UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA

Daniel Boari Coelho

Influência de processos cognitivos em respostas posturais automáticas a perturbações
extrínsecas

São Paulo
2017

DANIEL BOARI COELHO

**Influência de processos cognitivos em respostas posturais automáticas a perturbações
extrínsecas**

Versão original

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da
Universidade de São Paulo para obter o título
de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Neurociências e
Comportamento

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na publicação
Biblioteca Dante Moreira Leite
Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Coelho, Daniel Boari

Influência de processos cognitivos em respostas posturais automáticas a perturbações extrínsecas / Daniel Boari Coelho; orientador Luis Augusto Teixeira. -- São Paulo, 2017.

93 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento) -- Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, 2017.

1. Controle postural. 2. Dicas contextuais. 3. Dica temporal. 4. Adaptação. 5. Tarefa dual. I. Teixeira, Luis Augusto, orient. II. Título.

Nome: Daniel Boari Coelho

Título: Influência de processos cognitivos em respostas posturais automáticas a perturbações extrínsecas

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da
Universidade de São Paulo para obter o título
de Doutor em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

A minha amada família! Eu não consigo encontrar palavras justas para expressar minha gratidão. Dedico a vocês este trabalho e todas as vitórias da minha vida.

A minha esposa, Nara. Pelo amor, paciência e empenho em compartilhar a vida comigo, possibilitando o início, meio e fim desse processo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luis Augusto Teixeira pelo apoio e confiança dedicados. Que os projetos, discussões e artigos continuem sendo pretextos para a amizade.

Aos membros do Laboratório Sistemas Motores Humanos de ontem, hoje e os de amanhã. Pela oportunidade de discussões, novas vivências e companheirismo. Em especial, a Andrea, Alessandra, Rosana, Raymundo, Catarina, Marina e Nametala. Companheiros de trabalho e amigos da vida.

Citando a Carla e o Prof. Dr. Rômulo Bertuzzi quero deixar meu agradecimento a todas as minhas parcerias profissionais que se transformaram em amizades.

Aos brilhantes profissionais Prof. Dr. Marcos Duarte e o engenheiro Milton Seigui Oshiro que deixaram seus exemplos na minha formação profissional. Lembrando desses profissionais, deixo minha gratidão aos eternos membros do Laboratório de Biofísica e do Laboratório de Bioengenharia e Tecnologia Assistiva.

À FAPESP e ao CNPq pelo apoio financeiro que possibilitou a aquisição dos equipamentos utilizados.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional. Espero que compreendam minha limitação de expressar sentimentos e sintam-se participantes da minha trajetória.

RESUMO

Coelho, D. B. (2017). *Influência de processos cognitivos em respostas posturais automáticas a perturbações extrínsecas* (Tese de Doutorado). Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A capacidade de adaptação das respostas posturais automáticas de acordo com informações do contexto indica uma interação entre dois níveis de controle, em que o processamento cognitivo de alta ordem das características de uma perturbação iminente seria capaz de modular o controle postural em níveis inferiores do sistema sensoriomotor. Os estudos aqui propostos procuram responder quais informações sobre as características da perturbação são utilizadas pelo *central set* para modular as respostas posturais automáticas. A tarefa estudada consistiu na recuperação do equilíbrio da postura ereta em resposta à translação da base de suporte. No Experimento 1, foi avaliada a influência de dicas visuais sobre a amplitude de deslocamento da base de suporte em sequências repetitivas ou aleatórias de perturbação. No Experimento 2, a dica de amplitude de deslocamento foi dada por meio da sequência de perturbações, comparando-se tentativas repetidas em bloco, em sequência conhecida e em sequência aleatória. No Experimento 3, foi avaliado o efeito de incerteza tanto da amplitude da perturbação quanto do tempo de aplicação da perturbação. O Experimento 4 teve como propósito avaliar a interação entre dica temporal e tarefa cognitiva concomitante à recuperação do equilíbrio. Os resultados mostram que (a) informações prévias sobre a magnitude da perturbação postural parecem ser incapazes de modular respostas posturais automáticas; (b) modulação de respostas posturais automáticas a partir de uma sequência repetitiva de perturbações aparentemente está associada à adaptação do sistema sensoriomotor e não à participação de processamento cognitivo das características físicas da perturbação iminente; (c) previsibilidade temporal da perturbação postural induz uma otimização das respostas posturais automáticas; e (d) a execução de tarefa cognitiva no momento da perturbação inibe o ganho de estabilidade de respostas posturais automáticas conferido pela dica temporal. Como conclusão, parece haver uma limitação do processamento cognitivo em modular respostas posturais automáticas. Considerando-se que o conceito de *central set* expressa a noção de que processamento cognitivo de dicas contextuais é capaz de otimizar respostas posturais automáticas, nossos resultados sugerem a necessidade da revisão deste conceito amplamente empregado na literatura de controle postural.

Palavras-chave: Controle postural. Dicas contextuais. Dica temporal. Adaptação. Tarefa dual.

ABSTRACT

Coelho, D. B. (2017). *Influence of cognitive processes on automatic postural responses to extrinsic perturbations* (Tese de Doutorado). Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Adaptability of automatic postural responses according to context information indicates an interaction between two levels of control, in which the high-order cognitive processing of the perturbation characteristics would be able to modulate postural control in lower levels of the sensorimotor system. The studies proposed here intended to scrutinize what cues about the perturbation characteristics are used by the *central set* to modulate the automatic postural responses. The task studied consisted in the recovery of postural equilibrium in response to a posterior translation of the support base. In Experiment 1, it was evaluated the effect of precueing the displacement amplitude of the supporting base in repetitive or random perturbation sequences. In Experiment 2, precueing of the support base displacement was provided by the sequence of perturbations, comparing repetitive trials, known sequence and random sequence. In Experiment 3, we evaluated the effect of uncertainty about amplitude and time of perturbation. Experiment 4 aimed to evaluate the interaction of temporal precueing and a concurrent cognitive task on body equilibrium recovery. Results show that (a) previous information about perturbation magnitude seems to be unable to modulate automatic postural responses; (b) modulation of automatic postural responses from a repetitive sequence of perturbations is apparently associated with an adaptation of the sensorimotor system rather than to the participation of cognitive processing of the perturbation characteristics; (c) temporal predictability of the postural perturbation induces optimization of automatic postural responses; and (d) cognitive task execution at the time of the perturbation inhibits the gain of automatic postural responses stability provided by temporal precueing. As a conclusion, there seems to be a limitation of cognitive processing to modulate automatic postural responses. Considering that the concept of *central set* expresses the notion that cognitive processing of a contextual precue is able to optimize automatic postural responses, our results suggest the need for revision of this conceptualization widely used in the postural control literature.

Keywords: Postural control. Contextual cues. Timing cueing. Adaptation. Dual task.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVOS GERAIS	13
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1.	PARTICIPANTES	14
3.2.	TAREFA E EQUIPAMENTOS	14
3.3.	PROCEDIMENTOS	15
3.4.	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	15
3.5.	VARIÁVEIS DEPENDENTES	15
3.6.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	16
4.	EXPERIMENTO 1: DICA CONTEXTUAL SOBRE A MAGNITUDE DE UMA PERTURBAÇÃO EXTRÍNSECA INFLUENCIA RESPOSTAS POSTURAIS AUTOMÁTICAS?	18
4.1.	INTRODUÇÃO	18
4.2.	MÉTODOS	19
4.2.1.	Participantes	19
4.2.2.	Tarefa	20
4.2.3.	Delineamento experimental e procedimentos	20
4.2.4.	Análise estatística	21
4.3.	RESULTADOS	22
4.4.	DISCUSSÃO PARCIAL	27
5.	EXPERIMENTO 2: A ADAPTAÇÃO DE RESPOSTAS POSTURAIS AUTOMÁTICAS A PARTIR DE EXPERIÊNCIA PRÉVIA DEVE-SE AO CONHECIMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DA PERTURBAÇÃO?	31
5.1.	INTRODUÇÃO	31
5.2.	MÉTODOS	32
5.2.1.	Participantes	32
5.2.2.	Tarefa e equipamentos	32
5.2.3.	Delineamento experimental e procedimentos	33
5.2.4.	Variáveis dependentes	33
5.2.5.	Análise estatística	33
5.3.	RESULTADOS	34

5.3.1. Sentido Posterior	34
5.3.2. Sentido Anterior	37
5.4. DISCUSSÃO PARCIAL	40
6. EXPERIMENTO 3: DICA TEMPORAL OTIMIZA RESPOSTAS POSTURAIS AUTOMÁTICAS A PERTURBAÇÕES EXTRÍNSECAS	42
6.1. INTRODUÇÃO	42
6.2. MÉTODOS	44
6.2.1. Participantes	44
6.2.2. Delineamento experimental e procedimentos	44
6.2.3. Análise estatística	45
6.3. RESULTADOS	45
6.4. DISCUSSÃO PARCIAL	51
7. EXPERIMENTO 4: DICA TEMPORAL: ESTADO DE PRONTIDÃO OU NÍVEIS SUPERIORES DE CONTROLE?	53
7.1. INTRODUÇÃO	53
7.2. MÉTODOS	54
7.2.1. Participantes	54
7.2.2. Tarefa e equipamentos	54
7.2.3. Delineamento experimental e procedimentos	55
7.2.4. Análise estatística	55
7.3. RESULTADOS	55
7.4. DISCUSSÃO PARCIAL	60
8. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	66
ANEXO A	73
ANEXO B	79

1. INTRODUÇÃO

Há evidências de que as respostas posturais podem ser moduladas por processamento cognitivo (Fujio, Obata, Kawashima, & Nakazawa, 2016; Marlin, Mochizuki, Staines, & McIlroy, 2014; Mierau, Hulsdunker, & Struder, 2015; Smith, Jacobs, & Horak, 2012, 2014; Varghese et al., 2014). Essas evidências sugerem que várias regiões corticais e subcorticais, tais como as áreas frontais, o córtex cingulado anterior, área pré-motora, cerebelo e gânglios da base estão relacionados com processos atencionais e de preparação motora envolvidos com o controle postural. A análise de pacientes com lesão cerebral corroboram os achados da influência cortical no controle postural (Jacobs et al., 2008; Jacobs & Horak, 2007; Karnath, Ferber, & Dichgans, 2000). Em específico, um número crescente de estudos têm avaliado a demanda e influência de processos corticais na modulação de respostas posturais automáticas durante perturbações extrínsecas (Adkin, Campbell, Chua, & Carpenter, 2008; Adkin, Quant, Maki, & McIlroy, 2006; Mochizuki, Boe, Marlin, & McIlroy, 2010). A essa modulação das respostas posturais automáticas por centros superiores de controle, previamente à ação, tem-se dado o nome de *central set* (Horak, Diener, & Nashner, 1989; Horak & Nashner, 1986; Horak, Nutt, & Nashner, 1992; Prochazka, 1989). Através do *central set*, conceitua-se que comandos descendentes sejam enviados para os sistemas motores inferiores com o intuito de gerar respostas posturais automáticas mais eficientes de acordo com informações de contexto (para uma revisão, veja Jacobs & Horak, 2007). Uma questão advinda dessa definição é quais informações de contexto podem ser utilizadas pelo *central set* para melhorar as respostas posturais automáticas. Essa participação do *central set* em respostas posturais automáticas tem sido generalizada para diferentes informações do contexto, tais como dicas prévias sobre as características da perturbação postural (Chong, Horak, & Woollacott, 2000; Fujio et al., 2016; Jacobs et al., 2008; Mochizuki et al., 2010; Mochizuki, Sibley, Esposito, Camilleri, & McIlroy, 2008; Silva et al., 2015; Smith et al., 2012, 2014), experiência prévia com a perturbação postural (Horak et al., 1989; Mierau et al., 2015; Papegaaij et al., 2012), restrição imposta por uma tarefa manual realizada concomitantemente à manutenção do equilíbrio postural (de Lima-Pardini et al., 2014; de Lima-Pardini et al., 2012; de Lima, de Azevedo Neto, & Teixeira, 2010), condições posturais iniciais (de Lima-Pardini et al., 2012), instrução (Smith et al., 2014) e estado emocional (Maki & McIlroy, 2005).

Especificamente para as características da perturbação postural, a influência do *central set* em respostas posturais automáticas tem sido investigada em estudos que avaliaram o efeito da dica sobre o momento (Adkin et al., 2008; Fujio et al., 2016; McChesney, Sveistrup, &

Woollacott, 1996; Mochizuki et al., 2008; Silva et al., 2015), direção (Badke, Duncan, & Di Fabio, 1987; Diener, Horak, Stelmach, Guschlbauer, & Dichgans, 1991; Silva et al., 2015) e magnitude (Diener et al., 1991; Horak et al., 1989; Maki & Whitelaw, 1993; Smith et al., 2012) da perturbação. Ao oferecer dicas sobre amplitude e direção da perturbação, Diener et al. (1991) mostraram não haver o efeito da dica na modificação do equilíbrio postural. Em seus resultados, valores de deslocamento do centro de pressão (CP) e as latências de respostas musculares não foram alterados quando as características da perturbação eram conhecidas previamente. Esses resultados foram corroborados pelo estudo de Maki e Whitelaw (1993) e sugerem que o *central set* não é capaz de modular respostas posturais automáticas a partir de dica prévia sobre a magnitude de perturbação. Em contradição aos resultados mostrando efeito nulo da dica em respostas posturais automáticas, Smith et al. (2012) mostraram que a dica pode desempenhar um papel importante em respostas posturais. Seus resultados mostraram uma adaptação das respostas posturais, através da mudança da taxa de inclinação do deslocamento do CP após a perturbação, quando do fornecimento de dicas sobre a magnitude da perturbação postural. A menor inclinação do CP para a condição com dica em comparação com a condição sem dica refletiria uma resposta apropriada de maior eficiência. No entanto, os resultados desses estudos podem ser devidos a outros fatores que não a participação do *central set* na modulação de respostas posturais automáticas a partir da informação sobre a magnitude da perturbação. Nos estudos de Diener (1991) e Maki (1993), não foram controlados os ajustes posturais antecipatórios, o que pode ter influenciado o comportamento das respostas posturais automáticas. No estudo de Smith et al. (2012), os participantes recebiam dica prévia combinada sobre o momento e magnitude da perturbação. A partir desses delineamentos experimentais, não é possível concluir sobre a efetiva participação do *central set* nas respostas posturais automáticas utilizando somente a informação sobre a magnitude de perturbação. Outros estudos apresentam conclusões sobre a participação do *central set* na modulação das respostas posturais automáticas, mas manipularam duas informações contextuais concomitantes. No estudo de Jacobs et al. (2008), por exemplo, os resultados da atividade cortical e das respostas posturais não podem ser atribuídos somente à dica sobre o tempo da perturbação, uma vez que os participantes faziam uma sequência repetitiva da mesma perturbação. Isto é, o efeito sobre respostas posturais neste caso pode ter sido devido à adaptação do sistema motor à perturbação com a mesma característica ao invés de caracterizar uma participação cognitiva no sistema de controle postural. Os resultados até aqui apresentados mostram dados comportamentais controversos das respostas posturais automáticas desencadeadas por informações do contexto de acordo

com as características das perturbações posturais, sendo contraditórios para apontar uma participação do *central set* nessas diferentes informações contextuais. Portanto, a participação do *central set* nas respostas posturais automáticas carece de uma melhor definição, especificando quais informações sobre as características da perturbação podem ser utilizadas para gerar respostas posturais automáticas mais eficientes.

Os estudos aqui propostos procuram responder quais informações sobre as características da perturbação são utilizadas pelo *central set* para modular as respostas posturais automáticas. A tarefa estudada consistiu na recuperação do equilíbrio postural em resposta a uma translação da base de suporte. No Experimento 1, foi avaliada a influência de dicas sobre a amplitude de deslocamento da base de suporte em combinação com sequências repetitivas ou aleatórias de perturbação. No Experimento 2, foi avaliado o efeito da eliminação da incerteza de características da perturbação sobre a produção de respostas posturais automáticas por meio da sequência de tentativas. No Experimento 3, foi avaliado o efeito da eliminação de incerteza tanto da amplitude da perturbação quanto do tempo de aplicação da perturbação. O Experimento 4 teve como propósito avaliar se o efeito da dica temporal sofre modulação quando combinada com tarefa cognitiva concomitante à recuperação do equilíbrio. Os resultados destes experimentos podem conduzir a uma maior compreensão da participação de processamento cognitivo na modulação de respostas posturais automáticas a perturbações extrínsecas, levando como consequência a uma melhor definição do conceito de *central set*.

2. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo geral deste projeto é avaliar a influência de processos cognitivos em respostas posturais automáticas durante perturbações extrínsecas em função de:

- a. previsibilidade da amplitude de perturbação; e
- b. previsibilidade do instante de perturbação; e
- c. adaptação por tentativas prévias; e
- d. realização de tarefa cognitiva durante a perturbação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentados os tópicos referentes aos materiais e métodos que foram comuns entre os experimentos.

3.1. PARTICIPANTES

Os participantes foram testados sem queixas de dor ou outras condições motoras ou sensoriais que pudessem limitar a independência na postura bípede e recuperação do equilíbrio a uma perturbação. Eles assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. Os procedimentos foram aprovados pelo comitê de ética institucional.

3.2. TAREFA E EQUIPAMENTOS

Os participantes mantinham os braços cruzados, pés descalços e distanciados à largura do quadril, olhos abertos e fixos em um monitor de 20 polegadas disposto a sua frente. A tarefa experimental consistiu em recuperar o equilíbrio estável da postura ortostática em resposta a uma translação da base de suporte. A translação da base de suporte era executada por meio de guias lineares e fuso de esfera acionado por um motor controlado por um software escrito em LabView (National Instruments), com velocidade máxima de 20 cm/s e pico de aceleração de 100 cm/s².

Uma plataforma de força (AMTI OR6-7) foi empregada para mensuração do CP. Um sistema de análise cinemática composto por quatro câmeras Vicon (modelo T10) forneceu coordenadas tridimensionais de marcadores esféricos reflexivos de 14 mm de diâmetro. A eletromiografia foi obtida através de eletrodos de superfície wireless composto por quatro contatos de prata de 5x1 mm posicionados a 10 mm de distância entre si (Delsys Trigno Wireless System). Os sinais da plataforma de força, cinemática e EMG foram sincronizados por meio do sistema Vicon Nexus. Um pulso de tensão no início da perturbação foi coletado por meio do sistema Vicon Nexus e utilizado para posterior sincronização entre a translação da plataforma e os demais equipamentos.

3.3. PROCEDIMENTOS

A posição dos pés era marcada com uma fita com o intuito de manter a mesma posição durante todo o experimento. A pele da região analisada era raspada para retirada de pelos, esfoliada e limpa anteriormente à fixação dos eletrodos. Eletrodos de superfície eram fixados do lado direito do corpo para registro da ativação muscular, segundo o posicionamento sugerido pelo projeto *Surface EMG for a Non-invasive Assessment of Muscles* (Hermens & Freriks, 1999). Marcadores esféricos reflexivos eram colocados em pontos anatômicos na articulação metatarsofalangeal do quinto dedo, maléolo lateral, região lateral da articulação dos joelhos, trocanter maior e região próxima ao eixo de rotação do ombro no lado direito do corpo dos participantes.

Os participantes eram instruídos a não realizar ajustes antecipatórios à perturbação postural e a recuperar o equilíbrio sem dar um passo em resposta à perturbação. Antes de cada tentativa, a posição do CP do participante na plataforma era verificada, evitando ajustes antecipatórios. O CP devia estar dentro de uma área alvo pré-determinada, indicando uma posição neutra e uma equilibrada do participante. Era fornecido intervalo de 10 s entre as tentativas dentro de cada condição, após o retorno lento da plataforma a sua posição inicial.

3.4. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A ativação muscular foi mensurada a uma frequência de amostragem de 2000 Hz, com sinais amplificados a um ganho de 1000, filtrados com Butterworth passa-banda de 20 a 400 Hz. Posteriormente, os dados foram retificados e filtrados com Butterworth passa-baixa de 10 Hz (envoltório do sinal eletromiográfico). A posição do CP e os dados cinemáticos foram mensurados a uma frequência de amostragem de 200 Hz e filtrados com Butterworth passa-baixa de 10 Hz. A determinação do centro de massa (CM) no plano sagital foi realizada a partir dos marcadores cinemáticos unilaterais, assumindo-se simetria entre os deslocamentos dos dois lados do corpo, usando-se o modelo antropométrico proposto por Winter (1991). O processamento dos dados foi realizado por meio do software Matlab (MathWorks).

3.5. VARIÁVEIS DEPENDENTES

As seguintes variáveis dependentes foram analisadas:

1. Amplitude de deslocamento do CP e do CM. Dada pela diferença entre a amplitude máxima do primeiro pico do deslocamento do CP e do CM após a perturbação e a média da posição no eixo anteroposterior nos 200 ms prévios à perturbação.
2. Amplitude de velocidade do CP e do CM. Dada pela diferença entre a amplitude máxima do primeiro pico da velocidade do CP e do CM após a perturbação e a média da posição no eixo anteroposterior nos 200 ms prévios à perturbação.
3. Estabilidade da resposta postural automática (ERPA). Calculada pela integral da diferença (normalizada pela altura de cada participante) entre o deslocamento do CP e CM durante 150 ms, iniciando 50 ms após a latência do músculo agonista. Essa variável fornece uma medida de margem de estabilidade, mostrando a força gerada pela resposta postural para contrabalancear as forças que movem o CM (Winter, Patla, Prince, Ishac, & Gielo-Perczak, 1998). Valores altos são interpretados como estabilidade postural aumentada.
4. Amplitude de deslocamento das articulações do tornozelo e do quadril. Dado pela diferença entre a amplitude máxima do primeiro pico das articulações do tornozelo e do quadril após a perturbação e a média da posição angular nos 200 ms prévios à perturbação. Valores baixos de amplitude serão interpretados como benéficos para o objetivo da tarefa (evitar o balanço postural).
5. Latência de ativação muscular. Identificada como a primeira atividade do envelope do sinal eletromiográfico sustentada (em um intervalo maior do que 25 ms) acima de 3 desvios-padrão da atividade basal (quantificada como a média dos primeiros 200 ms do início da coleta de dados).
6. Magnitude de ativação muscular. Definida pelo valor quadrático médio do envoltório do sinal eletromiográfico entre 0 e 75 ms após o início da atividade muscular (Horak, Frank, & Nutt, 1996). Para a normalização da magnitude, identificou-se o valor máximo de ativação muscular entre as tentativas de todas as condições para cada sujeito. Posteriormente dividiu-se o valor da magnitude de cada tentativa por este máximo valor.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As exigências paramétricas de normalidade foram verificadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Comparações *post hoc* foram realizadas por meio da prova de Duncan. São relatadas apenas diferenças significantes ($p \leq 0,05$), acompanhadas pelos respectivos

valores de tamanho do efeito, dado por eta parcial quadrático (η_p^2)¹. As análises foram feitas usando-se o software Statistica (StatSoft).

¹ Os valores dos testes estatísticos estão apresentados no Anexo A

4. EXPERIMENTO 1: DICA CONTEXTUAL SOBRE A MAGNITUDE DE UMA PERTURBAÇÃO EXTRÍNSECA INFLUENCIA RESPOSTAS POSTURAIS AUTOMÁTICAS?

4.1. INTRODUÇÃO

Apesar de a conceituação de que dicas sobre perturbações posturais iminentes favorecem a geração de respostas posturais automáticas estar estabelecida na literatura (Brooks, 1984; Horak et al., 1989; Horak & Nashner, 1986; Horak et al., 1992; Prochazka, 1989), o suporte a esta proposição é controverso. Ao perturbar a postura ereta por rotação da base de suporte, Diener et al. (1991) encontraram que dicas prévias visuais sobre direção e/ou amplitude de deslocamento da base não afetaram o deslocamento do CP ou o padrão de respostas musculares das pernas para a recuperação do equilíbrio corporal. De forma semelhante, em estudo mais recente, Silva et al. (2015) observaram que dica prévia informando a direção de rotação da base de suporte não modulou respostas musculares nas pernas tanto em indivíduos jovens quanto idosos. Outros estudos têm igualmente falhado em mostrar o efeito de dicas contextuais sobre uma perturbação iminente na geração de respostas posturais automáticas para recuperação do equilíbrio corporal (Gilles, Wing, & Kirker, 1999; Maki & Whitelaw, 1993; McChesney et al., 1996). Uma exceção aos resultados falhando em mostrar o efeito de dicas contextuais na produção de respostas posturais foi encontrada em um estudo no qual os participantes recebiam dica a respeito da amplitude de translação posterior da base de suporte por meio da sequência de tentativas (Smith et al., 2012). Os participantes foram submetidos a duas condições de certeza sobre a característica da perturbação postural, compostas por sequências em bloco de baixa ou de alta magnitude de perturbação, e uma condição de incerteza dada por uma sequência aleatória de perturbações de baixa ou alta magnitude. Os autores hipotetizaram que o conhecimento da magnitude da perturbação postural, dada pelas condições de certeza das características da perturbação, ajustaria o *central set* para a geração de respostas posturais mais bem adaptadas. Os resultados mostraram que a condição de certeza sobre a magnitude da perturbação postural levou à redução da taxa de deslocamento do CP após a perturbação. A menor taxa de deslocamento do CP para a condição de certeza sobre as características da perturbação em comparação com a condição de incerteza refletiria uma resposta postural mais efetiva em minimizar a oscilação corporal. A partir desses resultados, os autores sugerem uma influência do processamento cognitivo, para minimizar o balanço postural através da modulação das respostas posturais

automáticas, quando a informação sobre a magnitude de perturbação era fornecida previamente. No entanto, nas condições de certeza sobre as características da perturbação, além do conhecimento prévio da amplitude de deslocamento, os participantes realizaram perturbações repetitivas de mesma amplitude. Há evidências mostrando que indivíduos são capazes de modular respostas posturais automáticas em uma sequência de tentativas de magnitude de perturbação repetitiva (Beckley, Bloem, Remler, Roos, & Van Dijk, 1991; Chong et al., 2000; Dijkstra, Horak, Kamsma, & Peterson, 2015; Fujiwara, Kiyota, & Maeda, 2011; Horak et al., 1989; Horak & Nashner, 1986; Marlin et al., 2014; Mierau et al., 2015; Welch & Ting, 2014). Mierau et al. (2015), por exemplo, ao submeterem os participantes a uma sequência repetitiva de perturbações, observaram adaptação das respostas posturais representada por menores amplitudes de oscilação do CP ao longo da sequência de perturbações. Assim, a modulação das respostas posturais observadas no estudo de Smith et al. (2012) pode ter sido devida à adaptação a uma mesma perturbação ao invés de caracterizar uma participação cognitiva no sistema de controle postural, dada pela redução de incerteza sobre a magnitude de perturbação.

Para diferenciar os efeitos de certeza sobre a magnitude de perturbação postural e a adaptação à perturbação por tentativas prévias, foi realizado este experimento manipulando separadamente estas variáveis. Incerteza sobre a magnitude de perturbação da postura ereta foi manipulada por meio de dica visual indicando a amplitude de deslocamento da base de suporte, enquanto que a sequência de perturbação foi analisada por meio da comparação entre séries de tentativas repetidas versus sequência aleatorizada de amplitudes de deslocamento da base de suporte. Foi hipotetizado que respostas posturais automáticas não são beneficiadas por dica sobre a magnitude de uma perturbação postural.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Participantes

Participaram deste experimento 12 jovens saudáveis (7 mulheres), idade entre 19 e 35 anos ($M = 23,83$ anos, $DP = 6,26$).

4.2.2. Tarefa

Os participantes não tinham conhecimento sobre o momento da perturbação. A base de suporte era movida em três amplitudes de perturbação: 5, 10 e 15 cm.

4.2.3. Delineamento experimental e procedimentos

Dois fatores foram manipulados: dica sobre a amplitude de perturbação e sequência de tentativas. A manipulação de dica sobre a amplitude de perturbação foi realizada através das condições em que o participante recebia uma dica prévia indicando a amplitude de perturbação em comparação às condições em que o participante não tinha nenhuma informação sobre a amplitude de perturbação. As dicas sobre a amplitude da perturbação eram dadas por meio de setas verticais pretas apresentadas em um monitor com tela em fundo branco. A diferença entre as amplitudes de perturbação de 5, 10 ou 15 cm, eram caracterizadas pelo comprimento da seta apresentada no monitor, 6, 12, 18 cm, respectivamente, mantendo a largura constante de 2 cm. Nas condições em que houve dica sobre a amplitude da perturbação, os participantes prestavam atenção a uma seta apresentada previamente à perturbação na tela do monitor por 2 s indicando a amplitude da translação posterior da plataforma de cada tentativa. Imediatamente após o desaparecimento da seta, na tela do monitor aparecia um círculo preto de 3 cm de diâmetro. Na condição sem dica, os participantes não tinham informação sobre a amplitude da perturbação. Nessa condição, os participantes observavam um sinal preparatório na forma de quadrado de 3 cm de lado preto por 2 s projetado na tela do monitor e após esse intervalo, o quadrado era substituído pelo círculo preto. Nas duas condições, a partir do aparecimento do círculo preto, de modo imprevisível, em um intervalo entre 1000 e 2000 ms, a plataforma era transladada para trás. O fator sequência foi manipulado em condições nas quais as amplitudes de perturbação eram feitas de forma aleatória ou repetitiva. Para a sequência repetitiva de perturbação, uma única amplitude de perturbação era empregada em um bloco de tentativas. Para a sequência aleatória de perturbação, as tentativas dentro da condição eram pseudorandomizadas, com a restrição de não haver mais do que duas tentativas consecutivas com a mesma amplitude. Portanto, a combinação dos fatores dica e sequência resultaram em quatro condições experimentais.

Antes de iniciar o experimento, eram fornecidas instruções, explicando o significado da dica prévia e da sequência da perturbação. No início de cada condição experimental, as

instruções eram reforçadas, assim como era solicitada atenção do participante à dica visual. As condições experimentais foram contrabalanceadas, com metade dos participantes iniciando com a condição aleatória. Dentro das condições aleatória e repetitiva, as sequências de condições de fornecimento de dica prévia foram randomizadas.

Para as tentativas na situação de sequência aleatória, os participantes faziam 15 tentativas (5 em cada amplitude de perturbação) para familiarização com fornecimento de dica prévia. Em seguida, os participantes realizavam as duas condições aleatórias, com ou sem o fornecimento de dica sobre a perturbação. Para as condições de sequência repetitiva de perturbação, os participantes realizavam 5 tentativas de familiarização em cada amplitude de perturbação com fornecimento de dica prévia sobre a amplitude da perturbação. Posteriormente, realizavam as tentativas válidas para registro nas duas condições de dica. Em cada condição experimental, o participante realizava 3 tentativas para cada amplitude de perturbação.

Eletrodos de superfície eram fixados no músculo gastrocnêmio medial (GM), bíceps femoral (BF) e eretor da espinha (longuíssimo do dorso – EE). Eram fornecidos intervalos de 5 min. entre as condições experimentais de sequência aleatória e repetitiva. Durante esse período, os participantes permaneciam sentados.

4.2.4. Análise estatística

Serão apresentados somente os resultados da amplitude de deslocamento da base de suporte de 5 cm, com as demais amplitudes sendo utilizadas somente para randomização². Para essa amplitude, o tempo até atingir a máxima amplitude de deslocamento da plataforma é menor (450 ms) em comparação as amplitudes de 10 e 15 cm (650 e 950 ms, respectivamente), estando assim mais claramente relacionada com o componente primário da resposta postural. Foi utilizado um modelo de análise de variância de dois fatores, 2 (dica: com x sem o fornecimento de dica prévia sobre a amplitude de perturbação) x 2 (sequência: aleatória x repetitiva) com medidas repetidas nos dois fatores.

² A análise estatística das amplitudes de 10 e 15 cm encontra-se no Anexo B.

4.3. RESULTADOS

A Figura 1 mostra curvas representativas em resposta a uma translação de 5 cm da base de suporte, representando o deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, do deslocamento do CM na direção anteroposterior (C) e da ativação dos músculos GM (D), BF (E) e EE (F) de um participante para cada uma das quatro condições experimentais resultantes da combinação entre dica e sequência.

Figura 1. Curvas representativas de um participante em função da sequência, aleatória (AsD,

sem dica, linha fina contínua; AcD, com dica, linha fina tracejada) e repetitiva (RsD, sem dica, linha espessa contínua; RcD, com dica, linha espessa tracejada), apresentando o deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, do deslocamento do CM na direção anteroposterior (C) e da ativação dos músculos GM (D), BF (E) e EE (F) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. O início da translação da plataforma de suporte está representado pelas linhas tracejadas verticais.

