**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE**

**MANUTENÇÃO DA POSTURA ERETA EM CONDIÇÕES DE PERTURBAÇÃO:
INFLUÊNCIA DA EXECUÇÃO DE UMA TAREFA MANUAL SIMULTÂNEA E
INCERTEZA SOBRE A DIREÇÃO DA PERTURBAÇÃO**

Andréa Cristina de Lima

**SÃO PAULO
2009**

MANUTENÇÃO DA POSTURA ERETA EM CONDIÇÕES DE PERTURBAÇÃO:
INFLUÊNCIA DA EXECUÇÃO DE UMA TAREFA MANUAL SIMULTÂNEA E
INCERTEZA SOBRE A DIREÇÃO DA PERTURBAÇÃO

ANDRÉA CRISTINA DE LIMA

Dissertação apresentada à Escola de
Educação Física e Esporte da
Universidade de São Paulo, como
requisito parcial para obtenção do grau
de Mestre em Educação Física.

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIS AUGUSTO TEIXEIRA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Maria Luiza e Carlos Eduardo, por todos os momentos que estiveram me dando suporte emocional para enfrentar tantos obstáculos. Devo a alegria que sinto neste momento tão importante a eles. Agradeço também ao meu irmão Carlinhos por acompanhar de perto, mesmo morando longe, todas as nossas lutas.

À minha filha, Maria Eduarda, que sempre foi muito compreensiva quando tive que estudar ao invés de ficar mais tempo curtindo ao lado dela. Muito obrigada, meu anjinho! Seremos recompensadas!

Ao meu companheiro Marcelo, que além de ser compreensivo, me ajudou muitas vezes em todas as fases do mestrado. Desde ir procurar equipamentos para coleta até ser um dos meus sujeitos. Sempre muito paciente, sabe que nossos esforços refletirão em um futuro próximo mais tranquilo. Por isso, estamos juntos até hoje!

Ao meu querido orientador professor Dr. Luis Teixeira, pela sabedoria e paciência que me passa toda vez que nos encontramos e por depositar confiança em meu trabalho. Me identifico muito com seu modo perspicaz de resolver problemas. Sua sabedoria me guia não somente na academia, mas, em muitas outras situações da vida!

Às minhas eternas e maravilhosas amigas Débora e Helenara que foram minhas cúmplices em muitas das minhas escolhas. Mas, que também apontaram minhas falhas, fazendo-me repensar. Hoje sou uma pessoa melhor por causa de vocês também!

Agradeço profundamente aos meus colegas mais antigos do laboratório Sistemas Motores Humanos: Babo (pelas risadas), Carla (pelas longas conversas sobre tudo e por deixar mais bonitas as figuras desta dissertação), Elke (pelas longas conversas sobre tudo), Leandro (pelos ensinamentos), Raymundo (pelas risadas e

ensinamentos) e Victor (pelas conversas sobre tudo e pelos ensinamentos) e aos mais novos: Ana Paula, Caio, Marina e Natália. Vocês estiveram e estão comigo no mesmo barco, por isso, quero repartir com vocês a alegria e satisfação por trabalhar ao lado de pessoas que também valorizam a ciência. Em especial, agradeço ao colega Raymundo por diminuir o tempo de um dos meus trabalhos do mestrado de 50 dias para 20 segundos. De qualquer forma, ele facilitou demais minha vida! À colega Elke por me tirar muitas dúvidas sobre Matlab (aquela loucura), dentre outras coisas, e ao colega Victor que sempre se mostrou disposto a me auxiliar na aprendizagem técnica e teórica da academia. Aprendi muito com vocês!

Agradeço profundamente ao professor Dr. José Ângelo Barela por ser tão atencioso e aos seus alunos do Laboratório para Estudo do Movimento em Rio Claro – SP. Muito obrigada por aceitarem a minha permanência no laboratório para as coletas e por me darem suporte técnico e teórico. Em especial, agradeço aos alunos Diana e Andrei por ficarem mais tempo comigo e por me oferecerem estadia enquanto permaneci lá.

Meus sinceros agradecimentos ao professor e Dr. Luis Mochizuki por me auxiliar diretamente na análise de dados. Sempre muito atencioso e profissional. Fiquei muito satisfeita pelo suporte que me enriqueceu o conhecimento técnico e teórico.

Aos participantes da coleta, pela paciência e compreensão. Pois, não é fácil segurar uma bandeja por, em média, 1h.

À bibliotecária Lúcia Franco, pelo auxílio na revisão final da dissertação. Aos funcionários da secretaria de pós-graduação, Ilza e Márcio, que sempre se mostraram muito atenciosos.

Finalmente, agradeço ao apoio financeiro da FAPESP sem o qual este trabalho não poderia ter sido tão proveitoso.

Nenhuma conquista seria possível sem a presença constante de Deus na minha vida. Agradeço, portanto, a vós por estar sempre me guiando!

Ando devagar porque já tive pressa
 Levo este sorriso, porque já chorei demais.
 Hoje me sinto mais forte, mais feliz quem sabe...
 Só levo a certeza de que muito pouco eu sei,
 Eu nada sei...
 ...Cada um de nós compõe a sua história,
 E cada ser em si, carrega o dom de ser capaz, e ser
 feliz.

Almir Sater

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 Controle postural.....	5
2.2 Participação de estruturas corticais no controle postural.....	10
2.3 Capacidade atencional e controle motor.....	11
2.4 Demanda atencional e controle postural.....	14
2.5 Integração entre tarefas postural e supra-postural.....	18
2.6 Modelos teóricos sobre atenção e controle postural.....	21
2.7 Integração entre tarefa postural e supra-postural de precisão durante perturbação postural.....	24
3 OBJETIVOS GERAIS.....	25
4 JUSTIFICATIVAS.....	25
5 HIPÓTESES.....	26
6 MÉTODO.....	26
6.1 Participantes.....	26
6.2 Tarefa e equipamentos.....	27
6.3 Delineamento e procedimentos experimentais.....	29
6.4 Variáveis dependentes da tarefa supra-postural.....	30
6.5 Variáveis dependentes da tarefa postural.....	33
6.6 Análise de dados.....	37
7 RESULTADOS.....	37
7.1 Descarte de dados.....	38
7.2 Comparação entre gêneros.....	38
7.3 Translação anterior da plataforma.....	38
7.4 Translação posterior da plataforma.....	48
8 DISCUSSÃO.....	55

8.1	Influência da restrição da tarefa supra-postural nos ajustes posturais neuromusculares.....	55
8.2	Tarefa supra-postural motora e sua integração com a regulação postural.....	59
8.3	Integração entre tarefas postural e supra-postural e alocação atencional.....	60
8.4	Sinergia motora em tarefas duais.....	62
8.5	Integração e competição por recursos de processamento cortical entre tarefas postural e supra-postural.....	66
9	CONCLUSÕES.....	67
10	POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES CLÍNICAS.....	67
11	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	68
12	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Representação esquemática do arranjo experimental mostrando a posição inicial do participante em tarefa sem restrição (S) e com restrição (R), painéis A e B, respectivamente. Do lado direito do painel B observa-se o local onde o experimentador controlava o movimento da plataforma, a coleta cinemática e eletromiográfica. À frente do participante, era posicionado um alvo circular para fixação visual durante as condições experimentais (B). Em destaque acima (C), a bandeja com o cilindro e marcadores proximal (1), medial (2) medial e distal (3).....	28
FIGURA 2 - Representação do deslocamento angular do cilindro após perturbação da base de suporte. A linha vertical indica o início da perturbação (0). As setas horizontais indicam o início (seta inferior) e o final (seta superior) do primeiro pico após a perturbação. Os valores negativos na abcissa indicam o tempo anterior ao início da perturbação.....	32
FIGURA 3 - Exemplo de variação angular na articulação do quadril, com representação dos pontos empregados (setas horizontais) para calcular a amplitude e o tempo de reversão reativo à perturbação pelo deslocamento da base de suporte. A linha vertical indica o início da perturbação postural (0).....	34
FIGURA 4 - Demonstração dos dois momentos (t_1 e t_2) escolhidos para o cálculo da magnitude muscular. O t_1 inicia com a perturbação (primeira linha vertical) e termina após 200 ms (segunda linha vertical). O t_2 inicia em 200ms após a perturbação e termina após 350 ms do início da mesma (terceira linha vertical grossa). A linha vertical fina indica o início da ativação muscular.....	36
FIGURA 5 - Representação do desempenho em uma tentativa de translação anterior da plataforma na situação previsível com tarefa com restrição. Estão representados o deslocamento anterior da plataforma de translação, respectivas ativações dos músculos, variação angular nas articulações e deslocamento angular do cilindro. As setas verticais indicam o sentido (flexão-extensão) da ação articular. A linha vertical indica o início da perturbação postural.....	40

FIGURA 6 -	Médias e erros-padrão (traços verticais) do deslocamento horizontal da bandeja em função da previsibilidade e da tarefa (sem restrição: S e com restrição: R). Asteriscos indicam diferença significativa.....	41
FIGURA 7 -	Deslocamento angular médio ($^{\circ}$) e erros-padrão em cada articulação avaliada nas condições dependentes da previsibilidade com tarefa sem restrição (S) e com restrição (R).....	42
FIGURA 8 -	Índices individuais médios de correlação e erros-padrão entre as seguintes articulações: tornozelo Joelho (tj), tornozelo-quadril (tq), tornozelo-ombro (to), joelho-quadril (jq), joelho-ombro (jo), quadril-ombro (qo) em função das condições experimentais.....	43
FIGURA 9 -	Velocidade angular média ($^{\circ}/s$) e erros-padrão (traços verticais) para atingir o primeiro ajuste em função da condição experimental nas articulações avaliadas.....	44
FIGURA 10 -	Representação de uma tentativa da ativação do TA e RF na translação anterior da plataforma na situação previsível de perturbação. A coluna A representa a condição com tarefa sem restrição e a coluna B tarefa com restrição. As linhas verticais indicam o início da perturbação postural.....	45
FIGURA 11 -	Latência de ativação muscular média (ms) e erros-padrão do TA e RF em função das condições experimentais.....	46
FIGURA 12 -	Magnitude de ativação muscular média (mV) e erros-padrão do TA e do RF em t1 e t2 em função das condições experimentais.....	46
FIGURA 13 -	Médias e erros-padrão da Δr_{e-ta} de acordo com as condições experimentais.....	47
FIGURA 14 -	Representação do desempenho em uma tentativa de translação posterior da plataforma na situação imprevisível com tarefa sem restrição. Estão representados o deslocamento anterior da plataforma de translação, respectivas ativações dos músculos, variação angular nas articulações e deslocamento angular do cilindro. As setas verticais indicam o sentido (flexão-extensão) da ação articular. A linha vertical indica o início da perturbação postural.....	49
FIGURA 15 -	Deslocamento angular médio ($^{\circ}$) e erros-padrão em cada articulação avaliada nas condições dependentes da previsibilidade com tarefa sem restrição (S) e com restrição (R).....	51

FIGURA 16 -	Índices individuais médios de correlação cruzada e erros-padrão entre as seguintes articulações: tornozelo Joelho (tj), tornozelo-quadril (tq), tornozelo-ombro (to), joelho-quadril (jq), joelho-ombro (jo), quadril-ombro (qo) em função das condições experimentais.....	52
FIGURA 17 -	Velocidade angular média ($^{\circ}/s$) e erros-padrão para atingir o primeiro ajuste em função da condição experimental nas articulações avaliadas.....	53
FIGURA 18 -	Magnitude de ativação muscular média (mV) e erros-padrão do GM e BF em t1 e t2 em função das condições experimentais.....	54

RESUMO

MANUTENÇÃO DA POSTURA ERETA EM CONDIÇÕES DE PERTURBAÇÃO: INFLUÊNCIA DA EXECUÇÃO DE UMA TAREFA MANUAL SIMULTÂNEA E INCERTEZA SOBRE A DIREÇÃO DA PERTURBAÇÃO

Autor: ANDRÉA CRISTINA DE LIMA

Orientador: PROF. DR. LUIS AUGUSTO TEIXEIRA

Este estudo objetivou investigar os componentes posturais reativos em resposta a deslocamentos da base de suporte, perturbando o equilíbrio corporal, em função da realização concomitante de uma tarefa supra-postural manual e incerteza sobre a direção de perturbação. Dezesseis adultos jovens de ambos os sexos ($M = 26,3$ anos; $DP = 2,6$) participaram do estudo. A tarefa supra-postural consistiu em equilibrar um cilindro sobre uma bandeja (restrição), cujo desempenho foi verificado por meio do deslocamento angular do cilindro. O desempenho na tarefa postural foi avaliado em função da combinação da incerteza sobre a direção de perturbação postural (anterior ou posterior) e restrição imposta pela tarefa supra-postural, requisitando equilíbrio do cilindro ou manutenção de uma bandeja na orientação horizontal. O desempenho na tarefa postural foi avaliado por meio de análises eletromiográfica de músculos anteriores e posteriores da perna direita e cinemática das principais articulações envolvidas nos ajustes da postura e da tarefa supra-postural. Os resultados mostraram que a tarefa supra-postural com restrição em perturbações previsíveis diminuiu a latência de ativação da musculatura agonista

reduziu o deslocamento manual no controle na tarefa supra-postural. A tarefa supra-postural com restrição induziu ajustes diferenciados nas articulações do tornozelo, joelho, quadril e ombro em comparação à condição sem restrição. Os resultados sugerem que a tarefa supra-postural com restrição induziu maior automatização postural para reagir rapidamente à perturbação. Estes resultados indicam que o controle de uma tarefa supra-postural é integrado com a manutenção do controle postural em situações de perturbação do equilíbrio corporal. Além disso, esta integração foi mostrada ser dependente da previsibilidade da direção de perturbação postural. Assim, a principal conclusão deste estudo foi que a restrição imposta pela tarefa supra-postural influencia respostas neurofisiológicas reativas associadas ao controle postural, que são potencializadas pela previsibilidade da perturbação postural.

Palavras-chave: tarefa dual, restrição, integração entre tarefas, controle postural, previsibilidade

ABSTRACT

MAINTENANCE OF UPRIGHT STANCE IN CONDITIONS OF PERTURBATION: INFLUENCE OF SIMULTANEOUS MANUAL TASK EXECUTION AND UNCERTAINTY OF PERTURBATION DIRECTION

Author: ANDRÉA CRISTINA DE LIMA

Adviser: PROF.DR. LUIS AUGUSTO TEIXEIRA

This study aimed to investigate the reactive components of postural adjustments in response to displacements of the basis of support, disturbing body balance, as a function of a concomitant manual execution of a supra-postural task and uncertainty about the perturbation direction. Sixteen young adults of both genders ($M = 26,3$ years; $SD = 2,6$) participated in the study. The supra-postural task consisted of equilibrating a cylinder on a tray (constraint), whose performance was assessed through cylinder displacement. The performance on stance was evaluated as a function of a combination of uncertainty of direction of postural perturbation (anterior or posterior) and the constraint imposed by the supra-postural task, requiring equilibrium of the cylinder or maintenance of a tray in a horizontal orientation. Performance on stance was assessed through electromyographic analysis of anterior and posterior muscles of the right leg and kinematics of the main joints involved in postural e supra-postural adjustments. The results showed that the supra-postural task in predictable perturbations decreased the activation latency of agonistic muscles and diminished the manual displacement in the supra-postural task. The constraining supra-postural task induced differential adjustments in the ankle, knee, hip and shoulder in comparison with the condition without constraint. The results suggest that the restrictive supra-postural task induced a more automatic postural control to rapidly

react to perturbations, generating more efficient postural adjustments. Thus, the present results suggest that the constraining supra-postural task induced more automatic responses. These results indicate that the control of a supra-postural task is integrated with the maintenance of upright stance in situations of balance perturbation. Moreover, this integration was shown to be dependent on predictability of direction of postural perturbation. So, the main conclusion drawn from our results is that the constraint imposed by the supra-postural task influences reactive neurophysiological responses related to postural control, which are enhanced by postural perturbation predictability.

Keywords: dual-task, constraint, between-task integration, postural control, predictability

1 INTRODUÇÃO

As demandas do meio, como perturbações posturais provocadas externamente (deslocamento da base de suporte, por exemplo) ou internamente (como a realização de uma tarefa supra-postural¹) exigem ajustes antecipatórios (ARUIN, SHIRATORI & LATASH, 2001) e reativos (NASHNER, WOOLLACOTT & TUMA, 1979) a fim de, não somente evitar a queda, mas, atingir o objetivo da tarefa supra-postural. Estes ajustes necessitam da participação de processamento cortical (DIENER, DICHGANS, BOOTZ & BACHER, 1984; MOORE, RUSHMER, WINDUS & NASHNER, 1988; NASHNER, 1976). Os ajustes antecipatórios e seu comportamento adaptativo de preparação às perturbações externas e internas são bem explorados na literatura (ARUIN, SHIRATORI & LATASH, 2001; CORDO & NASHNER, 1982; HAY & REDON, 1999; LEE MICHAELS & PAY, 1990; MOSELEY, HODGES & GANDEVIA, 2003; ZATTARA & BOUISSET, 1988). No entanto, a influência da tarefa supra-postural em ajustes reativos posturais ainda são inconclusivos. Alguns estudos reportam que a tarefa supra-postural não interfere na regulação precoce do controle postural como na latência e magnitude de ativação muscular até 250 ms após a perturbação postural (RANKIN, WOOLLACOTT, SHUMWAY-COOK & BROWN, 2000; NORRIE, MAKI, STAINES & McILROY, 2002; REDFERN, MULLER, JENNINGS & FURMAN, 2002). Porém, a regulação cortical de ajustes reativos precoces foi identificada em diversos estudos (ACKERMANN, DIENER & DICHGANS, 1986; ACKERMANN, DICHGANS & GUSCHLBAUER, 1991; JACOBS, FUJIWARA, TOMITA, FURUNE, KUNITA & HORAK, 2008). Com isso, seria de se esperar que a realização concomitante de tarefa supra-postural interferisse na regulação de ajustes posturais reativos.

Particularmente as perturbações provocadas pela realização concomitante de uma tarefa supra-postural tem sido explorada em duas linhas principais de pesquisa: a que considera a postura e a tarefa supra-postural entidades independentes (tarefas

¹ Tarefa supra-postural é o termo utilizado para se referir a uma tarefa adicional que demanda recursos atencionais e que é realizada juntamente com a tarefa postural. Exemplos de tarefas supra-posturais: contar, memorização, rastreamento visual e tarefa manual

duais) (LAJOIE, TEASDALE, BARD & FLEURY, 1993; MITRA, 2003) e a que reconhece a postura como sendo dependente dos objetivos da tarefa supra-postural, com controle integrado entre as duas (BARDY, OULIER, BOOTSMA & STOFFREGEN, 2002; PRADO, STOFFREGEN & DUARTE, 2007). O foco em comum destes estudos é a verificação do desempenho das tarefas postural e supra-postural, quando ambas estão sendo requisitadas ao mesmo tempo.

