

A importância das informações aferentes podais para o controle postural

Feet Afferent Information Importance to Postural Control

Marcela Regina de Camargo¹, Cristina Elena Prado Teles Fregonesi²

RESUMO

Introdução. O controle postural envolve um mecanismo complexo de conexão das vias aferentes e eferentes e sua integração no sistema nervoso central (SNC). Três sistemas são responsáveis pela captação de informação exterior: o visual, o vestibular e o sensorial. Estudos recentes têm demonstrado que, dentre tais sistemas, o SNC demonstra maior predileção às informações sensoriais o controle postural. **Objetivo.** Diante disso, essa revisão propõe discutir a importância entre as informações sensitivas podais e seu reflexo no mecanismo de controle postural. **Método.** Para isso, foi realizada uma busca na literatura, através das bibliotecas PubMed e Bireme, e selecionados artigos dos últimos cinco anos. Alguns livros específicos da área também foram utilizados. **Discussão.** Os estudos obtidos foram separados em tópicos sobre “integração das informações sensoriais para a resposta neuro-motora”; “recrutamento dos mecanismos de ajustes posturais antecipatórios”; “coordenação e sinergia das respostas neuro-musculares” e “o papel das estruturas teciduais musculoesqueléticas”. **Conclusão.** Apesar do grande número de estudos encontrados, permanece obscuro o real mecanismo que o SNC utiliza para filtrar, integrar e processar a informação sensorial e selecionar a resposta motora adequada, seja ela para o movimento ou para a estabilização postural.

Unitermos. Postura, Pé, Propriocepção, Sensação.

Citação. Camargo MR, Fregonesi CEPT. A importância das informações aferentes podais para o controle postural.

ABSTRACT

Introduction. The postural control involves a complex mechanism for connecting the afferent and efferent pathways and their integration into the central nervous system (CNS). Three systems are responsible to obtain outside information: visual, vestibular and sensory. Recent studies have shown that among such systems, the CNS shows a greater predilection for sensory information to postural control. **Objective.** Given this, the review proposes to discuss the feet sensory information importance and its reflection in postural control mechanisms. **Method.** For this reason, a literature search was carried out by PubMed and Bireme libraries, and papers of the last five years were selected. Specific books were also used. **Discussion.** Studies were separated into topics on “sensory information integration to neuro-motor answer”, “postural feed-forward adjustments recruitment mechanisms”; “neuro-muscular coordination and synergy responses” and “the musculoskeletal tissues role”. **Conclusion.** Despite has been found a large number of studies, the real mechanism that the CNS uses to filter, integrate and process the sensory information and select the appropriate motor response, be it for the movement or posture for the stabilization remains obscure.

Keywords. Posture, Foot, Proprioception, Sensation.

Citation. Camargo MR, Fregonesi CEPT. Feet Afferent Information Importance to Postural Control.

Trabalho realizado na Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente (FCT/UNESP), Presidente Prudente-SP, Brasil.

1. Fisioterapeuta, Mestranda em Fisioterapia – FCT/UNESP, Presidente Prudente-SP, Brasil.
2. Fisioterapeuta, Doutora, Professora Assistente do Curso de Graduação e do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Fisioterapia – FCT/UNESP, Presidente Prudente-SP, Brasil.

Endereço para correspondência:

Marcela R Camargo
Departamento de Fisioterapia
R Roberto Simonsen, 305
CEP 19060-900, Presidente Prudente-SP, Brasil.
Tel: (18) 3229-5365 - Ramal 213
E-mail: amy.marcela@gmail.com

Revisão

Recebido em: 03/11/09

Aceito em: 29/04/10

Conflito de interesses: não

INTRODUÇÃO

A manutenção da postura envolve o controle da posição do corpo no espaço com objetivo duplo de estabilidade e orientação. O estabelecimento postural se dá através de um balanço entre sinergias neuro-musculares, estratégias sensoriais, mecanismos antecipatórios e adaptativos, representações internas e componentes periféricos. É, portanto, exigida uma complexa integração entre sistema musculoesquelético, como a amplitude de movimento (ADM) das articulações; flexibilidade da coluna; propriedades musculares; relações biomecânicas entre os segmentos corpóreos; e propriedades neurais, como os processos sensoriais, motores e de integração^{1,2}.