As análises de amplitude de deslocamento e de velocidade de CP e CM indicaram efeito principal significativo de sequência, devido a menores valores para a sequência repetitiva do que a aleatória. Amplitude de deslocamento de CP, $F(1, 11) = 6,71$, $p = 0,025$, $\eta_p^2 = 0,38$; sequência repetitiva ($M = 7,09$ cm, $EP = 0,53$) x sequência aleatória ($M = 7,90$ cm, $EP = 0,44$) (Figura 2A). Amplitude de velocidade de CP, $F(1, 11) = 6,89$, $p = 0,024$, $\eta_p^2 = 0,39$; sequência repetitiva ($M = 52,92$ cm/s, $EP = 6,79$) x sequência aleatória ($M = 61,49$ cm/s, $EP = 6,01$) (Figura 2B). Amplitude de deslocamento de CM, $F(1, 11) = 6,44$, $p = 0,028$, $\eta_p^2 = 0,37$; sequência repetitiva ($M = 5,49$ cm, $EP = 0,49$) x sequência aleatória ($M = 6,43$ cm, $EP = 0,42$) (Figura 2C). Amplitude de velocidade de CM, $F(1, 11) = 14,54$, $p = 0,003$, $\eta_p^2 = 0,57$; sequência repetitiva ($M = 9,88$ cm/s, $EP = 1,20$) x sequência aleatória ($M = 12,35$ cm/s, $EP = 1,15$) (Figura 2D).

Figura 2. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude de deslocamento de CP (A) e CM (C), e pico de velocidade de CP (B) e CM (D) na direção anteroposterior em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. Efeitos principais significantes de sequência são indicados por asteriscos.

A Figura 3A mostra uma curva representativa do intervalo de referência para cálculo da ERPA. A análise mostrou efeito principal significativo de sequência, $F(1, 11) = 4,98$, $p = 0,047$, $\eta_p^2 = 0,32$, devido a maiores valores para a sequência repetitiva ($M = 3,54$, $EP = 0,36$) em comparação à condição aleatória ($M = 3,12$, $EP = 0,28$) (Figura 3B).

Figura 3. (A) Curva representativa demonstrando o deslocamento do centro de pressão (CP, linha fina) e do centro de massa (CM, linha espessa) de um participante na condição de sequência repetitiva sem dica. A área hachurada representa a região da curva CP-CM utilizada para o cálculo da margem de estabilidade. (B) Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas posturais automáticas em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. Efeito principal significativo de sequência é indicado por asterisco.

A análise do deslocamento articular do quadril apontou efeito principal significativo de sequência, $F(1, 11) = 10,72$, $p = 0,007$, $\eta_p^2 = 0,49$, devido a menores valores para a sequência repetitiva ($M = 2,91$ graus, $EP = 0,37$) em comparação à condição aleatória ($M = 3,70$ graus, $EP = 0,48$) (Figura 4A). A análise do deslocamento articular do tornozelo não mostrou efeito significativo, com valores de $F < 1,76$ e $p > 0,2$ (Figura 4B).

Figura 4. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude de rotação das articulações do quadril (A) e tornozelo (B) em função da condição

de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. Efeito principal significativo de sequência é indicado por asterisco.

A análise de latência de ativação muscular indicou efeito principal significativo de sequência para os músculos GM, $F(1, 11) = 7,34$, $p = 0,020$, $\eta_p^2 = 0,40$ (Figura 5A), e EE, $F(1, 11) = 4,32$, $p = 0,05$, $\eta_p^2 = 0,28$ (Figura 5E), porém não para BF, $F < 2,19$ e $p > 0,17$ (Figura 5C). O efeito de sequência no músculo GM foi devido a maiores valores para a sequência repetitiva ($M = 103,45$ ms, $EP = 7,26$) em comparação à sequência aleatória ($M = 99,42$ ms, $EP = 8,15$), enquanto que para o músculo EE foram encontrados valores menores para a sequência repetitiva ($M = 171,43$ ms, $EP = 10,72$) do que para a sequência aleatória ($M = 189,09$ ms, $EP = 11,49$).

A análise da magnitude de ativação muscular indicou efeito principal significativo de sequência para o músculo GM, $F(1, 11) = 6,75$, $p = 0,025$, $\eta_p^2 = 0,38$ (Figura 5B), enquanto que não foram encontrados efeitos significantes para os músculos BF, $F < 0,84$ e $p > 0,38$ (Figura 5D), e EE, $F < 0,62$ e $p > 0,40$ (Figura 5F). O efeito significativo encontrado para o músculo GM foi devido a menores valores na sequência repetitiva ($M = 0,55$, $EP = 0,07$) em comparação à sequência aleatória ($M = 0,68$, $EP = 0,07$).

Figura 5. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para latência e magnitude (normalizada) de ativação, respectivamente, dos músculos gastrocnêmio medial (GM: painéis A, B), bíceps femoral (BF: painéis C, D) e eretor da espinha (EE: painéis E, F) em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. Efeitos principais significantes de sequência são indicados por asteriscos.

4.4. DISCUSSÃO PARCIAL

Este experimento teve como objetivo diferenciar os efeitos de certeza sobre a amplitude de deslocamento da base de suporte, manipulada por meio de dicas visuais, e de adaptação por meio de tentativas repetidas com a mesma perturbação em respostas posturais

automáticas ao deslocamento da base de suporte não-antecipado temporalmente. Nossos resultados mostraram que a sequência repetitiva de perturbações induziu maior ERPA, menores valores de amplitude de deslocamento e de velocidade máxima de CP e CM e de amplitude de rotação da articulação do quadril em comparação à condição de sequência aleatória. Para as variáveis associadas à ativação muscular, a sequência repetitiva induziu maiores latências de ativação do músculo GM e menores latências para o músculo EE, assim como menor magnitude de ativação do músculo GM, em comparação à sequência aleatória. Não foi encontrado efeito de certeza da magnitude de perturbação postural por dica visual em nenhuma das variáveis analisadas. Os resultados deste experimento sugerem que as respostas posturais automáticas foram beneficiadas pela exposição à perturbações prévias semelhantes, enquanto que a certeza sobre a magnitude de perturbação por dica visual não afeta sua geração.

Os estudos que analisaram o efeito do processamento cognitivo da magnitude da perturbação sobre respostas posturais automáticas apresentam questões metodológicas que dificultam sua interpretação. No estudo de Smith (2012), ao exporem os participantes a tentativas repetitivas de translação da base de suporte, as respostas de ativação cortical e comportamentais foram avaliadas. Uma modificação da atividade cortical foi encontrada quando a dica sobre a magnitude da perturbação era fornecida. Nos resultados comportamentais, em condições com dica, os autores encontraram um menor valor para a taxa de inclinação do deslocamento do CP em comparação as condições sem dica. Os autores interpretaram que a atividade cortical prévia associada a uma menor oscilação postural verificada pelo CP refletiria a participação do processamento cognitivo para minimizar a perturbação postural a partir de dica sobre a magnitude da perturbação. No entanto, esses resultados não foram observados em nosso experimento. A análise dos resultados indicou que a certeza sobre a magnitude da perturbação por meio de dica visual não afetou a geração de respostas posturais automáticas. Nossos resultados mostram que a dica não modulou tanto respostas locais, como a atividade de um músculo ou deslocamento de uma articulação, quanto globais, como o deslocamento do CM e CP. A ausência de efeito na latência de ativação muscular indica que a redução de incerteza propiciada por dica sobre a magnitude da perturbação não induz uma ativação mais precoce da resposta. Dessa forma, nossos resultados sugerem que o processamento cognitivo decorrente da dica sobre a magnitude da perturbação não alterou a latência de resposta neuromuscular. Como a magnitude de resposta muscular calculada representa a atividade muscular a partir de um controle por *feedforward* (Horak et al., 1996; Papegaaij et al., 2012), a ausência de efeito de dica na magnitude de ativação

muscular sugere que não houve modulação na resposta a partir de dica, sendo adotado um valor padrão entre condições semelhantes de perturbação (Cohen & Rosenbaum, 2004, 2011). Essa resposta postural padrão pode ser observada pelos valores de deslocamento e velocidade do CM e CP terem se mantido inalterados com o oferecimento da dica em relação às tentativas em que ela não era oferecida. Estes resultados corroboram achados de estudos indicando que o prévio conhecimento das características de uma perturbação postural iminente é incapaz de pré-ativar o sistema de controle postural para diminuir a latência de ativação muscular, a oscilação do CM ou modular as estratégias e sinergias musculares (Diener et al., 1991; Silva et al., 2015). Pelo fato de a dica ser interpretada e processada em níveis superiores de controle, nossos resultados sugerem um papel minimizado do processamento cognitivo, quando no fornecimento de dica sobre a magnitude de perturbação, em favor de respostas posturais mais automatizadas (Grillner, Hellgren, Menard, Saitoh, & Wikstrom, 2005). Desta forma, nossos resultados sugerem que o *central set* não modula respostas posturais automáticas a partir de processamento no nível cognitivo dica sobre a magnitude da perturbação.

Os resultados do presente estudo mostraram que, durante a sequência repetitiva, foi observada maior latência de ativação do músculo GM e menor latência de ativação do músculo EE. Esses resultados sugerem que uma possível modulação das respostas posturais, a partir de uma sequência repetitiva de perturbação, ocorre a partir de modificações no *timing* de ativação muscular, reduzindo o intervalo entre as latências dos músculos envolvidos na recuperação do equilíbrio. Hipotetizamos que a menor diferença de ativação dos músculos GM e EE encontrada durante a sequência repetitiva aumenta a efetividade da sinergia muscular para restabelecer o equilíbrio. Essa diferença do *timing* de ativação intermuscular observada em nosso estudo sugere que as modulações das respostas posturais a partir da sequência repetitiva não podem ser explicadas por um fenômeno de habituação (Rankin et al., 2009). É possível que a menor ativação do músculo GM encontrado para a sequência repetitiva seja consequência da otimização das respostas posturais a partir da exposição a perturbações de mesma característica.

A otimização das respostas posturais, a partir de tentativas de mesma magnitude, pode ser explicada por uma adaptação do sistema sensoriomotor, em que a magnitude do erro da resposta postural experienciada em tentativas prévias é utilizada para modular a resposta nas tentativas subsequentes (Mierau et al., 2015; Quant, Adkin, Staines, & McIlroy, 2004; Welch & Ting, 2014). Pode-se supor que a magnitude do erro seja utilizada para atualizar o *central set* (Welch & Ting, 2014). Modificações do *central set* poderiam modular a resposta

sensoriomotora (Welch & Ting, 2014), com uma graduação apropriada dos ganhos de feedback postural. Essa graduação dos ganhos de feedback tem sido proposta ser consequência de uma melhora no processamento da informação sensorial e modificações nos parâmetros de rigidez e viscosidade muscular (Kim, Horak, Carlson-Kuhta, & Park, 2009; Schuurmans, van der Helm, & Schouten, 2011), o que seria responsável pela geração apropriada de torque nas articulações e controle do balanço postural. A rede neural envolvida nesta adaptação do sistema sensoriomotor ainda é alvo de questionamentos. Evidências desses componentes neurais podem ser encontradas a partir de indivíduos que apresentam lesão cerebelar. Existem evidências de que esses indivíduos são incapazes de modular suas respostas posturais a partir de magnitudes repetitivas de perturbação (Horak & Diener, 1994; Timmann & Horak, 1997). Embora pacientes com lesão cerebelar possam prever a característica da perturbação, eles não usam essa previsão para modular os ganhos da resposta postural (Timmann & Horak, 1997). Dada suas conexões com o córtex motor primário, o cerebelo poderia modular os ganhos de feedback (Crevecoeur & Scott, 2013) e, portanto, modificar a magnitude e coordenação das respostas posturais baseada na prática (Earhart et al., 2002; Thach & Bastian, 2004).

Como conclusão, os resultados aqui apresentados indicam que respostas posturais automáticas a uma perturbação são moduladas por adaptação do sistema sensoriomotor a tentativas repetidas de mesma magnitude, porém não por dica eliminando a incerteza sobre a magnitude de perturbação. Portanto, nossos resultados evidenciam a necessidade de um ajuste no conceito de *central set*, delimitando quais informações sobre as características de uma perturbação postural poderiam ser utilizadas para modular respostas posturais automáticas.

5. EXPERIMENTO 2: A ADAPTAÇÃO DE RESPOSTAS POSTURAIAS AUTOMÁTICAS A PARTIR DE EXPERIÊNCIA PRÉVIA DEVE-SE AO CONHECIMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DA PERTURBAÇÃO?

5.1. INTRODUÇÃO

Há evidências de que o processamento cognitivo modula os ajustes posturais antecipatórios (APA) em resposta a uma perturbação (Habib Perez, Singer, & Mochizuki, 2016) e movimentos voluntários (Laessoe, Grarup, & Bangshaab, 2016). Habib Perez et al. (2016) analisaram o controle postural prévio a uma perturbação em condições em que o indivíduo tinha ou não o conhecimento sobre a magnitude da perturbação. Seus resultados mostram uma maior correlação da oscilação entre os membros na condição de certeza sobre a magnitude da perturbação, o que significaria uma modulação decorrente do processamento superior. Já em movimentos voluntários, Laessoe et al. (2016) analisaram a performance motora e o APA na tarefa de tempo de reação de toque manual. Sinais luminosos eram posicionados ao redor do indivíduo e ele deveria exceder seus limites de estabilidade para tocar os sinais com a mão. Dicas poderiam ser oferecidas aos participantes permitindo um melhor ajuste antecipatório e planejamento do movimento. Os autores observaram que, quando dicas eram oferecidas, os participantes conseguiam planejar melhor o movimento e utilizavam de APA para melhorar sua performance. No entanto, a participação de processamento cognitivo em respostas posturais automáticas utilizando dicas contextuais ainda é controversa.

No intuito de verificar as mudanças corticais na adaptação do controle postural com a experiência prévia a uma perturbação, Mierau (2015) mensurou a atividade eletroencefalográfica em resposta a dez perturbações de mesma magnitude. Os autores observaram uma diminuição da oscilação do CP ao longo das tentativas. Essa adaptação das respostas posturais foi associada a um importante papel do córtex frontal na resposta a perturbação. Esses achados sugerem a participação de processos de alta ordem na adaptação das respostas posturais a partir da experiência prévia (Adkin et al., 2008; Mierau et al., 2015). A partir desses resultados, é possível que o processamento cognitivo module as respostas posturais automáticas a partir da exposição prévia como o resultado do conhecimento das características da perturbação. No entanto, não há evidências da modulação das respostas posturais automáticas a partir do conhecimento da magnitude e direção da perturbação (vide Experimento 1; Diener et al., 1991; Gilles et al., 1999; Maki & Whitelaw, 1993; McChesney

et al., 1996; Silva et al., 2015). Os resultados do Experimento 1 mostram que uma dica visual eliminando a incerteza sobre a magnitude de perturbação não modula as respostas posturais automáticas. Não foi encontrado efeito de certeza da magnitude de perturbação postural por dica visual tanto nas respostas posturais quanto em respostas neuromusculares. Portanto, uma questão que permanece é se a adaptação das respostas posturais automáticas a partir de experiência prévia deve-se ao conhecimento cognitivo das características da perturbação. Esse experimento teve como objetivo analisar se a modulação das respostas posturais automáticas a partir da sequência repetitiva deve-se ao conhecimento cognitivo das características a perturbação. Para isso, os participantes foram submetidos a três condições de sequência de apresentação da perturbação postural: (1) sequência aleatória; (2) sequência repetitiva, combinando informações sobre o contexto atual de perturbação com a adaptação intertentativas; e (3) sequência seriada, em que, no plano cognitivo, essa condição seria equivalente à condição de sequência repetitiva, mas não proporciona adaptação intertentativas em nível inferior de controle. A partir dos resultados do Experimento 1, as seguintes hipóteses foram formuladas: (1) respostas posturais automáticas não são beneficiadas por informações sobre a direção de uma perturbação postural dada por sequência seriada; e (2) respostas posturais automáticas são beneficiadas por sequência repetitiva de direção de perturbação postural em comparação a séries de tentativas em sequência aleatória e seriada.

5.2. MÉTODOS

5.2.1. Participantes

Participaram deste experimento 12 jovens saudáveis (8 homens), idade entre 18 e 31 anos ($M = 23,42$ anos, $DP = 3,94$).

5.2.2. Tarefa e equipamentos

A base de suporte era movida em sentido anterior ou posterior com uma amplitude de perturbação de 5 cm.