No caso dos estudos de tarefas duais, tem sido investigada a participação de mecanismos atencionais no controle postural. Os achados principais indicam que uma das tarefas pode apresentar queda de desempenho quando são realizadas simultaneamente (LAJOIE, TEASDALE, BARD & FLEURY, 1993; RANKIN et al., 2000; YARDLEY, GARDNER, BRONSTEIN, DAVIES, BUCKWELL & LUXON, 2001). A fundamentação teórica para os achados baseia-se na capacidade limitada de atenção do ser humano (PASHLER, 1999; SOHN, KANG & HALLETT, 2005). Desta forma, se duas tarefas são realizadas ao mesmo tempo e extrapolam a capacidade atencional disponível, uma delas apresentará queda de desempenho (LAJOIE et al., 1993; RANKIN et al., 2000). Porém, até o momento, os resultados são inconclusivos, pois enquanto uns relatam queda de desempenho da tarefa supra-postural (ANDERSSON, YARDLEY & LUXON, 1998; KERR, CONDON & McDONALD, 1985; LAJOIE et al., 1993; TEASDALE, BARD, LARUE & FLEURY, 1993; YARDLEY, GARDNER, BRONSTEIN, DAVIES, BUCKWELL & LUXON, 2001) outros encontram queda, melhora, piora ou nenhuma alteração no controle postural (MAYLOR & WING, 1996; RANKIN et al., 2000; SHUMWAY-COOK, WOOLLACOTT, KERNS & BALDWIN, 1997; YARDLEY et al., 1999).

Mesmo contraditórios, os resultados dos estudos em tarefas duais são importantes para elucidar a participação de processamento atencional na manutenção do equilíbrio postural. Porém, uma limitação importante destes estudos para a compreensão do comportamento postural durante perturbações é a utilização, na maioria dos estudos, de tarefas supra-posturais estritamente atencionais (contagem e memorização, por exemplo). Tarefas puramente atencionais não dependem de ajustes posturais para garantir seu desempenho. Desta forma, as alterações posturais e supra-posturais observadas não podem explicar a interferência

entre elas. Desta forma, para analisar a influência da tarefa supra-postural no controle postural é necessário que a primeira dependa do controle do último.

As pesquisas que defendem a idéia de integração entre tarefas reportam melhora do desempenho postural (MORIOKA, HIYAMIZU & YAGI, 2005; PRADO, STOFFREGEN & DUARTE, 2007; STOFFREGEN, PAGULAYAN, BARDY & HETTINGER, 2000). Nestes estudos a tarefa supra-postural empregada foi motora, dependendo intimamente de ajustes posturais para manter seu desempenho. Estes estudos verificam que a tarefa supra-postural impõe restrição ao controle postural. Porém, a principal limitação desta linha de pesquisa é a falta de evidências neurofisiológicas que fundamentem a restrição imposta pela tarefa supra-postural ao controle motor. Esta restrição poderia ser atribuída à influência consciente da tarefa supra-postural, regulada por mecanismos atencionais, na regulação inconsciente do controle postural (cf. JACOBS & HORAK, 2007). A influência do controle cortical favoreceria, portanto, uma sinergia entre as duas tarefas para atingir o objetivo principal de manter o desempenho na tarefa supra-postural. No entanto, faltam evidências para apoiar esta suposição.

Se por um lado a tarefa supra-postural influencia positivamente a manutenção do controle postural (MORIOKA, HIYAMIZU & YAGI, 2005; PRADO, STOFFREGEN & DUARTE, 2007; STOFFREGEN et al., 2000), a imprevisibilidade da perturbação postural é um fator que pode interferir na integração entre estas tarefas. Esta afirmação é baseada em estudos recentes que observaram processamento sensorial cortical para corrigir erros de ajustes, somente em condições imprevisíveis de perturbação postural (ADKIN, QUANT, MAKI & McILROY, 2006; QUANT, ADKIN, STAINES, MAKI & McILROY, 2004). Estes sinais corticais são atenuados quando uma tarefa supra-postural puramente atencional é realizada (QUANT et al., 2004). Porém, o efeito da previsibilidade de perturbação postural durante a execução de tarefa supra-postural motora ainda não foi esclarecida. De qualquer forma, como a realização concomitante de tarefas postural e supra-postural necessita de processamento atencional (cf. JACOBS & HORAK, 2007), espera-se que em condições imprevisíveis haja queda de desempenho na integração entre elas devido à capacidade limitada de recursos atencionais (PASHLER, 1999; SOHN, KANG & HALLETT, 2005).

Em condições previsíveis de perturbação postural, diferentemente das imprevisíveis, há facilitação de vias transcorticais envolvidas nos ajustes reativos (ACKERMANN, DIENER & DICHGANS, 1986; ACKERMANN, DICHGANS & GUSCHLBAUER, 1991; JACOBS et al., 2008). Um estudo recente apresentou evidências neurofisiológicas, por meio de estimulação magnética transcraniana e eletromiografia, da facilitação de circuitos transcorticais quando o indivíduo tem certeza de características (momento e direção, por exemplo) da perturbação postural (JACOBS et al., 2008). Desta forma, o conhecimento da perturbação postural poderia facilitar a integração entre tarefas postural e supra-postural.

A realização de tarefa supra-postural motora durante a recuperação do equilíbrio postural dependendo da previsibilidade é uma constante no cotidiano do ser humano. Porém, uma interpretação sobre a restrição da tarefa supra-postural baseada em alterações neurofisiológicas durante ajustes reativos posturais ainda não foi apresentada. Diante do exposto, no presente estudo é proposta a utilização de uma tarefa supra-postural manual cujo desempenho tem relação direta com a manutenção do equilíbrio. Desta forma, quando a postura é perturbada tanto a manutenção do equilíbrio como o desempenho da tarefa manual devem ser contemplados. Portanto, espera-se que haja influência positiva da restrição da tarefa supra-postural nos ajustes reativos musculares do controle postural. No entanto, ao mesmo tempo em que a tarefa supra-postural de precisão manual pode melhorar o controle postural, a imprevisibilidade da perturbação pode prejudicar o equilíbrio. A interação entre estes fatores ainda não foi avaliada, o que traria grande contribuição para o entendimento de condições dinâmicas de controle postural. No presente estudo foi investigada a influência da execução de tarefas supra-posturais com e sem restrição nas respostas reativas em função da previsibilidade sobre a direção da perturbação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Controle postural

Os primeiros estudos sobre controle postural foram realizados por Charles Sherrington no início do século XX. Ao transeccionar a medula espinhal de cães e gatos no nível do cóliculo superior e inferior, foi verificado que a musculatura extensora enrijecia de tal forma que poderia sustentar o corpo. Interrompendo as aferências sensoriais, observou-se queda na sustentação do corpo. Tais evidências foram pioneiras para o conhecimento da participação de estruturas neurais como os reflexos e de informação sensorial no controle postural (SHERRINGTON, 1910). Após pouco mais de 100 anos de estudo, sabe-se que além de reflexos posturais, outros mecanismos de ajuste que dependem do controle do córtex são importantes para que a postura atue na sua integridade oferecendo estabilidade, orientação e adaptação (cf. JACOBS & HORAK, 2007).

O controle postural é a posição relativa de várias partes do corpo em relação umas às outras, ao ambiente e à gravidade para manter o equilíbrio em determinada posição (equilíbrio estático) ou durante o movimento (equilíbrio dinâmico). Com isso, o corpo precisa se ajustar às exigências intrínsecas (realização de movimento manual, por exemplo) e extrínsecas (deslizamento da base de suporte, por exemplo). A ação de forças simultâneas agindo externamente no corpo gera um torque que precisa ser contrabalanceado com o torque gerado por forças internas (músculos). Desta forma, manter-se equilibrado requer que os torques internos e externos estejam contrabalanceados para gerar reações antecipatórias ou reflexas diante de uma perturbação postural. Estes ajustes têm como objetivo principal a manutenção do centro de gravidade dentro dos limites da base de suporte (BALASUBRAMANIAM & WING, 2002). A organização central do corpo em relação às exigências intrínsecas e extrínsecas é resultado de alto grau de aprendizagem durante toda a vida (MASSION, 1992).

A manutenção postural é possível graças à integração eficiente entre sistemas vestibular, proprioceptivo e visual (BAIR, KIEMEL, JEKA & CLARK, 2007; WOOLLACOTT, SHUMWAY-COOK & NASHNER, 1986; SHUMWAY-COOK &

WOOLLACOTT, 2000). Além da contribuição individual e específica de cada modalidade sensorial (visão, propriocepção e vestibular) estudos recentes têm apontado integração destes sistemas de acordo com o contexto e idade do indivíduo. Em situações em que não há conflito sensorial, ou seja, todos os sistemas sensoriais enviam informações adequadas para o SNC, o movimento é realizado de acordo com as exigências do meio. Porém, quando há conflito sensorial em que sinais diferentes entre si são enviados pelas vias sensoriais, o SNC deve selecionar e ter como referência (peso) a modalidade que julga ser mais adequada ao contexto, permitindo ajustes mais eficientes (JEKA, 1997; WOOLLACOTT, SHUMWAY-COOK & NASHNER, 1986). A integração sensorial permite que a manutenção postural, por meio de ajustes antecipatórios e reativos, seja flexível.

Os ajustes antecipatórios e reativos são adaptáveis e variam de acordo com a demanda comportamental. Um estudo clássico que ilustra perfeitamente a flexibilidade dos ajustes antecipatórios foi realizado por CORDO e NASHNER (1982). Foi analisada a resposta muscular do gastrocnêmio e do bíceps braquial de indivíduos sobre uma superfície fixa. Eles deveriam se segurar em uma barra fixa localizada à frente o mais rápido possível após ouvirem um sinal. Para manter a postura, a contração da musculatura de perna ocorreu antes da ativação do músculo bíceps braquial. Quando, em outra condição experimental, a barra fixa foi subitamente empurrada, ocorreu precocemente uma resposta reflexa bicipital e o músculo gastrocnêmio medial permaneceu silente. Em outra condição, quando o indivíduo foi subitamente puxado com a barra para frente, os músculos dos braços e das pernas foram ativados simultaneamente. Finalmente, no deslizamento inesperado da plataforma para frente, fazendo com que o indivíduo se desequilibrasse para trás, o músculo gastrocnêmio medial ficou silente e foi observada uma resposta precoce do músculo bíceps braquial. Os ajustes posturais antecipatórios, como vistos no estudo de CORDO e NASHNER, ocorrem em situações previsíveis do movimento, preparando o corpo para a ação (ARUIN, SHIRATORI & LATASH, 2001). MOSELEY, HODGES e GANDEVIA (2003), por meio de análise eletromiográfica, observaram que dependendo da previsibilidade do movimento há uma inversão na ativação muscular da musculatura multífida profunda e superficial. Foi verificado que durante o aumento previsível de peso nos membros

superiores houve ativação da musculatura profunda mais precocemente do que na situação imprevisível. Assim, observou-se que os ajustes posturais controlaram grupos musculares distintos. Em conformidade com esse achado, HAY e REDON (1999) reportaram que os distúrbios posturais, verificados pelo deslocamento do centro de pressão (CP), resultantes de aumento previsível de peso nos membros superiores foram menos pronunciados do que quando o aumento foi imprevisível.

Ajustes antecipatórios são ativados também durante movimento voluntário dos membros superiores. Isto ocorre porque o desempenho da tarefa manual está intimamente associado com a estabilização do tronco e da cabeça. Estes ajustes são específicos a cada tipo de movimento e sua função é contrabalancear a aceleração anterior do centro de gravidade do corpo causada pelo movimento dos membros superiores (ZATTARA & BOUISSET, 1988). A modulação do movimento manual no controle postural foi evidenciada por ZATTARA & BOUISSET (1988) devido ao aumento dos ajustes antecipatórios dependendo do aumento da carga sobre os braços. LEE MICHAELS e PAY (1990) pediram para que os participantes puxassem uma alavanca com ambas as mãos executando forças em graus variados. Um ajuste preparatório de flexão do quadril, aumento do torque do tornozelo e do tempo de ativação de músculos posturais foram observados. A duração destes ajustes aumentou de acordo com a força bimanual exercida na alavanca. Este estudo reforçou a idéia de que os ajustes posturais antecipatórios não se relacionam somente à manutenção do equilíbrio, mas também ao oferecimento de força adicional ao movimento manual.

Os membros superiores também são recrutados como parte da resposta à manutenção do equilíbrio e trabalham coordenadamente com os membros inferiores (ELGER, WING & GILLES, 1999). MARSDEN, MERTON e MORTON (1981) e CORDO e NASHNER (1982) demonstraram que os músculos proximais dos membros superiores são ativados em resposta à perturbação do equilíbrio em um indivíduo na postura bípede apoiando-se em um suporte estável. Os resultados destes estudos indicam que a latência da ativação muscular dos membros superiores é similar àquela dos músculos distais dos membros inferiores. Em estudos adicionais, encontrou-se ativação muscular precoce dos membros superiores sugerindo uma organização particular de controle postural, podendo indicar uma

estratégia de proteção para evitar queda (agarrar em algo ou se proteger da queda). McILROY e MAKI (1995) verificaram as respostas posturais dos membros superiores e inferiores realizando perturbações com acelerações em várias magnitudes. A eletromiografia e a cinemática demonstraram que os sujeitos ativavam precocemente o músculo deltóide posterior em relação à musculatura dos membros inferiores, os ombros sempre abduziam e os cotovelos flexionavam em todas as direções da perturbação. Este comportamento demonstra que não se trata de um movimento compensatório frente aos movimentos de ajuste do centro de massa, pois independentemente da direção da perturbação os membros superiores apresentaram o mesmo comportamento. Os autores comentam que ainda não se sabe se este comportamento dos membros superiores é uma reação protetora ou se esta associada com a necessidade de agarrar algo. DIETZ, NOTH e SCHMIDTBLEICHER (1981) avaliaram o perfil eletromiográfico dos membros superiores em adultos durante queda de plataformas com inclinações diferentes, variando de 50 a 80 graus em relação ao plano horizontal. Os resultados indicaram que houve latência diminuída do músculo bíceps braquial em relação à musculatura dos membros inferiores, independente da angulação da plataforma ou da disponibilidade visual. Além disso, a ativação muscular persistiu após a queda. Os autores concluíram que durante uma perturbação postural os membros superiores organizam-se primeiramente talvez para evitar o colapso e garantir mais segurança em uma possível queda por meio de uma reação de proteção dos braços. Da mesma forma, BATENI, ZECEVIC, McILROY e MAKI (2004), em estudo sobre a resolução dos conflitos para manutenção do equilíbrio verificaram que independente do objeto ser relevante à estabilização do indivíduo, há uma prioridade do SNC em ativar os membros superiores precocemente para alcançá-lo. Em outras palavras, durante um desequilíbrio grande há a tendência de o sujeito direcionar suas mãos a algum objeto que possa trazer mais estabilidade, mesmo que, na realidade, ele não traga. Verifica-se então que há ajustes específicos para priorizar o comportamento protetor dos membros superiores frente às perturbações do meio. Segundo CORDO e NASHNER (1982) a manutenção do comportamento dos membros superiores é possível graças à estabilização postural, que tem um importante papel no desempenho de movimentos focais envolvendo o contato com objetos.

Quando a perturbação postural é imprevisível existe um controle reativo às alterações do ambiente, por meio de reflexos posturais que apresentam latências maiores do que os reflexos espinhais. Este aumento da latência sugere que os reflexos posturais também recebem eferências corticais. NASHNER (1976) verificou que o tempo de latência da musculatura agonista envolvida na recuperação do equilíbrio após perturbação da superfície de suporte é maior do que o encontrado em reflexos monossinápticos de estiramento (40-70 ms), sendo denominadas respostas posturais automáticas de longa latência (cerca de 120 ms). De forma geral, o controle reativo postural envolve três tipos de resposta: baixa, média e alta latência e que a participação de controle cortical aumenta de acordo com o aumento da latência das respostas (JACOBS & HORAK, 2007). Para caracterizar o tipo de respostas reativas, os estudos normalmente empregam perturbações posturais desencadeadas por translação ou rotação da base de suporte. Assim, o centro de gravidade é deslocado em direção às regiões limites da base de suporte, provocando, desta forma, um desequilíbrio (HORAK & NASHNER, 1986; WOOLLACOTT, VON HOSTEN & ROSBLAD, 1988). Em resposta a este tipo de perturbação um grande número de grupos musculares é ativado para contrabalancear as forças geradas. Esta organização é necessária para reduzir os graus de liberdade e simplificar o problema do controle do movimento, assim como proposto por BERNSTEIN (1967). Esta hipótese foi baseada na observação de que um número restrito de padrões musculares pode ser observado durante ajustes antecipatórios e reativos, sendo comum nestes dois tipos de ajustes (MOUCHNINO, AURENTY, MASSION & PEDOTTI, 1991). A esta diminuição dos graus de liberdade dá-se o nome de sinergia. Apesar de o comportamento sinérgico durante alguns tipos de perturbação postural ser semelhante, é possível verificar a sua natureza flexível dependendo da posição dos pés, do tipo de perturbação, das instruções, da experiência prévia e até do estado emocional (MAKI & McILROY, 2005). 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 & McCOLLUM, 1985, citado por SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2006).

2.2 Participação de estruturas corticais no controle postural

Além do conhecido papel do cerebelo, tronco encefálico e medula espinhal no controle postural, evidências neurofisiológicas indicam a participação também de estruturas corticais na regulação do equilíbrio corporal. BRANDT, DIETERICH e DANEK (1994) e KARNATH, FERBER e DICHGANS (2000) analisaram pacientes hemiplégicos com tomografia computadorizada e ressonância magnética. A análise postural foi feita por meio de escalas específicas de equilíbrio postural. Foi verificado que os pacientes conseguiam definir com precisão se um objeto presente em seu campo visual estava em posição vertical. Porém, não conseguiam identificar que seu corpo estava inclinado. Ao invés disso, eles afirmavam que estavam eretos. Os autores associaram este comportamento com lesões na região insular posterior do córtex e no tálamo. Desta forma, a percepção visual do meio externo parece ser processada por uma via diferente da percepção da verticalidade do corpo. O córtex, portanto é uma estrutura essencial para o controle graviceptivo do corpo. ADKIN et al., (2006) e DIETZ, NOTH e SCHMIDTBLEICHER (1985) examinaram a atividade cortical envolvida nos ajustes posturais e encontraram especificidade de ativação nervosa dependendo da previsibilidade do desequilíbrio em adultos. No caso do estudo de ADKIN et al. (2006), os indivíduos receberam perturbações no tronco nos planos sagital e frontal enquanto a atividade eletroencefalográfica foi registrada. As situações imprevisíveis desencadearam uma ativação cerebral na região fronto-parietal do córtex cujo sinal apresentou um grande potencial evocado negativo antes das respostas automáticas posturais. Tal comportamento não foi observado em perturbações previsíveis. Isto sugere que o SNC responde diferentemente a situações previsíveis e imprevisíveis, informando precocemente o sistema que houve uma perturbação e que ajustes posturais deverão ser realizados. A explicação atribuída a este potencial evocado foi que se trata de um sinal de erro enviado por estímulos sensoriais para que o córtex tenha condições de corrigir a postura. Ao adicionar uma tarefa cognitiva de perseguição manual de um alvo móvel juntamente com perturbação postural, QUANT et al., (2004), verificaram que o potencial evocado na região fronto-parietal foi atenuado. Para os autores, esta atenuação confirma a interferência de recursos atencionais na modulação cortical do controle postural. As

evidências apresentadas neste parágrafo dão sustentação para a participação de estruturas superiores no controle postural. Porém, ainda não está claro na literatura a contribuição da atenção nos ajustes posturais.

