2.3	EFEITO DA EXPERIÊNCIA COM TENTATIVAS PRÉVIAS NO CONTROLE POSTURAL.....	22
2.4	ENVELHECIMENTO E CONTROLE POSTURAL	24
3	EXPERIMENTO 1	27
3.1	OBJETIVOS	27
3.2	JUSTIFICATIVA	27
3.3	HIPÓTESES.....	27
3.4	MÉTODOS	28
3.4.1	Participantes.....	28
3.4.2	Tarefa e equipamentos	28
3.4.3	Delineamento experimental e procedimentos	29
3.4.4	Coleta e análise de dados	30
3.4.5	Variáveis dependentes	31
3.4.6	Análise dos dados	31
3.5	RESULTADOS	31
3.6	DISCUSSÃO	35
4	EXPERIMENTO 2	38
4.1	OBJETIVO	38
4.2	JUSTIFICATIVA	38
4.3	HIPÓTESES.....	38
4.4	MÉTODOS	39
4.4.1	Participantes.....	39
4.4.2	Tarefa e equipamentos	39
4.4.3	Delineamento experimental e procedimentos	39
4.4.4	Variáveis dependentes	40
4.4.5	Análise dos dados	40
4.5	RESULTADOS	40

4.6	DISCUSSÃO	43
5	DISCUSSÃO GERAL	44
5.1	EFEITO DA EXPERIÊNCIA COM TENTATIVAS PRÉVIAS	44
5.2	EFEITO DE DICAS SOBRE PERTURBAÇÃO IMINENTE NO CONTROLE POSTURAL.....	47
6	CONCLUSÕES	51
7	LIMITAÇÕES.....	52
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXO 1 - Valores da análise estatística	63
	ANEXO 2 - Valores de média e erro-padrão	64

1 INTRODUÇÃO

O controle postural já foi considerado como uma tarefa exclusivamente reflexa, não exigindo processamento cognitivo (BELEN'KII; GURFINKEL; PAL'TSEV, 1967; SHERRINGTON, 1910) No entanto, pesquisas recentes têm fornecido evidências de que recursos cognitivos são usados para regular a postura humana, permitindo flexibilidade ao sistema de controle postural (JACOBS; HORAK, 2007; MAKI; MCILROY, 2006; MOCHIZUKI et al., 2008; WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK, 2002). A maioria dos estudos que verificaram menor automatização do controle postural foi realizada durante postura quieta e em associação com tarefas voluntárias e/ou cognitivas (para uma revisão sobre participação atencional no controle postural veja WOOLLACOTT e SHUMWAY-COOK, 2002). No entanto, um número crescente de estudos recentes têm avaliado a demanda e influência de processos corticais em respostas posturais reativas durante perturbações externas (ADKIN et al., 2008; ADKIN et al., 2006; JACOBS et al., 2008; MIHARA et al., 2008; MOCHIZUKI et al., 2008). Esses estudos mostraram evidências tanto neurofisiológicas, através de registros eletroencefalográficos, quanto comportamentais, em situações de perturbação mecânica da postura ereta para demonstrar a capacidade do sistema nervoso central (SNC) em adaptar as respostas posturais reativas frente às modificações das características da perturbação. Como exemplo, pode-se citar a mudança de sinergia de acordo com a mudança da base de suporte. Quando a perturbação ocorre em uma base de suporte grande, o indivíduo emprega a estratégia do tornozelo. Na medida em que a base de suporte diminui dá-se lugar às estratégias do quadril e do passo (NASHNER; LEWIS; MCCOLLUM, 1985).

A capacidade de adaptação das respostas posturais reativas de acordo com as características do contexto indica uma interação entre dois níveis de controle, em que processamento cognitivo de alta ordem associado com a aprendizagem (HORAK; DIENER; NASHNER, 1989), características de perturbação (CHONG; HORAK; WOOLLACOTT, 2000) e condições posturais iniciais (HORAK; NASHNER, 1986) são capazes de modular o sistema de controle postural em um nível inferior de controle. À modulação neuromuscular das respostas posturais reativas de acordo com o contexto, previamente à ação, tem-se dado o nome de “*central set*” (HORAK; DIENER; NASHNER, 1989; HORAK; NUTT; NASHNER, 1992; JACOBS; HORAK,

2007; PROCHAZKA et al., 2000). A participação do *central set* em respostas posturais baseadas nas informações do contexto tem sido evidenciada através do fornecimento de dicas prévias (DE LIMA; DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2010; DIENER et al., 1991; JACOBS et al., 2008; MAKI; WHITELAW, 1993; SMITH; JACOBS; HORAK, 2012) e da experiência prévia, com as características das perturbações posturais (BECKLEY et al., 1991; HORAK; DIENER; NASHNER, 1989; MAKI; WHITELAW, 1993; VAN OOTEGHEM et al., 2008). Através do *central set*, conceitua-se que comandos descendentes sejam enviados para os sistemas motores inferiores com o intuito de gerar respostas posturais compensatórias mais eficientes.

Estudos prévios têm verificado a influência da dica sobre a direção (BADKE; DUNCAN; DI FABIO, 1987; DE LIMA; DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2010; DIENER et al., 1991), magnitude (DIENER et al., 1991; MAKI; WHITELAW, 1993) e momento (ADKIN et al., 2008; ADKIN et al., 2006; JACOBS et al., 2008; MOCHIZUKI et al., 2008) da perturbação na manutenção do equilíbrio postural. No estudo de Jacobs et al. (2008) a resposta postural foi avaliada em situações em que os participantes recebiam ou não dica sobre o momento da perturbação. Os resultados mostraram que a dica afetou tanto a atividade cortical como as respostas posturais. A análise eletroencefalográfica identificou ativação cortical prévia à perturbação postural apenas quando a dica era fornecida. A análise postural revelou menor deslocamento do centro de pressão (CP) em resposta ao deslocamento da base de apoio apenas na situação de recebimento de dica. Recentemente foi realizada uma pesquisa no nosso laboratório mostrando que a dica sobre a direção da perturbação é capaz de modular as repostas posturais reativas, verificado através de menor latência de ativação muscular e deslocamento articular (DE LIMA; DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2010). Por outro lado, Diener et al. (1991) e Maki e Whitelaw (1993) não encontraram efeito de dica sobre direção e/ou magnitude da perturbação. Portanto, questões ainda permanecem a respeito do efeito de dicas prévias sobre as respostas posturais.

Com relação à influência da experiência com tentativas prévias a uma perturbação postural, estudos são mais consistentes em mostrar que informações contextuais são capazes de mudar respostas posturais. A avaliação do efeito de experiência prévia tem sido feita através da comparação de perturbações posturais repetitivas versus aleatórias (BECKLEY et al., 1991; HORAK; DIENER; NASHNER,

1989; MAKI; WHITELAW, 1993; TOKUNO et al., 2010; VAN OOTEGHEM et al., 2008). No estudo de Horak e colaboradores (1989) os participantes foram avaliados em cinco amplitudes de perturbação (deslocamento da base de suporte), apresentadas de maneira repetitiva ou aleatória. Os resultados mostraram que somente na condição repetitiva, a magnitude das respostas posturais foi proporcional à amplitude de deslocamento da base de suporte. Desta forma, a experiência prévia levou à modulação específica das respostas posturais reativas. Outros estudos envolvendo jovens que manipularam a amplitude (MAKI; WHITELAW, 1993) ou amplitude e direção (BECKLEY et al., 1991) da perturbação postural verificaram menor deslocamento do CP e menor magnitude de ativação muscular para a sequência repetitiva em comparação à aleatória. Esses achados sugerem influência cortical nas respostas posturais reativas baseadas no conhecimento das características da perturbação postural.

Embora a interação entre informações de contexto, processadas em nível cortical, e controle postural terem sido investigadas na população jovem, pouco se sabe sobre como diferentes informações contextuais a respeito das características de perturbação externa discreta influenciam respostas posturais reativas de indivíduos idosos. Estudos prévios têm mostrado que o controle das respostas posturais reativas se altera com o envelhecimento. Por exemplo, diferentemente de jovens, idosos não suprimem totalmente a ativação do músculo gastrocnêmio medial em favor do tibial anterior, quando, após várias translações posteriores, o movimento da base de suporte muda de direção (CHONG; HORAK; WOOLLACOTT, 2000; NASHNER; FORSSBERG, 1986). Tem sido mostrado também que idosos ativam músculos desnecessários durante a estratégia do tornozelo (HORAK; NUTT; NASHNER, 1992). Diversos fatores estão relacionados com as alterações na adaptabilidade das respostas posturais com o envelhecimento, incluindo déficits do sistema musculoesquelético (LIPSITZ et al., 1991; ROBBINS et al., 1989) como também do sistema nervoso (FUJIWARA; KIYOTA; MAEDA, 2011; SEIDLER et al., 2010). Tem sido proposto que a diminuição do funcionamento de áreas de processamento de alta ordem envolvidas com o controle postural nos idosos leva a uma compensação por outras áreas possivelmente envolvidas no processamento atencional sensório-motor, diminuindo a automaticidade das respostas posturais (SEIDLER et al., 2010; TEASDALE; SIMONEAU, 2001). Com isso, o controle postural dos idosos fica mais propenso a ser afetado por informações cognitivas

(LAESSOE; VOIGT, 2008). Dessa forma, acredita-se que as informações contextuais de experiência prévia juntamente com o fornecimento de dica poderiam ser mais bem aproveitadas pelos idosos com o intuito de organizar previamente a resposta postural reativa, tornando-a mais eficiente na manutenção do equilíbrio corporal.

Evidências a partir de resultados realizados com análise neurofisiológica e comportamental corroboram os achados a favor da ideia de que áreas adicionais corticais estariam ativadas para compensar os déficits na adaptabilidade postural relacionados com o processo de envelhecimento (FUJIWARA; KIYOTA; MAEDA, 2011). Foi verificado que ao serem expostos a blocos de sequência repetitiva de mesma direção e amplitude de perturbação, os idosos levavam mais tempo para diminuir a amplitude de deslocamento do CP em comparação aos jovens. No entanto, ao final da sequência de repetição, os idosos conseguiam adaptar as respostas posturais reativas como os jovens. Os autores sugerem que a menor adaptabilidade dos idosos em comparação aos jovens pode ser parcialmente explicada pela menor ativação do lobo frontal verificada neste estudo por meio de análise eletroencefalográfica. Eles sugerem ainda que, possivelmente, os idosos estariam utilizando áreas corticais adicionais para compensar as alterações na adaptabilidade postural. Essa ativação de áreas corticais compensatórias durante a sequência repetitiva nos idosos nos faz sugerir um maior benefício da dica quando associada com a sequência repetitiva.

A presente pesquisa teve como objetivo investigar como a combinação de diferentes informações de contexto, dadas por experiência com tentativas prévias e dicas sobre aspectos temporais e espaciais de uma perturbação iminente, podem modular respostas reativas em indivíduos idosos em comparação a jovens.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PARTICIPAÇÃO DE CIRCUITOS CORTICAIS NAS RESPOSTAS POSTURAS REATIVAS

Manter o controle postural é fundamental para obter sucesso no desempenho de quase todas as tarefas diárias, especialmente daquelas que são desencadeadas por movimentos externos e imprevisíveis. Para lidar com perturbações externas, tais como um tropeço, ultrapassar um obstáculo ou uma freada de um ônibus em movimento, nós precisamos responder rapidamente através de ajustes compensatórios (reativos) para recuperarmos nosso equilíbrio corporal. Com essa finalidade o SNC deve processar e integrar as diferentes informações sensoriais advindas das diversas fontes, incluindo o sistema visual, proprioceptivo e vestibular, para gerar ajustes motores precisos para recuperar o controle postural. Inicialmente, acreditava-se que as respostas posturais reativas eram controladas automaticamente. Respostas automáticas são desencadeadas por estímulos externos e mediadas por circuitos polissinápticos presentes na medula espinhal e tronco encefálico. Tais movimentos possuem latência curta, são mais rápidos e menos variáveis que movimentos voluntários (PROCHAZKA et al., 2000). No entanto, embora mais curta do que em movimentos voluntários, a latência de respostas posturais é maior (cerca de 120 ms) quando comparada a reflexos espinhais de estiramento (40-70 ms) (NASHNER, 1976; TAUBE et al., 2006). A maior latência de respostas posturais sugere que os reflexos posturais recebem eferências corticais (JACOBS; HORAK, 2007). Portanto, em situações dinâmicas nas quais os indivíduos precisam se ajustar a diferentes contextos e requerem uma coordenação sensório-motora mais complexa e sofisticada de coordenação é plausível que não apenas estruturas subcorticais, mas também o córtex cerebral e estruturas de processamento cognitivo de alta ordem estejam envolvidos no controle postural (NIELSEN, 2003).