5.2.3. Delineamento experimental e procedimentos

O participante era submetido a três condições experimentais de acordo com a manipulação da sequência de perturbação: aleatória, seriada ou repetitiva. Para a sequência aleatória de perturbação, as tentativas dentro da condição eram pseudorandomizadas, com a restrição de não haver mais do que duas tentativas consecutivas com o mesmo sentido de perturbação. Para a sequência seriada de perturbação, o sentido da perturbação era alternado entre as tentativas, com uma perturbação de sentido anterior precedendo outra de sentido posterior e assim sucessivamente. Para a sequência repetitiva de perturbação, um único sentido de perturbação era empregado em um bloco de tentativas.

O participante prestava atenção em um círculo preto de 3 cm de diâmetro na tela do monitor. A partir do aparecimento do círculo preto, de modo imprevisível, em um intervalo entre 1000 e 2000 ms, a plataforma era transladada. Antes de iniciar cada condição experimental, eram fornecidas instruções, explicando o significado da sequência da perturbação. Durante o experimento, as instruções eram reforçadas, solicitando atenção do participante. As condições experimentais foram contrabalanceadas entre os participantes. Eram fornecidos intervalos de 5 min. entre as condições experimentais. Eletrodos de superfície eram fixados no músculo gastrocnêmio medial (GM) e tibial anterior (TA).

5.2.4. Variáveis dependentes

Foi incluída a análise do músculo tibial anterior (TA) como músculo agonista para o sentido anterior de perturbação.

5.2.5. Análise estatística

Foi utilizado um modelo de análise de variância de um fator para medidas repetidas a fim de comparar as sequências: aleatória x repetitiva x seriada.

5.3. RESULTADOS

5.3.1. Sentido Posterior

A Figura 6 mostra curvas representativas em resposta a uma translação posterior da plataforma de força do deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, do deslocamento CM na direção anteroposterior (C) e da ativação dos músculos GM (D) de um participante para as condições experimentais de sequência aleatória, seriada e repetitiva.

Figura 6. Curvas representativas de um participante na condição de sequência aleatória (linha fina tracejada), seriada (linha fina contínua) e repetitiva (linha espessa) mostrando o perfil de deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, deslocamento CM na direção anteroposterior (C) e da ativação do músculo GM (D) em resposta à translação posterior da plataforma. O início da translação está representado pelas linhas tracejadas verticais.

A análise da ERPA indicou efeito significativo, $F(2, 22) = 3,36$, $p = 0,05$, $\eta_p^2 = 0,23$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para a condição de sequência repetitiva em comparação a sequência aleatória (Figura 7A). A análise da amplitude de deslocamento anterior do CP indicou não haver efeito significativo ($F = 1,30$, $p = 0,29$; Figura 7B). As análises da amplitude de velocidade anterior do CP, do deslocamento e de velocidade anterior do CM indicaram efeitos principais significantes, devido a menores valores para a condição de sequência repetitiva em comparação às condições de sequência seriada e aleatória. Amplitude de velocidade do CP, $F(2, 22) = 3,60$, $p = 0,044$, $\eta_p^2 = 0,25$ (Figura 7C). Amplitude de deslocamento do CM, $F(2, 22) = 5,23$, $p = 0,014$, $\eta_p^2 = 0,32$ (Figura 7D). Amplitude de velocidade do CM, $F(2, 22) = 8,18$, $p = 0,002$, $\eta_p^2 = 0,43$ (Figura 7E).

Figura 7. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), amplitude de CP (B) e CM (D) e velocidade de CP (C) e CM (E) na direção anteroposterior em função da sequência (repetitiva, seriada e aleatória) para perturbações no sentido posterior. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

As análises da rotação do quadril, $F(2, 22) = 4,08$, $p = 0,031$, $\eta_p^2 = 0,27$ (Figura 8A), e do tornozelo, $F(2, 22) = 4,91$, $p = 0,017$, $\eta_p^2 = 0,31$ (Figura 8B), indicaram efeito principal significante. Comparações post hoc indicaram que o efeito foi devido a menores valores para a condição de sequência repetitiva em comparação à sequência aleatória.

A análise da latência de ativação do músculo GM apontou efeito principal significativo, $F(2, 22) = 3,83$, $p = 0,038$, $\eta_p^2 = 0,26$, devido a maiores valores para a condição de sequência repetitiva em comparação às condições de sequência seriada e aleatória (Figura 8C). Não foi encontrado efeito significativo na análise dos valores de magnitude de ativação do músculo GM ($F = 0,95$, $p = 0,40$; Figura 8D).

Figura 8. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) e para a latência (C) e magnitude (D) (normalizada) de ativação do músculo gastrocnêmio medial (GM) em função das sequências repetitiva, seriada e aleatória para perturbações no sentido posterior. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

5.3.2. Sentido Anterior

Não foram encontrados efeitos significantes nas análises da ERPA ($F = 2,22$, $p = 0,13$; Figura 9A), amplitude de deslocamento posterior do CP ($F = 0,35$, $p = 0,71$; Figura 9B), e para a amplitude de velocidade posterior do CP ($F = 0,98$, $p = 0,39$; Figura 9C).

As análises da amplitude de deslocamento e velocidade posterior do CM indicaram efeito principal significativa, devido a menores valores para a condição de sequência repetitiva em comparação às condições de sequência seriada e aleatória. Amplitude de deslocamento do CM, $F(2, 22) = 4,15$, $p = 0,030$, $\eta_p^2 = 0,27$ (Figura 9D). Amplitude de velocidade posterior do CM, $F(2, 22) = 5,34$, $p = 0,013$, $\eta_p^2 = 0,33$ (Figura 9E).

Figura 9. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), amplitude (B) e velocidade (C) do CP, e amplitude (D) e velocidade (E) do CM na direção anteroposterior em função das sequências repetitiva, seriada e aleatória para perturbações no sentido anterior. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

As análises das rotações do quadril ($F = 2,00$, $p = 0,16$; Figura 10A) e tornozelo ($F = 1,51$, $p = 0,24$; Figura 10B) indicaram ausência de efeitos significantes. A análise da latência de ativação do músculo TA apontou efeito principal significativo, $F(2, 22) = 3,87$, $p = 0,036$, $\eta_p^2 = 0,26$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para a condição de sequência repetitiva em comparação às condições de sequência seriada e aleatória (Figura 10C). Não foi encontrado efeito significativo na análise de magnitude de ativação do músculo TA ($F = 1,23$, $p = 0,31$; Figura 10D).

Figura 10. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) e para a latência (C) e magnitude (D) (normalizada) de ativação do músculo tibial anterior em função das sequências repetitiva, seriada e aleatória para perturbações no sentido anterior. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

5.4. DISCUSSÃO PARCIAL

Esse experimento teve como objetivo analisar o efeito de eliminação de incerteza sobre a direção de perturbação postural por meio da sequência de perturbações. Para a perturbação anterior da base de suporte, nossos resultados mostraram menores valores para a amplitude de deslocamento e velocidade do CM e maiores valores de latência de ativação muscular do TA para a sequência repetitiva em relação à sequência seriada e aleatória. Não houve diferenças entre as sequências seriada e aleatória. Para a perturbação posterior da base de suporte, foram encontrados menores valores para a amplitude de deslocamento e velocidade do CM, para a amplitude de deslocamento das articulações do tornozelo e do quadril e maiores valores da estabilidade da resposta postural automática e da latência de ativação muscular do GM para a sequência repetitiva em relação à sequência seriada e aleatória. A ausência de diferença entre as condições seriada e aleatória indica que a certeza sobre a direção de deslocamento da base de suporte presente na condição seriada não foi efetiva em gerar respostas mais bem adaptadas à perturbação.

Os estudos que analisaram respostas comportamentais e neurais observaram mudanças na atividade cortical no córtex frontal com a exposição a perturbações de mesma característica (Adkin et al., 2008; Adkin et al., 2006; Mierau et al., 2015). Os autores sugerem que o conhecimento sobre as características da perturbação postural resultou em uma diminuição da atividade cortical associada a um melhor processamento do erro da oscilação postural a partir da sequência repetitiva. Essa modulação da amplitude do potencial elétrico no córtex frontal poderia levar à suposição da participação de processos cognitivos na adaptação de respostas posturais a partir de dicas contextuais antecipando as características de uma perturbação. Nossos resultados são contraditórios a essa suposição. Ao observar diferenças nas respostas posturais e neuromusculares em função da sequência de perturbações, nossos resultados sugerem que o conhecimento prévio das características da perturbação postural não é capaz de modular as respostas posturais automáticas. Essa conclusão é suportada pela ausência de diferença entre as sequências seriada e aleatória. Na sequência seriada, os participantes tinham conhecimento sobre as características da perturbação postural, mas a tentativa imediatamente anterior apresentava características diferentes. Nossos resultados estão de acordo com estudos que não observaram modulações nas respostas posturais automáticas a partir de dicas sobre as características da perturbação postural (Experimento 1; Diener et al., 1991; Gilles et al., 1999; Maki & Whitelaw, 1993; McChesney et al., 1996; Silva et al., 2015). Quando a certeza sobre a magnitude da perturbação é oferecida aos indivíduos através de uma

dica visual indicando a magnitude de deslocamento da base de suporte, não há evidências de que haja modulação das respostas posturais automáticas.

A modulação de respostas posturais a partir de uma sequência de perturbações com as mesmas características sugere um ajuste dos ganhos das diferentes fontes de feedback sinalizando perda de estabilidade corporal a partir de respostas produzidas em tentativas anteriores (Welch & Ting, 2014). Nesta perspectiva, perturbações repetidas parecem conduzir à formação de um conjunto sensoriomotor, ajustando parâmetros de resposta como rigidez articular e viscosidade muscular (Kim et al., 2009) nas perturbações subsequentes. Uma sequência seriada ou aleatória de perturbações, por outro lado, parece impedir uma adaptação rápida e ótima, exigindo diferentes magnitudes de respostas posturais em cada tentativa. Nesta situação, o tempo disponível para gerar a resposta pode ser insuficiente para organizar e dimensionar de forma otimizada as respostas posturais automáticas com base apenas no feedback sensorial. Portanto, a partir de nossos resultados, hipotetizamos que as modulações observadas na sequência repetitiva são devidas a uma adaptação do sistema sensoriomotor e não a uma participação de processamento cognitivo decorrente do conhecimento das características da perturbação.

6. EXPERIMENTO 3: DICA TEMPORAL OTIMIZA RESPOSTAS POSTURAIS AUTOMÁTICAS A PERTURBAÇÕES EXTRÍNSECAS

6.1. INTRODUÇÃO

O efeito do conhecimento das características de uma perturbação postural em respostas posturais automáticas tem sido foco de estudo em investigações recentes (por exemplo, Jacobs et al., 2008; McChesney et al., 1996; Mochizuki et al., 2010; Mochizuki et al., 2008; Silva et al., 2015; Smith et al., 2012). Quando a informação sobre a característica da perturbação postural é oferecida, como em dicas sobre a magnitude da perturbação, modulações nas respostas posturais automáticas têm sido atribuídas a uma influência do processamento cognitivo (Mochizuki et al., 2010; Smith et al., 2012). Ao submeter os indivíduos a perturbações posturais de magnitude alta e baixa, Mochizuki et al. (2010) encontraram que a amplitude de ativação cortical e de respostas posturais foi modulada de acordo com a magnitude da perturbação somente quando a informação sobre magnitude da perturbação era fornecida previamente. De acordo com esse achado, um dos papéis da atividade cortical poderia ser modular as respostas posturais de acordo com o conhecimento sobre a magnitude das perturbações posturais. Nesse experimento, a perturbação postural acontecia concomitante ao último de quatro sinais auditivos. Uma dificuldade na interpretação desses achados deve-se ao fato de que a dica sobre a magnitude da perturbação postural era dada em tempo constante antes da perturbação, fornecendo informação sobre o instante da perturbação juntamente com a dica sobre a magnitude de perturbação. Desta forma, a antecipação do momento de perturbação poderia favorecer a modulação das respostas posturais ao invés de ser efeito da dica sobre a magnitude de perturbação.

Há evidências de que uma alteração na atividade cortical ocorre em antecipação a momentos de alta expectativa temporal (Los & Heslenfeld, 2005; Praamstra, Kourtis, Kwok, & Oostenveld, 2006). Nos experimentos em que um alvo é apresentado após um sinal de aviso, o aumento da atividade cortical pode ser observado, refletindo uma antecipação generalizada a momentos de ocorrência de eventos relevantes a tarefa. Especificamente em respostas posturais, tem sido encontrada uma participação de centros superiores na modulação das respostas posturais automáticas a partir de dica sobre o instante da perturbação (Jacobs et al., 2008; Mihara, Miyai, Hatakenaka, Kubota, & Sakoda, 2008). Mihara et al. (2008) mostram uma ativação no córtex parietal posterior direito e área motora suplementar quando o sinal sonoro era oferecido antes da perturbação postural. Ao analisar as respostas neurais e

comportamentais a uma perturbação postural, Jacobs et al. (2008) observaram atividade cortical previamente à perturbação postural quando a dica temporal era fornecida. Essa atividade cortical estava associada a um melhor controle postural, evidenciado por um menor deslocamento do CP. Com a dica temporal, mudanças na excitabilidade dos neurônios motores podem ocorrer, aumentando sua sensibilidade para comandos supraespinhais (Hasbroucq, Kaneko, Akamatsu, & Possamai, 1999). Essas mudanças nos limiares de respostas neuromusculares a partir da dica temporal contribuem para a geração de respostas neuromusculares mais precoces (McChesney et al., 1996; Silva et al., 2015). McChesney al. (1996) analisou a latência de ativação muscular em condições em que os indivíduos não recebiam dica, recebiam apenas sinal de alerta inespecífico e condições nas quais era fornecida dica auditiva específica indicando a direção da perturbação. Os autores mostraram que houve redução da latência muscular tanto na condição em que era apresentado um sinal inespecífico quanto nas condições com dica, mostrando que a dica reduz a latência de forma inespecífica na modulação do controle postural. Recentemente, nosso grupo de trabalho avaliou o efeito de dica temporal e do conhecimento sobre a direção da perturbação em resposta a uma rotação da base de suporte (Silva et al., 2015). Resultados das respostas musculares mostraram que a dica sobre o momento da perturbação, quer na sua forma pura ou em combinação com a dica sobre a direção da perturbação, levou à latência da atividade muscular mais curta em comparação a condição de fornecimento de dica sobre a direção ou em nenhuma apresentação de dica. Esses efeitos foram observados para os músculos GM e TA, respectivamente para flexão plantar e dorsal do tornozelo. Esses achados sugerem que a dica temporal propicia uma resposta mais generalizada do controle postural, permitindo uma resposta neuromuscular mais rápida independentemente do sentido da perturbação. Como os estudos efetuaram a perturbação postural em diferentes sentidos de perturbação, ainda não há evidências de que a certeza temporal favorece o uso de dica sobre a magnitude de perturbação na geração de respostas posturais.

Este estudo teve como objetivo comparar os efeitos de dica sobre a magnitude da perturbação e de dica sobre o tempo de perturbação extrínseca em respostas posturais automáticas. Foi hipotetizado que respostas posturais automáticas são beneficiadas por dica sobre o instante da perturbação, mas não por dica sobre a magnitude de uma perturbação postural.

6.2. MÉTODOS

6.2.1. Participantes

Participaram deste experimento 13 jovens saudáveis (11 mulheres), idade entre 18 e 28 anos ($M = 20,31$ anos, $DP = 2,63$).

6.2.2. Delineamento experimental e procedimentos

Dicas de amplitude da perturbação e do tempo de início da perturbação extrínseca foram combinadas, resultando em quatro condições experimentais: (1) sem apresentação de dica sobre a amplitude ou instante da perturbação, (2) dica de amplitude, (3) dica do instante de início da perturbação, e (4) dica de amplitude e tempo combinadas. Nas condições em que era oferecida dica sobre a amplitude da perturbação, a dica era fornecida de forma semelhante ao Experimento 1. As dicas de tempo do início de translação da plataforma eram dadas por meio de um computador, pela emissão de 3 bips em intervalos constantes de 1s e duração total de 2 s, com a plataforma sendo deslocada em coincidência com o último bip da sequência. Nas condições em que o participante não era informado sobre o instante da perturbação, o deslocamento da plataforma era iniciado em um intervalo entre 1000 e 2000 ms após o aparecimento do círculo preto. Na condição com dica combinando amplitude e tempo de translação da plataforma, o participante recebia previamente a informação sobre a dica de amplitude de translação da plataforma por meio da seta. Imediatamente após o desaparecimento da seta eram fornecidos os 3 bips para informar o tempo de ocorrência da perturbação.