2.3 Capacidade atencional e controle motor

A atenção é um mecanismo cognitivo que possibilita alguém processar informações, pensamentos ou ações relevantes, enquanto ignora outros irrelevantes ou dispersivos (GAZZANIGA, IVRY & MANGUN, 2006). A atenção modula o movimento e facilita a sua execução. Direcionar a atenção ao movimento aumenta a atividade dos córtices cingulado, motor suplementar, pré-motor e motor primário, além do cerebelo (JUEPTNER, OTTINGER, FELLOWS, ADAMSCHEWSKI, FLERICH, MULLER, DIENER, THILMANN & WEILLER, 1997; ROWE, FRISTON, FRACKOWIAK, PASSINGHAM, 2002). Além de facilitar melhor conexão entre os córtices pré-frontal e pré-motor. BINKOFSKI, BUCCINO, ZILLES e FINK, (2004) objetivaram verificar a participação de recursos atencionais na ativação neural da área motora primária (área 4 de Brodmann) por meio de ressonância magnética. A tarefa consistia em fazer um movimento estereotipado com o dedo indicador em forma de U, enquanto o indivíduo olhava um quadro com flashes de luz vermelha tendo que prestar atenção no movimento do dedo (condição1); olhando para o quadro com flashes verde sem prestar atenção no movimento do dedo (condição2) e contando o número de flashes verde e não prestava atenção no movimento do dedo. Os resultados apontaram que houve maior ativação da área motora na condição 1, na qual o indivíduo prestava atenção ao movimento do dedo e menor ativação na condição 3, sem atenção ao dedo. Desta forma, este estudo mostrou que a atenção direcionada ao movimento aumenta a ativação cortical da região envolvida com seu controle. Outro estudo enfatizando a importância da atenção durante a execução de movimentos foi o realizado por ROWE et al. (2002). Com ressonância magnética funcional, os participantes foram escaneados durante a realização de tarefa motora sem restrição enquanto sua atenção foi direcionada para seu movimento ou para uma tarefa de procura visual. A atenção na ação aumentou a atividade nos córtices pré-frontal, pré-motor e parietal comparando com as condições de atenção desviada

do movimento. Além disso, a atenção na ação aumentou a efetividade da conexão entre estas áreas. Estes resultados sugerem que além do aumento da ativação de áreas envolvidas com a execução do movimento pela atenção, há uma facilitação do circuito motor relacionado à preparação e seleção dos movimentos. CONTE, GILIO, IEZZI, FRASCA, INGHILLERI e BERARDELLI (2007) avaliaram o efeito da atenção no potencial evocado durante contração da musculatura interóssea da mão e utilizaram estimulação magnética transcraniana no córtex pré-motor durante o movimento. Os indivíduos foram submetidos a três condições experimentais nas quais foram posicionados sentados com as duas mãos à frente. Em uma das condições deveriam manter as duas mãos relaxadas (situação controle), na outra deveriam contrair uma mão enquanto olhavam e prestavam atenção nela. Na última condição eles deveriam olhar e prestar atenção na mão contralateral a que estava contraindo. Foi encontrado maior potencial evocado na condição na qual o indivíduo desviava a atenção para a contração da mão. Outro dado interessante foi que a estimulação transcraniana na região pré-motora diminuía o potencial evocado na condição com atenção direcionada para o movimento. Isto indica que tal região está relacionada com a modulação da resposta motora durante a execução de um movimento no qual a atenção está direcionada.

Em geral, direcionar a atenção ao movimento aumenta ativação do músculo agonista e das áreas motoras corticais relacionadas (BINKOFSKI et al., 2004; ROWE et al., 2002; CONTE et al., 2007). Os resultados de pesquisa apontam que este aumento da ativação muscular e neuronal está diretamente relacionado à preparação do sistema sensório-motor para a aprendizagem do movimento (JUEPTNER et al., 1997; KARNI, MEYER, JEZZARD, ADAMS, TURNER & UNGERLEIDER, 1995). Na medida em que o movimento vai se tornando automatizado, a participação da atenção vai diminuindo com alterações na ativação muscular e no córtex cerebral. Além de uma redução na atividade de regiões como o cerebelo, área pré-motora, córtex parietal e pré-frontal (JUEPTNER et al. 1997; WU, KANSAKU & HALLETT, 2004), evidências apontam aumento da ativação em outras áreas corticais como os núcleos da base (WU, KANSAKU & HALLETT, 2004). Além disso, ocorrem mudanças nos circuitos envolvidos durante o processo de automatização do movimento. WU, CHAN e HALLET (2008) analisaram o circuito cerebral envolvido

com automatização motora por meio de ressonância magnética funcional antes e após a aprendizagem de um movimento de seqüenciamento de dedos. A automaticidade do movimento foi testada por meio de uma tarefa probatória de cálculo matemático. Os resultados indicaram aumento da conexão entre córtex motor cingulado, área motora suplementar, cerebelo e putâmen, com conseqüente diminuição da interferência do precúneo nesta interação. O córtex motor cingulado e os núcleos basais apresentam alterações na sua ativação durante a aprendizagem do movimento, estando relacionado à preparação e execução de movimentos extensamente praticados. Particularmente, os núcleos basais estão envolvidos na construção do repertório motor que pode ser resgatado em resposta a estímulos específicos do meio (JUEPTNER et al., 1997; LAFORCE & DOYON, 2001; DEBAERE, WENDEROTH, SUNAERT, VAN HECKE & SWINNEN, 2004). O córtex motor suplementar tem um papel fundamental no armazenamento de sequência e na preparação de movimentos (GRAFTON, 1994). O cerebelo é importante na aprendizagem motora e é crítico na automatização e na execução destes movimentos (JENKINS, BROOKS, NIXON & FRACKOWIAK, 1994). Em contraste com estas regiões corticais, o precúneo² diminuiu sua atividade. Sua atividade tem sido relacionada com o direcionamento da atenção no espaço (CULHAM, CAVANAGH & KANWISHER, 2001). A diminuição da atividade do precúneo indica a progressiva diminuição da participação de demanda atencional com a automatização do movimento. De forma geral, os estudos aqui relatados indicam que a automatização dos movimentos é acompanhada pela diminuição de ativação em grande parte do córtex cerebral e aumento da conectividade destas regiões com estruturas subcorticais como o cerebelo e núcleos da base (JUEPTNER, 1997; WU, KANSAKU & HALLETT, 2004; WU, CHAN & HALLET, 2008)

² O precúneo é uma estrutura do córtex posicionada acima do sulco parieto-occipital no lobo parietal. Esta estrutura faz parte do sistema límbico.

2.4 Demanda atencional e controle postural

Apesar de estar intimamente relacionada com mecanismos conscientes e durante a aprendizagem motora, evidências científicas comprovam que a atenção participa do controle de movimentos altamente automatizados como a postura (LAJOIE et al., 1993; SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2002). A característica automática e flexível das respostas posturais frente às exigências de estabilidade e orientação é evidenciada desde os primeiros estudos conduzidos na área de controle postural (DIENER et al., 1984; NASHNER, 1976). Inicialmente, o equilíbrio foi visto como sendo o resultado de circuitos reflexivos presentes na medula e tronco encefálico. Mais recentemente o controle postural tem sido considerado uma habilidade motora passível de modificação dependendo do contexto (NASHNER, 1976, MOORE et al., 1988). Estas evidências levaram à conclusão de que circuitos neurais com participação de estruturas elevadas do SNC estão envolvidos na modulação das respostas posturais, permitindo flexibilidade ao sistema de controle postural. Considerando a flexibilidade das respostas posturais, tem sido encontrado comportamento motor diferenciado de acordo com fatores associados à perturbação postural, previsibilidade e execução concomitante de tarefa supra-postural (TOKUNO, CARPENTER, THORSTENSSON & CRESSWELL, 2006; ARUIN, SHIRATORI & LATASH, 2001; LAJOIE et al., 1993).

Os recursos atencionais são requisitados na manutenção postural para seleção de informação sensorial adequada (vestibular, proprioceptiva ou visual) em situações de conflito sensorial (BUGNARIU & FUNG, SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2000) a partir da representação interna e espacial do corpo (RUSHWORTH, JOHANSEN-BERG, GOBEL & DEVLIN, 2003; WOLPERT, GOODBODY & HUSAIN, 1998). O córtex parietal está intimamente relacionado com o controle da orientação da atenção inconsciente e com a representação espacial do corpo (POSNER, 1980; ROWE et al., 2002; RUSHWORTH et al., 2003). Além das evidências neurofuncionais, estudos comportamentais, por meio de tarefas probatórias, têm comprovado a participação de recursos atencionais na manutenção postural (MAKI & McILROY, 2007, para uma revisão).

KERR, CONDON e McDONALD, (1985) e LAJOIE et al. (1993) são alguns estudiosos pioneiros que explicitaram a utilização de recursos atencionais na manutenção postural. LAJOIE et al. (1993) verificaram que o tempo de reação em uma tarefa probatória aumentava à medida que a base de suporte do indivíduo diminuía. Eles compararam o tempo de reação da tarefa em jovens enquanto permaneciam sentados, em pé com base estreita, base alargada e andando. Foi verificado que o tempo de reação da tarefa probatória aumentava de acordo com o grau de dificuldade da tarefa postural. Desta forma, o sentar apresentou tempos de reação menores e o andar maiores. Em outro estudo relacionado BROWN, SHUMWAY-COOK e WOOLLACOTT (1999) analisaram as respostas posturais de adultos que sofriam perturbação no equilíbrio originado pela plataforma móvel, enquanto realizavam operações matemáticas mentais (contar de forma decrescente de três em três algarismos). Os resultados demonstraram que houve um atraso entre as respostas durante a perturbação comparada com as respostas antes da perturbação, confirmando a demanda de atenção necessária para a manutenção do controle postural.

A interferência do controle postural na tarefa supra-postural foi verificada em diversos estudos, sugerindo uma prioridade de controle postural pelo SNC (BROWN, SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 1999; KERR, CONDON & MCDONALD, 1985; LAJOIE et al., 1993; MAYLOR & WING, 1996; MAYLOR, ALLISON, & WING, 2001; MITRA, 2003; NORRIE, MAKI, STAINES & McILROY, 2002; PASHLER, 1999; RANKIN et al., 2000; SHUMWAY-COOK, BALDWIN, POLISSAR & GRUBER, 1997). As tarefas supra-posturais normalmente desempenhadas juntamente com a manutenção postural incluem: memorização (YARDLEY et al., 1999), diálogo (LUNDIN-OLSON, NYBERG & GUSTAFSON, 1997) e contagem (RANKIN et al., 2000). Segundo PASHLER (1999), a performance de uma das tarefas sofre porque ambas devem competir e dividir um número finito de recursos cognitivos. A capacidade de processamento atencional é limitada e a execução de tarefa exige a utilização de uma parte desta capacidade (GAZZANIGA, IVRY & MANGUN, 2006; WOOLLACOTT e SHUMWAY-COOK, 2002). Portanto, se duas tarefas são realizadas ao mesmo tempo e exigem mais do que o total da capacidade atencional disponível, o desempenho de uma delas poderá ser prejudicado (PASHLER, 1999;

SOHN, KANG & HALLETT, 2005). Desta forma, o SNC teria necessidade de priorizar uma das tarefas. De acordo com esta idéia, estudos recentes demonstram uma queda de desempenho em tarefa supra-postural (por exemplo, contagem regressiva, perseguição visual, recitar um poema) sem alterações nos primeiros momentos após a perturbação da manutenção do equilíbrio (alterações no CP e ativação muscular) (RANKIN et al., 2000; NORRIE et al., 2002).

Em conformidade com a proposição de que o SNC necessita priorizar uma das tarefas quando a capacidade atencional é extrapolada, foi verificado que realizar uma tarefa supra-postural interfere na manutenção postural, porém estes efeitos são relativamente pequenos e ocorrem principalmente em fases tardias das reações posturais. Por exemplo, quando o indivíduo realiza reações de equilíbrio em base fixa (sem passo), a tarefa de contar causa uma redução significativa (em torno de 25%) na ativação do músculo gastrocnêmio (um dos principais músculos agonistas) em um intervalo de tempo de 350-500 ms após a perturbação. Porém, não há interferência na ativação deste músculo em fases precoces (logo após a perturbação). Estes resultados foram verificados por RANKIN et al. (2000), que submeteram os participantes à perturbação da base de suporte por meio de uma plataforma de translação. Antes e após metade das perturbações os indivíduos deveriam fazer cálculo de subtração de três de números aleatórios. A diminuição da ativação muscular foi evidente nos ajustes musculares reativos das condições com tarefa supra-postural concomitante. Similarmente, NORRIE et al. (2002) examinaram reações de equilíbrio em base fixa após perturbação originada pela translação de uma plataforma durante tarefa de perseguição visual de um alvo com a mão. Os resultados indicaram que a tarefa supra-postural levou a modestas mudanças em fases tardias das reações de balanço (>250 ms após o início da perturbação) e queda de desempenho da tarefa supra-postural verificada pelo desvio do percurso. Houve um aumento de 5-14% no pico de excursão do CP, mas isso não afetou o deslocamento total do CP ou a atividade eletromiográfica da musculatura peri-articular do tornozelo (que ocorre em fases precoces das respostas posturais automáticas). Estes achados estão de acordo com observações de REDFERN, MULLER, JENNINGS e FURMAN (2002), que encontraram que o desempenho de tarefa volitiva de tempo de reação simultânea não afeta a latência ou amplitude do

pico inicial de deslocamento do CP (ocorrendo tipicamente dentro de 300 ms após o início da perturbação). Tais resultados são consistentes com a visão de que as reações compensatórias de balanço, mesmo aquelas desencadeadas por pequenas perturbações, são caracterizadas por fases distintas: a fase automática caracterizada pelas respostas posturais automáticas e uma ou mais fases tardias exibindo um aumento da dependência de recursos cognitivos (McILROY, NORRIE, BROOKE, BISHOP, NELSON & MAKI, 1999; NORRIE et al. 2002). Uma interpretação alternativa, proposta por REDFERN et al. (2002) é que as respostas posturais automáticas necessitam de recursos cognitivos, mas não são afetadas pela tarefa supra-postural porque o SNC dá prioridade à tarefa de estabilização postural e imediatamente transfere todos os recursos atencionais necessários para a efetiva manutenção do equilíbrio.

Outra linha de estudos evidencia que jovens não priorizam qualquer tarefa durante desafio postural. BROWN, SLEIK, POLYCH e GAGE (2002) comparando jovens e idosos em quatro situações de desafio postural manipularam a altura da plataforma (alta ou baixa em relação ao solo) em que os sujeitos permaneceriam durante uma tarefa supra-postural de atenção espacial. Além disso, combinaram condições em que os sujeitos permaneceriam na borda ou no meio da plataforma. Eles definiram como prioridade postural a redução da área de excursão do CP ou a deterioração do desempenho da tarefa cognitiva, neste caso, o tempo de reação. Os resultados indicaram que os jovens não priorizaram qualquer uma das tarefas em situações de desafio postural maior (plataforma alta e posicionamento na borda). Ao contrário, eles melhoram a estabilização postural e o tempo de reação. Os autores concluíram que os jovens, baseando-se na hipótese de recursos atencionais limitados, distribuem apropriadamente a atenção entre as duas tarefas.

A melhora de desempenho postural com a adição de tarefa supra-postural pode indicar que ao invés de uma competição por recursos atencionais pode ocorrer integração entre tarefas. Esta integração foi vista, principalmente, em tarefas e fixação visual e de movimentos manuais. A explicação para estes achados com relação à fixação visual é sua contribuição para a estabilização postural. A estabilidade vestibular dos olhos permite determinar quais objetos da cena visual estão fixos no espaço e quais estão em movimento. Além disso, informa ao SNC a

posição do corpo em relação ao ambiente por meio de suas conexões com o sistema vestibular (KANDEL, SCHWARTZ & JESSEL, 2003, SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2006). Desta forma, durante a realização de uma tarefa de precisão espacial o fluxo visual permite melhor ajuste postural devido ao envio de dicas do meio externo (BRONSTEIN & BUCKWELL, 1997). No caso das tarefas manuais, como foi explicitado no capítulo sobre controle postural, existe uma exigência intrínseca do ajuste postural para a manutenção da tarefa manual, o que explicaria a melhora da manutenção postural. Porém, existem alguns estudos que reportam melhora do controle postural devido à complexidade atencional da tarefa supra-postural em detrimento à visão às exigências intrínsecas do movimento manual.

2.5 Integração entre tarefas postural e supra-postural

Têm sido apresentadas evidências de integração entre a ação dos membros superiores e inferiores durante uma perturbação mecânica da postura. SCHIEPATTI, NARDONE, SILIOTTO e GRASSO (1995) verificaram que o recrutamento muscular dos membros superiores levou a uma redução na ativação muscular dos membros inferiores em resposta à perturbação do equilíbrio por uma plataforma de translação. McILROY e MAKI (1995) demonstraram que a resposta muscular dos membros superiores e inferiores aumentam em amplitude de acordo com o aumento da perturbação. A ação aparentemente coordenada entre membros superiores e inferiores sugere uma organização central comum entre diferentes segmentos corporais.

MORIOKA, HIYAMIZU e YAGI (2005) compararam o comportamento postural de indivíduo em posição estática sobre uma plataforma de força. As condições experimentais incluíam segurar com ambas as mãos um copo sem água (situação sem restrição), segurar copos com água (situação com restrição) e uma condição controle sem segurar copos. Eles verificaram que quando o sujeito encontrava-se na condição de tarefa dual com restrição a oscilação corporal diminuía. Tal resultado foi atribuído à influência consciente da tarefa manual com restrição, regulada por mecanismos corticais, na regulação inconsciente do controle postural. A influência do

controle cortical favoreceu uma sinergia entre as duas tarefas para atingir o objetivo principal.

BERRIGAM, SIMONEAU, MARTIN e TEASDALE (2006), por sua vez, verificaram a interação entre o controle postural e o movimento manual focal utilizando o paradigma de Fitts e quatro índices de dificuldade. Verificou-se na postura bípede que quanto menor o alvo maior o deslocamento do CP sem aumento de sua velocidade, indicando que os sujeitos regularam o CP para permitir um controle preciso da função manual. Além disso, o aumento do índice de dificuldade teve uma forte correlação entre a velocidade da mão, deslocamento e velocidade do CP. Esta com restrição organização entre postura e movimento foi possível neste trabalho graças à análise de interações específicas entre velocidade-precisão e manutenção postural. POZZO, STAPLEY e PAPAXANTHIS (2002) observaram que quando o indivíduo mira o alvo com a ponteira em velocidades e distâncias diferentes o centro de massa sempre se desloca em direção ao alvo, enquanto os membros superiores apresentam comportamentos diferenciados dependendo da distância e da velocidade do alvo. Estes comportamentos específicos de adaptação a velocidades e distâncias diferentes são possíveis graças à estabilidade postural. Seus resultados demonstraram que durante a tarefa manual a postura não foi significativamente afetada com a perturbação, talvez pela busca de movimentos coordenados de todo o corpo para manter a função manual. HWANG, HUANG, CHERNG e HUANG (2006) observaram que o SNC controla separadamente os movimentos manuais dos movimentos do tronco. Foram identificados dois subsistemas de controle, sendo um comportamento de aproximação das articulações nos membros superiores e outro de diminuição do deslocamento do CP para manter o equilíbrio. O mais importante neste trabalho é que na diminuição da base de suporte durante tarefa manual de mira com laser em um alvo, estes dois subsistemas controlados pelo SNC agem para manter a função manual sem muitas alterações nos tremores das mãos. Tal dado sugere que há uma prioridade do controle postural em manter a função manual em situações em que a base de suporte é estreita. ELGER, WING e GILLES (1999) verificaram o envolvimento manual (força e atividade muscular) durante perturbação do equilíbrio ao aplicar força previsível e imprevisível na pelve. Os sujeitos seguravam um sensor de força ao mesmo tempo em que sofriam perturbação na pelve. Análise da força

manual e eletromiografia dos membros inferiores e superiores durante a condição imprevisível demonstraram uma estreita coordenação entre os membros superiores e inferiores em termos de latência média e amplitude, supondo um controle comum dos membros superiores e inferiores pelo SNC. Porém, se fosse solicitado ao indivíduo resistir à perturbação, a musculatura da mão foi ativada antecipadamente aos membros inferiores, cujo comportamento foi um aumento da força aplicada no sensor. Isto se refletia em preservação do equilíbrio e diminuição do deslocamento do CP. Este comportamento ilustra um controle em paralelo do SNC, mas ao mesmo tempo coordenado para priorizar a função manual de resistir à perturbação. Em contraste, se os sujeitos foram instruídos a não utilizar as mãos para resistir à perturbação, nenhuma contribuição foi verificada nos membros superiores. Estes dados demonstram modos particulares de controle entre os membros inferiores e superiores durante perturbação do equilíbrio dependendo da condição oferecida, neste caso, a previsibilidade.