As informações sensoriais são provenientes do sistema visual, vestibular e somatossensitivo. Esses três tipos de aferências estão integrados e são processados para elaboração da resposta de ajuste e controle postural. Muitos estudos demonstram que a informação somatossensitiva é, com frequência, a mais utilizada pelo sistema nervoso central (SNC). Sendo assim, pode-se inferir que, aparentemente, o SNC dá maior preferência às aferências somatossensitivas ao realizar reajustes posturais, pois essas aferências atuam informando ao SNC a relação entre os diferentes segmentos do corpo. Isto ocorre através dos proprioceptores – fusos musculares, órgãos neurotendíneos e receptores articulares e através de mecanorreceptores cutâneos – corpúsculos de Paccini e discos de Merkel, principalmente¹⁻³.

Nos pés, além das aferências desencadearem reflexos segmentares, as vias proprioceptivas e cutâneo-plantares, através do sistema epicrítico, emitem ramos colaterais para o cerebelo e para estruturas romboencefálicas de propriocepção inconsciente. Isso permite que as informações provenientes dos mesmos proprioceptores sejam processadas simultaneamente pelo SNC, que, por sua vez, transmite informações aos músculos agonistas ou antagonistas, conforme se articulem com interneurônios excitatórios ou inibitórios. Esse fato aperfeiçoa as respostas de adaptação postural e torna os pés uma excelente ferramenta de informação aferente proprioceptiva^{4,5}.

Diante disso, o presente estudo propõe realizar uma revisão de literatura sobre a influência da condução de informação aferente somatossensitiva proveniente dos pés no controle postural, bem como discutir as possíveis relações entre as variâncias desta informação e o desenvolvimento do padrão postural individual.

MÉTODO

Para realização da presente revisão de literatura, foi executada uma busca de artigos nas bibliotecas PubMed e Bireme, acessando as bases de dados MEDLINE, LILACS e SciELO. Foi, então, realizado o cruzamento entre os descritores de assuntos pé x postura, em sites de busca por língua portuguesa, e *foot x posture*, em sites de língua inglesa. Os estudos incluídos passaram pelos seguintes critérios de seleção: abordagem direta do tema, idiomas inglês e português, data de publicação entre 2004-2008 e disponibilidade eletrônica. Foram incluídos artigos experimentais – com delineamento, critérios de exclusão, e aspectos éticos claramente explicitados no texto; e estudos de revisão – com tema diretamente relacionado ao assunto, dessa forma, foram selecionados estudos que relacionavam a entidade neurofuncional dos pés, sendo descartados aqueles com enfoque puramente ortopédico. Além desta busca, o presente estudo abrangeu alguns livros diretamente relacionados com o assunto.

DISCUSSÃO

Sabe-se que durante a infância, período de amadurecimento neuro-sensório-motor, cada nova experiência aprimora os padrões de controle postural. O desenvolvimento, fixação e manutenção destes padrões são de crucial importância para realização das atividades de vida diária do adulto. Assim, conforme ocorre movimentação corpórea, deve existir uma resposta auxiliadora dos sistemas de referência (visual, vestibular e somatossensitivo) de modo com que ocorra adaptação das novas posturas promovendo a manutenção do equilíbrio⁶⁻⁸.

Este mecanismo de ajuste do sistema sensorial permanece durante toda a vida do indivíduo. Contu-

do, por já ter sido desenvolvido, durante a infância, mecanismos antecipatórios (*feed-forward*), as respostas sensoriais do adulto são mais maduras e específicas para cada perturbação postural. As informações provenientes do sistema somatossensitivo têm grande influência para a elaboração da resposta neuro-motora de ajuste e serão enfocadas nesta revisão.

Integração das informações sensoriais para a resposta neuro-motora:

Ainda não há unanimidade em relação à exata maneira que o SNC utiliza para integrar e processar a informação sensorial. Alguns estudos concordam que a resposta motora reflete a influência de entradas sensoriais múltiplas, enquanto outros autores defendem que um tipo de informação sensorial domina o mecanismo⁹.

A controvérsia entre os estudiosos enfoca-se especificamente em saber se o SNC controla o equilíbrio, como forma de manutenção da postura, através de um mecanismo compensatório (*feedback*), gerando forças musculares para respostas de correção automática de equilíbrio, ou se ações antecipatórias (*feed-forward*) também são requeridas para manter a postura em pé¹⁰.

O sistema nervoso possui um mecanismo pelo qual os neurônios mais ativos limitam a atividade dos neurônios adjacentes menos ativos, assegurando que apenas uma entre duas respostas competitivas seja expressa. Este fato contribui para a percepção seletiva da sensação. Além disso, o próprio córtex motor e o tronco cerebral podem inibir e controlar o fluxo de informação sendo, portanto, capazes de controlar as informações provenientes da periferia¹¹.