Antes de iniciar cada condição experimental, eram fornecidas instruções, explicando o significado da dica de amplitude e tempo. Durante o experimento, as instruções eram reforçadas, solicitando atenção do participante. As condições experimentais foram randomizadas.

Para familiarização, eram fornecidas de maneira aleatória 5 tentativas para cada amplitude de perturbação com o fornecimento de dica prévia de amplitude e o conhecimento do instante da perturbação. Em cada condição experimental, cada participante realizava, de maneira aleatória, 3 tentativas para cada amplitude de perturbação. Eram fornecidos intervalos de 2 min. entre as condições experimentais. Durante esse período, os participantes permaneciam sentados.

6.2.3. Análise estatística

Foi utilizado um modelo de análise de variância de um fator para medidas repetidas a fim de comparar as 4 condições experimentais (dica de amplitude e tempo, DAT x dica de amplitude, DA x dica temporal, DT x sem dica, SD).

6.3. RESULTADOS

A Figura 11 mostra curvas representativas em resposta a uma translação posterior 5 cm da base de suporte do deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, do deslocamento CM na direção anteroposterior (C) e da ativação dos músculos GM (D), BF (E) e EE (F) de um participante para as condições experimentais com fornecimento de dica temporal, de dica de amplitude e sem dica.

Figura 11. Curvas representativas de um participante na condição sem dica (SD, linha fina contínua), com fornecimento de dica de amplitude (DA, linha fina tracejada), com o fornecimento de dica temporal (DT, linha espessa contínua) e com o fornecimento de dica de amplitude e temporal (DAT, linha espessa tracejada) demonstrando o deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, do deslocamento CM na direção anteroposterior (C) e da ativação dos músculos GM (D), BF (E) e EE (F) em resposta a uma translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. O início da translação está

representado pelas linhas tracejadas verticais.

A análise da ERPA indicou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 11,92$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,50$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para as condições de fornecimento de dica temporal (DT-DAT) em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal (SD-DA). Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia (Figura 12A).

As análises da amplitude de deslocamento anterior de CP e CM indicaram efeitos principais significantes. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a menores valores para as condições de fornecimento de dica temporal (DT-DAT) em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal (SD-DA). Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia. Amplitude de deslocamento anterior do CP, $F(3, 36) = 6,92$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,37$ (Figura 12B). Amplitude de deslocamento anterior do CM, $F(3, 36) = 3,06$, $p = 0,040$, $\eta_p^2 = 0,20$ (Figura 12D). Não foram encontrados efeitos significantes para as velocidades de CP ($F = 1,72$ e $p = 0,18$; Figura 12C), e de CM ($F = 0,49$ e $p = 0,69$; Figura 12E).

Figura 12. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), a amplitude do CP (B) e CM (D) e velocidade do CP (C) e CM (E) na direção anteroposterior em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. Diferenças significantes entre DAT-DT e DA-SD são indicadas por asterisco.

As análises de deslocamento articular do quadril ($F = 1,26$ e $p = 0,30$; Figura 13A) e do tornozelo ($F = 1,90$ e $p = 0,15$; Figura 13B) indicaram ausência de efeitos significantes.

Figura 13. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm.

As análises da latência de ativação dos músculos GM, $F(3, 36) = 4,98$, $p = 0,005$, $\eta_p^2 = 0,29$ (Figura 14A), BF, $F(3, 33) = 23,96$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,69$ (Figura 14C) e EE, $F(3, 30) = 17,08$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,63$ (Figura 14E) apontaram efeito principal significativo. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para as condições de fornecimento de dica temporal (DT-DAT) em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal (SD-DA). Não foram encontradas diferenças significantes entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia.

Não houve efeito significativo para a análise dos valores de magnitude de ativação dos músculos GM ($F = 0,35$ e $p = 0,79$; Figura 14B), BF ($F = 1,04$ e $p = 0,39$; Figura 14D) e EE ($F = 0,28$ e $p = 0,84$; Figura 14F).

Figura 14. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para latência e magnitude (normalizada), respectivamente, de ativação do músculo gastrocnêmio medial (A, B), bíceps femoral (C, D) e eretor da espinha (E, F) em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 5 cm. Diferenças significantes entre DAT-DT e DA-SD são indicadas por asterisco.

6.4. DISCUSSÃO PARCIAL

Este experimento objetivou diferenciar os efeitos de dica sobre o tipo de perturbação (amplitude de deslocamento da base de suporte) e dica temporal sobre o instante de início da perturbação. Os resultados mostraram maior estabilidade da resposta postural automática, menores valores para a amplitude de deslocamento do CP e do CM, maiores valores para a latência de ativação dos músculos GM, BF e EE para as condições de fornecimento de dica temporal em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal. Não foram encontradas diferenças entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia. Os resultados do presente experimento indicam que o fato de ter informação prévia sobre a amplitude deslocamento da base de suporte não contribuiu mais do que apenas conhecer o tempo exato em que uma perturbação será aplicada.

Um intrigante achado em nossos resultados foi o atraso nas respostas musculares quando no fornecimento de dica sobre o início da perturbação. Curiosamente, esse efeito foi observado nos músculos da perna e do tronco. Esse resultado poderia ser contraintuitivo, uma vez que o fornecimento de informações sobre o instante da perturbação poderia levar a um início precoce da ativação muscular em resposta a uma perturbação (McChesney et al., 1996; Silva et al., 2015). Quando o sentido da perturbação postural é imprevisível, uma ativação muscular precoce é requerida para otimizar as respostas posturais para prevenir uma queda. Nesse experimento, ao utilizar somente um sentido de perturbação postural, com um deslocamento posterior da plataforma, é possível que respostas posturais otimizadas possam ser eliciadas com um aumento da participação de sistemas de controle de alta ordem. Em um raciocínio semelhante, Fujio et al. (2016) propuseram que, quando a indicação sobre o tempo de perturbação está disponível, o sistema nervoso central modula o ganho reflexo desencadeado pelos músculos estirados, levando à otimização das respostas posturais. A partir desta perspectiva, as respostas posturais automáticas seriam moduladas de um modo funcional a partir da tarefa (Safavynia & Ting, 2013; Welch & Ting, 2014). De acordo com esta interpretação, Mihara et al. (2008) mostraram que proporcionar um tempo constante entre um sinal de alerta direcionalmente neutro e um início de perturbação postural levou à ativação do córtex parietal posterior direito e da área motora suplementar. O córtex parietal posterior recebe aferência de diferentes órgãos sensoriais, fornecendo informações relevantes para o dimensionamento de respostas posturais (Andersen, Snyder, Bradley, & Xing, 1997). Evidências adicionais mostraram que o córtex parietal posterior está envolvido na detecção de

instabilidade postural (Slobounov, Wu, & Hallett, 2006) e na representação dinâmica do esquema corporal (Pellijeff, Bonilha, Morgan, McKenzie, & Jackson, 2006). Resultados recentes demonstraram que a área motora suplementar é o foco da resposta cortical a uma perturbação postural (Ferraye et al., 2014; Marlin et al., 2014; Mierau et al., 2015), e que se correlaciona com a magnitude do balanço postural e com a respectiva ativação muscular (Mierau et al., 2015). A partir desses achados, é possível que a dica sobre o instante da perturbação leve a uma atividade das áreas corticais responsáveis por selecionar e modular as respostas posturais automáticas.

7. EXPERIMENTO 4: DICA TEMPORAL: ESTADO DE PRONTIDÃO OU NÍVEIS SUPERIORES DE CONTROLE?

7.1. INTRODUÇÃO

Evidências mostram uma adaptação das respostas posturais automáticas quando há o conhecimento sobre o instante de início de uma perturbação postural (Experimento 3; Jacobs et al., 2008; McChesney et al., 1996; Mihara et al., 2008; Mochizuki et al., 2010; Silva et al., 2015; Smith et al., 2012). Silva et al. (2015) analisaram o efeito de dicas do instante de início da rotação da base de suporte sobre as respostas neuromusculares. Seus resultados mostraram que a dica temporal induziu latências de ativação musculares mais curtas, independente da direção de rotação da base de suporte. A redução da latência de ativação muscular sugere que a dica temporal tenha favorecido um aumento no estado de prontidão para a resposta à perturbação postural, permitindo uma resposta neuromuscular mais rápida. Tem sido evidenciado que quando um indivíduo recebe um sinal de preparação para responder a um evento de tempo de reação ocorrem mudanças na excitabilidade dos neurônios motores, aumentando a sensibilidade na ativação desses motoneurônios para comandos supraespinhais (Hasbroucq et al., 1999). O estado de prontidão tem sido descrito como um componente de atenção que pode ser evocado por um sinal de aviso inespecífico, ocasionado uma diminuição do tempo de reação independente do sinal enviado (Hasbroucq et al., 1999; Posner & Boies, 1971). Em oposição a essa interpretação, tem sido demonstrado que a atividade cortical pré-perturbação está associada à previsibilidade temporal sobre o início da perturbação postural (Jacobs et al., 2008; Mochizuki et al., 2010; Mochizuki et al., 2008). Jacobs et al. (2008) ao analisarem respostas posturais a uma translação posterior da base de suporte observaram que o fornecimento de dica temporal levou a produção de atividade cortical previamente à perturbação postural. Essa atividade cortical estava associada a mudanças nas respostas à perturbação e um melhor controle postural, evidenciado por um menor deslocamento do CP. Em consonância com esses resultados, há evidências de uma ativação do córtex parietal posterior direito e área motora suplementar quando o sinal sonoro é oferecido, sugerindo uma participação de centros superiores na modulação da resposta postural automática (Mihara et al., 2008). A partir dessa interpretação, é possível que o fornecimento de dica sobre o momento da perturbação mobilize recursos atencionais adicionais para a manutenção do equilíbrio.

Estudos mostram que há uma interferência entre tarefas supraposturais de caráter cognitivo e a recuperação do equilíbrio frente a uma perturbação (Brauer, Woollacott, & Shumway-Cook, 2001; Coelho, Bourlinova, & Teixeira, 2016; Little & Woollacott, 2014, 2015; Rankin, Woollacott, Shumway-Cook, & Brown, 2000). Essa interferência pode ser observada na diminuição dos níveis de desempenho da tarefa em comparação a realização da tarefa de forma isolada. Ao analisar a interação entre uma memória de trabalho visual e a recuperação do equilíbrio frente a translações posteriores da base de suporte, Little e Woollacott (2014) observaram um prejuízo tanto na tarefa cognitiva quanto na tarefa postural. Esse prejuízo em ambas as tarefas quando realizadas concomitantemente pode ser devido a uma competição entre os processos e/ou recursos atencionais ao desempenharmos uma tarefa suprapostural de caráter cognitivo concomitante a recuperação do equilíbrio frente a uma perturbação externa. Nesses estudos, ao observarmos uma piora nas respostas automáticas frente a uma perturbação podemos inferir que há menos recursos atencionais disponíveis para manutenção do equilíbrio quando realizada concomitantemente a uma tarefa suprapostural cognitiva. Nesse sentido, seria esperada que essa menor alocação de recursos atencionais para a tarefa de recuperação do equilíbrio poderia interferir na utilização de dicas sobre as características da perturbação. Este experimento teve como objetivo avaliar o efeito da dica temporal quando da adição de uma tarefa cognitiva concomitante a recuperação do equilíbrio frente a perturbações extrínsecas. Hipotetizamos que a tarefa cognitiva modula o efeito de dica temporal sobre o instante de perturbação.

7.2. MÉTODOS

7.2.1. Participantes

Participaram deste experimento 12 jovens saudáveis (6 homens), idade entre 17 e 23 anos ($M = 19,92$ anos, $DP = 1,98$).

7.2.2. Tarefa e equipamentos

A base de suporte era movida em sentido posterior com uma amplitude de perturbação de 5 cm.

7.2.3. Delineamento experimental e procedimentos

Dois fatores foram manipulados: tarefa cognitiva e dica de tempo sobre a translação da plataforma. A tarefa cognitiva consistiu na contagem decrescente de três em três, começando em um número diferente a cada tentativa, sempre entre 100 e 200. Era solicitado ao participante fazer a contagem em silêncio e após o final da tentativa relatar o número na contagem. Não era dado feedback da tarefa cognitiva ao participante e era solicitado que mantivesse a contagem regressiva inclusive durante a perturbação postural. Dicas de tempo sobre a translação da plataforma eram dadas por meio de um computador, pela emissão de 3 bips em intervalos constantes de 1s e duração total de 2 s, sendo que a plataforma era deslocada em coincidência com o último bip da sequência. Portanto, a combinação desses fatores resultou em quatro condições experimentais.

Antes de iniciar cada condição experimental, eram fornecidas instruções, explicando o significado da tarefa cognitiva e da dica de tempo. Durante o experimento, as instruções eram reforçadas, solicitando atenção do participante. Previamente às condições experimentais, o participante realizava 5 tentativas de familiarização com o fornecimento de dica temporal e tarefa cognitiva e, posteriormente, as quatro condições experimentais. Em cada condição experimental, o participante realizava 3 tentativas para cada sentido de perturbação.

7.2.4. Análise estatística

Foi empregado um modelo de análise de variância de dois fatores, 2 (dica temporal: com x sem) x 2 (tarefa cognitiva: com x sem), com medidas repetidas nos dois fatores.

7.3. RESULTADOS

A Figura 15 mostra curvas representativas em resposta a uma translação posterior da plataforma de força do deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, do deslocamento do CM na direção anteroposterior (C) e da ativação do músculo GM (D) de um participante para as condições experimentais de dica temporal e tarefa cognitiva.

Figura 15. Curvas representativas de um participante na condição de sequência com tarefa cognitiva e com dica temporal (cTC - cT; linha espessa contínua), com tarefa cognitiva e sem dica temporal (cTC - sT; linha espessa tracejada), sem tarefa cognitiva e com dica temporal (sTC - cT; linha fina contínua) e sem tarefa cognitiva e sem dica temporal (sTC - sT; linha fina tracejada) demonstrando o deslocamento (A) e velocidade (B) do CP na direção anteroposterior, do deslocamento do CM na direção anteroposterior (C) e da ativação do músculo GM (D) em resposta a uma translação posterior da plataforma. O início da translação está representado pelas linhas tracejadas verticais.

A análise da estabilidade das respostas automáticas indicou efeito principal significativo de tarefa cognitiva, $F(1, 10) = 7,39$, $p = 0,022$, $\eta_p^2 = 0,42$. Esse efeito foi devido a menores valores para a condição com tarefa cognitiva ($M = 3,69$, $EP = 0,30$) em comparação a condição sem tarefa cognitiva ($M = 3,90$, $EP = 0,30$) (Figura 16A).

Não foi encontrado efeito significativo para a amplitude de deslocamento anterior do CP, com valores de $F < 3,39$, $p > 0,09$ (Figura 16B). A análise da velocidade máxima de CP indicou interação entre tarefa cognitiva e dica temporal, $F(1, 11) = 7,44$, $p = 0,020$, $\eta_p^2 = 0,40$.

Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores na condição com tarefa cognitiva em comparação à condição sem tarefa cognitiva quando no fornecimento de dica temporal; e a maiores valores na condição sem dica temporal em comparação à condição com dica temporal quando na ausência da tarefa cognitiva (Figura 16C).

Não foi encontrado efeito significativo para a amplitude de deslocamento anterior do CM, com valores de $F < 2,45$, $p > 0,15$ (Figura 16D). A análise velocidade máxima de CM indicou interação entre tarefa cognitiva e dica temporal, $F(1, 10) = 5,01$, $p = 0,049$, $\eta_p^2 = 0,33$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores na condição com tarefa cognitiva em comparação à condição sem tarefa cognitiva quando no fornecimento de dica temporal e a maiores valores na condição sem dica temporal em comparação a condição com dica temporal quando na ausência da tarefa cognitiva (Figura 16E).

Figura 16. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), amplitude (B) e velocidade (C) do CP, e amplitude (D) e velocidade (E) do CM na direção anteroposterior em função das condições experimentais de tarefa cognitiva e dica temporal. Efeitos significantes de tarefa cognitiva, tempo e interação tarefa cognitiva e tempo são indicadas por TC*, T*, TC-T*, respectivamente.