Segundo STOFFREGEN, PAGULAYAN, BARDY e HETTINGER (2000), a integração entre tarefas ocorre porque a postura sempre se ajusta de acordo com a tarefa para facilitar a sua execução. A tarefa supra-postural impõe restrições ao controle postural para que este se ajuste conforme a demanda da primeira. Eles compararam o efeito da distância de fixação visual e duas tarefas distintas. As tarefas consistiam em procurar e contar letras específicas em um quadro e outra com menor restrição de fixar visualmente um quadro branco. Estas tarefas poderiam ser apresentadas a uma distância considerada perto ou distante. Os resultados mostraram uma interação entre os fatores distância e tipo de tarefa. A tarefa de procura visual de perto foi a que causou menor oscilação postural. Concluiu-se que o sistema diminui a oscilação postural para auxiliar a precisão da tarefa. Um estudo semelhante buscou verificar este efeito da precisão da tarefa na manutenção postural em idosos. PRADO, STOFFREGEN e DUARTE (2007) manipularam a demanda atencional da tarefa supra-postural. Jovens saudáveis realizaram quatro tarefas visuais de complexidade variável (olhos abertos, fechados, procura e fixação visuais). Eles apresentaram redução significativa de oscilação postural na condição de procura visual de perto em comparação com a de fixação de um ponto longe. Foi verificado, portanto, que com o aumento da complexidade da tarefa a oscilação postural

diminuiu. A menor oscilação postural poderia ser atribuída somente ao fluxo óptico durante fixação visual que interferiria na redução da oscilação postural e não à exigência de atenção da tarefa. Porém, um estudo envolvendo precisão de respostas a estímulos auditivos mostrou resultados semelhantes à pesquisa anterior. DEVITERNE, GAUCHARD, JAMET, VANCON e PERRIN (2005) utilizaram tarefas auditivas incluindo mensagens com significado (com restrição) e sem significado (sem restrição). Os sujeitos deveriam prestar atenção às mensagens com significado, pois eles seriam argüidos pelo experimentador sobre partes da história contada. As mensagens sem significado consistiam em sons contínuos na nota musical Lá. Foi constatado diminuição da oscilação postural somente nas condições de tarefa de mensagens com significado.

Uma explicação alternativa dada para a melhora da manutenção postural com adição de tarefa é oferecida pelo grupo da pesquisadora WULF (WULF, TOLLNER & SHEA, 2007). Eles atribuem a melhora na manutenção postural em tarefas duais ao desvio do foco atencional para a tarefa (foco externo de atenção) o que tornaria a manutenção postural mais automatizada e, desta forma, mais eficiente. McNEVIN e WULF (2002) utilizaram uma tarefa supra-postural na qual o indivíduo deveria diminuir a oscilação de uma folha de papel com o dedo indicador na postura bípede. Eles manipularam o foco atencional pedindo para que os participantes diminuíssem a oscilação do papel (foco externo) ou do dedo (foco interno). Observou-se que o foco externo de atenção melhorou o controle postural por aumentar a frequência de respostas do CP. O foco interno, por sua vez, diminuiu a frequência de respostas do CP, traduzindo-se em queda do desempenho postural. Os resultados levam à conclusão de que a manutenção postural depende não somente da adição de uma tarefa supra-postural, mas também do direcionamento do foco de atenção durante sua execução.

2.6 Modelos teóricos sobre atenção e controle postural

A partir do exposto até o momento sobre a interferência da tarefa supra-postural na manutenção do equilíbrio postural três modelos foram elaborados para explicar esta interação. O modelo de competição cruzada indica que há concorrência

na utilização de recursos atencionais levando à queda de desempenho em uma das tarefas (postural ou supra-postural) comparada com a realização isolada de uma das tarefas. Desta forma, o aumento da complexidade de uma das tarefas poderia diminuir a disponibilidade de recursos atencionais e prejudicar o desempenho em uma das tarefas. Os estudos de LAJOIE (1993), RANKIN et al. (2000) e NORRIE et al. (2002) comentados no capítulo “Demanda atencional e controle postural” exemplificam este modelo. Apesar de explicar a interferência atencional, este modelo falha no entendimento de trabalhos que não encontraram interferência entre tarefas ou que observaram melhora no controle postural com a adição de uma tarefa (LACOUR, BERNARD-DEMANZEB & DUMITRESCUA, 2008).

Na concepção do modelo em U o equilíbrio postural pode ser melhorado ou prejudicado dependendo da demanda atencional da tarefa supra-postural (HUXHOLD, 2006). De acordo com este modelo, os estudos de DEVITERNE et al. (2005), STOFFREGEN et al. (2000) e PRADO, STOFFREGEN e DUARTE (2007) discutidos no capítulo anterior concordam que a tarefa supra-postural melhora o controle postural. RILEY, BALASUBRAMANIAM e TURVEY (1999), por exemplo, pediram aos participantes que tentassem diminuir a oscilação de uma cortina com o dedo indicador enquanto mantinham a postura bípede com os olhos fechados. Foi verificada diminuição da oscilação postural com a adição da tarefa supra-postural em comparação com a condição sem toque na cortina ou com toque na cortina sem o objetivo de diminuir sua oscilação. A cortina foi escolhida por não ser uma superfície estável, impedindo que o sistema sensório-motor buscasse referência de estabilidade. Neste último estudo houve a adição de uma tarefa supra-postural motora que, assim como os resultados obtidos em tarefas de procura visual e auditiva, diminuiu a oscilação postural. Desta forma, não somente o fluxo óptico, mas a modulação da tarefa supra-postural, levou à diminuição da oscilação postural.

De acordo com o modelo em U, a melhora na manutenção postural pode ser atribuída ao desvio do foco atencional para a tarefa com baixa demanda atencional. Tal desvio permite uma automatização maior da postura o que favorece melhor ajuste. HUXHOLD, SCHMIEDEK e LINDENBERGER (2006) verificaram que além do foco atencional, a demanda de precisão da tarefa supra-postural interfere na integração entre tarefas posturais e supra-posturais. Desta forma, o desvio do foco

atencional para a tarefa supra-postural parece ser benéfico para a manutenção postural, tornando-a mais automatizada, somente quando a tarefa supra-postural é sem restrição. À medida que a demanda de precisão da tarefa supra-postural aumenta, ocorre uma competição entre os recursos atencionais requisitados, o que resulta em queda de desempenho em uma das tarefas. Neste estudo, os indivíduos foram submetidos a três tarefas supra-posturais com níveis de dificuldade crescente (tempo de reação de escolha, memória operacional e memória operacional espacial) enquanto permaneciam sobre uma plataforma de força. Os resultados foram analisados a partir do deslocamento do CP e das respostas corretas das tarefas cognitivas. Houve redução da oscilação corporal com a adição de tarefa supra-postural sem restrição e piora quando houve aumento da demanda de precisão da tarefa.

O modelo de priorização propõe que o SNC busca estratégias motoras diferenciadas dependendo da condição intrínseca do indivíduo, priorizando ações mais seguras de acordo com o contexto. Desta forma, este modelo não atribui a queda de desempenho postural ou ao declínio da capacidade da atenção com o envelhecimento e sim a mecanismos plásticos cerebrais adaptativos (LACOUR, 2006). Exemplos desta adaptação plástica são os tipos de estratégias sensório-motoras diferentes de acordo com o posicionamento inicial dos pés antes da perturbação postural. Há uma priorização de certa estratégia de acordo com o contexto (NASHNER & MCCOLLUM, 1985, citado por SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2006). Outro exemplo de priorização é a diminuição da velocidade ou interrupção da marcha quando idosos são solicitados a falar (LUNDIN-OLSSON, NYBERG & GUSTAFSON, 1997). Os resultados de BROWN et al. (2002), realizando tarefa visuo-espacial em quatro situações crescentes de desafio postural, estão de acordo com o modelo de priorização. Como visto, os três modelos apresentados explicam a interferência de recursos atencionais na manutenção postural. Porém, são insuficientes para o entendimento do comportamento postural durante a realização de tarefas supra-posturais motoras, como de precisão espacial. A inclusão de uma tarefa motora manual de precisão está mais próxima das situações vivenciadas diariamente pelo indivíduo (levar um copo à boca e colocar a chave na fechadura, por exemplo). Os recursos atencionais utilizados precisam tanto manter a

estabilidade postural quanto a orientação e movimento da tarefa supra-postural. Desta forma, a alocação de recursos atencionais precisa coordenar as respostas das duas tarefas e não somente ajustar a postura como ocorre na utilização de tarefas supra-posturais não motoras (fazer cálculos matemáticos e identificar sons, por exemplo).

2.7 Integração entre tarefa postural e supra-postural de precisão durante perturbação postural

Até o momento foi elucidado que a realização de tarefa supra-postural durante manutenção da tarefa postural pode causar queda de desempenho na primeira (LAJOIE et al., 1993). Sobretudo, a tarefa supra-postural parece não interferir nos ajustes reativos durante perturbação da base de suporte (RANKIN et al., 1999). A interferência da divisão de recursos atencionais parece ocorrer somente após um tempo de início da perturbação. Desta forma, o SNC parece priorizar o controle postural em detrimento à tarefa supra-postural (MAKI & McILROY, 2007). Outros estudos, por sua vez, não referem alterações posturais e supra-posturais durante tarefa dual, indicando que a divisão de recursos atencionais é adequada. A diferença entre estes resultados ocorre, principalmente, devido à diversidade de tarefas empregadas com níveis de dificuldade diferenciados (FRAIZER & MITRA, 2008). Porém, os resultados mais interessantes são os que apontam melhora do controle postural com a adição de tarefa atencional adicional. Esta linha de raciocínio leva a questões sobre como ocorre a alocação atencional durante integração entre tarefas duais e jovens. A contribuição do fluxo visual e da exigência de estabilidade postural com tarefa manual parecem não serem os únicos responsáveis por esta integração (DEVITERNE et al., 2005). Em contrapartida, se adição de uma tarefa supra-postural tem a possibilidade de melhorar o controle postural, a imprevisibilidade da perturbação tem o efeito contrário (ARUIN, SHIRATORI & LATASH, 2001). Desta forma, a combinação destes dois fatores pode dar contribuições importantes ao entendimento da alocação atencional.

3 OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos deste estudo foram avaliar os componentes reativos de ajustes posturais em resposta a deslocamentos da base de suporte em função de (a) realização concomitante de tarefa supra-postural e (b) incerteza sobre a direção do deslocamento da base de suporte.

4 JUSTIFICATIVAS

Ainda não está claro na literatura o comportamento reativo postural durante a execução simultânea de tarefas supra-postural motora dependendo da previsibilidade da perturbação da base de suporte. Enquanto alguns estudos indicam que a tarefa supra-postural interfere no controle postural por haver competição de recursos atencionais (BROWN, SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 1999; LAJOIE et al., 1993), outros indicam que sua adição favorece a integração entre as duas tarefas (BROWN et al., 2002; PRADO, STOFFREGEN & DUARTE, 2007), sendo comandadas ao mesmo tempo pelo SNC. Neste último caso, não haveria competição de recursos atencionais e as duas tarefas seriam realizadas sem queda de desempenho. Porém, evidências científicas apontam que a imprevisibilidade da perturbação postural utiliza recursos atencionais, podendo prejudicar ajustes posturais durante execução de tarefa supra-postural (ADKIN et al. 2006; QUANT et al., 2004). Tanto a restrição da tarefa supra-postural manual nos ajustes reativos posturais quanto o efeito da previsibilidade ainda não foram investigados juntamente até o momento. Há, portanto, necessidade de investigar mais profundamente este tema, identificando o efeito da adição da tarefa supra-postural motora no controle postural. Neste sentido, a realização de tarefa supra-postural em condições de desafio postural facilitará o entendimento das estratégias motoras e de processamento cortical para lidar com a demanda do meio.

5 HIPÓTESES

Neste trabalho foram testadas as seguintes hipóteses:

1. A realização de tarefa supra-postural requisitando estabilidade manual favorece o controle postural. Esta hipótese será confirmada se, durante tarefa supra-postural com restrição houver: diminuição da latência de ativação muscular; maior sinergia muscular e articular, latência de ajuste, velocidade e deslocamento articular controlados entre as articulações (enquanto umas aumentam os valores destas variáveis outras diminuem), menor deslocamento nos eixos horizontal ou vertical da bandeja ou maior horizontalidade da bandeja.
2. Incerteza sobre a direção de perturbação postural prejudica a integração entre tarefas postural e supra-postural. Esta hipótese será confirmada se, durante perturbação imprevisível houver: aumento da latência de ativação muscular; menor sinergia muscular e articular, latência de ajuste, velocidade e deslocamento articular desequilibrados entre as articulações (aumento ou diminuição dos valores destas variáveis na maioria das articulações), maior deslocamento nos eixos horizontal ou vertical da bandeja ou menor horizontalidade da bandeja e menor coeficiente de ajuste.

6 MÉTODO

6.1 Participantes

A amostra foi composta de 16 adultos de ambos os sexos (3 do sexo feminino), com média de idade de 26,3 anos ($DP=2,6$), altura média de 1,75m ($DP=0,09$) e peso médio de 76,8Kg ($DP=16$). Os participantes declararam não possuir qualquer problema de saúde que comprometesse o equilíbrio (tais como problemas neurológicos, visuais, vestibulares, distúrbios ósteo-musculares em membros inferiores) ou que estivessem utilizando medicamentos que interferissem na atenção ou no equilíbrio. Os sujeitos foram recrutados no Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Rio Claro – SP. Todos os participantes

assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido para participar da pesquisa.

6.2 Tarefa e equipamentos

A tarefa experimental consistia em manter a postura ereta bípede de forma estável sobre uma plataforma de translação (movimento ântero-posterior da base de suporte) simultaneamente com a sustentação manual de uma bandeja (28 cm de comprimento por 38 cm de largura) – tarefa sem restrição (S). Nas condições com tarefa supra-postural com restrição, sobre a bandeja havia um cilindro (10 cm de diâmetro e 6 cm de altura) com um peso de 30g em sua parte inferior (meia esfera de uma bola de gude) – tarefa com restrição (R). O objetivo deste peso era fazer com que o cilindro oscilasse em torno de sua posição de equilíbrio quando afastado da posição inicial (FIGURA 1). Desta forma, o participante devia tentar manter o cilindro em sua posição inicial no caso de perturbação postural. Em algumas condições, o participante sofria perturbações posturais da base de suporte, provocadas pela plataforma, no sentido anterior ou posterior, previsível ou imprevisivelmente. A plataforma de translação era controlada por meio de um sistema de servomecanismo formado por um controlador (Compumotor – Modelo APEX 6151) e um servo-motor (Compumotor - APEX 620-MC-NC), controlados por um programa de computador (Motion Architect). A velocidade média da plataforma foi de 4 cm/s, deslocamento de 3,6 cm com pico de velocidade de 16,5 cm/s.

Para aquisição dos dados cinemáticos durante a execução da tarefa, marcadores ativos, que emitem sinais infravermelhos, foram afixados nos seguintes pontos anatômicos: metatarso, maléolo, região lateral da fossa intercondiliana, crista ilíaca, acrômio e epicôndilo lateral. Eram afixados também três marcadores na base direita da bandeja, proximal, medial e distal em relação ao participante, e um marcador sobre o cilindro. Esses dados foram adquiridos por meio de um sistema optoeletrônico (Optotrak 3020, NDI), com frequência de amostragem de 100 Hz. A câmera foi posicionada do lado direito do participante, a uma distância de aproximadamente 2 m.

Foram coletados os sinais eletromiográficos dos seguintes músculos: tibial anterior (TA), gastrocnêmio medial (GM), reto femoral (RF) e bíceps femoral (BF) do membro inferior direito. Para aquisição, eletrodos de superfície foram afixados no ventre muscular (segundo recomendações da sociedade “Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles”). Esses dados foram adquiridos por um sistema de coleta e análise de dados eletromiográficos (EMGworks, DELSYS), com frequência de aquisição de dados de 1000 Hz e amplificação de 2.500 vezes. Por fim, os dados cinemáticos e os eletromiográficos eram sincronizados por meio de um sistema de sincronização (Oda II, Optotrak Data Acquisition Unit).

FIGURA 1 - Representação esquemática do arranjo experimental mostrando a posição inicial do participante em tarefa sem restrição (S) e com restrição (R), painéis A e B, respectivamente. Do lado direito do painel B observa-se o local onde o experimentador controlava o movimento da plataforma, a coleta cinemática e eletromiográfica. À frente do participante, era posicionado um alvo circular para fixação visual durante as condições experimentais (B). Em destaque acima (C), a bandeja com o cilindro e marcadores proximal (1), medial (2) medial e distal (3).

6.3 Delineamento experimental e procedimentos

Em cada experimento o participante ficava inicialmente deitado em uma maca para fixação dos eletrodos de eletromiografia. No término da colocação dos eletrodos, o participante era posicionado sobre a plataforma de força. A posição inicial dos pés sobre a plataforma era marcada com um giz para que fosse mantida durante todo o experimento. A seguir, eram colocados os marcadores cinemáticos nas regiões descritas na seção anterior. Estando sobre a plataforma com os marcadores e eletrodos, os participantes eram instruídos a fazer fixação visual em um alvo circular de 2 cm de diâmetro posicionado à altura dos seus olhos e à distância aproximada de 1,5 m. A fixação visual deveria ser mantida em todas as condições experimentais a fim de excluir o efeito do fluxo visual na manutenção do equilíbrio postural. Os participantes eram instruídos a tentar impedir o deslocamento da bandeja na tarefa sem restrição e do cilindro na tarefa com restrição durante a perturbação postural. Adicionalmente, eles eram instruídos a manter a postura o mais estável possível.