No caso do controle postural, as formas de integração não se aplicam apenas às informações provenientes de diferentes sentidos sensoriais, mas podem ocorrer mesmo quando dois estímulos afetam um único canal sensorial, suprimindo ou utilizando as informações, de acordo com a sua contribuição, benéfica ou prejudicial, para o controle da postura¹². Isto demonstra a grande adaptabilidade do SNC em avaliar rapi-

damente as diversas dicas sensoriais e seu potencial de utilização para manutenção da estabilidade postural.

A idéia de que o SNC ajusta seletivamente as diversas contribuições sensoriais para uma resposta motora é confirmada por um estudo¹³, que ainda ressalta que grande parte dessas contribuições é de responsabilidade dos proprioceptores dos tornozelos e mecanorreceptores plantares. Além disso, a resposta somatossensitiva para o controle postural varia de um sujeito a outro, sendo este um fator importante que sempre deve ser considerado¹⁴.

Um estudo¹⁵, que isolou a resposta de *feedback* dos aferentes cutâneo-plantares por anestesia, concluiu que essa resposta é extremamente necessária para a manutenção do equilíbrio normal quando os proprioceptores e visão estão comprometidos. Ficou comprovado, então, que as informações provenientes dos mecanorreceptores cutâneos têm importância relativa para o ajuste postural. Todavia, quando há comprometimento de um ou mais aferente sensorial, esta informação se torna crucial para o controle do equilíbrio e da postura.

Recrutamento dos mecanismos de ajustes posturais antecipatórios:

Aparentemente, os ajustes posturais antecipatórios influenciam na estabilidade postural, no desempenho e tipo de movimento isolado e na posição inicial do centro de massa (CM)¹. A duração destes ajustes é fixada de acordo com o deslocamento do CM inicial, estimado pelos aferentes cutâneo-plantares antes do início de um passo, podendo estar diretamente envolvida tanto pelo aumento de força de suporte do membro inferior durante o apoio, quanto pelo acréscimo da força propulsora para remoção do calcanhar do solo no início da fase de balanço da marcha¹⁶.

Existem duas estratégias recrutadas de maneira isolada ou simultânea pelo SNC para a manutenção do CM. A estratégia de tornozelo é utilizada para reposição do CM através do movimento do corpo – principalmente em torno do tornozelo – com um discreto movimento do quadril. Essa estratégia é observada em

respostas às perturbações relativamente lentas, necessitando da integridade da amplitude e força muscular da articulação do tornozelo. Já a estratégia de quadril controla o CM por meio da produção de um movimento amplo e rápido no quadril, com rotação antifase do tornozelo, ou seja, combinação de extensão de quadril com dorsiflexão de tornozelo ou flexão de quadril com plantiflexão de tornozelo^{1,17}.

O tipo de organização postural a ser adotado não é determinado apenas pelas articulações envolvidas, mas sim pela maneira pela qual os movimentos das diferentes articulações são coordenados. Existem três categorias de restrições que influenciam os modos de coordenação do movimento: as limitações ambientais, como as irregularidades do terreno; propriedades intrínsecas, como a altura do centro de massa e o comprimento dos pés; e restrições intencionais ou da tarefa, como a execução da orientação para acompanhamento do movimento de um alvo¹⁸.

Em um estudo¹⁹ de intervenção fisioterapêutica em idosos foi observada melhora do parâmetro baropodométrico. Esse ganho foi relacionado a um aumento das aferências cutâneo-plantares e consequente facilitação do controle motor e estabilidade postural. Este fato pode acabar favorecendo a estabilidade para realização da marcha, tornando essa população menos propensa às quedas.

Em outro estudo²⁰, com indivíduos que apresentavam déficits proprioceptivos, foi concluído que, mesmo em pessoas que não demonstram apresentar déficit sensorial, uma fonte adicional de informação sensorial pode melhorar o desempenho postural. Assim, a disponibilidade destas informações aos sujeitos que apresentam perda oferece melhora significativa para o controle da postura.

Podemos concluir, então, que a atividade dos músculos posturais, observada principalmente nos músculos extensores dos membros inferiores e nos músculos do tronco e pescoço, objetiva a manutenção da projeção do centro de gravidade (CG) dentro dos limites da base de apoio²¹. A partir daí, pode-se deduzir que as aferências proprioceptivas têm um grande papel

nesse contexto, mas não se pode descartar a importância da integridade do mecanismo de discriminação cutâneo-plantar. Tal mecanismo deve facilitar o SNC a detectar as projeções do CG e, desta forma, permitir uma diminuição da oscilação corporal na manutenção da postura²².