A participação de nível cortical no controle postural tem sido verificada em situações em que a estabilidade da postura ereta quieta é prejudicada pela realização simultânea de tarefas cognitivas (MAYLOR; WING, 1996; SHUMWAY-COOK et al., 1997). Em um estudo de Shumway-Cook et al. (1997) foram usadas tarefas cognitivas para avaliar o efeito de interação entre cognição e postura durante

postura quieta sobre superfície estável versus instável em idosos e jovens. A estabilidade postural foi quantificada por meio de medidas do centro de pressão (CP) e a tarefa cognitiva através da velocidade e acurácia da resposta verbal. Os resultados indicaram maior prejuízo na tarefa postural, representado por maior deslocamento do CP, do que nas medidas cognitivas para os dois grupos, confirmando a demanda de recursos cognitivos sobre o controle postural. Na condição mais desestabilizadora de superfície, sob uma base de apoio instável, as diferenças na estabilidade postural entre os grupos se tornaram mais evidentes, com os idosos apresentando maior prejuízo no equilíbrio corporal (cf. RANKIN et al., 2000). Além disso, a interação entre os níveis atencional, envolvido com a execução de tarefas cognitivas, e subatencional, envolvido com a manutenção do equilíbrio postural, foi verificada também durante perturbações externas da base de suporte (ADKIN et al., 2006; JACOBS et al., 2008; MIHARA et al., 2008; MOCHIZUKI et al., 2008; SLOBOUNOV et al., 2005). Esses estudos mostraram evidências tanto neurofisiológicas, através de registros eletroencefalográficos, quanto comportamentais em situações de perturbação mecânica da postura ereta para demonstrar a capacidade do SNC em adaptar as respostas posturais frente às modificações das características da perturbação ou condições da tarefa. Essas adaptações das respostas posturais reativas com alterações no estado cognitivo e condições sensório-motoras devido às alterações iniciais de contexto representam ajustes no “*central set*” (PROCHAZKA, 1989). Através do *central set*, conceitua-se que o córtex age previamente para otimizar respostas posturais para um determinado contexto, gerando respostas posturais compensatórias mais eficientes. Como exemplo, quando indivíduos recebem informações a respeito do momento da perturbação postural, alguns estudos observaram mudança na amplitude de ativação cortical precedente à perturbação, a qual estava relacionada com modificações das respostas posturais (menor deslocamento do CP) quando comparado com a condição sem dica (JACOBS et al., 2008; MOCHIZUKI et al., 2008). Outros estudos verificaram a influência do *central set* através da modulação da atividade cortical e respostas posturais compensatórias quando o momento e a amplitude de perturbação eram fornecidos previamente (MOCHIZUKI et al., 2010; SMITH; JACOBS; HORAK, 2012). Mochizuki et al. (2010) encontraram modificações na ativação cortical antes e depois da perturbação relacionadas com as alterações posturais. A magnitude da ativação cortical e das respostas posturais foi ajustada de

acordo com a amplitude da perturbação quando o tamanho dela era fornecido previamente. Em contrapartida, quando os indivíduos não conheciam as características da perturbação, a magnitude da ativação cortical foi sempre alta. Nesse caso, o SNC parece ajustar seu ganho a favor de uma resposta padrão com a finalidade de se adequar para situações de maiores desafios. De acordo com esses achados, um dos papéis da ativação cortical seria modular a magnitude das respostas posturais de acordo com a previsibilidade da magnitude das perturbações posturais. Essas evidências comprovam dados comportamentais de que circuitos medulares envolvidos com o controle postural recebem influência cortical.

Estudos neurofisiológicos realizados através de eletroencefalograma e outros achados de neuroimagem sugerem que várias regiões corticais e subcorticais, tais como as áreas frontais, pré-motora, córtex somatossensorial, cerebelo e gânglios da base estão relacionados com os processos atencionais e de preparação motora envolvidos com o controle da postura (GOLOB; OVASAPYAN; STARR, 2005; MIHARA et al., 2008; OUCHI et al., 1999; SOLOPOVA et al., 2003). Mihara et al. (2008) verificaram quais áreas corticais estão relacionadas com o controle postural após perturbação externa combinando deslocamentos no sentido anterior e posterior da base de suporte comparando condições com dica versus sem dica auditiva sobre o momento da perturbação. Os achados revelaram maior ativação das áreas pré-frontal dorso lateral e do campo visual frontal após perturbação postural, independente da condição. A partir desses achados e assumindo que a área pré-frontal dorso lateral esteja envolvida na alocação seletiva da atenção (LUKS et al., 2007), é provável que a ativação dessa área após perturbação postural deva ser relevante para os processos atencionais no controle postural. Além disso, foi encontrado que a condição com dica sobre o momento da perturbação estava associada também com a ativação da área motora suplementar e córtex parietal posterior direito. O córtex parietal direito recebe aferências dos sistemas visual, somatossensorial, auditivo e vestibular (ANDERSEN et al., 1997) e tem mostrado estar ativo durante situações que requerem atenção visuoespacial. Os autores concluem que, quando os indivíduos recebem uma dica, eles devem se preparar para a perturbação e alocar recursos atencionais adicionais para manutenção do controle postural. Estudo recente empregando paradigma experimental com realidade virtual e medida de EEG analisou perturbação postural induzida através da informação visual da “sala móvel” em situações em que indivíduos recebiam ou não

dica sobre momento e direção da perturbação. Os achados revelaram maior ativação da área frontal-central, relacionada com o controle postural, 500 ms antes de iniciar a perturbação, durante condição imprevisível. Os autores concluem que essa maior ativação cortical antes de ocorrer a perturbação pode estar relacionada com a utilização de áreas cerebrais adicionais com o intuito de atingir as demandas da tarefa postural (SLOBOUNOV; TEEL; NEWELL, 2013).

A influência das respostas reativas através do circuito entre o córtex e o cerebelo está relacionada com a pré-seleção e otimização das respostas posturais de acordo com a informação do contexto (JACOBS; HORAK, 2007). O cerebelo recebe informações sensoriais da medula espinhal, informações motoras do córtex encefálico e informações sobre equilíbrio postural dos órgãos vestibulares do ouvido interno. As conexões com estruturas medulares e corticais permitem que o cerebelo compare constantemente o movimento executado com o intencionado, fazendo ajustes para que os movimentos estejam sintonizados e coordenados de acordo com o objetivo final da tarefa. Dessa forma, esse circuito córtico-cerebelar é responsável por adaptar respostas posturais baseadas em experiência prévia (THACH; BASTIAN, 2004). O envolvimento desses circuitos no *central set* é confirmado através de evidências em pacientes cerebelares. Pacientes com lesão cerebelar quando submetidos a repetidas perturbações da base de suporte, diferentemente de indivíduos saudáveis, não conseguem ajustar as respostas posturais com base na experiência com amplitude de deslocamento prévio (HORAK; DIENER, 1994).

2.2 EFEITO DE DICAS PRÉVIAS NO CONTROLE POSTURAL

O efeito de dicas prévias a respeito das características da perturbação tem sido investigado em estudos que avaliaram o efeito da dica sobre direção (BADKE; DUNCAN; DI FABIO, 1987; DE LIMA; DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2010; DIENER et al., 1991), magnitude (DIENER et al., 1991; MAKI; WHITELAW, 1993) e momento (ADKIN et al., 2008; ADKIN et al., 2006; JACOBS et al., 2008; MOCHIZUKI et al., 2008) da perturbação. Em um estudo com adultos jovens, DIENER et al. (1991) ofereceram dicas sobre amplitude e sentido da perturbação. Contrariamente à hipótese de benefício da dica na regulação postural, os resultados mostraram que respostas musculares de longa latência e valores do CP não foram

alterados quando as características da perturbação eram conhecidas previamente. Maki e Whitelaw (1993) avaliaram o efeito da dica a respeito da amplitude da perturbação postural. Os resultados mostraram que a dica não teve efeito no deslocamento do CP. Um dos aspectos que podem ter contribuído para não ter sido encontrado efeito de dica é o fato de os autores não terem controlado os ajustes antecipatórios. Em ambos os estudos foram observados movimento do CP antes de ocorrer a perturbação, o que pode ter influenciado o comportamento das respostas posturais reativas. Em contradição com os resultados indicando efeito nulo da dica em resposta a perturbações posturais do equilíbrio (DIENER et al., 1991; MAKI; WHITELAW, 1993), investigações mais recentes têm indicado que a dica pode desempenhar um papel em respostas posturais reativas (ADKIN et al., 2008; DE LIMA; DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2010; JACOBS et al., 2008; SMITH; JACOBS; HORAK, 2012). No estudo de Smith et al. (2012) as respostas posturais foram avaliadas quando os participantes recebiam dica prévia a respeito do momento e amplitude (com 6 e 12 cm) da perturbação. Os resultados mostraram uma adaptação das respostas posturais, através da mudança da taxa de inclinação do deslocamento do CP de acordo com a magnitude e previsibilidade das respostas posturais. Portanto, a mudança da inclinação do CP foi menor na condição com dica sobre amplitude menor de perturbação em comparação com a condição com maior amplitude, refletindo uma resposta apropriada de maior eficiência. Os valores do CP também foram menores para a condição com dica em comparação com a condição sem dica. No estudo de Jacobs et al. (2008) foi fornecida dica visual do sentido de deslocamento da base de suporte na situação de manutenção da postura ereta, mantendo constante o intervalo precedente à perturbação postural. Os resultados mostraram que a dica afetou tanto a atividade cortical como as respostas posturais. A análise eletroencefalográfica mostrou que a ativação cortical foi detectada antes da perturbação postural apenas quando a dica foi fornecida. A análise postural revelou menor deslocamento do CP em resposta ao deslocamento da base de apoio apenas na situação de recebimento de dica. O estudo de Adkin et al. (2008) também verificou o efeito da dica temporal e de direção na modulação das respostas posturais e corticais. Nas condições com dica os participantes sofriam perturbações da base de suporte sempre no sentido anterior, após fornecimento de um bip auditivo. Os resultados revelaram maior amplitude de ativação muscular e ativação cortical durante situações sem dica em comparação à condição em que dicas eram

fornecidas. As situações imprevisíveis de perturbação postural desencadearam um potencial negativo de maior magnitude antes das respostas posturais reativas (ADKIN et al., 2006). Este potencial evocado foi considerado como um sinal de erro produzido pelo sistema nervoso central para desencadear respostas compensatórias posturais. Sendo assim, mudanças nas respostas corticais relacionadas à ameaça postural dependem do contexto em que ocorre a perturbação postural.

Corroborando os achados acima, um estudo comportamental recente evidenciando o efeito da dica em respostas posturais reativas foi realizado quando participantes tinham conhecimento prévio sobre o sentido de deslocamento da base de apoio em condições de diferentes exigências de estabilidade postural (DE LIMA; DE AZEVEDO NETO; TEIXEIRA, 2010). Na situação de maior exigência de equilíbrio corporal, os participantes deviam manter a postura ereta estável enquanto equilibravam um objeto manualmente. Os resultados mostraram que o efeito de dica foi detectado em menores deslocamentos articulares somente do quadril. Adicionalmente, a análise eletromiográfica mostrou que a latência de ativação muscular só foi reduzida quando se combinou o oferecimento de dica com a execução da tarefa de equilíbrio manual, impondo maior demanda de equilíbrio corporal. À medida que variações na ativação muscular observadas neste estudo foram aparentemente eliciadas pelo controle voluntário manual requisitando maior estabilidade corporal, é plausível que o maior envolvimento atencional na tarefa seja um pré-requisito para se observar o efeito de dica sobre a recuperação do equilíbrio em resposta a uma perturbação postural.

Os resultados até aqui apresentados revelaram importantes variações neurais e comportamentais desencadeadas pela dica a respeito de uma perturbação externa. Esses achados demonstram a influência cortical nas respostas posturais reativas baseadas no conhecimento das características da perturbação postural, e a influência dessas informações de contexto no *central set* em jovens. A modificação do *central set* com a dica reflete uma preparação de alta ordem da resposta postural, antes mesmo que qualquer ajuste de feedback possa ser feito, com o intuito de minimizar a perturbação corporal. No entanto, ainda não se sabe como uma dica sobre características da perturbação afeta respostas posturais de indivíduos idosos. O estudo mais recente analisando o efeito de dica sobre perturbação foi feita em indivíduos com doença de Parkinson, no entanto a seleção do grupo controle foi feita

utilizando participantes idosos e adultos jovens em conjunto (SMITH; JACOBS; HORAK, 2012).

2.3 EFEITO DA EXPERIÊNCIA COM TENTATIVAS PRÉVIAS NO CONTROLE POSTURAL

A adaptação de respostas posturais reativas durante tentativas repetitivas (experiência prévia) tem sido verificada por meio da comparação de perturbações posturais repetitivas versus aleatórias (BECKLEY et al., 1991; HORAK; DIENER; NASHNER, 1989; TOKUNO et al., 2010; VAN OOTEGHEM et al., 2008). No estudo de Horak et al. (1989) respostas posturais foram avaliadas quando os participantes recebiam cinco amplitudes de perturbação apresentadas de maneira repetida ou aleatória. Os participantes realizavam 5 tentativas repetidas para cada uma das diferentes amplitudes. Os resultados mostraram que a magnitude das respostas posturais foi ajustada de acordo com as diferentes amplitudes de perturbação baseada na experiência prévia. Os resultados mostraram também menor tempo de deslocamento do CP durante as tentativas repetitivas em comparação com as aleatórias. Outro estudo foi realizado para avaliar sequências repetitivas de magnitude de perturbação (4 e 10 graus de rotação da base de suporte) com 20 tentativas para cada magnitude (BECKLEY et al., 1991). Nesse estudo as sequências de tentativas foram fornecidas sempre na mesma direção de rotação e foram comparadas com sequências aleatórias de magnitude. Os resultados mostraram menor magnitude de ativação muscular para a sequência repetitiva em comparação à aleatória. Os achados dos estudos de Horak et al. (1989) e Beckley et al. (1991) sugerem que a magnitude de respostas posturais é modulada pela experiência com tentativas prévias. Segundo Horak et al. (1989), o *central set* permite que se modifiquem respostas posturais reativas à perturbação postural levando em consideração a experiência prévia com as características da perturbação e a efetividade das respostas anteriores. Em estudo realizado por Maki e Whitelaw (1993) respostas posturais de jovens foram avaliadas através da sequência de tentativas repetitivas usando apenas uma única magnitude de perturbação em diferentes direções. Os achados mostraram influência da experiência prévia nas respostas posturais, observadas através de menor deslocamento do CP nas quatro últimas tentativas quando comparado com as

quatro tentativas iniciais. No entanto, o estudo não comparou o efeito de sequência repetitiva com a sequência aleatória de magnitude de perturbação. Com o intuito de investigar as mudanças na adaptação do controle postural com a experiência prévia, um estudo recente analisou a ativação cortical entre dois blocos de sequências de tentativas repetitivas de direção e magnitude de perturbação e sua correlação com respostas posturais (FUJIWARA; KIYOTA; MAEDA, 2011). A análise do sinal cortical foi feita através de eletroencefalografia para avaliar o componente tardio de ativação cortical no o lobo frontal, relacionado ao controle postural. Segundo os autores, a ativação desse componente tardio aumenta em função do aumento da atenção direcionada à perturbação, refletindo processos de preparação para responder à perturbação. Os resultados mostraram que tanto os jovens quanto os idosos foram capazes de adaptar as respostas posturais (menor amplitude de deslocamento do CP) ao longo das tentativas repetitivas de mesma direção e magnitude. Eles verificaram que ambos os grupos etários apresentaram resultados semelhantes na avaliação das cinco últimas tentativas de adaptação após terem executado 40 tentativas (20 para bloco). Porém, os idosos levaram mais tempo para se adaptar do que os jovens. Tem sido evidenciado que o processo de adaptação postural é observado através da redução da amplitude de ativação muscular, o que ocorre a partir terceira tentativa para os jovens (BUGNARIU; SVEISTRUP, 2006; HORSTMANN; GOLLHOFER; DIETZ, 1988; NASHNER, 1976) e a partir da quinta tentativa para os idosos. A adaptação postural seria alcançada através da seleção apropriada dos reflexos posturais, iniciados pelos proprioceptores do tornozelo e mediadas pelo cerebelo (NASHNER, 1976). A análise cortical mostrou maior amplitude de ativação durante o segundo bloco em comparação ao bloco inicial somente para os jovens. Esses resultados sugerem que com a adaptação do controle postural é provável que os jovens direcionem maior atenção para a perturbação. Embora os idosos tenham sido capazes de adaptar suas respostas posturais, não foi verificada diferença na ativação cortical entre os dois blocos de sequência repetitiva. Nesse sentido, os autores concluem que outras áreas cerebrais devem ter sido utilizadas pelos idosos para adaptar o controle postural e, assim, poder atingir semelhante desempenho.