Após serem instruídos sobre a tarefa, tinha início a fase de familiarização de cada uma das condições experimentais, com o intuito de facilitar o entendimento da tarefa. Os participantes realizavam uma vez cada condição antes do início do experimento. Após a familiarização, cada participante realizava oito repetições de cada condição experimental aleatoriamente para cada direção de deslocamento da plataforma (anterior ou posterior): (1) perturbação previsível com tarefa supra-postural sem restrição (PS), (2) perturbação previsível com tarefa supra-postural com restrição (PR), (3) perturbação imprevisível com tarefa supra-postural sem restrição (IS) e (4) perturbação imprevisível com tarefa supra-postural com restrição (IR). As condições eram divididas em dois blocos de acordo com a previsibilidade. Foram adicionadas 16 tentativas nas quais a plataforma de translação não se movimentava (pegada) tanto nas condições previsíveis quanto nas imprevisíveis. As tentativas sem perturbação foram incluídas para evitar antecipação de respostas nas condições imprevisíveis. Cada participante realizava, portanto, 80 tentativas ao total. A sequência de condições era alterada entre os participantes. Metade dos sujeitos iniciava com o bloco previsível e metade com o imprevisível. As primeiras três

repetições de cada condição experimental foram consideradas tentativas de estabilização do padrão motor, sendo excluídas da análise.

O experimentador posicionava-se de forma que não fosse visto pelo participante e controlava a coleta de EMG, cinemática e perturbação da plataforma. Havia um ajudante ao lado do participante garantindo maior segurança durante as tentativas e o orientando. Nas condições de previsibilidade o ajudante orientava o participante sobre a condição a que era submetido. Assim que o participante relatava que estava preparado, a tentativa era iniciada. O participante era orientado também a tentar não fazer ajustes antecipatórios com os membros superiores e inferiores e sim tentar responder à perturbação da plataforma. Nas condições imprevisíveis o sujeito era instruído da mesma forma que nas previsíveis, a única diferença era a ausência de informação sobre a direção da perturbação.

A cada cinco tentativas era oferecido um período de 30 s de descanso, durante o qual a bandeja era apoiada em um suporte. Na mudança de um bloco de previsibilidade para outro era oferecido um intervalo de 15 min. de descanso, no qual o participante poderia se sentar em um banco posicionado atrás dele. Não era permitido que o participante saísse do local de coleta, em função da grande quantidade de cabos de conexão aos equipamentos de eletromiografia e cinemática.

Caso a participante tirasse os pés do local inicial a tentativa era cancelada e imediatamente repetida nas condições previsíveis e transferidas para o final nas condições imprevisíveis. As tentativas válidas eram aquelas nas quais o indivíduo conseguia equilibrar o cilindro. Caso o cilindro caísse, a tentativa era realizada novamente, seguindo o mesmo esquema descrito anteriormente no caso de retirada dos pés do local marcado.

6.4 Variáveis dependentes da tarefa supra-postural

Coeficiente de Ajuste (tarefa com restrição)

O Coeficiente de Ajuste (CA) é uma variável que indica uma relação entre a amplitude de deslocamento do cilindro em uma tentativa e o valor fixado de amplitude angular do cilindro em uma condição considerada sem ajuste. A condição

considerada sem ajuste foi simulada. Inicialmente, uma estrutura de madeira fixa de 1,40 m de altura foi posicionada sobre a plataforma de translação (altura aproximada dos braços estendidos do participante em relação ao solo). Acima da plataforma, foi simulada a tarefa com restrição, posicionando a bandeja com o cilindro e marcadores na região central do topo da estrutura. Foram realizadas três perturbações anteriores e três posteriores. Entre cada perturbação, a posição do cilindro foi ajustada para que permanecesse equilibrada. Na perturbação anterior foi calculado o ângulo de inclinação a partir dos valores dos eixos x e y dos marcadores do cilindro e da bandeja: medial e proximal. No deslocamento posterior, além dos valores dos eixos do marcador do cilindro, os valores dos marcadores medial e distal foram utilizados para análise. Foi considerada amplitude angular inicial a diferença entre o primeiro valor mais baixo e o primeiro pico após a perturbação postural (FIGURA 2). O valor de referência para o cálculo do CA nos deslocamentos anterior e posterior foi o resultado da média das seis tentativas para cada direção. Este valor foi denominado Valor sem Ajuste (VSA), cujo valor foi de 18,16°. O CA foi calculado a partir da seguinte equação:

$$CA = (VSA - VCA / VSA) * 100$$

em que VCA é o Valor com Ajuste obtido nas tentativas com tarefa supra-postural com restrição.

FIGURA 2 – Representação do deslocamento angular do cilindro após perturbação da base de suporte. A linha vertical indica o início da perturbação (0). As setas horizontais indicam o início (seta inferior) e o final (seta superior) do primeiro pico após a perturbação. Os valores negativos na abcissa indicam o tempo anterior ao início da perturbação.

Horizontalidade da bandeja

Esta variável foi escolhida por representar o deslocamento da bandeja no eixo sagital. A tarefa supra-postural tem como requisito a manutenção da bandeja o mais horizontal possível, com ou sem restrição na tarefa. Enquanto o CA só oferece medida do desempenho da tarefa com restrição, a horizontalidade permite a análise do desempenho na condição de tarefa sem restrição também. Desta forma, quanto maior o desvio da bandeja da linha horizontal no eixo sagital, menor o desempenho na tarefa supra-postural. Este cálculo foi feito considerando o deslocamento dos eixos x e y dos marcadores proximal e distal da bandeja em uma janela temporal de 250 ms após a perturbação postural. A seqüência do cálculo matemático aplicado foi:

- 1) Obtenção do vetor 1, formado pela posição inicial dos marcadores proximal e distal da bandeja.

- 2) Obtenção do vetor 2, formado pela posição final dos marcadores proximal e distal da bandeja.
- 3) Cálculo do ângulo entre os vetores por meio do arcoseno.

Deslocamento linear da bandeja nos eixos x e y

Buscou-se com esta variável identificar diferenças no desempenho da tarefa supra-postural dependendo da direção (horizontal ou vertical) do movimento da bandeja. Realizou-se a média de deslocamento absoluto em cada eixo em um intervalo de tempo de 250 ms.

6.5 Variáveis dependentes da tarefa postural

Cinemática

Deslocamento angular médio das articulações

Para esta variável obteve-se a média do deslocamento angular dos primeiros 250 ms após a perturbação postural. Esta variável oferece informação sobre o controle dos movimentos articulares logo após a perturbação. Deslocamento angular reduzido é considerado um dos indicadores de bom desempenho da tarefa postural. Pequeno deslocamento angular em uma ou mais articulações indica um controle para manter o ajuste postural e conseqüentemente a tarefa supra-postural.

Latência de ajuste

Foi subtraído o momento no qual ocorreu o primeiro pico de deslocamento angular da articulação do momento de início da perturbação (FIGURA 3). O primeiro pico indica o momento da correção, pois há reversão do movimento inercial provocado pela translação da plataforma.

Velocidade para atingir o primeiro ajuste

O cálculo desta variável foi realizado por meio da divisão entre o valor da amplitude do primeiro pico (correspondendo à diferença entre o início do primeiro pico e o primeiro pico após a perturbação) e o tempo para atingi-lo (FIGURA 3). Desta forma, pode-se verificar a estratégia em conjunto das articulações (aumento ou diminuição da velocidade) durante certa condição experimental.

FIGURA 3 – Exemplo de variação angular na articulação do quadril, com representação dos pontos empregados (setas horizontais) para calcular a amplitude e o tempo de reversão reativo à perturbação pelo deslocamento da base de suporte. A linha vertical indica o início da perturbação postural (0).

Sinergia articular

Foram realizadas a correlação cruzada e a defasagem (momento de maior correlação) entre as articulações para analisar prováveis sinergias articulares. O cálculo da correlação cruzada foi realizado para cada tentativa de todos os sujeitos. A maior e a menor correlação foram separadas em arquivos diferentes por meio de rotina do Matlab, por causa das correlações negativas. Foi empregada a mediana de cada 5 tentativas por sujeito para posterior análise.

Eletromiografia

Para a análise de acordo com a direção considerou-se separadamente a musculatura agonista envolvida com cada direção da perturbação. Desta forma, para a perturbação anterior analisou-se os músculos tibial anterior (TA) e reto femoral (RF) e para a posterior o gastrocnêmio medial (GM) e o bíceps femoral (BF).

Latência de ativação muscular

Trata-se do tempo entre o momento da perturbação postural e o primeiro valor 3 desvios-padrão acima da média da magnitude basal, com valores subseqüentes crescentes. Esta variável indica o tempo que o SNC leva para iniciar os ajustes musculares. Pela latência é possível observar se houve participação de mecanismos atencionais na resposta muscular ou se a resposta foi automática.

Magnitude de ativação muscular (MAM)

A magnitude de ativação muscular foi calculada por meio da raiz quadrada da média dos valores. Ela indica o quanto o SNC ativou a musculatura para reagir à perturbação. A magnitude foi calculada em dois momentos: 200 ms após a perturbação (t_1) e entre 200 e 350 ms após a perturbação (t_2). Estes momentos foram separados de acordo com a fase reativa (80-200 ms) e voluntária (acima de 200 ms) (NASHNER, 1976; RANKIN et al., 2000) para verificar se a alocação atencional

interfere na magnitude de contração muscular. No caso de interferência da alocação atencional buscou-se saber em qual momento ela ocorreu (FIGURA 4).

FIGURA 4 - Demonstração dos dois momentos (t_1 e t_2) escolhidos para o cálculo da magnitude muscular. O t_1 inicia com a perturbação (primeira linha vertical) e termina após 200 ms (segunda linha vertical). O t_2 inicia em 200ms após a perturbação e termina após 350 ms do início da mesma (terceira linha vertical grossa). A linha vertical fina indica o início da ativação muscular.

Assincronia de ativação entre agonistas (Δt)

Calculou-se a assincronia de ativação entre os agonistas por meio da diferença entre a latência do RF e TA para perturbação anterior (Δt_{re-ti}) e entre o BF e GM (Δt_{bi-ga}) para posterior. A interpretação desta variável é de que valores reduzidos de Δ indicam maior controle entre os músculos participantes de uma sinergia.

Sinergia muscular

O índice e a defasagem da correlação cruzada entre os valores de eletromiografia do TA, RF, GM e BF foram utilizados para verificar a sinergia

muscular. Todo o procedimento para extração dos valores foi idêntico àquele especificado para análise da sinergia articular.

6.6 Análise de dados

Os dados das séries temporais das coordenadas cinemáticas foram filtrados com filtro recursivo passa-baixa Butterworth de quarta ordem, 10 Hz. Os dados eletromiográficos foram retificados, retirado o *offset* (retirada de média de todos os valores) e filtrados com passa banda 20 e 400 Hz.

As variáveis dependentes foram extraídas empregando-se o programa MATLAB 7.0.1. Foram usadas as médias das repetições para cada sujeito em cada condição para tratamento estatístico, com exceção dos valores do índice e da defasagem da correlação cruzada dos quais foram extraídas as medianas. Verificaram-se as exigências para análise paramétrica (normalidade) por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. As análises foram separadas para cada direção de perturbação da plataforma (anterior e posterior). Para análise do coeficiente de ajuste foi aplicado o teste *t*, comparando a previsibilidade nas condições com tarefa com restrição. O teste *t* também foi utilizado para verificar se havia diferença entre os sexos para as variáveis analisadas. Para as demais variáveis aplicou-se análises de variância (ANOVA) de dois fatores, 2 (previsibilidade) x 2 (tarefa – com e sem restrição), com medidas repetidas nos dois fatores, utilizando o programa Statistica v.5.5. As comparações posteriores foram realizadas por meio da prova de Newman-Keuls. O nível mínimo de significância foi estabelecido em 5%.

7 RESULTADOS

A análise do teste de normalidade para todas as variáveis apontou $p > 0,05$, indicando que eles satisfazem a hipótese nula (aderência à curva normal).

7.1 Descarte de dados

Cerca de 20% de todos os dados foram excluídos por apresentarem problemas que impossibilitaram a análise como: ruídos e inexistência do sinal por problemas na coleta. Destes, a maioria foram os sinais de eletromiografia, principalmente os sinais do BF.

7.2 Comparação entre gêneros

As comparações entre os gêneros masculino e feminino por meio de testes t para medidas independentes não apontaram diferença significativa em nenhuma das variáveis analisadas.

7.3 Translação anterior da plataforma

A figura 5 representa o comportamento global das articulações e da ativação muscular nas condições previsível com tarefa com restrição (PR) em situação de perturbação anterior.

Variáveis cinemáticas

Coeficiente de ajuste

A análise do coeficiente de ajuste indicou valores significativamente menores na condição previsível ($M=99,78\%$, $DP=0,86$) em comparação à condição imprevisível ($M=99,22\%$, $DP=0,44$), $t=22,84$, $p<0,001$.

Horizontalidade da bandeja

A análise da horizontalidade da bandeja não indicou efeitos significantes para os fatores principais previsibilidade, $F(1,15)=0,6$, tarefa, $F(1,15)=5,77$, ou interação $F(1,15)=1,14$. A média geral foi de $3,25^\circ$ ($DP=1,4$).

Deslocamento horizontal e vertical da bandeja

Os resultados da análise de deslocamento horizontal da bandeja apontaram efeitos significantes dos fatores principais previsibilidade, $F(1,15)=5,45$, $p<0,05$, e tarefa, $F(1,15)=6,71$, $p<0,05$. Não foi encontrada interação significativa entre os dois fatores principais, $F(1,15)=2,16$. O efeito significativo de previsibilidade foi devido ao maior deslocamento na condição imprevisível ($M=1,75$ cm, $DP=0,17$) do que na condição previsível ($M=1,35$ cm, $DP=0,42$). O efeito significativo de tarefa foi devido ao maior deslocamento da bandeja nas condições com tarefa sem restrição ($M=1,65$ cm, $DP=0,16$) em comparação às condições com tarefa com restrição ($M=1,45$ cm, $DP=0,14$) (FIGURA 6).

O deslocamento da bandeja no eixo y (deslocamento vertical) não apontou diferença significativa para os fatores principais previsibilidade, $F(1,15)=3,64$, tarefa, $F(1,15)=3,79$, ou interação, $F(1,15)=0,56$.

FIGURA 5 - Representação do desempenho em uma tentativa de translação anterior da plataforma na situação previsível com tarefa com restrição. Estão representados o deslocamento anterior da plataforma de translação, respectivas ativações dos músculos, variação angular nas articulações e deslocamento angular do cilindro. As setas verticais indicam o sentido (flexão-extensão) da ação articular. A linha vertical indica o início da perturbação postural.

FIGURA 6 - Médias e erros-padrão (traços verticais) do deslocamento horizontal da bandeja em função da previsibilidade e da tarefa (sem restrição: S e com restrição: R). Asteriscos indicam diferença significativa.

Deslocamento angular médio das articulações

A figura 7 apresenta os valores médios de amplitude angular das articulações analisadas nas quatro condições experimentais. Com relação à articulação do tornozelo a análise estatística demonstrou efeito do fator principal tarefa $F(1,15)=9,78$, $p<0,01$, em razão do maior deslocamento nas condições com tarefa com restrição. Não houve efeito de previsibilidade, $F(1,15)$, ou interação, $F(1,15)=0,13$. A análise da articulação do joelho revelou efeito significativo para o fator principal tarefa, $F(1,15)=14,51$, $p<0,01$. Este efeito ocorreu em consequência da menor variação angular nas condições de tarefa com restrição. Não foi encontrado efeito para o fator principal previsibilidade, $F(1,15)=4,39$, ou interação, $F(1,15)=3,63$. A análise da articulação do quadril apontou efeito significativo para os fatores principais previsibilidade, $F(1,15)=7,17$, $p<0,05$, com maior deslocamento nas condições imprevisíveis, e tarefa, $F(1,15)=7,21$, $p<0,05$, com maior deslocamento nas condições de tarefa sem restrição. Não foi encontrada interação significativa entre os fatores principais, $F(1,15)=0,55$. Para a articulação do ombro, a análise indicou diferença significativa para o fator principal previsibilidade, $F(1,15)=83,86$, $p<0,01$, em

razão do maior deslocamento nas condições imprevisíveis. Não foram detectados efeitos significantes para o fator principal tarefa, $F(1,15)=2,87$, nem interação $F(1,15)=1,06$.

FIGURA 7 – Deslocamento angular médio (°) e erros-padrão em cada articulação avaliada nas condições dependentes da previsibilidade com tarefa sem restrição (S) e com restrição (R).

Sinergia articular

A análise de variância dos índices individuais de correlação entre as articulações apontou apenas efeito de tarefa para a correlação tornozelo-jelho, $F(1,12)=5,00$, $p<0,05$. Este efeito foi devido a valores mais altos de correlação para a tarefa com restrição em comparação à tarefa sem restrição. A figura 8 oferece uma visão geral de todas as combinações de correlação entre as articulações de acordo com as condições experimentais. As correlações mais altas ocorreram entre tornozelo-jelho, tornozelo-quadril e joelho-quadril.

FIGURA 8 – Índices individuais médios de correlação e erros-padrão entre as seguintes articulações: tornozelo Joelho (tj), tornozelo-quadril (tq), tornozelo-ombro (to), joelho-quadril (jq), joelho-ombro (jo), quadril-ombro (qo) em função das condições experimentais.

Latência de ajuste

A análise latência de ajuste não apontou diferença significativa para os fatores principais nem interação para qualquer articulação. As latências médias foram as seguintes: tornozelo = 140,30 ($DP = 4,40$), joelho = 129,64 ($DP = 1,51$), quadril = 235,40 ($DP = 3,02$) e ombro = 267,35 ($DP = 5,50$).

Velocidade para atingir o primeiro ajuste

A figura 9 apresenta uma visão geral do comportamento de todas as articulações dependendo dos fatores previsibilidade e tarefa. A análise da velocidade para realizar o primeiro ajuste no tornozelo não acusou efeito para qualquer fator: previsibilidade, $F(1,15)=3,07$, tarefa, $F(1,15)=2,04$, ou interação, $F(1,15)=2,09$. Para a articulação do joelho houve efeito significativo para o fator previsibilidade,

$F(1,15)=12,10$, $p<0,01$, e interação, $F(1,15)=5,20$, $p<0,05$. Não houve efeito para o fator tarefa, $F(1,15)=0,86$. Com relação ao fator previsibilidade, observou-se menor velocidade nas condições imprevisíveis de perturbação. Para a interação, as comparações posteriores indicaram maior velocidade com tarefa com restrição somente na condição previsível de perturbação. Na articulação do quadril foi detectado efeito do fator principal tarefa, com maior velocidade na condição de tarefa com restrição, $F(1,15)=5,14$, $p<0,05$. Para o fator principal previsibilidade, $F(1,15)=1,40$, e interação, $F(1,15)=0,63$, a análise não apontou efeitos significantes. A análise da articulação do ombro indicou efeito de tarefa, $F(1,15)=6,21$, $p<0,05$, correspondente à menor velocidade na tarefa com restrição.

FIGURA 9 - Velocidade angular média ($^{\circ}/s$) e erros-padrão (traços verticais) para atingir o primeiro ajuste em função da condição experimental nas articulações avaliadas.

Variáveis eletromiográficas

Latência de ativação muscular

Somente foram consideradas para análise latências acima de 40 ms. Pois, de acordo com NASHNER (1976), respostas musculares abaixo desta latência consistem de respostas monossinápticas, sem participação cortical.

A análise da latência do TA apontou efeito de tarefa, $F(1,15)=5,00$, $p<0,05$. Este efeito foi devido a uma menor latência na condição de tarefa com restrição em comparação à tarefa sem restrição. Foi observada também interação significativa, devida à maior latência de ativação na condição imprevisível com tarefa com restrição, $F(1,15)=5,54$, $p<0,05$, em comparação com as demais condições (FIGURAS 10 e 11). A análise do RF apontou efeito de interação, $F(1,15)=12,03$, $p<0,001$. Este efeito foi devido a uma menor latência na condição previsível com tarefa com restrição em comparação à condição imprevisível com tarefa com restrição (FIGURAS 10 e 11).