A análise da amplitude de rotação do quadril mostrou interação entre tarefa cognitiva e dica temporal, $F(1, 11) = 6,01$, $p = 0,032$, $\eta_p^2 = 0,35$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores na condição com tarefa cognitiva em comparação à condição sem tarefa cognitiva quando no fornecimento de dica temporal (Figura 17A). Não

houve efeito significativo para a análise da amplitude de rotação do tornozelo, com valores de $F < 2,75$ e $p > 0,13$ (Figura 17B).

A análise da latência de ativação do músculo GM apontou efeito principal significativo de dica temporal, $F(1, 11) = 83,10$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,88$, devido a maiores valores na condição com dica temporal ($M = 154,31$ ms, $EP = 6,93$) em comparação à condição sem dica temporal ($M = 134,09$ ms, $EP = 7,65$) (Figura 17C). A análise da magnitude ativação do músculo GM indicou efeito principal significativo de tarefa cognitiva, $F(1, 11) = 7,64$, $p = 0,018$, $\eta_p^2 = 0,41$. Esse efeito foi devido a menores valores para a condição com tarefa cognitiva ($M = 0,50$, $EP = 0,07$) em comparação à condição sem tarefa cognitiva ($M = 0,60$, $EP = 0,07$) (Figura 17D).

Figura 17. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) e para a latência (C) e magnitude (D) (normalizada) de ativação do músculo gastrocnêmio medial em função das condições experimentais de tarefa cognitiva e dica temporal. São indicados efeitos significantes de tarefa cognitiva (TC*), dica de tempo (T*) e interação de tarefa cognitiva x dica de tempo (TC-T*).

7.4. DISCUSSÃO PARCIAL

Este experimento avaliou o efeito da dica temporal quando da adição de uma tarefa cognitiva concomitante na recuperação do equilíbrio frente a perturbações pelo deslocamento da base de apoio. Os resultados mostram um menor valor para a estabilidade das respostas posturais automáticas e para a magnitude de ativação muscular do GM para a condição de tarefa cognitiva em relação a ausência de tarefa cognitiva. A latência de ativação do músculo GM apresentou maiores valores na condição de dica temporal em relação à condição de ausência de dica temporal. As velocidades de CP e CM apresentaram maiores valores na condição com tarefa cognitiva em comparação à condição sem tarefa cognitiva quando no fornecimento de dica temporal e a maiores valores na condição sem fornecimento de dica temporal em comparação a condição com fornecimento de dica temporal quando na ausência da tarefa cognitiva.

Os maiores valores de velocidade do CP e CM quando na ausência de dica temporal encontrados nesse experimento são consistentes com achados de que o conhecimento sobre o instante da perturbação modula as respostas posturais automáticas. Fujio et al. (2016) propuseram quando a informação sobre o instante da perturbação está disponível o sistema nervoso central modula o ganho reflexo desencadeado pelos músculos estirados, levando à otimização das respostas posturais. Nesta perspectiva, as respostas posturais automáticas seriam reguladas adaptativamente e integradas na saída motora de uma maneira funcional a realização da tarefa (Safavynia & Ting, 2013; Welch & Ting, 2014). Em concordância com os resultados do Experimento 3, maiores latências de ativação muscular como resultado do oferecimento de dica temporal, suportam a proposta de que respostas posturais automáticas são moduladas de um modo funcional a partir das exigências impostas pela tarefa postural (Safavynia & Ting, 2013; Welch & Ting, 2014).

Ao encontrarmos um menor valor para a estabilidade das respostas posturais automáticas e para a magnitude de ativação muscular do GM, nossos resultados evidenciam uma diminuição do desempenho quando da adição de uma tarefa cognitiva concomitante a recuperação do equilíbrio. Esses resultados estão de acordo com estudos que mostram o prejuízo nas respostas posturais automáticas na realização concomitante de tarefa cognitiva secundária (Coelho et al., 2016; Little & Woollacott, 2014, 2015). Nosso grupo de pesquisa analisou as respostas posturais a uma perturbação imprevisível concomitante à realização de uma contagem decrescente (Coelho et al., 2016). Os resultados mostraram maior deslocamento do tronco e menor magnitude de ativação do músculo GM quando da adição da

tarefa cognitiva. Piores respostas posturais automáticas quando da realização simultânea de uma tarefa cognitiva com a recuperação do equilíbrio podem ser interpretados como uma competição pelos mesmos recursos de processamento de alto nível entre a tarefa cognitiva e a geração de respostas posturais bem ajustadas, causando um afastamento de recursos atencionais do processamento de inputs sensoriais associados ao controle postural (Little & Woollacott, 2015; Quant, Adkin, Staines, Maki, & McIlroy, 2004).

Um ponto que merece destaque é a latência de ativação do músculo GM. Em concordância aos resultados do experimento 3, os resultados desse experimento mostraram maiores latências de ativação quando no fornecimento de dica sobre o início da perturbação. Com relação à tarefa cognitiva, nossos resultados não mostraram modificação na latência muscular. Nossos resultados são similares aos encontrados na literatura (Coelho et al., 2016; Rankin et al., 2000). Ao submeter os participantes a translações da plataforma de força, Rankin et al. observaram uma menor magnitude de ativação e uma ausência de modificação na latência muscular quando na adição de uma tarefa cognitiva concomitante a recuperação do equilíbrio postural. Poderia ser hipotetizado que a alocação da atenção para a tarefa cognitiva diminuiria a participação de processamento cortical nas respostas posturais, tornando-as mais automatizadas ocasionando menores latências de ativação muscular (Rankin et al., 2000; Wulf, Mercer, McNevin, & Guadagnoli, 2004). No entanto, nossos resultados não corroboraram essa hipótese. A ausência de alteração da latência muscular quando na adição de uma tarefa cognitiva pode ser interpretado como uma resposta postural que independe da atenção.

Somente nas condições em que a dica temporal era fornecida, nossos resultados mostram maiores valores de velocidade de CP e CM durante a realização da tarefa cognitiva concomitantemente com a recuperação do equilíbrio. Esses resultados sugerem possíveis alterações em mecanismos atencionais envolvidos na modulação da dica temporal sobre o início da perturbação postural quando na realização concomitante de uma tarefa cognitiva. Suporte a esta interpretação pode ser encontradas em estudos neurofisiológicos que mostram a participação de níveis superiores no processamento de informações sobre o tempo de uma perturbação. Mihara et al. (2008) mostraram que manter um tempo constante entre um sinal de alerta direcionalmente neutro e o início de perturbação postural levou à ativação do córtex parietal posterior direito e da área motora suplementar. O córtex parietal posterior recebe insumos de diferentes órgãos sensoriais, fornecendo potencialmente informações relevantes para o dimensionamento de respostas posturais (Andersen et al., 1997). Evidências adicionais demonstraram que o córtex parietal posterior está envolvido na detecção de instabilidade postural (Slobounov et al., 2006) e na representação dinâmica do esquema postural (Pellijeff

et al., 2006). Resultados recentes mostraram que o foco da resposta cortical a uma perturbação postural está na área motora suplementar (Ferraye et al., 2014; Fujimoto et al., 2014; Marlin et al., 2014), dada sua correlação com a magnitude do balanço postural. Portanto, a adição de uma tarefa cognitiva secundária afetaria o processamento da dica temporal por causa da divisão de recursos atencionais entre as duas tarefas.

8. CONCLUSÃO

A noção de que dicas contextuais reduzindo a incerteza sobre a magnitude ou tempo de ocorrência de uma perturbação postural poderiam otimizar respostas posturais automáticas por meio do *central set* foi a questão central sob investigação nesta tese. A partir de nossos resultados, mostramos que (a) informações prévias sobre a magnitude da perturbação postural parecem ser incapazes de modular respostas posturais automáticas; (b) modulação de respostas posturais automáticas a partir de uma sequência repetitiva de perturbações aparentemente está associada à adaptação do sistema sensoriomotor e não à participação de processamento cognitivo das características físicas da perturbação iminente; (c) previsibilidade temporal da perturbação postural induz uma otimização das respostas posturais automáticas; e (d) a execução de tarefa cognitiva no momento da perturbação inibe o ganho de estabilidade de respostas posturais automáticas conferido pela dica temporal.

Nossos resultados contribuem para a discussão da questão de se a modulação de respostas posturais automáticas a partir de uma sequência repetitiva de perturbações deve-se a efeitos de adaptação ou habituação. Na habituação, uma gradual diminuição da magnitude das respostas ocorre quando o estímulo é apresentado repetidamente. Embora o estímulo permaneça o mesmo, a magnitude da resposta diminui. No entanto, há evidências de que a habituação não influencia a latência de ativação muscular (Maki & Whitelaw, 1993). Em nossos experimentos, nós observamos que a partir da apresentação repetida da perturbação há uma diminuição da latência de ativação do músculo proximal EE e valores maiores de latências de ativação para o músculo distal GM. Essa modulação do *timing* de ativação intermuscular sugere que os efeitos devem-se à adaptação do sistema de controle. A adaptação das respostas posturais automáticas a partir da exposição repetida a perturbações de mesma característica (Experimentos 1 e 2) levaram à interpretação de que as perturbações prévias são usadas para ajustar a sensibilidade dos processos sensoriomotor baseados em feedback sensorial controlando as respostas posturais nas tentativas subsequentes (Welch & Ting, 2014). Nesta perspectiva, as respostas posturais à aferência originária de receptores cutâneos e musculares das solas dos pés (Thompson, Belanger, & Fung, 2011), dos fusos musculares da perna (Thompson et al., 2011) e mais proximalmente na parte superior da coxa ou tronco (Bloem, Allum, Carpenter, & Honegger, 2000; Bloem, Allum, Carpenter, Verschuuren, & Honegger, 2002) seriam modulados em relação às tentativas repetidas na busca de otimização das respostas posturais automáticas para preservar a estabilidade do equilíbrio postural.

Um ponto que merece um comentário diz respeito aos achados do envolvimento do córtex cerebral na geração de respostas posturais automáticas. A ativação cortical após a perturbação postural tem sido sugerida como associada ao processamento sensorial (Quant, Adkin, Staines, Maki, et al., 2004; Quant, Adkin, Staines, & McIlroy, 2004), a detecção de erro do equilíbrio (Adkin et al., 2006) e mais recentemente a adaptação da resposta postural (Mierau et al., 2015). No entanto, deve-se notar que a ativação cortical não está necessariamente relacionada com o processamento cognitivo abstrato nas respostas posturais. A interação do córtex cerebral com estruturas subcorticais na geração de respostas posturais automáticas (Ferraye et al., 2014; Ouchi, Okada, Yoshikawa, Nobezawa, & Futatsubashi, 1999) pode ocorrer em uma organização de ordem superior da resposta sem recorrer ao processamento cognitivo das características da perturbação postural. Nessa perspectiva, a participação de estruturas corticais na geração de respostas posturais automáticas não é incompatível com a proposição de dissociação entre o processamento cognitivo abstrato de dicas prévias de uma perturbação postural e respostas posturais automáticas. Como contraponto a essa interpretação, pode-se argumentar que os resultados que mostram o prejuízo nas respostas posturais automáticas na realização concomitante de tarefa cognitiva secundária (Coelho et al., 2016; Little & Woollacott, 2014, 2015) sugerem uma participação cognitiva na produção dessas respostas. Neste caso, o desempenho de uma tarefa cognitiva secundária pode ser concebido afetar a recuperação do equilíbrio por causa da divisão de recursos atencionais entre as duas tarefas ao invés de interferência de processamento abstrato no controle de respostas posturais reativas a uma perturbação (Coelho et al., 2016). Os resultados do Experimento 4 oferecem suporte a esta proposição, ao sugerirem que a inibição do efeito da dica temporal está associado a uma limitação atencional. Portanto, o envolvimento cortical e atencional na produção de geração de respostas posturais automáticas não poderiam ser discutidos como evidência da participação do processamento cognitivo de dicas contextuais nas respostas posturais automáticas.

Como o processamento cognitivo de dicas contextuais pode ser entendido como o processamento envolvido na previsão da oscilação corporal (e a respectiva resposta corporal) provocada por uma perturbação mecânica quando fornecido parâmetros abstratos sobre as características de uma perturbação iminente, nossos resultados sugerem uma reinterpretação do potencial de processamento cognitivo de dicas contextuais para otimizar respostas posturais. A partir dos resultados aqui apresentados, parece haver uma limitação do processamento cognitivo em modular respostas posturais automáticas. Considerando-se que o conceito de *central set* expressa a noção de que processamento cognitivo de dicas contextuais

é capaz de otimizar respostas posturais, nossos resultados sugerem a necessidade de revisão deste conceito consolidado na literatura.

REFERÊNCIAS

- Adkin, A. L., Campbell, A. D., Chua, R., & Carpenter, M. G. (2008). The influence of postural threat on the cortical response to unpredictable and predictable postural perturbations. *Neuroscience Letters*, 435(2), 120-125.
- Adkin, A. L., Quant, S., Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2006). Cortical responses associated with predictable and unpredictable compensatory balance reactions. *Experimental Brain Research*, 172(1), 85-93.
- Andersen, R. A., Snyder, L. H., Bradley, D. C., & Xing, J. (1997). Multimodal representation of space in the posterior parietal cortex and its use in planning movements. *Annual Review of Neuroscience*, 20, 303-330.
- Badke, M. B., Duncan, P. W., & Di Fabio, R. P. (1987). Influence of prior knowledge on automatic and voluntary postural adjustments in healthy and hemiplegic subjects. *Physical Therapy*, 67(10), 1495-1500.
- Beckley, D. J., Bloem, B. R., Remler, M. P., Roos, R. A., & Van Dijk, J. G. (1991). Long latency postural responses are functionally modified by cognitive set. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 81(5), 353-358.
- Bloem, B. R., Allum, J. H., Carpenter, M. G., & Honegger, F. (2000). Is lower leg proprioception essential for triggering human automatic postural responses? *Experimental Brain Research*, 130(3), 375-391.
- Bloem, B. R., Allum, J. H., Carpenter, M. G., Verschuur, J. J., & Honegger, F. (2002). Triggering of balance corrections and compensatory strategies in a patient with total leg proprioceptive loss. *Experimental Brain Research*, 142(1), 91-107.
- Brauer, S. G., Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2001). The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *Journals of Gerontology Series A: Biological and Medical Sciences*, 56(8), M489-496.
- Brooks, V. B. (1984). Cerebellar functions in motor control. *Human Neurobiology*, 2(4), 251-260.
- Chong, R. K., Horak, F. B., & Woollacott, M. H. (2000). Parkinson's disease impairs the ability to change set quickly. *Journal of the Neurological Sciences*, 175(1), 57-70.
- Coelho, D. B., Bourlina, C., & Teixeira, L. A. (2016). Higher order balance control: distinct effects between cognitive task and manual steadiness constraint on automatic postural responses. *Human Movement Science*, 50, 62-72.

- Cohen, R. G., & Rosenbaum, D. A. (2004). Where grasps are made reveals how grasps are planned: generation and recall of motor plans. *Experimental Brain Research*, 157(4), 486-495.
- Cohen, R. G., & Rosenbaum, D. A. (2011). Prospective and retrospective effects in human motor control: planning grasps for object rotation and translation. *Psychological Research*, 75(4), 341-349.
- Crevecœur, F., & Scott, S. H. (2013). Priors engaged in long-latency responses to mechanical perturbations suggest a rapid update in state estimation. *PLoS Computational Biology*, 9(8), e1003177.
- de Lima-Pardini, A. C., Coelho, D. B., Silva, M. B., Azzi, N. M., Martinelli, A. R., Horak, F. B., & Teixeira, L. A. (2014). Aging increases flexibility of postural reactive responses based on constraints imposed by a manual task. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 327.
- de Lima-Pardini, A. C., Papegaaij, S., Cohen, R. G., Teixeira, L. A., Smith, B. A., & Horak, F. B. (2012). The interaction of postural and voluntary strategies for stability in Parkinson's disease. *Journal of Neurophysiology*, 108(5), 1244-1252.
- de Lima, A. C., de Azevedo Neto, R. M., & Teixeira, L. A. (2010). On the functional integration between postural and supra-postural tasks on the basis of contextual cues and task constraint. *Gait & Posture*, 32(4), 615-618.
- Diener, H. C., Horak, F., Stelmach, G., Guschlbauer, B., & Dichgans, J. (1991). Direction and amplitude precuing has no effect on automatic posture responses. *Experimental Brain Research*, 84(1), 219-223.
- Dijkstra, B. W., Horak, F. B., Kamsma, Y. P., & Peterson, D. S. (2015). Older adults can improve compensatory stepping with repeated postural perturbations. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7, 201.
- Earhart, G. M., Fletcher, W. A., Horak, F. B., Block, E. W., Weber, K. D., Suchowersky, O., & Melvill Jones, G. (2002). Does the cerebellum play a role in podokinetic adaptation? *Experimental Brain Research*, 146(4), 538-542.
- Ferraye, M. U., Debû, B., Heil, L., Carpenter, M., Bloem, B. R., & Toni, I. (2014). Using motor imagery to study the neural substrates of dynamic balance. *PloS One*, 9(3), e91183.
- Fujimoto, H., Mihara, M., Hattori, N., Hatakenaka, M., Kawano, T., Yagura, H., . . . Mochizuki, H. (2014). Cortical changes underlying balance recovery in patients with hemiplegic stroke. *NeuroImage*, 85, 547-554.