De forma geral, os estudos apresentados demonstram a capacidade do sistema nervoso em modificar a resposta postural reativa através da extração de

informações das tentativas repetitivas da perturbação e adotar uma estratégia de controle para manutenção do equilíbrio.

2.4 ENVELHECIMENTO E CONTROLE POSTURAL

O processo natural de envelhecimento está associado com alterações no controle postural. Essas alterações incluem declínio nos sistemas sensório-motor e sistema nervoso, que por sua vez são responsáveis pelo aumento do risco de quedas (COLLINS et al., 1995; FASANO et al., 2012). Acompanhada dessas alterações está a restrição na habilidade de se adaptar a diferentes tarefas e contextos. Geralmente as alterações do envelhecimento são detectadas quando os idosos são expostos a situações mais imprevisíveis, como por exemplo, ficar de pé dentro de um ônibus em movimento e andar em superfícies irregulares. Essas situações exigem que eles respondam rápida e eficientemente a uma perturbação postural para recuperar o equilíbrio, reduzindo assim a probabilidade de queda (PAVOL; PAI, 2002). Tem sido mostrado que os idosos apresentam alterações em relação aos jovens quando precisam adaptar respostas posturais a variados parâmetros de perturbação (CHONG; HORAK; WOOLLACOTT, 2000; FRANSSON et al., 2004; FUJIWARA; KIYOTA; MAEDA, 2011). Além disso, evidências experimentais sugerem que, diferentemente dos jovens, idosos não suprimem totalmente a ativação do músculo gastrocnêmio medial em favor do tibial anterior quando após várias translações posteriores o movimento da base de suporte muda de direção (CHONG; HORAK; WOOLLACOTT, 2000; WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK; NASHNER, 1986). Para avaliar a adaptação de respostas posturais com a experiência de tentativas prévias em idosos, foi analisada a frequência de oscilação do CP com relação à primeira e quinta tentativas dos jovens quando eles eram expostos a oscilações no eixo ântero-posterior da plataforma (FUJIWARA et al., 2007). Os resultados mostraram um declínio geral na adaptabilidade e aumento na frequência média do CP nos idosos. A adaptação postural, assim, foi mostrada diminuir com o avanço da idade.

Diversos fatores estão relacionados com as alterações na adaptabilidade das respostas posturais com o envelhecimento, incluindo, por exemplo, redução das informações dos sistemas sensoriais visuais, somatossensoriais e vestibulares (WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK, 2002; WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK;

NASHNER, 1986). Além desses déficits periféricos, outros fatores também são apontados como responsáveis pelas alterações posturais presentes nos idosos, como por exemplo, a deterioração nos níveis superiores de controle postural. Tem sido reportada uma diminuição expressiva de neurônios no cerebelo (THACH, 1998) e núcleos da base (ALEXANDER, 1994) com o envelhecimento. É esperado com o envelhecimento que alterações no cerebelo e gânglios da base estejam relacionadas à menor adaptabilidade do controle postural. Com o envelhecimento ocorre também uma diminuição da eficiência do funcionamento do córtex pré-frontal e parietal, evidenciada em estudos neuroquímicos (INOUE et al., 2001; KAASINEN et al., 2000), neuroanatômicos (TISSERAND et al., 2004) e funcionais (LABYT et al., 2003). A alteração dessas áreas verificadas com o efeito da idade pode ser relevante para o desempenho motor nos idosos, pois eles dependem mais dessas áreas corticais para manutenção do controle postural do que os jovens (SEIDLER et al., 2010). Tem sido proposto que a diminuição do funcionamento do córtex parietal leva à maior necessidade de envolvimento atencional no processamento sensorio-motor em idosos, diminuindo a automaticidade das respostas posturais (SEIDLER et al., 2010; TEASDALE; SIMONEAU, 2001). A diminuição do funcionamento do córtex parietal associada com déficits sensoriais e motores podem levar à redução na habilidade de integrar e processar diferentes informações sensoriais. Conseqüentemente, a geração dos movimentos tem que ser reajustada, ocasionando um desempenho da resposta postural para um modo de controle mais consciente. Com isso, o controle postural dos idosos parece ficar mais permeável à influência cognitiva (LAESSOE; VOIGT, 2008). Evidências têm mostrado que a diminuição na eficiência de áreas envolvidas com o controle postural, como por exemplo, o córtex parietal, acarreta uma maior ativação cortical e envolvimento de outras áreas corticais como forma de compensação (LI; DINSE, 2002; WU; HALLETT, 2005). Estas áreas corticais estão relacionadas aos processos de controle cognitivo e de processamento de informação sensorial, como a área motora pré-suplementar, lobo parietal posterior bilateral, área sensoriomotora. Normalmente estas áreas não estão ativas nos jovens, o que pode explicar processos mais automatizados de controle postural desse grupo.

Adicionalmente, estudos comportamentais têm sido realizados para demonstrar menor automatização das respostas posturais nos idosos. Ao contrário de adultos jovens, tem sido encontrada demanda atencional aumentada na manutenção do

controle postural em idosos em condições requisitando a manutenção da postura ereta. Teasdale et al. (1993) avaliaram a demanda de processamento cognitivo para controle postural, por meio de tarefa probatória, em função da complexidade da tarefa postural. A complexidade da tarefa postural foi manipulada por meio da disponibilidade de informação visual (com x sem visão) e base de suporte, (superfície fixa x móvel). Os resultados mostraram que apenas os idosos apresentaram maior atraso no tempo de reação da tarefa probatória com o aumento da complexidade da tarefa postural. Estes resultados indicam maior envolvimento cognitivo na regulação postural em idosos do que em jovens. Evidência adicional da maior participação do nível cortical no controle postural em idosos tem sido apresentada em condições em que é necessário controlar o equilíbrio após perturbação postural simultaneamente à realização de uma tarefa secundária de caráter cognitivo (BROWN; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1999; RANKIN et al., 2000; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2000). Rankin et al. (2000) avaliaram as características da resposta neuromuscular na recuperação do equilíbrio corporal usando uma plataforma móvel. Foram comparadas as condições de tarefa simples, apenas manutenção postural, com tarefas duais, postural ou cognitiva. Os resultados mostraram que na situação de tarefa dual os idosos apresentaram redução da magnitude da resposta do músculo gastrocnêmio, agonista na recuperação da estabilidade postural. Em conjunto, estes resultados evidenciam maior utilização de recursos cognitivos e menor automatização das respostas posturais em idosos em comparação a indivíduos jovens.

3 EXPERIMENTO 1

3.1 OBJETIVOS

Este experimento teve como objetivo comparar entre indivíduos jovens e idosos os efeitos de (1) dica a respeito da direção de rotação da base de apoio e/ou (2) sequência da direção de rotação da base de apoio (aleatória versus repetitiva) sobre respostas posturais reativas.

3.2 JUSTIFICATIVA

Ao receber informações do contexto, seja através do fornecimento de dica espacial ou através da influência de tentativas repetitivas de perturbações posturais, ajustes reativos são modulados, minimizando as oscilações corporais derivadas da perturbação da postura quieta. No entanto, os estudos até o momento verificaram a influência dessas informações quando elas eram fornecidas separadamente. Ainda não está claro como essas duas informações contextuais quando utilizadas simultaneamente são capazes de modular os ajustes posturais reativos. Considerando-se que indivíduos idosos apresentam menor automatização da resposta postural, poder-se-ia esperar que informações contextuais associadas a uma perturbação postural iminente levassem a efeitos diferenciais na recuperação do equilíbrio corporal entre indivíduos jovens e idosos.

3.3 HIPÓTESES

As seguintes hipóteses foram formuladas:

(1) Respostas posturais reativas são beneficiadas por dicas sobre o sentido de perturbação postural.

(2) Respostas posturais reativas são beneficiadas por sequência de tentativas tendo o mesmo sentido de perturbação postural em comparação a séries de tentativas com sentidos de perturbação em sequência variável.

(3) Indivíduos idosos são mais beneficiados por informações contextuais (dica e séries repetidas de tentativas) em respostas posturais reativas na regulação postural em comparação a adultos jovens.

3.4 MÉTODOS

3.4.1 Participantes

Participaram do estudo 13 jovens (10 do sexo feminino), de 18 a 34 anos ($M=24,76$ anos, $dp=6,07$) e 15 idosos (12 do sexo feminino), de 66 a 82 anos ($M=73,6$ anos, $dp= 5,15$) sadios e fisicamente ativos. Como critérios de inclusão, os participantes não podiam apresentar qualquer alteração cognitiva, sensorial ou musculoesquelética que comprometesse o equilíbrio e o desempenho na tarefa experimental. Os participantes foram recrutados na Escola de Educação Física e Esporte e no Centro de Práticas Esportivas da Universidade de São Paulo. Os idosos eram totalmente independentes de assistência na realização de atividades diárias e participavam de um programa supervisionado de atividade física duas vezes por semana. Os jovens eram estudantes da própria universidade que participavam regularmente de atividades esportivas. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento esclarecido, sendo que os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética local.

3.4.2 Tarefa e equipamentos

A tarefa experimental consistiu em manter a postura ortostática de forma estável em resposta à rotação da base de suporte. Os participantes mantiveram-se com os braços relaxados ao lado do corpo, pés descalços e olhos abertos. Em resposta à rotação da base de suporte, os participantes deveriam permanecer com os dois pés na posição inicial, sem realizar apoio manual. O equipamento empregado para gerar rotações da base de suporte foi o Equitest (NeuroCom PRO Balance Master System). Este equipamento dispõe de uma plataforma de força para o apoio de cada pé, gerando rotações com amplitude e velocidade controladas. Os movimentos de rotação da base de suporte foram produzidos com amplitude de 10° em ambos os sentidos: flexão plantar (FP) e dorsiflexão (DF) e velocidade de $33^\circ/s$ para DF e $50^\circ/s$ para FP.

3.4.3 Delineamento experimental e procedimentos

Dicas sobre o sentido de rotação da plataforma foram fornecidas por meio de setas verticais pretas, medindo 8 cm de altura x 11 cm de largura, apresentadas num monitor de 20 polegadas com tela em fundo branco, disposto à distância de 1,5 m e à altura dos olhos do participante. Setas apontando para cima indicavam que a rotação da plataforma induziria dorsiflexão, enquanto que as setas apontando para baixo indicavam flexão plantar.

Cada participante foi submetido a quatro condições experimentais resultantes da combinação de dica e sequência de direção da rotação da plataforma. Na condição com dica, o participante deveria prestar atenção a uma seta apresentada na tela do monitor por 2 s indicando a direção da rotação da plataforma a cada tentativa. Imediatamente após o desaparecimento da seta, a tela do monitor aparecia em fundo branco durante um intervalo entre 500 e 2000 ms, o qual poderia ocorrer a rotação da plataforma. Na condição sem dica, o participante não tinha informação sobre a direção da perturbação e deveria observar um círculo preto de 2 cm de diâmetro projetado na tela do monitor, durante um intervalo entre 500 e 2000 ms, durante o qual poderia ocorrer a rotação da plataforma. O segundo fator, sequência da direção de rotação da plataforma, foi manipulado através do fornecimento de tentativas repetitivas do sentido de rotação da plataforma em comparação à sequência aleatória. Para a sequência repetitiva, um único sentido de rotação era empregado em um bloco de tentativas. Para a sequência aleatória de sentido de rotação, as tentativas dentro de um bloco foram pseudorandomizadas, com a restrição de não haver mais do que duas tentativas consecutivas para o mesmo sentido.

Cada condição experimental consistiu de um bloco de 16 tentativas, com 8 tentativas para cada sentido de rotação. Para a sequência repetitiva, os participantes realizaram 8 tentativas em um determinado sentido de rotação e outra série de 8 tentativas no sentido oposto. Para a sequência aleatória, a sequência de sentidos de deslocamento da plataforma nas 16 tentativas (8 para cada sentido) foi pseudorandomizada. Os participantes receberam intervalo de 30s entre as tentativas dentro de cada bloco, tempo necessário para que a plataforma retornasse lenta e automaticamente para a posição horizontal com o participante sobre ela. Antes de cada tentativa, o experimentador verificava a posição do centro de pressão do

participante na plataforma. O centro de pressão deveria estar dentro de uma área alvo pré-determinada, indicando uma posição neutra para minimizar ajustes antecipatórios. Eram oferecidos intervalos de 5 min. entre os blocos. Durante esse período, os participantes saíam da plataforma e permaneciam sentados numa cadeira.