FIGURA 10 - Representação de uma tentativa da ativação do TA e RF na translação anterior da plataforma na situação previsível de perturbação. A coluna A representa a condição com tarefa sem restrição e a coluna B tarefa com restrição. As linhas verticais indicam o início da perturbação postural.

FIGURA 11 - Latência de ativação muscular média (ms) e erros-padrão do TA e RF em função das condições experimentais.

Magnitude de ativação muscular (MAM)

A análise da magnitude de ativação muscular em t_1 e t_2 indicou efeito significativo apenas em t_2 para o TA, $F(1,15)=5,60$, $p<0,05$. Este efeito foi devido à menor magnitude de ativação muscular na tarefa com restrição em comparação à tarefa sem restrição (FIGURA 12).

FIGURA 12 - Magnitude de ativação muscular média (mV) e erros-padrão do TA e do RF em t_1 e t_2 em função das condições experimentais.

Assincronia de ativação entre agonistas

A análise da assincronia entre RF e TA (Δ_{re-ta}) indicou efeito significativo para interação, $F(1,15)=9,24$, $p<0,001$. Os resultados apontaram que em condições previsíveis com tarefa com restrição houve uma diminuição do tempo de ativação entre os músculos agonistas (FIGURA 13). Não foram detectados efeitos significantes para os fatores principais previsibilidade, $F(1,15)=0,63$, e tarefa, $F(1,15)=1,02$.

FIGURA 13 - Médias e erros-padrão da Δ_{re-ta} de acordo com as condições experimentais.

Sinergia inter-muscular

O cálculo da correlação cruzada TA e RF apontou média de 0,61 ($DP=0,09$) com defasagem de 6,6 ms ($DP=4,38$). A análise do índice da correlação cruzada destes músculos não indicou diferença significativa entre os fatores principais previsibilidade, $F(1,12)=0,21$ e tarefa, $F(1,12)=1,00$, ou interação, $F(1,12)=0,47$.

A correlação cruzada entre GM e RF foi de 0,70 ($DP=0,10$) e defasagem de 4,15 ms ($DP=1,52$). A análise do índice da correlação entre estes músculos não indicou diferença significativa entre os fatores principais previsibilidade, $F(1,12)=0,73$ e tarefa, $F(1,12)=2,04$, ou interação, $F(1,12)=0,67$.

7.4 Translação posterior de perturbação postural

A figura 14 representa o comportamento global das articulações e da ativação muscular nas condições imprevisível com tarefa sem restrição (IS) em situação de perturbação anterior.

Variáveis cinemáticas

Coeficiente de ajuste

As comparações entre os coeficientes de ajuste indicaram diferença significativa para o fator previsibilidade $t=41,92$, $p<0,001$, devida a um menor coeficiente na condição imprevisível de perturbação ($M=99,16\%$, $DP=0,50$) em comparação à condição previsível ($M=99,80\%$, $DP=0,37$).

Horizontalidade da bandeja

A análise de horizontalidade da bandeja indicou efeito significativo para o fator previsibilidade, $F(1,15)=13,45$, $p<0,001$. Este efeito foi em virtude da menor horizontalidade da bandeja na condição de perturbação imprevisível ($M=3,23^\circ$, $DP=1,31$) em comparação com a condição previsível ($M=2,65^\circ$, $DP=1,04$). Para o fator principal tarefa $F(1,15)=0,70$, e interação $F(1,15)=0,33$, não foram detectados efeitos significantes.

Deslocamento horizontal e vertical da bandeja

Os resultados da análise do deslocamento horizontal da bandeja não apontaram efeito para os fatores previsibilidade $F(1,15)=0,72$, tarefa manual $F(1,15)=0,46$ ou interação $F(1,15)=1,29$. Da mesma forma, para o deslocamento vertical, os fatores previsibilidade $F(1,15)=0,03$, tarefa manual $F(1,15)=1,27$, e interação, $F(1,15)=0,66$, não apresentaram diferença significativa.

FIGURA 14 - Representação do desempenho em uma tentativa de translação posterior da plataforma na situação imprevisível com tarefa sem restrição. Estão representados o deslocamento anterior da plataforma de translação, respectivas ativações dos músculos, variação angular nas articulações e deslocamento angular do cilindro. As setas verticais indicam o sentido (flexão-extensão) da ação articular. A linha vertical indica o início da perturbação postural.

Deslocamento angular médio das articulações

A figura 15 representa os valores médios do deslocamento angular das articulações analisadas nas quatro condições experimentais. Com relação à articulação do tornozelo, a análise estatística demonstrou efeito do fator tarefa, $F(1,15)=8,13$, $p<0,05$, em razão de um maior deslocamento nas condições com tarefa com restrição. Não houve efeito de previsibilidade, $F(1,15)=1,06$, ou interação, $F(1,15)=0,33$. Foi detectado também efeito significativo na articulação do joelho para o fator principal tarefa, $F(1,15)=23,86$, $p<0,001$, e interação, $F(1,15)=22,69$, $p<0,001$. Estes resultados ocorreram em consequência do menor deslocamento nas condições de tarefa com restrição somente durante perturbação previsível. Não foi encontrado efeito para o fator previsibilidade, $F(1,15)=0,26$. A análise da articulação do quadril não apontou efeito significativo para os fatores previsibilidade, $F(1,15)=1,32$, tarefa, $F(1,15)=1,23$, ou interação, $F(1,15)=1,76$. Para a articulação do ombro, a análise indicou diferença significativa somente para o fator previsibilidade, $F(1,15)=47,53$, $p<0,001$, em razão do maior deslocamento nas condições de imprevisibilidade da perturbação. O fator tarefa, $F(1,15)=1,02$, e interação, $F(1,15)=1,06$, não acusaram diferenças significantes.

FIGURA 15 - Deslocamento angular médio (°) e erros-padrão em cada articulação avaliada nas condições dependentes da previsibilidade com tarefa sem restrição (S) e com restrição (R).

Sinergia articular

A análise de variância dos índices individuais de correlação entre as articulações apontou efeito dos fatores principais somente para as correlações entre tornozelo e joelho e tornozelo e quadril. Para a correlação entre tornozelo-joelho o teste apontou efeito significativo para o fator tarefa, $F(1,12)=11,03$, $p<0,001$, e para interação, $F(1,12)=4,81$, $p<0,05$. Estes resultados ocorreram em virtude de uma menor correlação em condições de tarefa com restrição somente durante perturbação imprevisível. A correlação entre tornozelo e quadril apresentou efeito somente para o fator tarefa, $F(1,12)=5,73$, $p<0,05$. A diferença ocorreu devido à menor correlação na tarefa com restrição. Não houve efeito para previsibilidade, $F(1,12)=0,32$, ou interação, $F(1,12)=0,22$. As outras combinações de correlação não sofreram influência dos fatores analisados. A figura 16 oferece uma visão geral de todas as combinações de correlação entre as articulações de acordo com as condições experimentais.

FIGURA 16 - Índices individuais médios de correlação cruzada e erros-padrão entre as seguintes articulações: tornozelo Joelho (tj), tornozelo-quadril (tq), tornozelo-ombro (to), joelho-quadril (jq), joelho- ombro (jo), quadril-ombro (qo) em função das condições experimentais.

Latência de ajuste

A análise latência de ajuste não apontou diferença significativa para os fatores principais nem interação para qualquer articulação. As latências médias foram as seguintes: tornozelo = 136,59 ($DP = 2,47$), joelho = 119,42 ($DP = 3,47$), quadril = 199,73 ($DP = 4,40$) e ombro = 301,07 ($DP = 2,23$).

Velocidade para atingir o primeiro ajuste

A figura 17 apresenta uma visão geral do comportamento da velocidade para realizar o primeiro ajuste em nas articulações avaliadas em função dos fatores previsibilidade e tarefa. A análise estatística para o tornozelo acusou efeito no fator principal tarefa, $F(1,15)=5,15$, $p<0,05$, devida a velocidades inferiores na condição de tarefa com restrição. O fator previsibilidade, $F(1,15)=0,52$, e interação, $F(1,15)=0,34$, não apresentaram efeito significativo. Para o joelho não houve efeito significativo para

os fatores principais previsibilidade, $F(1,15)=4,23$, e tarefa, $F(1,15)=1,64$, ou interação, $F(1,15)=0,17$.

A análise da articulação do quadril apontou efeito de previsibilidade, $F(1,15)=10,38$, $p<0,01$, em virtude de velocidades inferiores na condição imprevisível de perturbação. Para tarefa, $F(1,15)=2,05$, e interação, $F(1,15)=0,73$, a análise não apontou efeitos significantes. A articulação do ombro obteve efeito significativo para ambos os fatores principais. Com relação à previsibilidade, houve aumento da velocidade na condição imprevisível, $F(1,15)=7,28$, $p<0,05$. Para o fator tarefa, o efeito significativo ocorreu devido a velocidades maiores durante a realização da tarefa com restrição, $F(1,15)=6,48$, $p<0,05$.

FIGURA 17 - Velocidade angular média (°/s) e erros-padrão para atingir o primeiro ajuste em função da condição experimental nas articulações avaliadas.

Variáveis eletromiográficas

Latência de ativação

A análise da latência média do GM não apontou efeito para qualquer um dos fatores principais, previsibilidade, $F(1,15)=0,46$, tarefa, $F(1,15)=0,92$, ou interação, $F(1,15)=0,09$. A análise da latência média da latência do BF não apontou efeito para

qualquer um dos fatores principais, previsibilidade, $F(1,15)=0,49$, tarefa, $F(1,15)=0,98$, ou interação $F(1,15)=0,51$.

Magnitude de ativação muscular (MAM)

A análise da MAM em t_1 não apontou efeito significativo dos fatores principais, tarefa, $F(1,15)=3,85$, previsibilidade $F(1,15)=0,77$, ou interação, $F(1,15)=0,85$. Com relação ao período t_2 , a análise apontou efeito significativo do fator principal previsibilidade GM, $F(1,15)=6,32$, $p<0,05$. Este efeito foi por causa de maiores valores de MAM na condição de imprevisibilidade. A análise não acusou efeito para os fatores tarefa, $F(1,15)=0,96$ e interação, $F(1,15)=2,10$ (FIGURA 18).

FIGURA 18 - Magnitude de ativação muscular média (mV) e erros-padrão do GM e BF em t_1 e t_2 em função das condições experimentais.

Assincronia de ativação entre agonistas (Δ_{bi-ga})

A média geral do Δ_{bi-ga} foi de 27 ms ($DP=12,14$). Não foram detectados efeitos significantes para os fatores principais previsibilidade, $F(1,15)=0,61$; tarefa $F(1,15)=0,33$ ou interação $F(1,15)=0,06$.

Sinergia muscular

O cálculo da correlação cruzada entre GM e BF apontou média de 0,19 ($DP=9,29$) com defasagem de 25,14 ms ($DP=10,45$). O índice da correlação não indicou diferença significativa entre as condições: previsibilidade $F(1,14)=2,69$; tarefa supra-postural $F(1,14)=0,87$ e interação $F(1,14)=4,28$.

A correlação cruzada entre GM e RF foi de 0,81 ($DP=0,07$) e defasagem de 6,34 ms ($DP=2,31$). A análise do índice da correlação entre estes músculos não apontou diferença significativa entre as condições para previsibilidade $F(1,14)=1,15$; tarefa $F(1,14)=0,58$ ou interação $F(1,14)=3,17$.

8 DISCUSSÃO

Os objetivos principais deste estudo foram verificar o comportamento reativo do controle postural em função da realização concomitante de tarefa supra-postural motora durante perturbações da base de suporte. Foi hipotetizado que, em condições previsíveis de perturbação postural com tarefa supra-postural com restrição, haveria ajustes musculares e cinemáticos favoráveis a integração entre as tarefas postural e supra-postural. A imprevisibilidade, por outro lado, foi hipotetizada ser um fator de interferência negativa na integração entre as tarefas. Os resultados apontaram que em condições de perturbação previsível e com tarefa supra-postural com restrição, a latência de ativação da musculatura postural diminuiu e o desempenho na tarefa supra-postural melhorou. Adicionalmente, a MAM agonista diminuiu em uma faixa de tempo referente ao controle motor voluntário. A restrição imposta pela tarefa supra-postural também teve efeito nos ajustes observados nas principais articulações envolvidas na manutenção postural.

8.1 Influência da restrição da tarefa supra-postural nos ajustes posturais neuromusculares

No presente estudo a restrição da tarefa supra-postural modulou os ajustes posturais de acordo com o objetivo final de equilibrar o cilindro. Comportamentos

semelhantes foram verificados em diversos estudos nos quais o comportamento postural se ajustou de acordo com as restrições impostas pela tarefa (BARDY, MARIN, STOFFREGEN & BOOTSMA, 1999; BARDY, OULIER, BOOTSMA & STOFFREGEN, 2002; PRADO, STOFFREGEN & DUARTE, 2007; STOFFREGEN et al., 2000). Tais estudos sustentam a visão de que a postura e a tarefa supra-postural não são unidades de controle independentes, competindo por recursos de processamento cortical (ANDERSSON, YARDLEY & LUXON, 1998; KERR, CONDON & McDONALD, 1985; LAJOIE et al., 1993), mas um sistema integrado de controle.

A principal alteração na regulação postural detectada no presente estudo foi a diminuição das latências de ativação do TA e RF na translação anterior da plataforma, condição previsível com tarefa supra-postural com restrição. Duas explicações plausíveis podem ser formuladas para estes achados. A primeira relaciona esta diminuição da latência de ativação ao desvio do foco atencional para a tarefa supra-postural. A alocação atencional para a tarefa supra-postural diminuiria a participação de processamento cortical para os ajustes reativos posturais, tornando-os mais automáticos e, por conseguinte, mais rápidos (WULF et al., 2004). A outra explicação relaciona-se à previsibilidade da perturbação. O conhecimento da perturbação postural poderia facilitar vias transcorticais envolvidas nos ajustes reativos musculares (JACOBS & HORAK, 2007; JACOBS et al., 2008).

O efeito da restrição da tarefa supra-postural na latência de ativação do TA e RF ocorreu em uma faixa de tempo que é passível de ser influenciada pelo processamento atencional. PETERSEN, MORITA e NIELSEN (1998) e TAUBE et al. (2006) calcularam o tempo de maior participação do circuito transcortical na latência do TA após perturbação da base de suporte, enquanto realizavam estimulação magnética transcraniana na região somatossensorial do músculo analisado. Foi observado que o período de maior facilitação cortical nas respostas a perturbações posturais ocorreu após 70 ms. Comparando com os resultados do presente estudo, a média da latência do TA e RF foi de 81 ms ($DP=4$) e 108 ms ($DP=6$), respectivamente. Portanto, estes valores de latência estão de acordo com uma fase de participação do controle cortical.

De forma geral, estudos relacionados indicam que ocorre um progressivo aumento na participação do controle cortical à medida que a latência aumenta (BURLEIGH & HORAK, 1996; NORRIE et al., 2002). Os resultados do presente estudo mostraram que, em condição previsível com tarefa supra-postural não-com restrição, as médias da latência de ativação para o TA e RF foram 82,45 ms e 110,88 ms, respectivamente. Ao executar a tarefa supra-postural com restrição, as latências de ativação passaram para 75,18 ms e 101,86 ms, respectivamente. Relacionando estes achados a estudos prévios (BURLEIGH & HORAK, 1996; NORRIE et al., 2002; PETERSEN, MORITA & NIELSEN, 1998; TAUBE et al., 2006), fica aparente que a restrição da tarefa supra-postural diminuiu a participação de processamento cortical nos ajustes posturais, tornando-os mais automáticos. A maior automatização postural pode ser considerada uma estratégia eficiente utilizada pelo SNC para manter o equilíbrio tanto na tarefa postural quanto na supra-postural, promovendo maior integração entre elas. Esta conclusão é baseada na melhora do desempenho da tarefa supra-postural em condições de restrição, como indicado pela diminuição do deslocamento horizontal da bandeja na translação anterior da plataforma.

WULF et al. (2004) também verificaram melhora do desempenho em tarefa supra-postural associada ao aumento da automatização postural. A tarefa supra-postural consistia em estabilizar uma haste horizontal com ambas as mãos. A tarefa postural exigia que o indivíduo se mantivesse sobre um disco de borracha. As variáveis analisadas foram erro espacial na tarefa supra-postural e frequência média de respostas da oscilação corporal. O aumento da frequência da última variável foi relacionado como movimentos automáticos. Foi encontrado que o foco externo de atenção (diminuir o movimento do disco e da haste) diminuiu o erro espacial na tarefa supra-postural e aumentou a frequência de respostas da oscilação corporal. Portanto, a melhora do desempenho na tarefa supra-postural relacionou-se com a maior automatização postural. Desta forma, enquanto a manutenção do equilíbrio postural se tornaria mais eficiente devido à automatização, os recursos atencionais poderiam ser investidos na tarefa supra-postural (BEILLOCK et al., 2002; RUTHRUFF, JOHNSTON & VAN SELST, 2001).

A diminuição da latência da musculatura agonista durante translação anterior da plataforma e a diminuição do deslocamento horizontal da bandeja, causadas pela

restrição da tarefa, ocorreram somente em condições previsíveis de perturbação postural. O conhecimento da direção da perturbação pode ter facilitado vias transcorticais de controle postural, para tornar os ajustes reativos mais rápidos. Este comportamento é favorável à manutenção da tarefa supra-postural por evitar maior deslocamento postural, o que influenciaria diretamente a manutenção do equilíbrio do cilindro. Diversos estudos comportamentais sugerem que o conhecimento de algumas características da perturbação postural como momento, direção e amplitude pode facilitar vias transcorticais envolvidas nos ajustes reativos (ACKERMANN, DIENER & DICHGANS, 1986; ACKERMANN, DICHGANS & GUSCHLBAUER, 1991; JACOBS & HORAK, 2007). Porém, só recentemente foi publicado um estudo no qual a participação do córtex na facilitação de vias transcorticais foi confirmada. JACOBS et al. (2008) analisaram indivíduos submetidos a perturbação postural da base de suporte de forma previsível ou imprevisível. A análise por eletroencefalografia indicou que em momentos antes da perturbação postural previsível há maior atividade cortical. Esta maior atividade correlacionou-se com mudanças posturais ocorridas logo após a perturbação e não com mudanças posturais antecipatórias. Este resultado indica que mudanças corticais provocadas pela previsibilidade da perturbação postural estão envolvidas com alterações posturais reativas.

Por outro lado, a imprevisibilidade foi um fator que interferiu negativamente na integração das tarefas postural e supra-postural, induzindo maior latência do TA e do RF e piorando o desempenho na tarefa supra-postural (coeficiente de ajuste e horizontalidade da bandeja). Estudos com eletroencefalografia (EEG) demonstram que durante perturbação imprevisível da postura observa-se um elevado potencial evocado negativo na região fronto-central do cérebro (incluindo a área motora suplementar e o córtex cingulado). Este potencial tem sido interpretado como um sinal de erro sensorial enviado pelos receptores sensoriais dos membros inferiores (QUANT et al., 2004). Para o processamento destas informações sensoriais e a realização de ajustes mais eficazes, maior demanda atencional seria necessária em condições de perturbação postural imprevisível (JACOBS & HORAK, 2007). Este fato foi comprovado em estudos nos quais o potencial evocado durante perturbação imprevisível foi diminuído com a adição de tarefa supra-postural puramente cognitiva (BROWN et al., 1999; QUANT et al., 2004). Em condições de imprevisibilidade da

perturbação postural ocorre maior exigência de recursos atencionais para a recuperação do equilíbrio, o que pode interferir no desempenho de uma das tarefas, reduzindo a integração entre ambas.