- Fujio, K., Obata, H., Kawashima, N., & Nakazawa, K. (2016). The effects of temporal and spatial predictions on stretch reflexes of ankle flexor and extensor muscles while standing. *PloS One*, *11*(7), e0158721.
- Fujiwara, K., Kiyota, N., & Maeda, K. (2011). Contingent negative variation and activation of postural preparation before postural perturbation by backward floor translation at different initial standing positions. *Neuroscience Letters*, *490*(2), 135-139.
- Gilles, M., Wing, A. M., & Kirker, S. G. (1999). Lateral balance organisation in human stance in response to a random or predictable perturbation. *Experimental Brain Research*, *124*(2), 137-144.
- Grillner, S., Hellgren, J., Menard, A., Saitoh, K., & Wikstrom, M. A. (2005). Mechanisms for selection of basic motor programs-roles for the striatum and pallidum. *Trends in Neurosciences*, *28*(7), 364-370.
- Habib Perez, O., Singer, J. C., & Mochizuki, G. (2016). The effects of predictability on inter-limb postural synchronization prior to bouts of postural instability. *Gait & Posture*, *46*, 167-172.
- Hasbroucq, T., Kaneko, H., Akamatsu, M., & Possamai, C. A. (1999). The time-course of preparatory spinal and cortico-spinal inhibition: an H-reflex and transcranial magnetic stimulation study in man. *Experimental Brain Research*, *124*(1), 33-41.
- Hermens, H. J., & Freriks, B. (1999). SENIAM 9: European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy. Enschede, the Netherlands.
- Horak, F. B., & Diener, H. C. (1994). Cerebellar control of postural scaling and central set in stance. *Journal of Neurophysiology*, *72*(2), 479-493.
- Horak, F. B., Diener, H. C., & Nashner, L. M. (1989). Influence of central set on human postural responses. *Journal of Neurophysiology*, *62*(4), 841-853.
- Horak, F. B., Frank, J., & Nutt, J. (1996). Effects of dopamine on postural control in parkinsonian subjects: scaling, set, and tone. *Journal of Neurophysiology*, *75*(6), 2380-2396.
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, *55*(6), 1369-1381.
- Horak, F. B., Nutt, J. G., & Nashner, L. M. (1992). Postural inflexibility in parkinsonian subjects. *Journal of the Neurological Sciences*, *111*(1), 46-58.

- Jacobs, J. V., Fujiwara, K., Tomita, H., Furune, N., Kunita, K., & Horak, F. B. (2008). Changes in the activity of the cerebral cortex relate to postural response modification when warned of a perturbation. *Clinical Neurophysiology*, 119(6), 1431-1442.
- Jacobs, J. V., & Horak, F. B. (2007). Cortical control of postural responses. *Journal of Neural Transmission*, 114(10), 1339-1348.
- Karnath, H. O., Ferber, S., & Dichgans, J. (2000). The neural representation of postural control in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(25), 13931-11396.
- Kim, S., Horak, F. B., Carlson-Kuhta, P., & Park, S. (2009). Postural feedback scaling deficits in Parkinson's disease. *Journal of Neurophysiology*, 102(5), 2910-2920.
- Laessoe, U., Grarup, B., & Bangshaab, J. (2016). The Use of Cognitive Cues for Anticipatory Strategies in a Dynamic Postural Control Task - Validation of a Novel Approach to Dual-Task Testing. *PloS One*, 11(8), e0157421.
- Little, C. E., & Woollacott, M. (2014). Effect of attentional interference on balance recovery in older adults. *Experimental Brain Research*, 232(7), 2049-2060.
- Little, C. E., & Woollacott, M. (2015). EEG measures reveal dual-task interference in postural performance in young adults. *Experimental Brain Research*, 233(1), 27-37.
- Los, S. A., & Heslenfeld, D. J. (2005). Intentional and unintentional contributions to nonspecific preparation: electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology*, 134(1), 52-72.
- Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2005). Change-in-support balance reactions in older persons: an emerging research area of clinical importance. *Neurologic Clinics*, 23(3), 751-783, vi-vii.
- Maki, B. E., & Whitelaw, R. S. (1993). Influence of expectation and arousal on center-of-pressure responses to transient postural perturbations. *Journal of Vestibular Research*, 3(1), 25-39.
- Marlin, A., Mochizuki, G., Staines, W. R., & McIlroy, W. E. (2014). Localizing evoked cortical activity associated with balance reactions: does the anterior cingulate play a role? *Journal of Neurophysiology*, 111(12), 2634-2643.
- McChesney, J. W., Sveistrup, H., & Woollacott, M. H. (1996). Influence of auditory precuing on automatic postural responses. *Experimental Brain Research*, 108(2), 315-320.
- Mierau, A., Hulsdunker, T., & Struder, H. K. (2015). Changes in cortical activity associated with adaptive behavior during repeated balance perturbation of unpredictable timing. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 1-12.

- Mihara, M., Miyai, I., Hatakenaka, M., Kubota, K., & Sakoda, S. (2008). Role of the prefrontal cortex in human balance control. *NeuroImage*, 43(2), 329-336.
- Mochizuki, G., Boe, S., Marlin, A., & McIlroy, W. E. (2010). Perturbation-evoked cortical activity reflects both the context and consequence of postural instability. *Neuroscience*, 170(2), 599-609.
- Mochizuki, G., Sibley, K. M., Esposito, J. G., Camilleri, J. M., & McIlroy, W. E. (2008). Cortical responses associated with the preparation and reaction to full-body perturbations to upright stability. *Clinical Neurophysiology*, 119(7), 1626-1637.
- Ouchi, Y., Okada, H., Yoshikawa, E., Nobezawa, S., & Futatsubashi, M. (1999). Brain activation during maintenance of standing postures in humans. *Brain*, 122 (Pt 2), 329-338.
- Papegaaij, S., de Lima-Pardini, A. C., Smith, B. A., Otten, E., Cohen, R. G., & Horak, F. B. (2012). Keeping your balance while balancing a cylinder: interaction between postural and voluntary goals. *Experimental Brain Research*, 223(1), 79-87.
- Pellijeff, A., Bonilha, L., Morgan, P. S., McKenzie, K., & Jackson, S. R. (2006). Parietal updating of limb posture: an event-related fMRI study. *Neuropsychologia*, 44(13), 2685-2690.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.
- Praamstra, P., Kourtis, D., Kwok, H. F., & Oostenveld, R. (2006). Neurophysiology of implicit timing in serial choice reaction-time performance. *The Journal of Neuroscience : the Official Journal of the Society for Neuroscience*, 26(20), 5448-5455.
- Prochazka, A. (1989). Sensorimotor gain control: a basic strategy of motor systems? *Progress in Neurobiology*, 33(4), 281-307.
- Quant, S., Adkin, A. L., Staines, W. R., Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2004). The effect of a concurrent cognitive task on cortical potentials evoked by unpredictable balance perturbations. *BMC Neuroscience*, 5, 18.
- Quant, S., Adkin, A. L., Staines, W. R., & McIlroy, W. E. (2004). Cortical activation following a balance disturbance. *Experimental Brain Research*, 155(3), 393-400.
- Rankin, C. H., Abrams, T., Barry, R. J., Bhatnagar, S., Clayton, D. F., Colombo, J., . . . Thompson, R. F. (2009). Habituation revisited: an updated and revised description of the behavioral characteristics of habituation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 92(2), 135-138.

- Rankin, J. K., Woollacott, M. H., Shumway-Cook, A., & Brown, L. A. (2000). Cognitive influence on postural stability: a neuromuscular analysis in young and older adults. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 55(3), M112-119.
- Safavynia, S. A., & Ting, L. H. (2013). Long-latency muscle activity reflects continuous, delayed sensorimotor feedback of task-level and not joint-level error. *Journal of Neurophysiology*, 110(6), 1278-1290.
- Schuermans, J., van der Helm, F. C., & Schouten, A. C. (2011). Relating reflex gain modulation in posture control to underlying neural network properties using a neuromusculoskeletal model. *Journal of Computational Neuroscience*, 30(3), 555-565.
- Silva, M. B., Coelho, D. B., de Lima-Pardini, A. C., Martinelli, A. R., S., B. T., Ramos, R. T., & Teixeira, L. A. (2015). Precueing time but not direction of postural perturbation induces early muscular activation: comparison between young and elderly individuals. *Neuroscience Letters*, 588, 190-195.
- Slobounov, S., Wu, T., & Hallett, M. (2006). Neural basis subserving the detection of postural instability: an fMRI study. *Motor Control*, 10(1), 69-89.
- Smith, B. A., Jacobs, J. V., & Horak, F. B. (2012). Effects of magnitude and magnitude predictability of postural perturbations on preparatory cortical activity in older adults with and without Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*, 222(4), 455-470.
- Smith, B. A., Jacobs, J. V., & Horak, F. B. (2014). Effects of amplitude cueing on postural responses and preparatory cortical activity of people with Parkinson disease. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 38(4), 207-215.
- Thach, W. T., & Bastian, A. J. (2004). Role of the cerebellum in the control and adaptation of gait in health and disease. *Progress in Brain Research*, 143, 353-366.
- Thompson, C., Belanger, M., & Fung, J. (2011). Effects of plantar cutaneo-muscular and tendon vibration on posture and balance during quiet and perturbed stance. *Human Movement Science*, 30(2), 153-171.
- Timmann, D., & Horak, F. B. (1997). Prediction and set-dependent scaling of early postural responses in cerebellar patients. *Brain: a Journal of Neurology*, 120 (Pt 2), 327-337.
- Varghese, J. P., Marlin, A., Beyer, K. B., Staines, W. R., Mochizuki, G., & McIlroy, W. E. (2014). Frequency characteristics of cortical activity associated with perturbations to upright stability. *Neuroscience Letters*, 578, 33-38.
- Welch, T. D., & Ting, L. H. (2014). Mechanisms of motor adaptation in reactive balance control. *PLoS One*, 9(5), e96440.

- Winter, D. A. (1991). *The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological*. Waterloo: University of Waterloo Press.
- Winter, D. A., Patla, A. E., Prince, F., Ishac, M., & Gielo-Perczak, K. (1998). Stiffness control of balance in quiet standing. *Journal of Neurophysiology*, 80(3), 1211-1221.
- Wulf, G., Mercer, J., McNevin, N., & Guadagnoli, M. A. (2004). Reciprocal influences of attentional focus on postural and suprapostural task performance. *Journal of Motor Behavior*, 36(2), 189-199.

ANEXO A

Tabela 1 – Valores da análise estatística das variáveis do Experimento 1 para a amplitude de deslocamento da base de suporte de 5 cm.

Variável	Dica			Sequência			Dica x Sequência		
	F	<i>p</i>	η_p^2	F	<i>p</i>	η_p^2	F	<i>p</i>	η_p^2
Estabilidade das respostas posturais automáticas	0,01	0,924	0,01	4,98	0,047	0,31	0,02	0,884	0,01
Amplitude de deslocamento do CP _{ap}	1,82	0,204	0,14	6,71	0,025	0,38	0,05	0,832	0,01
Amplitude de velocidade do CP _{ap}	0,49	0,497	0,04	6,89	0,024	0,39	0,24	0,632	0,02
Amplitude de deslocamento do CM _{ap}	4,02	0,070	0,27	6,44	0,028	0,37	0,45	0,517	0,04
Amplitude de velocidade do CM _{ap}	0,26	0,623	0,02	14,54	0,003	0,57	0,27	0,611	0,02
Amplitude de rotação do tornozelo	0,17	0,688	0,02	1,76	0,211	0,14	0,42	0,533	0,04
Amplitude de rotação do quadril	1,69	0,220	0,13	10,72	0,007	0,49	0,45	0,518	0,04
Latência de ativação do GM	0,06	0,817	0,01	7,34	0,020	0,40	1,69	0,220	0,13
Magnitude de ativação do GM	0,06	0,816	0,01	9,49	0,010	0,46	0,49	0,500	0,04
Latência de ativação do BF	0,23	0,641	0,02	2,19	0,170	0,18	1,10	0,318	0,10
Magnitude de ativação do BF	0,18	0,677	0,02	0,01	0,938	0,01	0,84	0,382	0,08
Latência de ativação do EE	0,06	0,808	0,01	4,32	0,055	0,28	1,01	0,336	0,08
Magnitude de ativação do EE	0,62	0,449	0,05	0,78	0,397	0,07	0,22	0,646	0,02

CP: centro de pressão. CM: centro de massa. GM: gastrocnêmio medial. BF: bíceps femoral. EE: eretor da espinha.

Tabela 2 - Valores da análise estatística das variáveis do Experimento 1 para a amplitude de deslocamento da base de suporte de 10 cm.

Variável	Dica			Sequência			Dica x Sequência		
	F	<i>p</i>	η_p^2	F	<i>p</i>	η_p^2	F	<i>p</i>	η_p^2
Estabilidade das respostas posturais automáticas	3,42	0,092	0,24	2,41	0,149	0,18	0,17	0,687	0,02
Amplitude de deslocamento do CP _{ap}	0,15	0,704	0,01	4,46	0,054	0,29	2,42	0,148	0,18
Amplitude de velocidade do CP _{ap}	1,15	0,306	0,09	0,01	0,914	0,01	5,65	0,037	0,34
Amplitude de deslocamento do CM _{ap}	0,93	0,356	0,08	0,78	0,396	0,07	0,51	0,490	0,04
Amplitude de velocidade do CM _{ap}	0,15	0,708	0,01	0,06	0,814	0,01	1,76	0,212	0,14
Amplitude de rotação do tornozelo	0,65	0,436	0,06	2,74	0,126	0,20	0,32	0,583	0,03
Amplitude de rotação do quadril	0,26	0,619	0,02	0,01	0,922	0,01	1,33	0,272	0,11
Latência de ativação do GM	2,03	0,182	0,16	0,51	0,490	0,04	0,16	0,694	0,01
Magnitude de ativação do GM	0,28	0,608	0,02	0,86	0,375	0,07	0,03	0,856	0,01
Latência de ativação do BF	0,17	0,689	0,02	0,01	0,995	0,01	5,31	0,044	0,35
Magnitude de ativação do BF	3,54	0,089	0,26	0,65	0,437	0,06	0,23	0,643	0,02
Latência de ativação do EE	0,05	0,833	0,01	7,22	0,021	0,40	0,01	0,958	0,01
Magnitude de ativação do EE	0,02	0,893	0,01	0,06	0,809	0,01	0,14	0,718	0,01

CP: centro de pressão. CM: centro de massa. GM: gastrocnêmio medial. BF: bíceps femoral. EE: eretor da espinha.

Tabela 3 - Valores da análise estatística das variáveis do Experimento 1 para a amplitude de deslocamento da base de suporte de 15 cm.