Os participantes não tinham conhecimento sobre o momento da perturbação e eram instruídos a recuperar o equilíbrio evitando dar um passo em resposta à perturbação. O olhar deveria ser fixado no monitor a todo instante. Antes de iniciar cada bloco de tentativas, eram fornecidas instruções específicas. Para o primeiro bloco de tentativas com dica, era explicado o significado da direção da seta. A mesma explicação era reforçada para o segundo bloco de tentativas com dica. Para complementar as instruções, uma tentativa de familiarização com dica era realizada para cada sentido de rotação da plataforma. A segurança dos participantes era garantida pelo uso de um colete de segurança com fixação na parte superior do tronco e cabos conectando o colete à parte superior da estrutura da plataforma. Além disso, um dos experimentadores permanecia posicionado próximo ao participante para aumentar a segurança do participante.

3.4.4 Coleta e análise de dados

A ativação dos músculos tibial anterior (TA) e gastrocnêmio medial (GM) da perna direita foi capturada com um eletromiógrafo (EMG System) de 16 canais, sendo 4 de instrumentação, e eletrodos bipolares de superfície de Ag-AgCl. Eletrodos para a análise de eletromiografia (EMG) foram posicionados de acordo com as diretrizes do projeto de avaliação muscular não invasiva por EMG de superfície SENIAM (HERMENS et al., 2000).

Os dados da plataforma de força e os registros eletromiográficos foram sincronizados por sinal externo proveniente do início da aquisição da plataforma de força. A frequência de amostragem para EMG foi de 1000 Hz e a taxa de amostragem dos valores de CP originários da plataforma de força foi de 500 Hz. O sinal eletromiográfico foi filtrado utilizando um filtro passa-banda de 20-450 Hz. Para os dados de CP, foi utilizado um filtro recursivo passa-baixa Butterworth de quarta ordem com frequência de corte de 10 Hz.

3.4.5 Variáveis dependentes

Foram avaliadas as seguintes variáveis dependentes:

Cinética

Amplitude de deslocamento anteroposterior do centro de pressão (CPamp).

Deslocamento do CP no eixo anteroposterior entre os instantes de rotação da base de suporte e primeira reversão da curva de CP.

Eletromiografia (EMG)

Latência de ativação muscular. Tempo entre o instante de início de rotação da plataforma e o primeiro valor do envoltório do sinal muscular ultrapassando 5% da sua máxima magnitude, com valores subsequentes crescentes.

Magnitude de ativação muscular (MAM). Integral do sinal EMG durante os primeiros 75ms após o início da atividade muscular. Para a normalização da magnitude, identificou-se o valor máximo de ativação muscular entre as tentativas de todas as condições para cada sujeito. Posteriormente dividiu-se o valor da magnitude de cada tentativa por este máximo valor.

3.4.6 Análise dos dados

A extração dos dados para análise foi feita por meio do programa Matlab, após inspeção visual. A análise dos dados foi feita com as quatro últimas tentativas de cada bloco. Foram verificadas as exigências para análise paramétrica, normalidade e homocedasticidade, por meio do teste de Kolmogorov e de Hartley, respectivamente. Foi empregado um modelo de análise de variância de 3 fatores, 2 (idade) x 2 (dica) x 2 (sequência), com medidas repetidas nos dois últimos fatores. Comparações post hoc foram realizadas por meio da prova de Newman-Keuls. O nível de significância foi estabelecido em 5%.

3.5 RESULTADOS

Os dados foram coletados para ambos os sentidos de rotação da plataforma para permitir a aleatorização do sentido da perturbação. No entanto, serão

apresentados os dados somente para o sentido “flexão plantar” pela semelhança desse sentido às possibilidades reais de perturbação do equilíbrio no cotidiano e por esse sentido ter apresentado resultados mais consistentes e coerentes com as variáveis analisadas. Desta forma, para a rotação da base no sentido de flexão plantar (FP) analisou-se o músculo gastrocnêmio medial (GM). A seguir são apresentadas curvas representativas de CP e EMG (Figura 1).

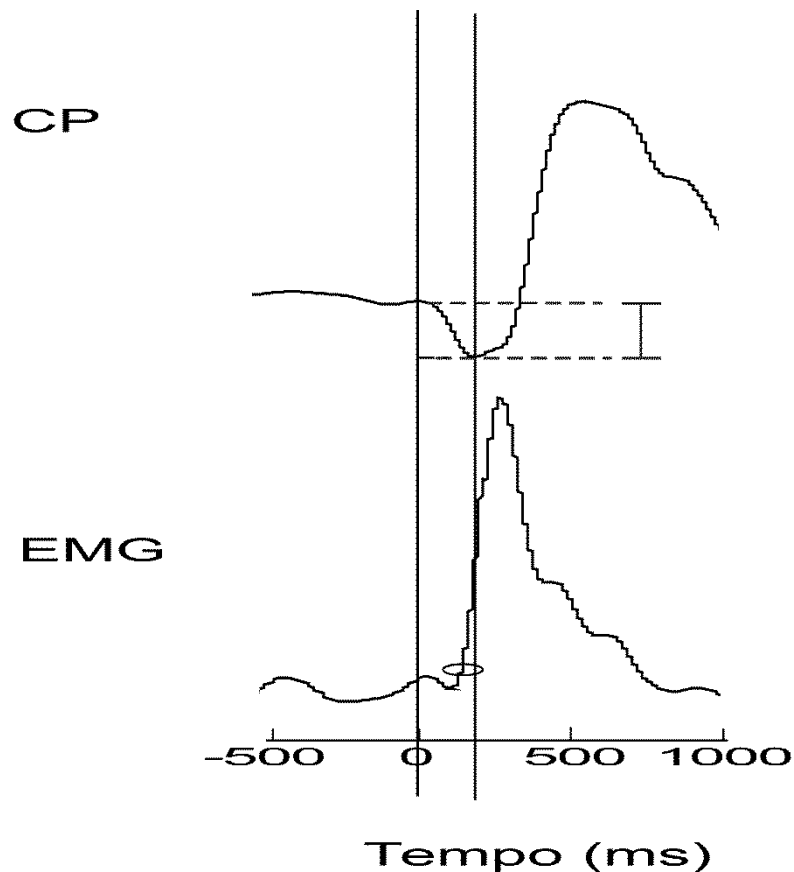


Figura 1 - Representação do desempenho de um sujeito em uma tentativa de rotação da plataforma no sentido “flexão plantar”. Estão representados o deslocamento do CP e a ativação do músculo gastrocnêmio. A linha vertical em zero no eixo temporal indica o início da perturbação postural e a segunda linha indica o primeiro pico de reversão da curva do CP. O círculo na curva do EMG representa o início da ativação muscular.

Amplitude de deslocamento do centro de pressão (CPamp)

A análise da *CPamp* apontou efeito principal significativo para sequência, $F(1, 23)=40,91$, $p<0,001$. O efeito foi devido ao fato de a sequência repetitiva ter induzido

valores menores ($M=1,82$ cm, $ep=0,15$) em comparação à sequência aleatória ($M=2,44$ cm, $ep=0,18$) (Figura 2C).

Latência de ativação muscular

A análise da latência de ativação do músculo GM apontou efeito principal significativo para sequência, $F(1, 23)=5,86$, $p=0,023$. Este efeito principal foi devido à latência ter sido menor para a sequência aleatória ($M=107,12$ ms, $ep=4,56$) em comparação à sequência repetitiva ($M=111,21$ ms, $ep=5,15$) (Figura 2A).

Magnitude de ativação muscular (MAM)

A análise dos valores da MAM apontou efeitos principais significantes para sequência $F(1, 23)=30,61$, $p<0,001$ e dica $F(1, 23)=7,49$, $p=0,011$. O efeito de sequência foi devido à menor magnitude na sequência repetitiva ($M=0,55$, $ep=0,03$) em comparação à aleatória ($M=0,68$, $ep=0,03$). O efeito principal de dica foi devido à menor magnitude para a condição com dica ($M=0,59$, $ep=0,03$) em comparação à condição sem dica ($M=0,64$, $ep=0,04$) (Figura 2B).

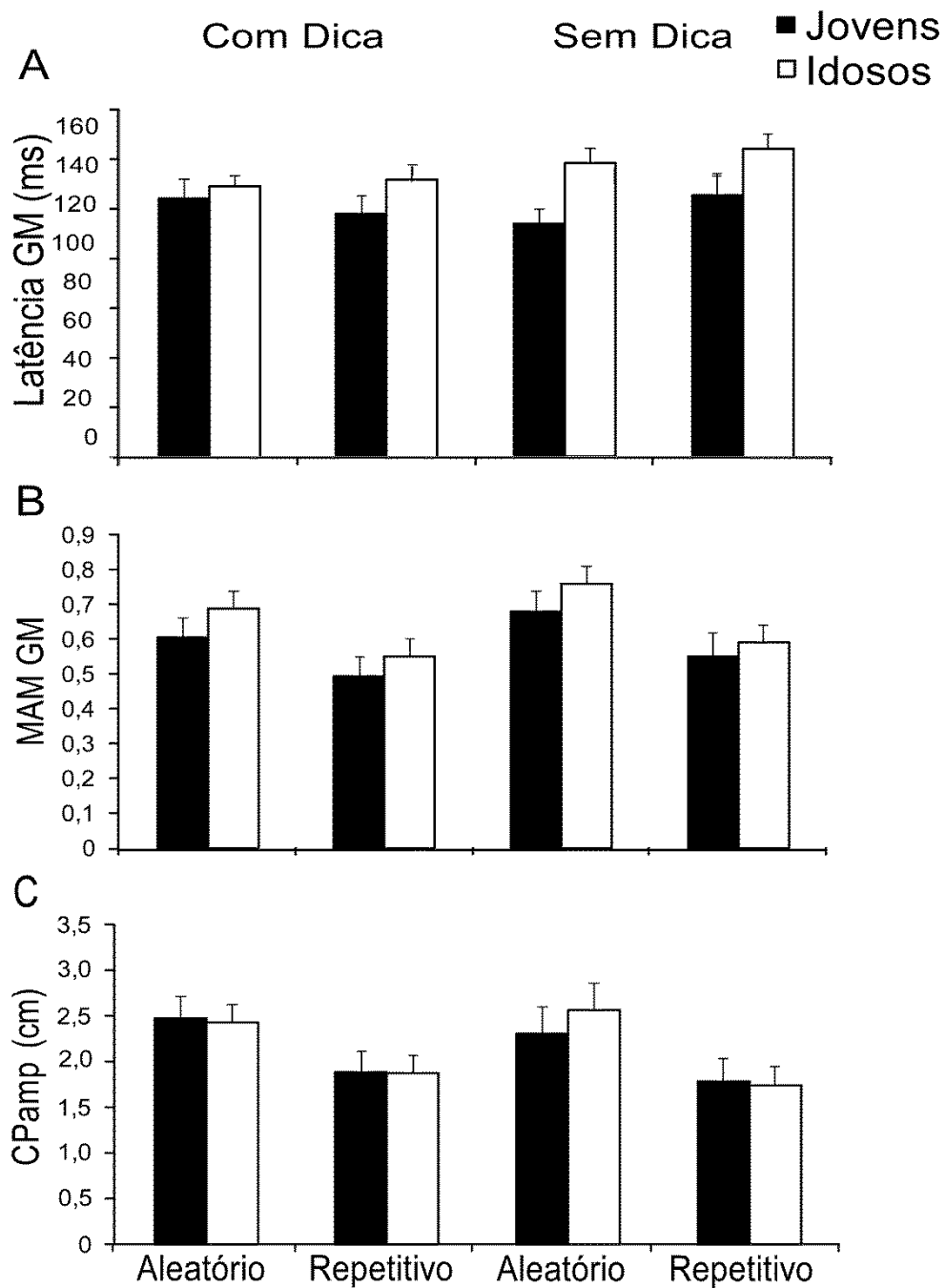


Figura 2 - Médias e erros-padrão (barras verticais) dos valores de latência (A) e magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial (B), e amplitude de deslocamento do centro de pressão (C) no sentido de flexão-plantar comparando grupos de indivíduos idosos e jovens em função das condições experimentais.

3.6 DISCUSSÃO

O Experimento 1 objetivou comparar os efeitos dos fatores contextuais dica e sequência da direção de rotação da base de apoio sobre respostas posturais reativas entre indivíduos jovens e idosos. A partir das hipóteses formuladas, esperava-se que ambos os grupos fossem beneficiados na regulação postural por informações contextuais (dicas sobre a direção de perturbação e séries repetitivas de tentativas), com os indivíduos idosos apresentando maior benefício do que os jovens. Os resultados mais expressivos foram observados para o efeito de sequência de tentativas. Foi verificada menor amplitude de deslocamento do CP e menor magnitude de ativação muscular para a sequência repetitiva em comparação à sequência aleatória, assim como menor latência de ativação muscular para a sequência aleatória para ambos os grupos etários. O efeito de dica sobre a direção da perturbação foi observado apenas para magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial, de forma equivalente para ambos os grupos etários. Os resultados não apontaram efeitos associados à idade em nenhuma das informações contextuais.