Coordenação e sinergia das respostas neuro-musculares:

As repostas compensatórias de ajuste postural têm uma ampla diferença quando comparadas às repostas de antecipação. As repostas de *feedback* podem ser realizadas por um circuito relativamente simples de arco reflexo, enquanto as respostas de *feed-forward* necessitam de acesso a um circuito de armazenagem de padrões de ativação muscular. Uma resposta compensatória tem maior relação na manutenção do corpo em posição ereta, estática e dinâmica. Em contrapartida, o mecanismo de *feed-forward* tem maior participação em resposta a uma perturbação²³.

O sistema nervoso é responsável pelas repostas de sinergia e coordenação de ativação muscular através dos mecanismos supracitados e a anatomia dos membros inferiores permite que as forças de reação estejam vinculadas, em grande parte, aos quadris e tornozelos. Estas articulações são responsáveis por controlar os movimentos corporais, quer seja no plano frontal ou no plano sagital²⁴.

A estratégia do tornozelo pode ser denominada como fase padrão (tornozelo e quadril deslocando-se na mesma direção) e a estratégia de quadril como fase antipadrão (tornozelo e quadril em direções opostas). A coordenação dessas estratégias depende do envio de informações dos proprioceptores articulares e, se ocorrer um distúrbio na transmissão de informação somatossensitiva proveniente dos aferentes de pés e tornozelo, o SNC envia informações para uma redistribuição do torque para os quadris^{15,25}. Pode-se inferir, então, que este fator altere todo o sistema de fases padrão e antipadrão, provocando déficits de ajuste.

Quando se transfere este quadro fisiológico às enfermidades mais comumente encontradas, como as

neuropatias periféricas, além do comprometimento dos proprioceptores, há uma alteração de condução nervosa aferente dos mecanorreceptores cutâneos. Esta perda global de sensibilidade podal acarreta alteração no tempo de ativação de alguns músculos posturais do membro inferior e diminuição do reflexo miotático, piorando o controle postural²⁶.

O papel das estruturas teciduais musculoesqueléticas:

Como já mencionado anteriormente, além das estruturas nervosas, contribuem para o sucesso do controle postural, os componentes musculoesqueléticos. Tais componentes – músculos, tendões, cápsula articular, ligamentos e ossos – são sítios de estruturas responsáveis pelas aferências sensitivas e determinam a execução adequada da resposta motora.

Um estudo sobre o efeito da fadiga muscular nas respostas de controle da postura concluiu que sinais de condução nervosa aferente, durante um estado de fadiga muscular, talvez leve a uma propagação mais lenta dos sinais eferentes para manutenção postural. Consequentemente, sujeitos com fadiga muscular têm maior propensão a lesões musculoesqueléticas, devido ao atraso de condução nervosa²⁷.

O reflexo de alongamento no tornozelo é o mecanismo de maior controle tanto na postura estática, quanto perante a uma perturbação. A rigidez nessa articulação, comum em idosos ou em sujeitos com lesão do SNC, é acrescida pelo aumento do tempo do *feedback* extramuscular, ocasionado pela co-contracção muscular ou por um *feedback* positivo forçado. Este atraso no mecanismo de arco-reflexo pode explicar a dificuldade dessa população em realizar tarefas com exigência postural²⁸.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Está claro que todas as aferências podais, de alguma forma, colaboram e são priorizadas pelo SNC na resposta de manutenção e recuperação da postura e equilíbrio no corpo humano. Muito do funcionamento de tal recrutamento, como padrões de sinergia

e coordenação, articulações envolvidas em cada resposta específica e o comportamento e adaptações perante lesões, estão aparentemente esclarecidos. Contudo, apesar da ampla quantidade de estudos encontrados na literatura sobre a real influência das informações somatossensitivas no controle postural, ainda permanecem obscuras algumas informações-chave do mecanismo de adaptabilidade do SNC para filtrar as respostas aferentes e selecionar a resposta motora mais adequada a um estímulo. Pesquisas futuras são necessárias no sentido de melhor entender o mecanismo de aprendizado neuro-sensório-motor, bem como sua adequabilidade às demandas da tarefa e do ambiente.

AGRADECIMENTO

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da FCT/UNESP e Laboratório de Estudos Clínicos em Fisioterapia (LECFisio) da FCT/UNESP.