Variável	Dica			Sequência			Dica x Sequência		
	F	<i>p</i>	n_p^2	F	<i>p</i>	n_p^2	F	<i>p</i>	n_p^2
Estabilidade das respostas posturais automáticas	0,43	0,527	0,04	6,00	0,032	0,35	3,25	0,099	0,23
Amplitude de deslocamento do CP _{ap}	1,20	0,296	0,10	5,37	0,041	0,33	2,33	0,155	0,17
Amplitude de velocidade do CP _{ap}	0,40	0,541	0,03	1,51	0,245	0,12	1,22	0,294	0,10
Amplitude de deslocamento do CM _{ap}	5,12	0,045	0,32	24,87	0,001	0,69	9,92	0,009	0,47
Amplitude de velocidade do CM _{ap}	0,29	0,600	0,03	32,87	0,001	0,75	3,66	0,082	0,25
Amplitude de rotação do tornozelo	2,74	0,126	0,20	5,01	0,047	0,31	1,10	0,317	0,09
Amplitude de rotação do quadril	0,28	0,605	0,03	1,52	0,244	0,12	0,06	0,804	0,01
Latência de ativação do GM	1,15	0,306	0,09	0,01	0,911	0,01	0,38	0,550	0,03
Magnitude de ativação do GM	0,12	0,740	0,01	0,02	0,894	0,01	3,12	0,105	0,22
Latência de ativação do BF	1,75	0,215	0,15	0,09	0,767	0,01	0,54	0,480	0,05
Magnitude de ativação do BF	0,23	0,642	0,02	0,36	0,564	0,03	0,19	0,671	0,02
Latência de ativação do EE	1,52	0,249	0,14	2,60	0,142	0,22	0,43	0,528	0,05
Magnitude de ativação do EE	0,72	0,423	0,09	0,10	0,758	0,01	0,03	0,862	0,01

CP: centro de pressão. CM: centro de massa. GM: gastrocnêmio medial. BF: bíceps femoral. EE: eretor da espinha.

Tabela 4 - Valores da análise estatística das variáveis do Experimento 2.

Variável	5 cm			10 cm			15 cm		
	F	<i>p</i>	n_p^2	F	<i>p</i>	n_p^2	F	<i>p</i>	n_p^2
Estabilidade das respostas posturais automáticas	11,92	0,001	0,50	11,53	0,001	0,49	9,43	0,001	0,44
Amplitude de deslocamento do CP _{ap}	6,92	0,001	0,37	5,57	0,003	0,32	3,80	0,018	0,24
Amplitude de velocidade do CP _{ap}	1,72	0,180	0,13	1,26	0,304	0,09	6,00	0,002	0,33
Amplitude de deslocamento do CM _{ap}	3,06	0,040	0,20	2,68	0,061	0,18	14,99	0,001	0,56
Amplitude de velocidade do CM _{ap}	0,49	0,692	0,04	1,43	0,251	0,11	0,69	0,566	0,05
Amplitude de rotação do tornozelo	1,90	0,146	0,14	0,87	0,463	0,07	1,58	0,210	0,12
Amplitude de rotação do quadril	1,26	0,303	0,09	2,19	0,106	0,15	0,47	0,707	0,04
Latência de ativação do GM	4,98	0,005	0,29	3,62	0,022	0,23	2,37	0,087	0,16
Magnitude de ativação do GM	0,35	0,793	0,03	2,99	0,044	0,20	3,52	0,024	0,23
Latência de ativação do BF	23,96	0,001	0,69	16,58	0,001	0,60	13,86	0,001	0,61
Magnitude de ativação do BF	1,04	0,388	0,09	2,04	0,127	0,16	0,58	0,634	0,06
Latência de ativação do EE	17,08	0,001	0,63	2,43	0,085	0,20	6,20	0,002	0,38
Magnitude de ativação do EE	0,28	0,842	0,03	0,33	0,805	0,03	0,88	0,465	0,08

CP: centro de pressão. CM: centro de massa. GM: gastrocnêmio medial. BF: bíceps femoral. EE: eretor da espinha.

Tabela 5 - Valores da análise estatística das variáveis do Experimento 3.

Variável	Sentido Posterior			Sentido Anterior		
	F	<i>p</i>	η_p^2	F	<i>p</i>	η_p^2
Estabilidade das respostas posturais automáticas	3,36	0,053	0,23	2,22	0,133	0,17
Amplitude de deslocamento do CP _{ap}	1,30	0,293	0,11	0,35	0,709	0,03
Amplitude de velocidade do CP _{ap}	3,60	0,044	0,25	0,98	0,392	0,08
Amplitude de deslocamento do CM _{ap}	5,23	0,014	0,32	4,15	0,030	0,27
Amplitude de velocidade do CM _{ap}	8,18	0,002	0,43	5,34	0,013	0,33
Amplitude de rotação do tornozelo	4,91	0,017	0,31	1,51	0,242	0,12
Amplitude de rotação do quadril	4,08	0,031	0,27	2,00	0,159	0,15
Latência de ativação do músculo	3,83	0,038	0,26	3,87	0,036	0,26
Magnitude de ativação do músculo	0,95	0,402	0,08	1,23	0,311	0,10

CP: centro de pressão. CM: centro de massa. Músculo agonista para (a) o sentido posterior: gastrocnêmio medial; (a) o sentido anterior: tibial anterior.

Tabela 6 - Valores da análise estatística das variáveis do Experimento 4.

Variável	Tarefa cognitiva x Dica								
	Tarefa cognitiva			Dica temporal			temporal		
	F	<i>p</i>	n_p^2	F	<i>p</i>	n_p^2	F	<i>p</i>	n_p^2
Estabilidade das respostas posturais automáticas	7,39	0,022	0,42	3,35	0,097	0,25	0,14	0,714	0,01
Amplitude de deslocamento do CP _{ap}	0,27	0,611	0,02	3,39	0,093	0,24	0,39	0,546	0,03
Amplitude de velocidade do CP _{ap}	0,16	0,697	0,01	5,63	0,037	0,34	7,44	0,020	0,40
Amplitude de deslocamento do CM _{ap}	0,07	0,803	0,01	2,45	0,149	0,20	0,15	0,709	0,01
Amplitude de velocidade do CM _{ap}	5,90	0,035	0,37	18,73	0,001	0,65	5,01	0,049	0,33
Amplitude de rotação do tornozelo	0,18	0,683	0,02	2,75	0,126	0,20	0,06	0,805	0,01
Amplitude de rotação do quadril	5,64	0,037	0,34	0,72	0,413	0,06	6,01	0,032	0,35
Latência de ativação do GM	0,04	0,840	0,01	83,10	0,001	0,88	1,43	0,256	0,12
Magnitude de ativação do GM	7,64	0,018	0,41	1,10	0,317	0,09	1,87	0,199	0,15

CP: centro de pressão. CM: centro de massa. GM: gastrocnêmio medial.

ANEXO B

1. EXPERIMENTO 1

1.1. AMPLITUDE DE 10 CM

As análises de ERPA ($F < 3,42$ e $p > 0,09$; Figura 18A), de amplitude de deslocamento ($F < 4,46$ e $p > 0,06$; Figura 18B) e velocidade ($F < 1,15$ e $p > 0,31$; Figura 18C) do CP e de amplitude de deslocamento ($F < 0,93$ e $p > 0,36$; Figura 18D) e velocidade ($F < 1,76$ e $p > 0,21$; Figura 18E) do CM não mostraram efeito significativo.

Figura 18. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), a amplitude do CP (B) e CM (D) e velocidade do CP (C) e CM (E) na direção anteroposterior em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 10 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

Não foram encontrados efeitos significantes para as análises do deslocamento articular do quadril ($F < 1,33$ e $p > 0,27$; Figura 19A) e do tornozelo ($F < 2,74$ e $p > 0,13$; Figura 19B).

Figura 19. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 10 cm.

As análises de latência de ativação do músculo GM ($F < 2,02$ e $p > 0,18$; Figura 20A) e BF ($F < 0,17$ e $p > 0,69$; Figura 20C) e da magnitude de ativação muscular para o músculo GM ($F < 0,86$ e $p > 0,37$; Figura 20B), BF ($F < 3,54$ e $p > 0,09$; Figura 20D) e EE ($F < 0,14$ e $p > 0,72$; Figura 20F) não mostraram efeitos principais significantes. A análise de latência de ativação do músculo EE indicou efeito principal significativo de sequência, $F(1, 11) = 7,22$, $p = 0,021$, $\eta_p^2 = 0,40$, devido a menores valores para a sequência repetitiva ($M = 174,71$ ms, $EP = 14,68$) do que para a aleatória ($M = 194,39$ ms, $EP = 15,23$) (Figura 20B).

Figura 20. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para latência e magnitude (normalizada), respectivamente, de ativação do músculo gastrocnêmio medial (A, B), bíceps femoral (C, D) e eretor da espinha (E, F) em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 10 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

1.2. AMPLITUDE DE 15 CM

As análises da ERPA, da amplitude de deslocamento do CP e da amplitude de velocidade do CM indicaram efeitos principais significantes de sequência, devido a maiores valores para a sequência repetitiva em relação à aleatória. Estabilidade da resposta postural automática, $F(1, 11) = 6,00$, $p = 0,032$, $\eta_p^2 = 0,35$; sequência repetitiva ($M = 3,86$, $EP = 0,31$) x sequência

aleatória ($M = 3,50$, $EP = 0,38$) (Figura 21A). Amplitude de deslocamento de CP, $F(1, 11) = 5,37$, $p = 0,040$, $\eta_p^2 = 0,33$; sequência repetitiva ($M = 9,17$ cm, $EP = 0,37$) x sequência aleatória ($M = 8,36$ cm, $EP = 0,41$) (Figura 21B). Amplitude de velocidade de CM, $F(1, 11) = 32,87$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,75$; sequência repetitiva ($M = 17,37$ cm/s, $EP = 0,89$) x sequência aleatória ($M = 14,15$ cm/s, $EP = 0,84$) (Figura 21E). A análise da amplitude de velocidade do CP não apontou efeito principal significativo, com valores de $F < 1,51$ e $p > 0,24$ (Figura 21C). A análise da amplitude de deslocamento do CM indicou efeito principal de sequência, $F(1, 11) = 24,87$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,69$, e interação entre dica e sequência, $F(1, 11) = 9,92$, $p = 0,009$, $\eta_p^2 = 0,47$ (Figura 21D). Comparações posteriores mostram que o efeito principal de sequência foi devido a menores valores para a sequência aleatória ($M = 9,87$ cm, $EP = 0,70$) em comparação à repetitiva ($M = 11,74$ cm, $EP = 0,57$). A interação entre dica e sequência foi devido a menores valores para a condição com dica em relação a sem dica na sequência repetitiva.

Figura 21. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), a amplitude do CP (B) e CM (D) e velocidade do CP (C) e CM (E) na direção anteroposterior em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 15 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

Não foi encontrado efeito significativo para a análise do deslocamento articular do quadril, $F < 1,52$ e $p > 0,24$ (Figura 22A). A análise de deslocamento articular do tornozelo indicou efeito principal significativo de sequência, $F(1, 11) = 5,01$, $p = 0,047$, $\eta_p^2 = 0,31$, devido a menores valores para a sequência repetitiva ($M = 2,64^\circ$, $EP = 0,33$) em comparação à aleatória ($M = 3,00^\circ$, $EP = 0,33$) (Figura 22B).

Figura 22. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 15 cm.

Não foram encontrados efeitos significantes para as latências de ativação dos músculos GM ($F < 1,15$ e $p > 0,31$; Figura 23A), BF ($F < 1,75$ e $p > 0,22$; Figura 23C) e EE ($F < 1,52$ e $p > 0,25$; Figura 23E). As análises de magnitude de ativação dos músculos GM ($F < 3,12$ e $p > 0,11$; Figura 23B), BF ($F < 0,36$ e $p > 0,56$; Figura 23D) e EE ($F < 0,72$ e $p > 0,42$; Figura 23F) não indicaram efeitos significantes.

Figura 23. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para latência e magnitude (normalizada), respectivamente, de ativação do músculo gastrocnêmio medial (A, B), bíceps femoral (C, D) e eretor da espinha (E, F) em função da condição de dica e sequência em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 15 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

2. EXPERIMENTO 3

2.1. AMPLITUDE DE 10 CM

A análise da ERPA indicou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 11,53$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,49$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para as condições de fornecimento de dica temporal em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal. Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia (Figura 24A).

A análise da amplitude de deslocamento do CP mostrou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 5,57$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,32$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a menores valores para as condições de fornecimento de dica temporal em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal. Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia (Figura 24B). Não foram encontrados efeitos significantes para a amplitude de velocidade do CP ($F = 1,26$ e $p = 0,30$; Figura 24C), e para a amplitude de deslocamento ($F = 2,68$ e $p = 0,06$; Figura 24D) e velocidade do CM ($F = 1,43$ e $p = 0,25$; Figura 24E).

Figura 24. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), a amplitude do CP (B) e CM (D) e velocidade do CP (C) e CM (E) na direção anteroposterior em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 10 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

Não houve efeito significativo para a análise do deslocamento articular do quadril ($F = 2,19$ e $p = 0,11$; Figura 25A) e do tornozelo ($F = 0,87$ e $p = 0,46$; Figura 25B).

Figura 25. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 10 cm.

As análises das latências de ativação dos músculos GM, $F(3, 36) = 3,62$, $p = 0,022$, $\eta_p^2 = 0,23$ (Figura 26A) e BF, $F(3, 36) = 16,59$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,60$ (Figura 26C), mostraram efeitos principais significantes. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a menores valores para as condições de fornecimento de dica temporal em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal. Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia. A análise de magnitude de ativação muscular do GM apontou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 2,99$, $p = 0,044$, $\eta_p^2 = 0,20$ (Figura 26B), devido a maiores valores para a condição de dica temporal em comparação a condição sem dica. Não foram encontradas diferenças significantes para a latência de ativação do músculo EE ($F = 2,43$ e $p = 0,08$; Figura 26E), e para as magnitudes de ativação dos músculos BF ($F = 2,04$ e $p = 0,13$; Figura 26D) e EE ($F = 0,80$ e $p = 0,80$; Figura 26F).

Figura 26. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para latência e magnitude (normalizada), respectivamente, de ativação do músculo gastrocnêmio medial (A, B), bíceps femoral (C, D) e eretor da espinha (E, F) em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 10 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

2.2. AMPLITUDE DE 15 CM

A análise da ERPA indicou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 9,43$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,44$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para as condições de fornecimento de dica temporal em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal. Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia (Figura 27A).

A análise da amplitude de deslocamento do CP indicou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 3,80$, $p = 0,018$, $\eta_p^2 = 0,24$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para a condição de dica de amplitude em comparação as condições de fornecimento de dica temporal (Figura 27B). A análise da amplitude de velocidade do CP indicou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 6,00$, $p = 0,002$, $\eta_p^2 = 0,33$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a maiores valores para a condição de dica de amplitude em comparação as demais condições (Figura 27C). A análise da amplitude de deslocamento do CM indicou efeito principal significativo, $F(3, 36) = 14,99$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,56$. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a menores valores para as condições de fornecimento de dica temporal em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal. Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia (Figura 27D). Não foi encontrado efeito significativo para a amplitude de velocidade do CM ($F = 0,69$ e $p = 0,57$; Figura 27E).

Figura 27. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a estabilidade das respostas automáticas (A), a amplitude do CP (B) e CM (D) e velocidade do CP (C) e CM (E) na direção anteroposterior em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 15 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.

Não houve efeito significativo para a análise do deslocamento articular do quadril ($F = 0,47$ e $p = 0,71$; Figura 28A) e do tornozelo ($F = 1,58$ e $p = 0,21$; Figura 28B).

Figura 28. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para a amplitude da articulação do quadril (A) e tornozelo (B) em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 15 cm.

As análises da magnitude de ativação muscular do GM, $F(3, 36) = 3,52$, $p = 0,024$, $\eta_p^2 = 0,23$ (Figura 29B) e das latências de ativação dos músculos BF, $F(3, 36) = 13,86$, $p = 0,001$, $\eta_p^2 = 0,61$ (Figura 29C) e EE, $F(3, 36) = 6,20$, $p = 0,002$, $\eta_p^2 = 0,38$ (Figura 29E) indicaram efeito principal significativo. Comparações posteriores mostraram que esse efeito foi devido a menores valores para as condições de fornecimento de dica temporal em comparação as condições sem a apresentação de dica temporal. Não foi encontrada diferença significativa entre as duas condições com dica temporal e nem entre a condição de dica de amplitude e sem o fornecimento de dica prévia. Não houve efeito significativo para a análise da latência de ativação muscular do GM ($F = 2,37$ e $p = 0,08$; Figura 29A) e para as magnitudes de ativação dos músculos BF ($F = 0,58$ e $p = 0,63$; Figura 29D) e EE ($F = 0,86$ e $p = 0,46$; Figura 29F).

Figura 29. Comparação de médias (erro padrão representado por barras verticais) para latência e magnitude (normalizada), respectivamente, de ativação do músculo gastrocnêmio medial (A, B), bíceps femoral (C, D) e erector da espinha (E, F) em função da dica (dica sobre a amplitude e tempo, DAT; dica temporal, DT; dica sobre a amplitude, DA; sem oferecimento de dica, SD) em resposta à translação posterior da plataforma com uma amplitude de 15 cm. Diferenças significantes são indicadas por asterisco.