Através da utilização da sequência repetitiva, foi possível avaliar a habilidade dos indivíduos de modificar (reduzir) as respostas posturais gradualmente às tentativas subseqüentes com relação à experiência prévia com a perturbação de mesma direção. As mudanças ocorridas nas respostas posturais reativas com a sequência repetitiva de direção da perturbação podem representar uma melhora na eficiência do controle postural, uma vez que a tarefa postural foi desempenhada com menor magnitude de ativação muscular e menor deslocamento do CP quando comparado com a sequência aleatória. Estudos sugerem que o circuito córtico-cerebelar é responsável por adaptar as respostas posturais baseadas na experiência prévia sobre a característica da perturbação (THACH; BASTIAN, 2004). O papel do cerebelo de pré-selecionar a resposta muscular antes de iniciar a perturbação tem suporte em achados em pacientes com lesão cerebelar anterior mostrando prejuízo nos ajustes das respostas posturais à perturbação e a falta de modulação das respostas quando a amplitude de perturbação era previsível, baseado na experiência prévia em relação a indivíduos sadios (HORAK; DIENER, 1994). O fato de os participantes extraírem informações das tentativas de perturbação repetitiva

parece ter induzido uma pré-seleção mais apropriada das respostas posturais, baseada na experiência prévia e contexto atual.

Os resultados sobre o efeito da dica de direção indicaram diminuição da magnitude de resposta muscular quando foi fornecida dica sobre a direção da perturbação. Porém, a amplitude de deslocamento do CP não foi alterada pelo oferecimento de dica. Tais evidências sugerem que a dica pode otimizar a resposta muscular, através da diminuição da ativação do músculo gastrocnêmio medial sem modificar a oscilação corporal. Embora não tenha sido analisada a ativação de outros grupos musculares, menor magnitude de ativação do músculo GM poderia ser resultado de uma melhor sinergia muscular e ativação mais eficaz da força muscular para manter o controle postural. Sabe-se que respostas posturais não resultam de sinergias fixas, sendo alteradas por experiência prévia (HORAK; DIENER; NASHNER, 1989), intenção (BURLEIGH; HORAK, 1996; HORAK; DIENER; NASHNER, 1989) e diferentes superfícies de suportes (HORAK; NASHNER, 1986). Dessa forma, é possível que os músculos sejam recrutados de forma sinérgica em resposta à perturbação postural, e que essas sinergias sejam alteradas de maneira flexível, dependendo do contexto e da tarefa (HENRY; FUNG; HORAK, 1998). A modulação da magnitude muscular a partir da utilização da dica sobre a direção da perturbação observada em nosso estudo sugere que não apenas informações sensoriais periféricas têm papel importante em sinalizar as exigências de resposta à perturbação, mas que mecanismos centrais também participam da modulação do controle postural reativo (HORAK; NASHNER, 1986; TORRES-OVIEDO; MACPHERSON; TING, 2006). Segundo Oviedo (2006), é provável que as sinergias musculares sejam coordenadas por estruturas supraespinhais, tais como o tronco cerebral ou cerebelo, devido à necessidade de integrar diferentes modalidades sensoriais de fontes somatossensoriais, visuais e vestibulares. Consistente com a ideia de que a programação central pode, juntamente com a informação sensorial periférica, modular e determinar os padrões de ativação muscular, estudos têm mostrado que diferentes padrões de resposta postural podem ser utilizados dependendo das condições iniciais de superfícies e posições posturais (HENRY; FUNG; HORAK, 1998; HORAK; NASHNER, 1986). Como exemplo, pode-se citar a mudança de sinergia de acordo com a mudança da base de suporte. Quando a perturbação ocorre em uma base de suporte grande, o indivíduo emprega a estratégia do tornozelo. À medida que a base de suporte diminui dá-se lugar às

estratégias do quadril e do passo (HORAK; NASHNER, 1986). No entanto, essas mudanças ocorreram a partir de 10-12 tentativas, indicando que há um período de adaptação para otimizar o padrão de movimento. Assim como no estudo de Horak e Nashner (1986) a mudança na ativação muscular do presente estudo foi observada após algumas tentativas (4 tentativas), o que nos faz supor que a magnitude de ativação muscular tenha provavelmente sido influenciada pela dica prévia sobre direção da perturbação após participantes estarem familiarizados com o contexto da tarefa.

4 EXPERIMENTO 2

4.1 OBJETIVO

O objetivo do presente experimento foi comparar o efeito de dicas prévias a respeito de aspectos temporais e/ou espaciais dos sentidos de rotação da base de apoio sobre respostas posturais reativas em indivíduos idosos em comparação com jovens.

4.2 JUSTIFICATIVA

Empregando um protocolo análogo àquele do primeiro experimento, em que o fornecimento de dica mostraria ligação funcional entre os níveis atencional e automático de regulação postural, neste estudo o participante recebia informação completa ou parcial sobre as características de uma perturbação da postura ereta quieta que estava prestes a acontecer. Dessa forma, recebendo a dica sobre o momento e a direção de uma perturbação futura, o participante poderia hipoteticamente potencializar o efeito da dica em níveis superiores de processamento, e assim gerar respostas reativas mais adaptativas à perturbação. Considerando-se que indivíduos idosos apresentam maior demanda atencional na manutenção do controle postural (TEASDALE; SIMONEAU, 2001), e assim, maior possibilidade de participação de centros superiores na resposta reativa, esperava-se que tirassem maior proveito da combinação de dicas prévias (temporal e espacial) na recuperação do equilíbrio corporal após uma perturbação.

4.3 HIPÓTESES

As hipóteses formuladas para este estudo são as seguintes:

(1) Dica combinando tempo e direção induz melhores respostas posturais do que as demais dicas isoladas e ausência de dica.

(2) Indivíduos idosos são mais beneficiados na regulação postural por dica combinando tempo e direção do que indivíduos jovens.

4.4 MÉTODOS

4.4.1 Participantes

Participaram do estudo 16 jovens, (8 do sexo feminino), de 19 a 27 anos ($M=22,06$ anos, $dp=3,75$) e 15 idosos, (12 do sexo feminino), de 64 a 81 anos ($M=74,33$ anos, $dp= 6,92$) sadios e fisicamente ativos. A função cognitiva geral foi avaliada no grupo de idosos por meio do teste Mini Mental (FOLSTEIN; FOLSTEIN; MCHUGH, 1975). Os critérios de inclusão e demais aspectos foram os mesmos do Experimento 1.

4.4.2 Tarefa e equipamentos

Os equipamentos foram os mesmos usados no Experimento 1. A tarefa experimental consistiu em manter a postura ortostática de forma estável com os braços relaxados ao lado do corpo e olhos abertos em resposta à rotação da base de suporte da direção anteroposterior. Os movimentos de rotação da base de suporte foram produzidos com amplitude de 10° e velocidade de $50^\circ/s$ em ambos os sentidos: flexão plantar (FP) e dorsiflexão (DF).

4.4.3 Delineamento experimental e procedimentos

Dicas sobre o sentido de rotação da plataforma foram fornecidas por meio de setas iguais às aquelas descritas no Experimento 1. Dicas de tempo de rotação da plataforma de sustentação foram dadas por meio de um metrônomo, pela emissão de 3 bips em intervalos constantes de 1s e duração total de 2 s, sendo que a plataforma era deslocada em coincidência com o último bip da sequência. Na condição com dica combinando direção e tempo de rotação da plataforma o participante recebia dica de direção de rotação da plataforma por meio da seta apresentada no monitor por 2 s. Imediatamente após o desaparecimento da seta, eram fornecidos os 3 bips para informar o tempo de ocorrência da perturbação. A sincronização entre os bips e o acionamento da plataforma foi dada pelo experimentador. A plataforma era acionada no mesmo instante em que o metrônomo

iniciava sua contagem, sendo que a o instante da perturbação coincidia com o terceiro bip.

Na condição sem dica, o participante não tinha informação sobre a direção de perturbação nem sobre o tempo de perturbação, devendo manter o olhar fixo em um círculo preto de 2 cm projetado no monitor. O deslocamento da plataforma ocorria em um intervalo entre 500 a 2000 ms após o aparecimento do círculo. Cada participante era submetido a quatro condições experimentais com quatro repetições para cada direção em cada condição experimental, totalizando 32 tentativas no experimento. Essas condições foram pseudo-aleatorizadas e balanceadas entre os grupos.

Os demais procedimentos foram realizados de acordo com a descrição do Experimento 1.

4.4.4 Variáveis dependentes

Foram avaliadas as mesmas variáveis descritas no Experimento 1.

4.4.5 Análise dos dados

A extração dos dados para análise foi feita por meio do programa Matlab. Foi empregado um modelo de ANOVA de dois fatores, 2 (idade) x 4 (Condição: dica espacial e temporal x dica espacial x dica temporal x sem dica) com medidas repetidas no segundo fator. Comparações post hoc foram realizadas por meio da prova de Newman-Keuls. O nível de significância em todas as análises foi estabelecido em 5%.

4.5 RESULTADOS

Os resultados foram analisados para o sentido de flexão plantar (FP) considerando o músculo gastrocnêmio medial (GM).

Amplitude de Deslocamento do Centro de Pressão (CPamp)

A análise da *CPamp* apontou efeito principal significativo para grupo, $F(1, 28)=6,01$, $p=0,02$. O efeito foi devido à amplitude de deslocamento ter sido maior

para os idosos ($M=2,70$ cm, $ep=0,25$) em comparação aos jovens ($M=2,10$ cm, $ep=0,19$) (Figura 3C).

Latência de ativação muscular

A análise da latência de ativação do músculo GM apontou efeito principal significativo para grupo, $F(1, 28)=17,65$, $p<0,001$ e condição, $F(3, 84)=10,26$, $p<0,001$. O efeito principal de grupo foi devido à latência ter sido maior para os idosos ($M=118,33$ ms, $ep=6,14$) em comparação aos jovens ($M=96,91$ ms, $ep=6,03$). As comparações posteriores para o efeito de condição mostraram que a condição com dica sobre tempo apresentou valores menores ($M=104,03$ ms, $ep=4,51$) em comparação à condição com dica sobre direção ($M=113,96$ ms, $ep=4,77$) e à condição sem nenhuma dica ($M=113,33$ ms, $ep=4,51$) (Figura 3A). Foi observado também que na condição com dica sobre o tempo e direção, os valores de latência foram menores ($M=99,75$ ms, $ep=4,68$) em comparação à condição com dica apenas sobre direção ($M=113,96$ ms, $ep=4,77$) e em comparação à condição sem nenhuma dica ($M=113,33$ ms, $ep=4,51$). Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal.

Magnitude de ativação muscular (MAM)

A análise dos valores relativos de MAM não apontou diferença significativa para nenhum dos fatores analisados (Figura 3B).

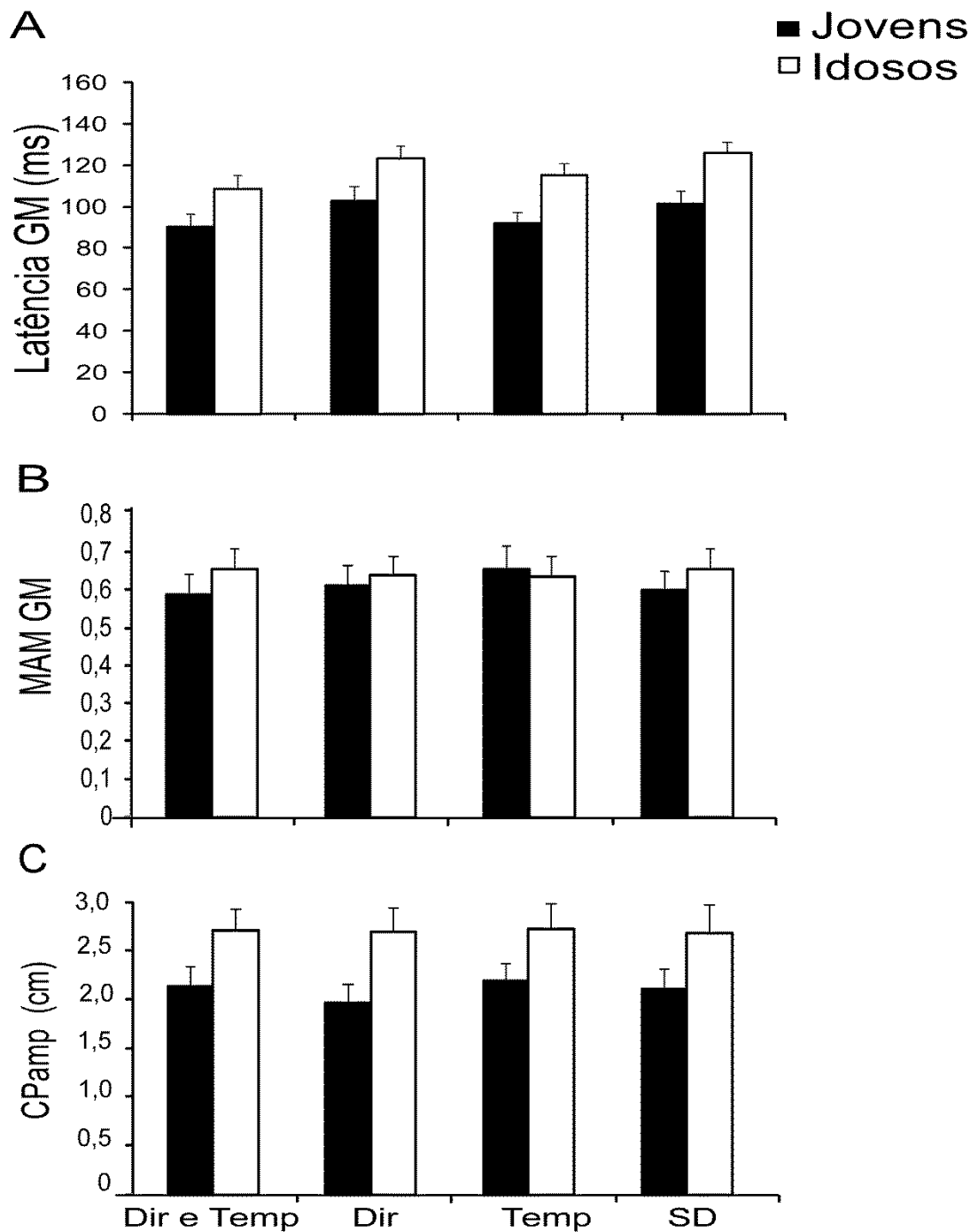


Figura 3 - Média e erros-padrão dos valores de latência (A) e magnitude de ativação do músculo gastrocnêmio medial (B), e amplitude de deslocamento do centro de pressão (C) na direção flexão-plantar comparando os grupos de indivíduos idosos e jovens em função da dica (dica sobre direção: Dir; tempo: Temp e sem dica: SD).