REFERÊNCIAS

1. Shumway-Cook A, Woollacott MH. O Controle Motor: Teorias e aplicações práticas. São Paulo: Manole, 2003, 610p.
2. Lundy-Ekman L. Neurociência: Fundamentos para Reabilitação. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000, 532p.
3. Souza GS, Gonçalves DF, Pastre CM. Propriocepção cervical e equilíbrio: uma revisão. Fisioterapia em Movimento 2006;19:33-40.
4. Bricot B. Posturologia. São Paulo: Editora Ícone, 2004, 270p.
5. Lent R. Cem Bilhões de Neurônios: Conceitos Fundamentais de Neurociência. São Paulo: Atheneu, 2005, 698p.
6. Oliveira TP, Santos AMC, Andrade MC, Ávila AOV. Avaliação do controle postural de crianças praticantes e não praticantes de atividade física regular. J Bras Biomecânica 2008;9:41-6.
7. Simoneau M, Richer N, Mercier P, Allard P, Teasdale N. Sensory deprivation and balance control in idiopathic scoliosis adolescents. Exp Brain Res 2006;170:576-82.
8. Suzuki S, Gugelmim MRG, Soares AV. O equilíbrio estático em crianças em idade escolar com transtorno de déficit de atenção/hiperatividade 2005;18:49-54.
9. Wu G, Haugh L, Sarnow M, Hitt J. A neural network approach to motor-sensory relations during postural disturbance. Brain Res Bull 2006;69:365-74.
10. Alexandrov AV, Frolov AA, Horak FB, Carlson-Kuhta P, Park S. Feedback equilibrium control during human standing. Biol Cybern 2005;93:309-22.

11. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Fundamentos da Neurociência e do Comportamento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997, 591p.
12. Hatzitaki V, Pavlou M, Bronstein AM. The integration of multiple proprioceptive information: effect of ankle tendon vibration on postural responses to platform tilt. *Exp Brain Res* 2004;154:345-54.
13. Vuillerme N, Pinsault N. Re-weighting of somatosensory inputs from the foot and the ankle for controlling posture during quiet standing following trunk extensor muscles fatigue. *Exp Brain Res* 2007;183:323-7.
14. Vuillerme N, Chenu O, Pinsault N, Boisgontier M, Demongeot J, Payan Y. Inter-individual variability in sensory weighting of a plantar pressure-based, tongue-placed tactile biofeedback for controlling posture. *Neurosci Lett* 2007;421:173-7.
15. Meyer PF, Oddsson LIE, De Luca CJ. The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance. *Exp Brain Res* 2004;156:505-12.
16. Azuma T, Ito T, Yamashita N. Effects of changing the initial location of the center of mass on the anticipatory postural adjustments and task performance associated with step initiation. *Gait Posture* 2007;26:526-31.
17. Ferry M, Cahoue V, Martin L. Postural coordination modes and transition: dynamical explanations. *Exp Brain Res* 2007;180:49-57.
18. Martin L, Cahoue V, Ferry, Fouque F. Optimization model predictions for postural coordination modes. *J Biomech* 2006;39:170-6.
19. Alfieri FM, Teodori RM, Guirro RRJ. Estudo baropodométrico em idosos submetidos à intervenção fisioterapêutica 2006;19:67-74.
20. Bonfim TR, Barela JA. Efeito da manipulação da informação sensorial na propriocepção e no controle postural 2007;20:107-17.
21. Mouzat A, Dabonneville M, Bertrand P. The effect of feet position on orthostatic posture in a female sample group. *Neurosci Lett* 2004;365:79-82.
22. Bernard-Demanze L, Burdet C, Berger L, Rougier P. Recalibration of somesthetic plantar information in the control of undisturbed upright stance maintenance. 2004;3:433-51.
23. Park S, Horak FB, Kuo AD. Postural feedback responses scale with biomechanical constraints in human standing. *Exp Brain Res* 2004;154:417-27.
24. Rougier PR. Relative contribution of the pressure variations under the feet and body weight distribution over both legs in the control of upright stance. *J Biomech* 2007;40:2477-82.
25. Antoine P, Florent F, Violaine C, Alain M. Effects of plantar flexor muscles fatigue induced by electromyostimulation on postural coordination. *Neurosci Lett* 2007;414:16-20.
26. Akashi PMH, Sacco ICN, Watari R, Hennig E. The effect of diabetic neuropathy and previous foot ulceration in EMG and ground reaction forces during gait. *Clin Biomech* 2008;23:584-92.
27. Gribble PA, Hertel J. Effect of hip and muscle fatigue on unipedal postural control. *J Electromyogr Kinesiol* 2004;14:641-6.
28. Verdaasdonk BW, Koopman HFJM, van Gils SA, van der Helm FCT. Bifurcation and stability analysis in musculoskeletal systems: a study in human stance. *Biol Cybern* 2004;91:48-62.