Desta forma, tanto o desvio do foco atencional para a tarefa supra-postural quanto a facilitação de vias transcorticais em condições previsíveis podem ter sido responsáveis pelos ajustes neuromusculares observados. Estes resultados conduzem à conclusão de que processos de nível superior de processamento possuem participação no comportamento postural reativo.

Além de influenciar a latência de ativação muscular, a restrição imposta pela tarefa supra-postural diminuiu a assincronia de ativação entre o TA e o RF, também em condições previsíveis com tarefa com restrição. Esta é mais uma evidência de que a restrição da tarefa influencia o comportamento muscular (ACKERMANN, DICHGANS & GUSCHLBAUER, 1991, JACOBS et al., 2008). O menor tempo entre a ativação de agonistas traduz a necessidade de ajustes mais rápidos para evitar maiores deslocamentos articulares durante a perturbação. Com isso, a tarefa supra-postural pode apresentar melhor desempenho, aqui representado por menor deslocamento horizontal da bandeja e maior coeficiente de ajuste em perturbação previsível.

8.2 Tarefa supra-postural motora e sua integração com a regulação postural

A tarefa supra-postural utilizada neste estudo difere da maioria daquelas empregadas em estudos prévios (cf. ANDERSSON, YARDLEY & LUXON, 1998; KERR, CONDON & McDONALD, 1985; LAJOIE et al., 1993), por incluir uma tarefa motora. Quando o desempenho na tarefa supra-postural depende intimamente de ajustes posturais é possível verificar a integração entre as tarefas em direção a um objetivo. Nestes casos, a restrição imposta pela tarefa supra-postural modula o comportamento postural (BARDY, MARIN, STOFFREGEN & BOOTSMA, 1999; STOFFREGEN et al., 2000). Este pode ser um fator que explica os resultados contraditórios nos estudos nos quais se observa interferência entre tarefas duais (cf. ANDERSSON, YARDLEY & LUXON, 1998; KERR, CONDON & McDONALD, 1985; LAJOIE et al., 1993). A maioria destes estudos tem utilizado tarefas estritamente

cognitivas que não dependem de ajustes posturais para seu desempenho, tais como cálculos matemáticos e memorização (MAYLOR & WING, 1996; SHUMWAY-COOK et al., 1997, YARDLEY et al., 1999). Estes estudos são importantes para mostrar a dependência de recursos atencionais para a manutenção do equilíbrio postural, mas falham ao explicar as alterações posturais de acordo com a tarefa supra-postural. Isto porque, nestes casos, o objetivo final é a realização da tarefa supra-postural que não depende diretamente de ajustes posturais. Os resultados mais consistentes sobre a integração entre tarefas são obtidos em estudos que incluem tarefas supra-posturais motoras (BARDY et al., 1999; PRADO, STOFFREGEN & DUARTE, 2007; STOFFREGEN et al., 2000). A dependência de ajustes posturais para manter o desempenho da tarefa supra-postural motora permite maiores esclarecimentos sobre a integração entre tarefas. STOFFREGEN et al. (2000) e PRADO, STOFFREGEN e DUARTE (2007), por exemplo, observaram melhora do controle postural com aumento da restrição da tarefa de fixação visual. Eles concluíram que a tarefa de procura visual induz maior restrição ao controle postural, influenciando a diminuição do deslocamento corporal. Neste sentido, a postura é vista como facilitadora da tarefa supra-postural (PRADO, STOFFREGEN & DUARTE, 2007; STOFFREGEN et al., 2000).

8.3 Integração entre tarefas postural e supra-postural e alocação atencional

Se por um lado, nas fases iniciais de ajuste postural houve provável desvio do foco atencional para a tarefa supra-postural, o retorno destes recursos atencionais para a manutenção postural pode ser verificado em fases tardias. Este fenômeno foi evidenciado nos resultados quanto à MAM do TA. Observou-se que para a translação anterior da plataforma com tarefa com restrição, houve redução da MAM entre 200 e 350 ms (t_2) após a perturbação postural previsível. Uma explicação possível para a diminuição da MAM poderia ser o conhecimento da direção da perturbação postural. A previsibilidade da perturbação, portanto, poderia antecipar ajustes musculares que preveniriam maiores deslocamentos posturais (MASSION, 1992). Desta forma, não seria necessário para o sistema motor elevada ativação muscular nas correções. Porém, a previsibilidade não foi o único fator que influenciou

a MAM. Observou-se que a restrição da tarefa também foi um fator que diminuiu a ativação do TA. Portanto, os achados levam a propor outra interpretação para este fenômeno. Esta interpretação sugere que a diminuição da MAM em fases tardias ocorre pelo aumento da dependência de processamento cortical das duas tarefas. Com isso, haveria uma divisão (competição) de recursos atencionais entre elas, resultando na diminuição da ativação muscular agonista provocada pela restrição da tarefa.

Alguns estudos encontram resultados semelhantes ao presente estudo, como redução na ativação da musculatura agonista das pernas após 350 ms do momento da perturbação (RANKIN et al., 2000) e aumento da oscilação do centro de pressão após 250 ms da perturbação postural (NORRIE et al., 2002). REDFERN et al. (2002) propuseram uma explicação para a diminuição das respostas posturais em fases tardias após a perturbação postural. Eles sugerem que respostas posturais automáticas necessitam de recursos atencionais, mas não são afetadas pela tarefa supra-postural inicialmente porque o SNC dá prioridade à tarefa de estabilização postural. Imediatamente depois, o SNC transfere todos os recursos atencionais necessários para a execução da tarefa supra-postural. Este deslocamento de atenção para a tarefa supra-postural seria responsável pela diminuição da MAM em fases tardias.

Algumas considerações serão feitas com relação ao que foi abordado no parágrafo anterior. Primeiramente, no presente estudo a diminuição da atividade muscular agonista foi verificada em tempos precoces quando comparada com os resultados obtidos por RANKIN et al. (2000) e NORRIE et al. (2002). A explicação para a precocidade desta alteração baseia-se, principalmente, nas diferentes tarefas supra-posturais empregadas (puramente cognitiva nos estudos apresentados no parágrafo anterior e motora no presente estudo). A diferença nas exigências de desempenho da tarefa supra-postural interferem sobremaneira nas respostas musculares observadas. Outro motivo que explica a diferença de resultados pauta-se na intensidade de perturbação que foi em média 45 cm/s (pico), diferentemente do presente estudo, cuja perturbação teve pico de velocidade de 16,5 cm/s.

A próxima consideração é endereçada às conclusões extraídas por REDFERN et al. (2002). Eles propuseram que em tarefas duais durante perturbação da base de

suporte, inicialmente o SNC dá prioridade de processamento cortical (atencional) à manutenção postural e posteriormente para a tarefa supra-postural, o que explicaria a diminuição da MAM em fases tardias. Contrariamente a esta visão, acredita-se que os recursos atencionais são direcionados inicialmente para a tarefa supra-postural como discutido anteriormente. Em fases mais tardias, a diminuição da MAM do TA em condição previsível na tarefa com restrição pode indicar o início da divisão de recursos atencionais. Esta divisão ocorreria entre as tarefas postural e supra-postural devido ao início de uma fase muito dependente de processamento cortical (após 250 ms) para ambas as tarefas (postural e supra-postural). Porém, como as variáveis para análise do desempenho da tarefa supra-postural incluíram somente os primeiros 250 ms após a perturbação, não foi possível verificar se esta provável divisão de recursos provocaria queda de desempenho da tarefa supra-postural. Esta análise poderia esclarecer se em fases tardias a integração entre tarefas diminui pela divisão de processamento cortical.

Os resultados encontrados para o t_2 do GM indicam maior MAM na condição imprevisível em comparação à condição previsível de perturbação. Este aumento estaria associado à alocação de recursos atencionais para a tarefa postural, graças ao desvio do foco atencional para a postura (foco interno) (WULF, 2004). Este desvio do foco atencional internamente evitaria uma possível queda, visto que o indivíduo tem maior incerteza sobre as características da perturbação postural. Desta forma, em condições imprevisíveis pode ocorrer uma priorização do controle postural no período t_2 .

8.4 Sinergia motora em tarefas duais

No presente trabalho foram analisadas as principais articulações envolvidas com a manutenção das tarefas supra-postural e postural. Enquanto algumas articulações aumentaram seu deslocamento com a tarefa supra-postural com restrição, outras diminuíram. Este comportamento foi semelhante em ambas as direções. A interpretação para este achado é que o SNC ajustou estrategicamente o deslocamento das articulações para manter o equilíbrio das duas tarefas (RILEY, BALASUBRAMANIAM & TURVEY, 2000; STOFREGEN et al. 2000). Se somente

uma articulação sofresse o efeito da complexidade da tarefa supra-postural, seu ajuste seria insuficiente para corrigir todo o corpo de forma harmônica. Portanto, movimentos compensatórios foram realizados sinergicamente com o intuito de corrigir suavemente as duas tarefas.

Na perturbação anterior da plataforma, enquanto o tornozelo aumentou o deslocamento com tarefa supra-postural com restrição, as articulações do joelho e quadril diminuíram. Com a imprevisibilidade, ocorreu aumento do deslocamento somente do quadril e do ombro. A mudança no comportamento do quadril e do ombro durante perturbação imprevisível pode ter sido responsável pelo declínio do desempenho na tarefa supra-postural por alterar a sinergia presente durante perturbações previsíveis.

Apesar da variável latência de ajuste não ter apresentado diferença entre as condições experimentais ela foi importante para demonstrar a característica do movimento de cada articulação. Em todas as condições, o joelho apresentou latência de ajuste menor do que o restante das articulações. Esperava-se que o tornozelo apresentasse latência inferior por causa da estratégia do tornozelo, causada por movimentos de baixa intensidade na base de suporte (NASHNER, 1977, 1989). Porém, com a adição de uma tarefa supra-postural motora a estratégia parece ser diferente, tendo o joelho como principal articulação na recuperação do equilíbrio. Em perturbações ântero-posteriores o deslocamento do centro de massa exige o seu reposicionamento rápido dentro dos limites da base de suporte para que a tarefa supra-postural não seja prejudicada. Ao mesmo tempo este reposicionamento do centro de massa não pode ser brusco, pois isto aumentaria o deslocamento do cilindro sobre a bandeja. Portanto, ao invés de haver um retorno rápido do tornozelo, este movimento é suavizado pelos movimentos do joelho que realiza o ajuste na direção perpendicular (vertical) à direção que provocaria o prejuízo da tarefa supra-postural com restrição (horizontal). Outro dado importante é oferecido pela latência de ajuste das articulações do quadril e do ombro que foram superiores a 200 ms, estando de acordo com tempo de reação visual, com envolvimento maior de processamento cortical (FLANDERS & CORDO, 1989). As articulações do joelho e tornozelo apresentaram, portanto, características de ajustes automáticos enquanto o quadril e ombro tiveram características de movimento voluntário.

A velocidade para atingir o primeiro ajuste foi mais sensível aos efeitos da previsibilidade e da tarefa manual do que a latência de ajuste. Mais uma vez, o tornozelo não foi a articulação mais ágil para se ajustar, confirmando que a estratégia utilizada neste tipo de tarefa difere da estratégia do tornozelo. O quadril, por sua vez, obteve médias de velocidade inferiores a todas as outras articulações em todas as condições. Na perturbação anterior, houve aumento da velocidade para ajuste das articulações do joelho e quadril e diminuição articulação do ombro. Esta estratégia favoreceria a modulação da velocidade final da tarefa dual. Se todas as articulações aumentassem a velocidade o cilindro poderia se movimentar abruptamente. O sistema motor ajustou rapidamente a postura por meio do joelho e quadril e desacelerou o movimento do ombro para favorecer o controle voluntário desta tarefa. Na perturbação posterior na tarefa com restrição, o tornozelo foi ajustado mais lentamente, porém o ombro teve sua velocidade aumentada. É possível verificar, portanto, que houve uma compensação entre as articulações para manter a postura ereta. De maneira geral, ao passo que uma articulação aumenta sua velocidade ocorre diminuição da velocidade em outras regiões. A imprevisibilidade interferiu neste comportamento, pois nas perturbações anteriores a velocidade do joelho e quadril diminui sem alteração concomitante da velocidade do ombro.

Cabe discutir a relação entre a diminuição da latência de ativação muscular do TA na tarefa com restrição e a ausência deste efeito nas variáveis cinemáticas do tornozelo. Da mesma forma, a relação entre a ausência de efeitos da tarefa com restrição na ativação do GM e a presença nas variáveis cinemáticas para a articulação do tornozelo. Era esperado que houvesse uma relação entre a ativação muscular e as respostas cinemáticas. De acordo com BONGAARDT (2001), que discutiu em literatura recente os trabalhos clássicos do pesquisador do movimento humano Bernstein:

“The integral unity of movement is the most important feature of what is implied by ‘motor co-ordination’. This unity may be detected in very many experimental situations, and significant connections and correlations are observed among various components of the integrated processes. A muscle never participates in a movement as an isolated element. Neither the active increase in tension nor the associated (reciprocal) inhibition in antagonistic subgroups is normally concentrated within a

single anatomical muscular entity; rather, there is a gradual, smooth flow from one muscle system to others.”

As conclusões que podem ser retiradas da passagem anterior são que somente a ativação de um músculo não interfere no comportamento geral do indivíduo (BERNSTEIN, 1967; St ONGE & FELDMAN, 2003).

Os resultados quanto à sinergia articular apontaram efeito da tarefa somente para a correlação entre tornozelo e joelho. Este resultado confirma que a restrição da tarefa influencia a sinergia articular. As articulações do tornozelo e joelho sofrem mais diretamente a influência da perturbação da plataforma de translação. Como visto anteriormente, o joelho foi a articulação que se ajustou mais rapidamente e se deslocou menos na presença de tarefa com restrição. Este comportamento do joelho pode corrigir os movimentos do tornozelo que acompanha a translação da plataforma. Este fato pode explicar a razão do aumento da sinergia entre estas articulações durante a tarefa com restrição.

Em todas as condições experimentais as maiores correlações foram entre as articulações do tornozelo, joelho e quadril. Altas correlações entre estas articulações também foram encontradas em um estudo sobre perturbação postural (VERNAZZA-MARTIN et al., 2006). Com relação à sinergia muscular, também não houve efeito da complexidade da tarefa e da previsibilidade. Mas, surpreendentemente, foi a alta sinergia entre GM e RF nas duas direções. O GM atua na flexão do joelho e apresenta alta eficiência quando o joelho está em semi-flexão e sem apoio do membro na base de suporte. Em base fixa, sua função se inverte para extensor do joelho. O RF também estende o joelho, além disso, quando em base fixa, ele também flete o quadril (CALAIS-GERMAIN, 1992). Portanto, esta sinergia favoreceu o controle do joelho, complementando a interpretação sobre a maior participação desta articulação na tarefa proposta neste estudo (latência de ajuste e velocidade para atingir o primeiro ajuste).

No presente estudo, os resultados de correlação entre o ombro e as outras articulações apresentaram valores baixos. Isto indica que há uma sinergia fraca entre o ombro e as articulações envolvidas diretamente com a manutenção postural. Este fato pode ser interpretado como a participação de unidades de controle distintas integradas no SNC (ELGER, WING & GILLES, 1999; HWANG et al., 2006; POZZO,

STAPLEY & PAPAXANTHIS, 2002; HWANG et al., 2006). HWANG et al., (2006) ao observarem indivíduos em postura bípede tentando manter um alvo identificaram dois subsistemas de controle, sendo um comportamento de aproximação das articulações nos membros superiores e outro de diminuição do deslocamento do centro de pressão para manter o equilíbrio. De acordo com os autores estes subsistemas são integrados no SNC.

Sabe-se que as regiões insular posterior do córtex e fronto-parietal estão associadas com a manutenção postural (ADKIN et al., 2006; BRANDT, DIETERICH & DANEK, 1994; KARNATH, FERBER & DICHGANS, 2000). Em contrapartida, a região de motora primária tem sido relacionada com a geração de padrões espaço-temporais complexos para atingir uma meta. Estas respostas neuronais no córtex motor primário ocorrem a partir da integração de informações de outras regiões cerebrais (SCOTT, 2003). Desta forma, acredita-se que a integração na tarefa dual observada em nosso estudo tenha envolvido os córtices insular, fronto-parietal e motor primário, principalmente nas condições de tarefa supra-postural com restrição sob perturbação previsível da postura.

8.5 Integração e competição por recursos de processamento cortical entre tarefas postural e supra-postural

Os resultados do presente estudo com relação aos ajustes neuromusculares (latência de ativação muscular e assincronia de ativação) e as alterações cinemáticas da bandeja e das articulações durante a tarefa com restrição permitem inferir que houve integração entre as duas tarefas nas fases iniciais após a perturbação postural. Esta integração foi consequência da restrição imposta pela tarefa supra-postural ao controle postural (STOFFREGEN et al., 2000). Porém, no período após 250 ms da perturbação, os resultados mostraram que houve um declínio da MAM. Este declínio pode estar associado à divisão de recursos de processamento cortical entre as tarefas, que ocorre em uma faixa de tempo de intenso controle voluntário tanto para a tarefa supra-postural quanto para a postural (BURLEIGH & HORAK, 1996; NORRIE et al., 2002). Desta forma, em fases mais tardias pode ocorrer uma competição por recursos corticais de processamento. Porém, não é possível afirmar

se esta competição interfere negativamente na integração entre tarefas em fases tardias, pois o desempenho da tarefa supra-postural foi avaliado somente em períodos precoces (antes de 250 ms).

De maneira geral, os resultados do presente estudo mostraram que a restrição da tarefa supra-postural influenciou mecanismos neurofisiológicos reativos de controle postural. Esta influência favoreceu o melhor desempenho na tarefa supra-postural somente em condições previsíveis. A aparente integração entre estas tarefas foi confirmada pelo comportamento cinemático integrado e harmônico entre as articulações. A previsibilidade de perturbação e a restrição imposta pela tarefa supra-postural, portanto, são fatores de características voluntárias que influenciam o controle de movimentos subconscientes e de grande automatização como os ajustes reativos posturais.

9 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados indicam que o controle na tarefa supra-postural manual é integrado com a manutenção do controle postural durante perturbação da base de suporte. Esta integração é dependente da previsibilidade da perturbação e da restrição imposta pela tarefa.

10 POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES CLÍNICAS

Os resultados do presente estudo levam à conclusão de que tarefas motoras supra-posturais influenciam o controle muscular automático da postura. Este conhecimento pode ser importante para a reabilitação de disfunções na regulação postural, por direcionar estratégias de tratamento envolvendo tarefas supra-posturais. Neste sentido, a inclusão de tarefas supra-posturais manuais durante a reabilitação postural, poderia surtir resultados positivos, tendo em vista que mudanças neurofisiológicas estão envolvidas neste processo.