4.6 DISCUSSÃO

O Experimento 2 objetivou comparar o efeito de dicas prévias a respeito de aspectos temporais e/ou espaciais dos sentidos de rotação da base de apoio sobre respostas posturais reativas em indivíduos idosos em comparação com jovens. Como hipóteses, esperava-se que informações contextuais (dicas sobre direção e tempo de perturbação) fossem benéficas à regulação postural, com os indivíduos idosos apresentando maior benefício do que os jovens. Os resultados mostraram efeito de dica temporal e combinação de dica temporal e espacial somente para variável latência de ativação muscular. Foi verificada menor latência durante a condição com dica sobre o tempo da perturbação e dica combinando momento e direção, de forma equivalente para ambos os grupos etários. Não foi observado efeito diferencial de dicas entre os grupos etários. A amplitude de deslocamento do CP e magnitude de ativação muscular não foram alteradas pelo oferecimento de dicas. Tais evidências sugerem que a dica temporal permitiu uma resposta muscular mais rápida, através da diminuição do tempo de ativação do músculo gastrocnêmio medial, sem modificar a intensidade da resposta ou a oscilação corporal. Estudos prévios que verificaram efeito da dica temporal nos ajustes posturais têm sugerido que o aumento do sinal cortical antes de ocorrer a perturbação reflete a antecipação para o início da perturbação (ADKIN et al., 2008; JACOBS et al., 2008; MOCHIZUKI et al., 2008). Desta forma, a melhor antecipação para o momento de perturbação poderia favorecer a modulação da dica nas respostas posturais. A redução da latência de ativação muscular observada no presente estudo sugere que a dica temporal tenha favorecido um aumento no estado de prontidão para a resposta à perturbação postural, permitindo uma resposta neuromuscular mais rápida tanto para jovens quanto para os idosos. Esse estado de prontidão/alerta tem sido descrito como um fenômeno central, que tem a capacidade de promover um aumento geral na ativação cortical, o qual facilitaria qualquer resposta (POSNER; BOIES, 1971). Portanto, embora tenha sido observado efeito do *central set* nas respostas posturais através do fornecimento de dica temporal, esse efeito parece não ter sido específico, pois possibilitou somente respostas mais rápidas independente da direção da perturbação.

5 DISCUSSÃO GERAL

5.1 EFEITO DA EXPERIÊNCIA COM TENTATIVAS PRÉVIAS

Os resultados mostraram que tanto indivíduos jovens quanto idosos conseguiram adaptar respostas reativas a partir da sequência de tentativas repetitivas de direção em comparação à sequência aleatória. No presente estudo foi manipulada a direção da perturbação, mantendo-se fixas a amplitude e velocidade de rotação da plataforma de suporte. Os estudos que verificaram a influência da experiência prévia manipularam a magnitude de perturbação (BECKLEY et al., 1991; HORAK; DIENER; NASHNER, 1989). Esses estudos mostraram que indivíduos são capazes de modular suas respostas posturais através da sequência de tentativas repetitivas de amplitude de perturbação em comparação à sequência aleatória (BECKLEY et al., 1991; HORAK; DIENER; NASHNER, 1989). O efeito da sequência foi avaliado também em estudos nos quais os participantes eram expostos à sequência de perturbação de translação e em seguida recebiam perturbação de rotação da base de suporte (CHONG; HORAK; WOOLLACOTT, 2000; NASHNER, 1976). Os resultados mostraram que os indivíduos não são capazes de suprimir rapidamente a ativação do músculo gastrocnêmio estirado durante rotação no sentido de dorsiflexão após responder a uma série de tentativas de translação da base de suporte. Esses achados sugerem que a resposta postural é influenciada não apenas pelas características da perturbação, mas também pelo estado atual do sistema sensorio-motor que foi exposto às tentativas anteriores. Os achados do presente estudos são consistentes, assim, com os resultados supracitados, evidenciando o efeito de experiência com tentativas prévias na modulação de respostas posturais, como indicado por menores magnitudes de respostas musculares e amplitude de deslocamento do CP em relação à sequência aleatória de perturbação. Esses resultados mostram que a exposição à mesma direção de perturbação por tentativas seguidas favorece a geração de respostas posturais a perturbações subsequentes de mesma natureza. Nesse sentido, o sistema de controle postural parece modificar as estratégias de respostas seguintes com base em respostas dadas a perturbações imediatamente anteriores. É provável que através da experiência com sucessivas tentativas de mesma direção, o sistema de controle postural utilize informações sensoriais periféricas, através de circuitos

reflexos locais, as quais interagem com programas centrais para influenciar as respostas posturais (ACKERMANN; DIENER; DICHGANS, 1986; NASHNER; FORSSBERG, 1986). Os processos de adaptação foram observados através da modulação da magnitude de resposta do músculo GM e deslocamento de CP, que por sua vez pode ter sido alcançada através da seleção apropriada dos reflexos posturais, iniciados pelos proprioceptores do tornozelo e mediados pelo cerebelo (NASHNER, 1976; NASHNER; WOOLLACOTT; TUMA, 1979). O cerebelo estaria envolvido em adaptar a magnitude da resposta e em ajustar a coordenação das respostas posturais baseada na prática e conhecimento de resultados (THACH; BASTIAN, 2004). O cerebelo assegura que a magnitude da resposta postural seja escalada apropriadamente, não apenas com relação às características da perturbação atual, mas também baseada nas características da perturbação que são antecipadas. Indivíduos que apresentam lesão cerebelar são incapazes de modular a magnitude das suas respostas posturais a amplitudes previsíveis da perturbação (HORAK; DIENER, 1994; TIMMANN; HORAK, 1997). Esses achados sugerem que respostas posturais baseadas em experiência prévia envolvem circuitos subcorticais.

Os resultados do presente estudo mostraram que durante a sequência aleatória foi observada menor latência de ativação muscular. Esse achado pode ser explicado pelo fato de essa sequência ser mais desafiadora à postura, o que exige respostas mais rápidas e robustas à perturbação postural para recuperar o equilíbrio corporal. Funcionalmente, na falta de informações contextuais indicando as características da perturbação, o sistema se prepara para o pior cenário, usando recursos que seriam necessários para responder ao maior nível de ameaça postural, ativando mais precocemente os músculos e com maior magnitude. Essa explicação de que o SNC modula respostas posturais para uma resposta padrão sob condições imprevisíveis tem sido observada tanto em estudos comportamentais (BECKLEY et al., 1991; HORAK; DIENER; NASHNER, 1989; SMITH; JACOBS; HORAK, 2012) quanto em um estudo neurofisiológico (MOCHIZUKI et al., 2010), utilizando diferentes amplitudes de perturbação postural. A partir desses resultados parece que quando as características da perturbação são imprevisíveis o SNC opta por uma resposta padrão generalizada. Embora essas respostas sejam menos eficientes, tem sido proposto que elas potencializam a recuperação do equilíbrio (BECKLEY et al., 1991; MOCHIZUKI et al., 2010; SMITH; JACOBS; HORAK, 2012). Os dados

apresentados aqui, contudo, indicaram que a recuperação do equilíbrio não foi favorecida pela menor latência de reação.

Os resultados do presente estudo permitiram avaliar como os idosos adaptam respostas reativas a partir da sequência de tentativas repetitivas de mesma direção de perturbação, em comparação à sequência aleatória. Nossos resultados foram consistentes com resultados de estudos prévios que exploraram o efeito do envelhecimento na adaptabilidade das repostas posturais reativas ao mostrar que com a idade o SNC mantém alguma capacidade de modificar o controle postural baseado em experiência prévia (FUJIWARA; KIYOTA; MAEDA, 2011; TOKUNO et al., 2010; VAN OOTEGHEM et al., 2010). Para investigar as mudanças corticais relacionadas com a adaptação ao longo da sequência de tentativas, jovens e idosos foram submetidos a repetidos movimentos de translação posterior da base de suporte (FUJIWARA; KIYOTA; MAEDA, 2011). Os resultados indicaram que os idosos, apesar de mais tardiamente, conseguiram adaptar suas respostas posturais reativas ao final das tentativas como os jovens. Mesmo conseguindo adaptar as respostas posturais, os idosos mostraram reduzida ativação do lobo frontal em comparação aos jovens, sugerindo uma deterioração dessa região e/ou diminuição na preparação à perturbação. Os autores propõem que outras áreas cerebrais tenham sido ativadas nos idosos para adaptar o controle postural, o que poderia levar a um desempenho semelhante aos jovens. De fato, evidências têm mostrado que a diminuição na eficiência de áreas envolvidas com o controle postural acarreta maior ativação cortical e envolvimento de outras áreas corticais como forma de compensação (LI; DINSE, 2002; WU; HALLETT, 2005). Estas áreas corticais estão relacionadas aos processos de controle cognitivo e de processamento de informação sensorial. Dessa forma, esperava-se que durante a sequência repetitiva a ativação de outras áreas corticais pudesse favorecer a maior utilização de dicas nos idosos. No entanto, a hipótese de maior benefício dos idosos por informações contextuais (dica e séries repetidas de tentativas) em respostas posturais reativas na regulação postural em comparação a adultos jovens não foi confirmada. Concluímos que, embora o controle postural dos idosos requeira maior processamento cognitivo (BROWN; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1999; RANKIN et al., 2000; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2000), os idosos não utilizam a dica de direção, processada em nível superior de controle, como uma informação adicional para ajustar o controle postural quando tentativas repetidas de direção são apresentadas.

5.2 EFEITO DE DICAS SOBRE PERTURBAÇÃO IMINENTE NO CONTROLE POSTURAL

O efeito da dica foi investigado nos dois experimentos realizados. No Experimento 1 foi avaliado o efeito da dica sobre a direção da perturbação (dica espacial) e no Experimento 2 foi analisado o efeito de dicas sobre o tempo da perturbação (dica temporal) e espacial em conjunto e separadamente para entendermos como cada uma delas é capaz de modular a resposta postural nos jovens e idosos. Foi hipotetizado que respostas posturais reativas seriam beneficiadas por dicas sobre o sentido de perturbação postural e que a combinação de dicas temporais e espaciais levaria a melhores respostas posturais nos dois grupos, com maior benefício para os indivíduos idosos. Pelo fato de a dica ser interpretada e processada em níveis superiores de controle e os idosos apresentarem maior utilização de recursos cognitivos para ajustar o equilíbrio corporal (RANKIN et al., 2000; TEASDALE et al., 1993), esperava-se que eles se beneficiassem mais com a dica do que os jovens. No entanto, essa hipótese não foi confirmada. A diferença nas respostas posturais entre indivíduos jovens e idosos foi observada somente com relação aos efeitos relacionados ao processo de envelhecimento, mostrando que os idosos apresentam maior latência de ativação muscular e maior amplitude de deslocamento do CP em comparação aos jovens. Consistente com esses achados relacionados ao efeito da idade, pesquisas têm mostrado que indivíduos idosos têm mais dificuldade em recuperar o equilíbrio após perturbação corporal do que os jovens. Essa conclusão vem de evidências que mostram que idosos demoram mais para começar a ativar a musculatura agonista e geralmente apresentam maior magnitude de ativação muscular e maior deslocamento corporal em comparação com os jovens (MANCHESTER et al., 1989; STURNIEKS; ST GEORGE; LORD, 2008; TOKUNO et al., 2010). No entanto, é importante ressaltar que os idosos selecionados para o nosso estudo, assim como os jovens, eram indivíduos saudáveis e ativos. Este dado nos permite inferir que as diferenças encontradas entre os dois grupos etários estavam relacionadas estritamente ao efeito da idade, ao invés de estar associado a outros fatores que frequentemente acompanham o envelhecimento em indivíduos sedentários. O efeito de dica de direção observado no Experimento 1 para a variável magnitude de ativação muscular não foi reproduzido no Experimento 2. Uma possível explicação é

que no primeiro experimento os participantes estavam adaptados ao contexto da tarefa, pelo fato de terem vivenciado tentativas de rotação da plataforma e o significado das setas. Esses resultados sugerem que a dica sobre a direção da perturbação não modula a oscilação corporal, evidenciado por uma inalterada resposta do CP, mas é capaz de modular respostas neuromusculares, através de menor ativação muscular, contanto que o participante já esteja adaptado ao contexto. É possível que informações sensoriais juntamente com a maior compreensão da dica espacial ao longo das tentativas tenham contribuído para o fato de termos encontrado o efeito da dica na magnitude de ativação muscular no Experimento 1. Essas mudanças na ativação muscular podem ter ocorrido gradualmente, no decorrer das tentativas, sugerindo que elas são parcialmente determinadas pela associação da dica com as consequências de perturbações anteriores. Essa hipótese é fortalecida pelo fato de que mudanças nos padrões de resposta às condições de superfície frequentemente ocorrem após diversas tentativas (HORAK; NASHNER, 1986; NASHNER, 1976). Se as respostas posturais para uma determinada direção da perturbação fossem programadas apenas por comandos centrais, poderia ser esperado um efeito da dica logo nas primeiras tentativas com a perturbação, independente das informações sensoriais (ANDERSSON et al., 1981; EVARTS; TANJI, 1974). No entanto, não foi observado efeito de dica sobre direção da perturbação durante as primeiras tentativas. Portanto, os resultados sobre a dica de direção no primeiro experimento sugerem que as informações sensoriais utilizadas ao longo da adaptação com as tentativas tenham contribuído para selecionar e desencadear os comandos centrais apropriados, juntamente com o fornecimento da dica, e ser capaz de modular as atividades musculares.

No Experimento 2 os resultados mostraram efeito de dica temporal e combinação de dica temporal e espacial observado somente para variável latência de ativação muscular. O efeito foi devido à menor latência de ativação muscular quando os participantes receberam dica sobre tempo de perturbação e quando as duas dicas temporal e espacial foram combinadas. No entanto, esse efeito de combinação de dicas foi devido à maior influência da dica temporal, uma vez que a dica de direção isoladamente não teve efeito. Os resultados mostraram que a dica sobre tempo ou a combinação das dicas tempo e direção de perturbação não foram capazes de diminuir a amplitude de deslocamento do CP e magnitude de ativação

muscular. O fato de informar a direção e/ou o tempo em que o indivíduo teria seu equilíbrio corporal perturbado não permitiu que ele ajustasse suas respostas posturais com o intuito de diminuir a oscilação corporal. Corroborando os achados de Adkin et al. (2006) e Diener et al. (2001), que não indicaram efeito da dica temporal no controle postural, os resultados do presente estudo sugerem que o centro superior de controle motor não influencia a estabilidade corporal (mudança no CP) baseada na informação a respeito da direção e/ou tempo da perturbação. No estudo de Jacobs et al. (2008) a resposta postural foi avaliada em situações em que os participantes recebiam ou não dica sobre o momento da perturbação. Os resultados mostraram que a dica sobre o tempo afetou tanto a atividade cortical como as respostas posturais. A análise eletroencefalográfica mostrou que a ativação cortical foi detectada antes da perturbação postural apenas quando a dica era fornecida. A análise postural revelou menor deslocamento do CP em resposta ao deslocamento da base de apoio apenas na situação de recebimento de dica. No entanto, esse estudo usou apenas uma única direção de perturbação, o que pode ter contribuído para maior adaptação à sequência de tentativas. Dessa forma, a maior previsibilidade sobre a direção da perturbação pode ter favorecido a programação central e participação do *central set* no controle postural. Por outro lado, os nossos resultados mostraram que quando a direção das tentativas é aleatória, a dica temporal não foi capaz de diminuir o deslocamento postural ou a magnitude de ativação muscular, mas resultou em menor latência de ativação muscular. A redução da latência de ativação muscular sugere que a dica temporal tenha favorecido um aumento no estado de prontidão para a resposta à perturbação postural, permitindo uma resposta neuromuscular mais rápida tanto para jovens quanto para os idosos. Tem sido evidenciado que quando um indivíduo recebe um sinal de preparação para responder a um evento de tempo de reação ocorrem mudanças na excitabilidade dos neurônios motores, aumentando a sensibilidade na ativação desses motoneurônios para comandos supraespinhais (HASBROUCQ et al., 1999). Era esperado que a dica temporal juntamente com a dica espacial favorecesse o controle da resposta postural. No entanto, foi observada uma resposta mais generalizada do controle postural, com menor latência de ativação muscular, independente de se conhecer ou não a direção da perturbação. Em consonância com os achados aqui relatados, em estudo de Mcchesney, Sveistrup e Woollacott (1996) foram comparadas duas situações em que participantes recebiam apenas

sinal de alerta (dica auditiva) inespecífico ou recebiam dica auditiva específica sobre direção da perturbação (bip alto perturbação anterior, bip baixo perturbação posterior). A diferença entre dica prévia e sinal inespecífico de alerta foi verificada através da análise da latência de ativação muscular das respostas reativas. Os autores mostraram que não houve diferença entre as duas condições, mostrando que a dica atua de forma inespecífica na modulação do controle postural. Segundo Posner e Boies (1971), o estado de alerta tem sido descrito como um componente de atenção que pode ser evocado pelo sinal de aviso não informativo/específico e é caracterizado por uma interrupção dos ritmos de ondas alfa, os quais se tornam rápidos e dessincronizados (LANSING; SCHWARTZ; LINDSLEY, 1959). O alerta é considerado automático porque ele não é seletivo e diminui o tempo de reação independente do sinal enviado. Adicionalmente, Hasbroucq et al. (1999) sugerem que em estado de alerta latências de resposta são diminuídas e a resposta é facilitada. Os resultados do presente estudo indicam que o fato de ter informação específica sobre a direção de uma perturbação postural iminente não contribui mais do que apenas conhecer o tempo exato em que uma perturbação será aplicada.

Com relação ao efeito da dica nos idosos, os resultados não mostraram maior benefício da dica nesse grupo em comparação aos jovens. O efeito da dica espacial e temporal na resposta muscular foi semelhante em ambos os grupos. Embora evidências mostrem maior utilização de recursos cognitivos e menor automatização das respostas posturais em idosos em comparação a indivíduos jovens (BROWN; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1999; RANKIN et al., 2000; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2000), a dica processada em centros superiores de processamento não foi efetiva em beneficiar diferencialmente o controle postural nos participantes idosos.

6 CONCLUSÕES

Os dois experimentos deste estudo levaram às seguintes conclusões:

1. Experiência com tentativas repetitivas de mesma direção de rotação induzem menor oscilação do centro de pressão e menor ativação muscular, enquanto que séries aleatórias induzem menor latência de ativação muscular.
2. Dica temporal induz latências mais curtas de ativação muscular.
3. Dica sobre direção de perturbação gerou resultados contraditórios entre os experimentos, o que não permitiu uma conclusão definitiva.
4. Os efeitos de informação contextual são semelhantes em adultos jovens e idosos ativos.

7 LIMITAÇÕES

Podemos destacar duas limitações do trabalho:

1. Sincronização manual entre a dica temporal e ativação da plataforma. Esta sincronização manual por mais que tenha ocorrido simultaneamente não descarta o atraso inerente ao experimentador.

2. A falta de dados sobre cinemática. Esta análise possibilitaria investigar mais pormenorizadamente respostas posturais à rotação da superfície de apoio.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, H.; DIENER, H. C.; DICHGANS, J. Mechanically evoked cerebral potentials and long-latency muscle responses in the evaluation of afferent and efferent long-loop pathways in humans. **Neuroscience Letters**, v. 66, n. 3, p. 233-8, 1986.

ADKIN, A. L.; CAMPBELL, A. D.; CHUA, R.; CARPENTER, M. G. The influence of postural threat on the cortical response to unpredictable and predictable postural perturbations. **Neuroscience Letters**, v. 435, n. 2, p. 120-5, 2008.

ADKIN, A. L.; QUANT, S.; MAKI, B. E.; MCILROY, W. E. Cortical responses associated with predictable and unpredictable compensatory balance reactions. **Experimental Brain Research**, v. 172, n. 1, p. 85-93, 2006.

ALEXANDER, G. E. Basal ganglia-thalamocortical circuits: their role in control of movements. **Journal of Clinical Neurophysiology**, v. 11, n. 4, p. 420-31, 1994.

ANDERSEN, R. A.; SNYDER, L. H.; BRADLEY, D. C.; XING, J. Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements. **Annual Review of Neuroscience**, v. 20, p. 303-30, 1997.

ANDERSSON, O.; FORSSBERG, H.; GRILLNER, S.; WALLEN, P. Peripheral feedback mechanisms acting on the central pattern generators for locomotion in fish and cat. **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 59, n. 7, p. 713-26, 1981.

BADKE, M. B.; DUNCAN, P. W.; DI FABIO, R. P. Influence of prior knowledge on automatic and voluntary postural adjustments in healthy and hemiplegic subjects. **Physical Therapy**, v. 67, n. 10, p. 1495-500, 1987.

BECKLEY, D. J.; BLOEM, B. R.; REMLER, M. P.; ROOS, R. A.; VAN DIJK, J. G. Long latency postural responses are functionally modified by cognitive set. **Electroencephalograph and Clinical Neurophysiology**, v. 81, n. 5, p. 353-8, 1991.

BELEN'KII, V. E.; GURFINKEL, V. S.; PAL'TSEV, E. I. Control elements of voluntary movements. **Biofizika**, v. 12, n. 1, p. 135-41, 1967.

BROWN, L. A.; SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. Attentional demands and postural recovery: the effects of aging. **Journal of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medicine Sciences**, v. 54, n. 4, p. M165-71, 1999.

BUGNARIU, N.; SVEISTRUP, H. Age-related changes in postural responses to externally- and self-triggered continuous perturbations. **Archives of Gerontology and Geriatrics**, v. 42, n. 1, p. 73-89, 2006.

BURLEIGH, A.; HORAK, F. Influence of instruction, prediction, and afferent sensory information on the postural organization of step initiation. **Journal of Neurophysiology**, v. 75, n. 4, p. 1619-28, 1996.

CHONG, R. K.; HORAK, F. B.; WOOLLACOTT, M. H. Parkinson's disease impairs the ability to change set quickly. **Journal of the Neurological Sciences**, v. 175, n. 1, p. 57-70, 2000.

COLLINS, J. J.; DE LUCA, C. J.; BURROWS, A.; LIPSITZ, L. A. Age-related changes in open-loop and closed-loop postural control mechanisms. **Experimental Brain Research**, v. 104, n. 3, p. 480-92, 1995.

DE LIMA, A. C.; DE AZEVEDO NETO, R. M.; TEIXEIRA, L. A. On the functional integration between postural and supra-postural tasks on the basis of contextual cues and task constraint. **Gait and Posture**, v. 32, n. 4, p. 615-8, 2010.

DIENER, H. C.; HORAK, F.; STELMACH, G.; GUSCHLBAUER, B.; DICHGANS, J. Direction and amplitude precuing has no effect on automatic posture responses. **Experimental Brain Research**, v. 84, n. 1, p. 219-23, 1991.

EVARTS, E. V.; TANJI, J. Gating of motor cortex reflexes by prior instruction. **Brain Research**, v. 71, n. 2-3, p. 479-94, 1974.

FASANO, A.; PLOTNIK, M.; BOVE, F.; BERARDELLI, A. The neurobiology of falls. **Neurological Sciences**, 2012.

FOLSTEIN, M. F.; FOLSTEIN, S. E.; MCHUGH, P. R. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. **Journal of Psychiatric Research**, v. 12, n. 3, p. 189-98, 1975.

FRANSSON, P. A.; KRISTINSDOTTIR, E. K.; HAFSTROM, A.; MAGNUSSON, M.; JOHANSSON, R. Balance control and adaptation during vibratory perturbations in middle-aged and elderly humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 5-6, p. 595-603, 2004.

FUJIWARA, K.; KIYOTA, N.; MAEDA, K. Contingent negative variation and activation of postural preparation before postural perturbation by backward floor translation at different initial standing positions. **Neuroscience Letters**, v. 490, n. 2, p. 135-9, 2011.

FUJIWARA, K.; KIYOTA, T.; MAEDA, K.; HORAK, F. B. Postural control adaptability to floor oscillation in the elderly. **Journal of Physiological Anthropology**, v. 26, n. 4, p. 485-93, 2007.

GOLOB, E. J.; OVASAPYAN, V.; STARR, A. Event-related potentials accompanying motor preparation and stimulus expectancy in the young, young-old and oldest-old. **Neurobiology of Aging**, v. 26, n. 4, p. 531-42, 2005.

HASBROUCQ, T.; KANEKO, H.; AKAMATSU, M.; POSSAMAI, C. A. The time-course of preparatory spinal and cortico-spinal inhibition: an H-reflex and transcranial magnetic stimulation study in man. **Experimental Brain Research**, v. 124, n. 1, p. 33-41, 1999.

HENRY, S. M.; FUNG, J.; HORAK, F. B. EMG responses to maintain stance during multidirectional surface translations. **Journal of Neurophysiology**, v. 80, n. 4, p. 1939-50, 1998.

HERMENS, H. J.; FRERIKS, B.; DISSELHORST-KLUG, C.; RAU, G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 10, n. 5, p. 361-74, 2000.

HORAK, F. B.; DIENER, H. C. Cerebellar control of postural scaling and central set in stance. **Journal of Neurophysiology**, v. 72, n. 2, p. 479-493, 1994.

HORAK, F. B.; DIENER, H. C.; NASHNER, L. M. Influence of central set on human postural responses. **Journal of Neurophysiology**, v. 62, n. 4, p. 841-53, 1989.

HORAK, F. B.; NASHNER, L. M. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. **Journal of Neurophysiology**, v. 55, n. 6, p. 1369-81, 1986.

HORAK, F. B.; NUTT, J. G.; NASHNER, L. M. Postural inflexibility in parkinsonian subjects. **Journal of the Neurological Sciences**, v. 111, n. 1, p. 46-58, 1992.

HORSTMANN, G. A.; GOLLHOFER, A.; DIETZ, V. Reproducibility and adaptation of the EMG responses of the lower leg following perturbations of upright stance. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, v. 70, n. 5, p. 447-52, 1988.

INOUE, M.; SUHARA, T.; SUDO, Y.; OKUBO, Y.; YASUNO, F.; KISHIMOTO, T.; YOSHIKAWA, K.; TANADA, S. Age-related reduction of extrastriatal dopamine D2 receptor measured by PET. **Life Sciences**, v. 69, n. 9, p. 1079-84, 2001.

JACOBS, J. V.; FUJIWARA, K.; TOMITA, H.; FURUNE, N.; KUNITA, K.; HORAK, F. B. Changes in the activity of the cerebral cortex relate to postural response modification when warned of a perturbation. **Clinical Neurophysiology**, v. 119, n. 6, p. 1431-42, 2008.

JACOBS, J. V.; HORAK, F. B. Cortical control of postural responses. **Journal of Neural Transmission**, v. 114, n. 10, p. 1339-48, 2007.

KAASINEN, V.; VILKMAN, H.; HIETALA, J.; NAGREN, K.; HELENIUS, H.; OLSSON, H.; FARDE, L.; RINNE, J. Age-related dopamine D2/D3 receptor loss in extrastriatal regions of the human brain. **Neurobiology of Aging**, v. 21, n. 5, p. 683-8, 2000.