11 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Uma das limitações mais importantes foi a impossibilidade de analisar o centro de pressão (CP) durante perturbação postural. Este sinal possibilitaria investigar mais pormenorizadamente o desempenho postural. A tarefa supra-postural empregada não ofereceu uma análise precisa de seu desempenho. Isto poderia ser atingido com uma tarefa de projeção de um laser em uma tela. O sinal da projeção do laser juntamente com o sinal do CP favoreceria uma melhor correlação entre o desempenho de ambas as tarefas.

12 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Sugere-se verificar o efeito do aumento gradativo da complexidade da tarefa supra-postural. Além disso, um experimento semelhante com análise pormenorizada do CP em populações especiais (idosos, pacientes neurológicos) seria importante para verificar as causas do aumento do risco de queda.

A verificação do comportamento cerebral por estimulação magnética transcraniana e/ou eletroencefalografia poderia indicar as regiões corticais associadas com a integração de tarefas postural e supra-postural.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ANDERSSON, G.; YARDLEY, L.; LUXON, L. A dual-task study of interference between mental activity and control of balance. **American Journal of Otology**, v.19, n.5, p.632-7, 1998.
- ARUIN, A.S.; SHIRATORI, T.; LATASH, M.L. The role of action in postural preparation for loading and unloading in standing subjects. **Experimental Brain Research**, v.138, n.4, p.458-66, 2001.
- ASAKA, T.; WANG, Y.; FUKUSHIMA, J.; LATASH, M.L. Learning effects on muscle modes and multi-mode postural synergies. **Experimental Brain Research**, v.184, n.3, p.323-38, 2008.
- BAIR, W.N.; KIEMEL, T.; JEKA, J.J.; CLARK, J.E. Development of multisensory reweighting for posture control in children. **Experimental Brain Research**, v.183, n.4, p.435-46, 2007.
- BALASUBRAMANIAM, R.; WING, A.M. The dynamics of standing balance. **Trends in Cognitive Science**, v.6, n.12, p.531-36, 2002.
- BARDY, B.G.; MARIN, L.; STOFFREGEN, T.A.; BOOTSMA, R. J. Postural coordination modes considered as emergent phenomena. **Journal of Experimental Psychology and Human Perceptual Performance**, v.25, n.5, p.1284-301, 1999.
- BARDY, B.G.; OULLIER, O.; BOOTSMA, R.J.; STOFFREGEN, T.A. Dynamics of human postural transitions. **Journal of Experimental Psychology and Human Perceptual Performance**, v.28, n.3, p.499-514, 2002.
- BATENI, H.; ZECEVIC, A.; McILROY, W.E.; MAKI, B.E. Resolving conflicts in task demands during balance recovery: does holding an object inhibit compensatory grasping? **Experimental Brain Research**, v.157, n.1, p.49-58, 2004.
- BEILock, S.L.; CARR, T.H.; MACMAHON, C.; STARKES, J.L. When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. **Journal of Experimental Psychology: Applied**, v.8, n.1, p.6-16, 2002.

- BERNSTEIN, N. **The co-ordination and regulation of movements**. Oxford: Pergamon, 1967.
- BERRIGAN, F.; SIMONEAU, M.; MARTIN, O.; TEASDALE, N. Coordination between posture and movement: interaction between postural and accuracy constraints. **Experimental Brain Research**, v.170, n.2, p.255-64, 2006.
- BINKOFSKI, F.; BUCCINO, G.; ZILLES, K.; FINK, G.R. Supramodal representation of objects and actions in the human inferior temporal and ventral premotor cortex. **Cortex**, v.40, n.1, p.159-61, 2004.
- BONGAARDT, R. How Bernstein conquered movement. In: LATASH, M.; ZATSIORSKY, V. **Classics in movement science**. Champaign: Human Kinetics, 2001. Cap. 2, 60-84.
- BRANDT, T.; DIETERICH, M.; DANEK, A. Vestibular cortex lesions affect the perception of verticality. **Annals of Neurology**, v.35, n.4, p.403-12, 1994.
- BRONSTEIN, A.M.; BUCKWELL, D. Automatic control of postural sway by visual motion parallax. **Experimental Brain Research**, v.113, n.2, p.243-8, 1997.
- BROWN, L.A.; SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M.H. Attentional demands and postural recovery: the effects of aging. **The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**, v.54, n.4, p.M165-71, 1999.
- BROWN, L.A.; SLEIK, R.J.; POLYCH, M.A.; GAGE, W.H. Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults? **The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**, v.57, n.12, p.M785-92, 2002.
- BUGNARIU, N.; FUNG, J. Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v.4, p.19, 2007.
- 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.
- CALAIS-GERMAIN, B. **Anatomia para o movimento**. São Paulo: Manole, 1992.
- 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.

- CONTE, A.; GILIO, F.; IEZZI, E.; FRASCA, V.; INGHILLERI, M.; BERARDELLI, A. Attention influences the excitability of cortical motor areas in healthy humans. **Experimental Brain Research**, v.182, n.1, p.109-17, 2007.
- CORDO, P.J.; NASHNER, L. M. Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. **Journal of Neurophysiology**, v.47, n.2, p.287-302, 1982.
- CULHAM, J.C.; CAVANAGH, P.; KANWISHER, N.G. Attention response functions: characterizing brain areas using fMRI activation during parametric variations of attentional load. **Neuron**, v.32, n.4, p.737-45, 2001.
- DEBAERE, F.; WENDEROTH, N.; SUNAERT, S.; VAN HECKE, P.; SWINNEN, S.P. Changes in brain activation during the acquisition of a new bimanual coordination task. **Neuropsychologia**, v.42, n.7, p.855-67, 2004.
- DEVITERNE, D.; GAUCHARD, G.C.; JAMET, M.; VANCON, G. ; PERRIN, P. Added cognitive load through rotary auditory stimulation can improve the quality of postural control in the elderly. **Brain Research Bulletin**, v.64, n.6, p.487-92, 2005.
- DIENER, H.C.; DICHGANS, J.; BOOTZ, F.; BACHER, M. Early stabilization of human posture after a sudden disturbance: influence of rate and amplitude of displacement. **Experimental Brain Research**, v.56, n.1, p.126-34, 1984.
- DIETZ, V.; NOTH, J.; SCHMIDTBLEICHER, D. Interaction between pre-activity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls. **Journal of Physiology**, v.311, p.113-25, 1981.
- ELGER, K.; WING, A.; GILLES, M. Integration of the hand in postural reactions to sustained sideways force at the pelvis. **Experimental Brain Research**, v.128, n.1-2, p.52-60, 1999.
- FLANDERS, M.; CORDO, P.J. Kinesthetic and visual control of a bimanual task: specification of direction and amplitude. **Journal of Neuroscience**, v.9, n.2, p.447-53, 1989.
- FLANDERS, M.; CORDO, P.J.; ANSON, J.G. Interaction between visually and kinesthetically triggered voluntary responses. **Journal of Motor Behavior**, v.18, n.4, p.427-48, 1986.
- FRAIZER, E. V.; MITRA, S. Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. **Gait & Posture**, v.27, n.2, p.271-9, 2008.

- GAZZANIGA, M.S.; IVRY, R.B.; MANGUN, G.R. **Neurociência Cognitiva**. São Paulo: Manole, 2006.
- GRAFTON, S.T. Cortical control of movement. **Annals of neurology**, v.36, n.1, p.3-4, 1994.
- HAY, L.; REDON, C. Feedforward versus feedback control in children and adults subjected to a postural disturbance. **Experimental Brain Research**, v.125, n.2, p.153-62, 1999.
- 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.
- HUXHOLD, O.; LI, S.C.; SCHMIEDEK, F.; LINDENBERGER, U. Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. **Brain Research Bulletin**, v.69, n.3, p.294-305, 2006.
- HWANG, I.S.; HUANG, C.T.; CHERNG, R.J.; HUANG, C.C. Postural fluctuations during pointing from a unilateral or bilateral stance. **Human Movement Science**, v.25, n.2, p.275-91, 2006.
- 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.
- JEKA, J.J. Light touch contact as a balance aid. **Physical Therapy**, v.77, n.5, p.476-87, 1997.
- JENKINS, I.H.; BROOKS, D.J.; NIXON, P.D.; FRACKOWIAK, R.S.; PASSINGHAM, R.E. Motor sequence learning: a study with positron emission tomography. **Journal of Neuroscience**, v.14, n.6, p.3775-90, 1994.
- JUEPTNER, M.; OTTINGER, S.; FELLOWS, S.J.; ADAMSCHEWSKI, J.; FLERICH, L.; MULLER, S.P.; DIENER, H.C.; THILMANN, A.F.; WEILLER, C. The relevance of sensory input for the cerebellar control of movements. **Neuroimage**, v.5, n.1, p.41-8, 1997.

- KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSEL, T.M. **Princípios da neurociência**. 4.ed. São Paulo: Manole, 2003.
- KARNATH, H.O.; FERBER, S.; DICHGANS, J. The neural representation of postural control in humans. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.97, n.25, p.13931-6, 2000.
- KARNI, A.; MEYER, G.; JEZZARD, P.; ADAMS, M.M.; TURNER, R.; UNGERLEIDER, L.G. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. **Nature**, v.377, n.6545, p.155-8, 1995.
- KERR, B.; CONDON, S.M.; McDONALD, L.A. Cognitive spatial processing and the regulation of posture. **Journal of experimental psychology. Human Perception and Performance**, v.11, n.5, p.617-22, 1985.
- LACOUR, M.; BERNARD-DEMANZE, L.; DUMITRESCU, M. Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods. **Clinical Neurophysiology**, v.38, n.6, p.411-21, 2008.
- LAFORCE, R.; DOYON, J. Distinct contribution of the striatum and cerebellum to motor learning. **Brain and Cognition**, v.45, n.2, p.189-211, 2001.
- LAJOIE, Y.; TEASDALE, N.; BARD, C.; FLEURY, M. Attentional demands for static and dynamic equilibrium. **Experimental Brain Research**, v.97, n.1, p.139-44, 1993.
- LEE, W.A.; MICHAELS, C.F.; PAI, Y.C. The organization of torque and EMG activity during bilateral handle pulls by standing humans. **Experimental Brain Research**, v.82, n.2, p.304-14, 1990.
- LUNDIN-OLSSON, L.; NYBERG, L.; GUSTAFSON, Y. "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. **Lancet**, v.349, n.9052, p.617, 1997.
- MAKI, B.E.; McILROY, W.E. Change-in-support balance reactions in older persons: an emerging research area of clinical importance. **Neurologic Clinics**, v.23, n.3, p.751-83, vi-vii, 2005.
- MAKI, B.E.; McILROY, W.E. Cognitive demands and cortical control of human balance-recovery reactions. **Journal of Neural Transmission**, v.114, n.10, p.1279-96, 2007.
- MARSDEN, C.D.; MERTON, P.A.; MORTON, H.B. Human postural responses. **Brain**, v.104, n.3, p.513-34, 1981.

- MASSION, J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. **Progress in Neurobiology**, v.38, n.1, p.35-56, 1992.
- MAYLOR, E.A.; ALLISON, S.; WING, A.M. Effects of spatial and nonspatial cognitive activity on postural stability. **British Journal of Psychology**, v.92 Part 2, p.319-38, 2001.
- 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.
- McNEVIN, N. H.; WULF, G. Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. **Human Movement Science**, v.21, n.2, p.187-202, 2002.
- McILROY, W.E.; MAKI, B.E. Early activation of arm muscles follows external perturbation of upright stance. **Neuroscience Letters**, v.184, n.3, p.177-80, 1995.
- McILROY, W.E.; NORRIE, R.G.; BROOKE, J.D.; BISHOP, D.C.; NELSON, A.J.; MAKI, B.E. Temporal properties of attention sharing consequent to disturbed balance. **Neuroreport**, v.10, n.14, p.2895-9, 1999.
- MITRA, S. Postural costs of suprapostural task load. **Human Movement Science**, v.22, n.3, p.253-70, 2003.
- MOORE, S.P.; RUSHMER, D.S.; WINDUS, S.L.; NASHNER, L.M. Human automatic postural responses: responses to horizontal perturbations of stance in multiple directions. **Experimental Brain Research**, v.73, n.3, p.648-58, 1988.
- MORIOKA, S.; HIYAMIZU, M.; YAGI, F. The effects of an attentional demand tasks on standing posture control. **Journal of Physiology Anthropology Applied Human Science**, v.24, n.3, p.215-9, 2005.
- MOSELEY, G.L.; HODGES, P.W.; GANDEVIA, S.C. External perturbation of the trunk in standing humans differentially activates components of the medial back muscles. **Journal of Physiology**, v.547, Pt.2, p.581-7, 2003.
- MOUCHNINO, L.; AURENTY, R.; MASSION, J.; PEDOTTI, A. Strategies for simultaneous control of the equilibrium and of the head position during the raising movement of a leg. **Comptes Rendus de L'Académie des Sciences. Série III, Sciences de La Vie**, v.312, n.5, p.225-32, 1991.
- NASHNER, L.M. Adapting reflexes controlling the human posture. **Experimental Brain Research**, v.26, n.1, p.59-72, 1976.

- NASHNER, L.M. Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance. **Experimental Brain Research**, v.30, n.1, p.13-24, 1977.
- 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.
- NORRIE, R.G.; MAKI, B.E.; STAINES, W.R.; McILROY, W.E. The time course of attention shifts following perturbation of upright stance. **Experimental Brain Research**, v.146, n.3, p.315-21, 2002.
- PASHLER, H. E. **The Psychology of Attention**. Cambridge: Mit Press, 1999.
- PETERSEN, N.; MORITA, H.; NIELSEN, J. Evaluation of reciprocal inhibition of the soleus H-reflex during tonic plantar flexion in man. **Journal of Neuroscience Methods**, v.84, n.1-2, p.1-8, 1998.
- POSNER, M.I. Orienting of attention. **The Quarterly Journal of Experimental Psychology**, v.32, n.1, p.3-25, 1980.
- POZZO, T.; STAPLEY, P.J.; PAPAXANTHIS, C. Coordination between equilibrium and hand trajectories during whole body pointing movements. **Experimental Brain Research**, v.144, n.3, p.343-50, 2002.
- PRADO, J.M.; STOFFREGEN, T.A.; DUARTE, M. Postural sway during dual tasks in young and elderly adults. **Gerontology**, v.53, n.5, p.274-81, 2007.
- QUANT, S.; ADKIN, A.L.; STAINES, W.R.; MAKI, B.E.; McILROY, W.E. The effect of a concurrent cognitive task on cortical potentials evoked by unpredictable balance perturbations. **BMC Neuroscience**, v.5, p.18, 2004.
- 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. **The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**, v.55, n.3, p.M112-9, 2000.
- REDFERN, M.S.; MULLER, M.L.; JENNINGS, J.R.; FURMAN, J.M. Attentional dynamics in postural control during perturbations in young and older adults. **The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**, v.57, n.8, p.B298-303, 2002.
- RILEY, M.A.; BALASUBRAMANIAM, R.; TURVEY, M.T. Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. **Gait & Posture**, v.9, n.1, p.65-78, 1999.

- ROWE, J.; FRISTON, K.; FRACKOWIAK, R.; PASSINGHAM, R. Attention to action: specific modulation of corticocortical interactions in humans. **Neuroimage**, v.17, n.2, p.988-98, 2002.
- RUSHWORTH, M.F.; JOHANSEN-BERG, H.; GOBEL, S.M.; DEVLIN, J.T. The left parietal and premotor cortices: motor attention and selection. **Neuroimage**, v.20, p.S89-100, 2003.
- RUTHRUFF, E.; JOHNSTON, J.C.; VAN SELST, M. Why practice reduces dual-task interference. **Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance**, v.27, n.1, p.3-21, 2001
- SCHIEPPATI, M.; NARDONE, A.; SILIOTTO, R.; GRASSO, M. Early and late stretch responses of human foot muscles induced by perturbation of stance. **Experimental Brain Research**, v.105, n.3, p.411-22, 1995.
- SCOTT, S.H. The role of primary motor cortex in goal-directed movements: insights from neurophysiological studies on non-human primates. **Current Opinion of Neurobiology**, v.13, n.6, p.671-7, 2003.
- 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. **The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**, v.55, n.1, p.M10-6, 2000.
- SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M.H. **Motor control: theory and practical applications**. 3.ed. Hagerstown: Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
- SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M.; KERNS, K.A.; BALDWIN, M. The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. **The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences**, v.52, n.4, p.M232-40, 1997. S
- SOHN, Y.H.; KANG, S.Y.; HALLETT, M. Corticospinal disinhibition during dual action. **Experimental Brain Research**, v.162, n.1, p.95-9, 2005.

- STOFFREGEN, T.A.; PAGULAYAN, R.J.; BARDY, B.G.; HETTINGER, L.J. Modulating postural control to facilitate visual performance. **Human Movement Science**, v.19, n.2, p.203-20, 2000.
- ST-ONGE, N.; FELDMAN, A.G. Interjoint coordination in lower limbs during different movements in humans. **Experimental Brain Research**, v.148, n.2, p.139-49, 2003.
- 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.
- TOKUNO, C.D.; CARPENTER, M.G.; THORSTENSSON, A.; CRESSWELL, A.G. The influence of natural body sway on neuromuscular responses to an unpredictable surface translation. **Experimental Brain Research**, v.174, n.1, p.19-28, 2006.
- VERNAZZA-MARTIN, S.; MARTIN, N.; PELLEC-MULLER, A.L.; TRICON, V.; MASSION, J. Kinematic synergy adaptation to an unstable support surface and equilibrium maintenance during forward trunk movement. **Experimental Brain Research**, v.173, n.1, p.62-78, 2006.
- WOLPERT, D.M.; GOODBODY, S.J.; HUSAIN, M. Maintaining internal representations: the role of the human superior parietal lobe. **Nature Neuroscience**, v.1, n.6, p.529-33, 1998.
- WOOLLACOTT, M.; SHUMWAY-COOK, A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. **Gait & 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.
- WOOLLACOTT, M.H.; VON HOSTEN, C.; ROSBLAD, B. Relation between muscle response onset and body segmental movements during postural perturbations in humans. **Experimental Brain Research**, v.72, n.3, p.593-604, 1988.
- WU, T.; CHAN, P.; HALLETT, M. Modifications of the interactions in the motor networks when a movement becomes automatic. **Journal of Physiology**, v.586, n.Pt 17, p.4295-304, 2008.

- WU, T.; KANSAKU, K.; HALLETT, M. How self-initiated memorized movements become automatic: a functional MRI study. **Journal of Neurophysiology**, v.91, n.4, p.1690-8, 2004.
- WULF, G. Attentional focus and motor learning: A review of 10 years of research. **Bewegung und Training**, 2007.
- WULF, G.; MERCER, J.; McNEVIN, N.; GUADAGNOLI, M.A. Reciprocal influences of attentional focus on postural and suprapostural task performance. **Journal of Motor Behavior**, v.36, n.2, p.189-99, 2004.
- WULF, G.; TOLLNER, T.; SHEA, C.H. Attentional focus effects as a function of task difficulty. **Research Quarterly of Exercise and Sport**, v.78, n.3, p.257-64, 2007.
- YARDLEY, L.; GARDNER, M.; BRONSTEIN, A.; DAVIES, R.; BUCKWELL, D.; LUXON, L. Interference between postural control and mental task performance in patients with vestibular disorder and healthy controls. **Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry**, v.71, n.1, p.48-52, 2001.
- ZATTARA, M.; BOUISSET, S. Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. 1. Normal subjects. **Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry**, v.51, n.7, p.956-65, 1988.