LABYT, E.; SZURHAJ, W.; BOURRIEZ, J. L.; CASSIM, F.; DEFEBVRE, L.; DESTEE, A.; GUIEU, J. D.; DERAMBURE, P. Changes in oscillatory cortical activity related to a visuomotor task in young and elderly healthy subjects. **Clinical Neurophysiology**, v. 114, n. 6, p. 1153-66, 2003.

LAESSOE, U.; VOIGT, M. Anticipatory postural control strategies related to predictive perturbations. **Gait and Posture**, v. 28, n. 1, p. 62-8, 2008.

LANSING, R. W.; SCHWARTZ, E.; LINDSLEY, D. B. Reaction time and EEG activation under alerted and nonalerted conditions. **Journal of Experimental Psychology** v. 58, n. 1, p. 1-7, 1959.

LI, S. C.; DINSE, H. R. Aging of the brain, sensorimotor, and cognitive processes. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 26, n. 7, p. 729-32, 2002.

LIPSITZ, L. A.; JONSSON, P. V.; KELLEY, M. M.; KOESTNER, J. S. Causes and correlates of recurrent falls in ambulatory frail elderly. **Journal of Gerontology**, v. 46, n. 4, p. M114-22, 1991.

LUKS, T. L.; SIMPSON, G. V.; DALE, C. L.; HOUGH, M. G. Preparatory allocation of attention and adjustments in conflict processing. **NeuroImage**, v. 35, n. 2, p. 949-58, 2007.

MAKI, B. E.; MCILROY, W. E. Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. **Age and Ageing**, v. 35 Suppl 2, p. ii12-ii18, 2006.

MAKI, B. E.; WHITELOW, R. S. Influence of expectation and arousal on center-of-pressure responses to transient postural perturbations. **Journal of Vestibular Research**, v. 3, n. 1, p. 25-39, 1993.

MANCHESTER, D.; WOOLLACOTT, M.; ZEDERBAUER-HYLTON, N.; MARIN, O. Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. **Journal of Gerontology**, v. 44, n. 4, p. M118-27, 1989.

MAYLOR, E. A.; WING, A. M. Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. **The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences**, v. 51, n. 3, p. P143-54, 1996.

MCCHESENEY, J. W.; SVEISTRUP, H.; WOOLLACOTT, M. H. Influence of auditory precuing on automatic postural responses. **Experimental Brain Research**, v. 108, n. 2, p. 315-20, 1996.

MIHARA, M.; MIYAI, I.; HATAKENAKA, M.; KUBOTA, K.; SAKODA, S. Role of the prefrontal cortex in human balance control. **NeuroImage**, v. 43, n. 2, p. 329-36, 2008.

MOCHIZUKI, G.; BOE, S.; MARLIN, A.; MCILROY, W. E. Perturbation-evoked cortical activity reflects both the context and consequence of postural instability. **Neuroscience**, v. 170, n. 2, p. 599-609, 2010.

MOCHIZUKI, G.; SIBLEY, K. M.; ESPOSITO, J. G.; CAMILLERI, J. M.; MCILROY, W. E. Cortical responses associated with the preparation and reaction to full-body perturbations to upright stability. **Clinical Neurophysiology** v. 119, n. 7, p. 1626-37, 2008.

NASHNER, L. M. Adapting reflexes controlling the human posture. **Experimental Brain Research**, v. 26, n. 1, p. 59-72, 1976.

NASHNER, L. M.; FORSSBERG, H. Phase-dependent organization of postural adjustments associated with arm movements while walking. **Journal of Neurophysiology**, v. 55, n. 6, p. 1382-94, 1986.

NASHNER, L. M.; LEWIS, M.; MCCOLLUM, G. The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 8, n. 1, p. 135-172, 1985.

NASHNER, L. M.; WOOLLACOTT, M.; TUMA, G. Organization of rapid responses to postural and locomotor-like perturbations of standing man. **Experimental Brain Research**, v. 36, n. 3, p. 463-76, 1979.

NIELSEN, J. B. How we walk: central control of muscle activity during human walking. **Neuroscientist**, v. 9, n. 3, p. 195-204, 2003.

OUCHI, Y.; OKADA, H.; YOSHIKAWA, E.; NOBEZAWA, S.; FUTATSUBASHI, M. Brain activation during maintenance of standing postures in humans. **Brain**, v. 122 (Pt 2), p. 329-38, 1999.

PAVOL, M. J.; PAI, Y. C. Feedforward adaptations are used to compensate for a potential loss of balance. **Experimental Brain Research**, v. 145, n. 4, p. 528-38, 2002.

POSNER, M. I.; BOIES, S. J. Components of attention. **Psychological Review**, v. 78, p. 391-408, 1971.

PROCHAZKA, A. Sensorimotor gain control: a basic strategy of motor systems? **Progress in Neurobiology**, v. 33, n. 4, p. 281-307, 1989.

PROCHAZKA, A.; CLARAC, F.; LOEB, G. E.; ROTHWELL, J. C.; WOLPAW, J. R. What do reflex and voluntary mean? Modern views on an ancient debate. **Experimental Brain Research**, v. 130, n. 4, p. 417-32, 2000.

RANKIN, J. K.; WOOLLACOTT, M. H.; SHUMWAY-COOK, A.; BROWN, L. A. Cognitive influence on postural stability: a neuromuscular analysis in young and older adults. **Journal of Gerontology: Medical Sciences**, v. 55, n. 3, p. M112-9, 2000.

ROBBINS, A. S.; RUBENSTEIN, L. Z.; JOSEPHSON, K. R.; SCHULMAN, B. L.; OSTERWEIL, D.; FINE, G. Predictors of falls among elderly people. Results of two population-based studies. **Archives of Internal Medicine**, v. 149, n. 7, p. 1628-33, 1989.

SEIDLER, R. D.; BERNARD, J. A.; BURUTOLU, T. B.; FLING, B. W.; GORDON, M. T.; GWIN, J. T.; KWAK, Y.; LIPPS, D. B. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 34, n. 5, p. 721-33, 2010.

SHERRINGTON, C. S. Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex, and reflex stepping and standing. **Journal of Physiology**, v. 40, n. 1-2, p. 28-121, 1910.

SHUMWAY-COOK, A.; BALDWIN, M.; POLISSAR, N. L.; GRUBER, W. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults. **Physical Therapy**, v. 77, n. 8, p. 812-9, 1997.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. **Journal of Gerontology A: Biological Sciences and Medicine Sciences**, v. 55, n. 1, p. M10-6, 2000.

SLOBOUNOV, S.; HALLETT, M.; STANHOPE, S.; SHIBASAKI, H. Role of cerebral cortex in human postural control: an EEG study. **Clinical Neurophysiology**, v. 116, n. 2, p. 315-23, 2005.

SLOBOUNOV, S. M.; TEEL, E.; NEWELL, K. M. Modulation of cortical activity in response to visually induced postural perturbation: Combined VR and EEG study. **Neuroscience Letters**, 2013.

SMITH, B. A.; JACOBS, J. V.; HORAK, F. B. Effects of magnitude and magnitude predictability of postural perturbations on preparatory cortical activity in older adults with and without Parkinson's disease. **Experimental Brain Research**, v. 222, n. 4, p. 455-70, 2012.

SOLOPOVA, I. A.; KAZENNIKOV, O. V.; DENISKINA, N. B.; LEVIK, Y. S.; IVANENKO, Y. P. Postural instability enhances motor responses to transcranial magnetic stimulation in humans. **Neuroscience Letters**, v. 337, n. 1, p. 25-8, 2003.

STURNIEKS, D. L.; ST GEORGE, R.; LORD, S. R. Balance disorders in the elderly. **Clinical Neurophysiology**, v. 38, n. 6, p. 467-78, 2008.

TAUBE, W.; SCHUBERT, M.; GRUBER, M.; BECK, S.; FAIST, M.; GOLLHOFER, A. Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. **Journal of Applied Physiology**, v. 101, n. 2, p. 420-9, 2006.

TEASDALE, N.; BARD, C.; LARUE, J.; FLEURY, M. On the cognitive penetrability of posture control. **Experimental Aging Research**, v. 19, n. 1, p. 1-13, 1993.

TEASDALE, N.; SIMONEAU, M. Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. **Gait and Posture**, v. 14, n. 3, p. 203-10, 2001.

THACH, W. T. A role for the cerebellum in learning movement coordination. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 70, n. 1-2, p. 177-88, 1998.

THACH, W. T.; BASTIAN, A. J. Role of the cerebellum in the control and adaptation of gait in health and disease. **Progress in Brain Research**, v. 143, p. 353-66, 2004.

TIMMANN, D.; HORAK, F. B. Prediction and set-dependent scaling of early postural responses in cerebellar patients. **Brain**, v. 120 (Pt 2), p. 327-37, 1997.

TISSERAND, D. J.; VAN BOXTEL, M. P.; PRUESSNER, J. C.; HOFMAN, P.; EVANS, A. C.; JOLLES, J. A voxel-based morphometric study to determine individual

differences in gray matter density associated with age and cognitive change over time. **Cerebral Cortex**, v. 14, n. 9, p. 966-73, 2004.

TOKUNO, C. D.; CRESSWELL, A. G.; THORSTENSSON, A.; CARPENTER, M. G. Age-related changes in postural responses revealed by support-surface translations with a long acceleration-deceleration interval. **Clinical Neurophysiology**, v. 121, n. 1, p. 109-17, 2010.

TORRES-OVIEDO, G.; MACPHERSON, J. M.; TING, L. H. Muscle synergy organization is robust across a variety of postural perturbations. **Journal of Neurophysiology**, v. 96, n. 3, p. 1530-46, 2006.

VAN OOTEGHEM, K.; FRANK, J. S.; ALLARD, F.; BUCHANAN, J. J.; OATES, A. R.; HORAK, F. B. Compensatory postural adaptations during continuous, variable amplitude perturbations reveal generalized rather than sequence-specific learning. **Experimental Brain Research**, v. 187, n. 4, p. 603-11, 2008.

VAN OOTEGHEM, K.; FRANK, J. S.; ALLARD, F.; HORAK, F. B. Aging does not affect generalized postural motor learning in response to variable amplitude oscillations of the support surface. **Experimental Brain Research**, v. 204, n. 4, p. 505-14, 2010.

WOOLLACOTT, M.; SHUMWAY-COOK, A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. **Gait and Posture**, v. 16, n. 1, p. 1-14, 2002.

WOOLLACOTT, M. H.; SHUMWAY-COOK, A.; NASHNER, L. M. Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. **International Journal of Aging and Human Development**, v. 23, n. 2, p. 97-114, 1986.

WU, T.; HALLETT, M. The influence of normal human ageing on automatic movements. **Journal of Physiology**, v. 562, n. Pt 2, p. 605-15, 2005.

ANEXO 1 - Valores da análise estatística

Tabela 1 - Valores da análise estatística de três fatores das variáveis do Experimento 1

	Amplitude CP		Latência GM		Magnitude GM	
	F(1,23)	p	F(1,23)	p	F(1,23)	P
Idade	0,04	0,853	3,22	0,086	2,76	0,111
Dica	1,36	0,255	3,78	0,064	7,49	0,012
Sequência	40,92	0,001	5,86	0,024	30,62	0,001
Dica*Idade	0,39	0,538	2,42	0,133	0,17	0,687
Sequência*Idade	0,21	0,650	0,82	0,373	0,68	0,418
Dica*Sequência	0,00	0,997	1,28	2,69	1,00	0,327
Dica*Sequência*Idade	0,75	0,395	0,89	0,355	0,10	0,758

Tabela 2 - Valores da análise estatística de dois fatores das variáveis do Experimento 2

	Amplitude CP		Latência GM		Magnitude GM	
	F(1,28)	p	F(1,28)	p	F(1,28)	p
Idade	6,01	0,021	17,65	0,001	0,37	0,543
Condição	0,78	0,505	10,27	0,001	0,12	0,945
Idade*Condição	0,46	0,710	0,43	0,733	1,06	0,367

ANEXO 2 - Valores de média e erro-padrão

Tabela 3 - Valores de médias e erros-padrão [M (EP)] das variáveis analisadas no Experimento 1 em função das condições experimentais

	Jovens				Idosos			
	Com dica		Sem dica		Com dica		Sem dica	
	Aleat	Repet	Aleat	Repet	Aleat	Repet	Aleat	Repet
Amplitude CP	2,48	1,89	2,31	1,79	2,42	1,87	2,56	1,74
(cm)	(0,24)	(0,22)	(0,28)	(0,90)	(0,20)	(0,19)	(0,30)	(0,20)
Latência	104,40	98,30	94,38	106,02	109,20	112,18	118,37	124,40
(ms)	(7,82)	(7,32)	(5,87)	(8,39)	(4,60)	(6,05)	(6,16)	(6,08)
Magnitude	0,60	0,49	0,67	0,55	0,69	0,55	0,76	0,59
	(0,05)	(0,05)	(0,05)	(0,06)	(0,04)	(0,04)	(0,04)	(0,05)

Legenda: Aleat: Aleatório; Ret: Repetitivo

Tabela 4 - Valores de médias e erros-padrão [M (EP)] das variáveis analisadas no Experimento 2 em função da dica

	Jovens				Idosos			
	Dir e Temp	Dir	Temp	SD	Dir e Temp	Dir	Temp	SD
Amplitude CP	2,14	1,96	2,20	2,10	2,70	2,69	2,72	2,68
(cm)	(0,20)	(0,19)	(0,16)	(0,21)	(0,21)	(0,25)	(0,26)	(0,29)
Latência	90,62	103,11	92,12	101,75	108,53	123,55	115,31	125,90
(ms)	(5,64)	(6,79)	(5,10)	(5,97)	(6,79)	(5,71)	(5,88)	(5,15)
Magnitude	0,59	0,61	0,65	0,60	0,65	0,63	0,63	0,65
	(0,05)	(0,05)	(0,06)	(0,05)	(0,05)	(0,05)	(0,05)	(0,05)

Legenda: Dir: dica sobre direção; Temp: dica sobre tempo; SD: sem dica