

## Revisão

# Equilíbrio de tronco em pessoas com lesão medular: como mensurar?

## *Thoracic balance control in people with spinal cord injury: how can it be measured?*

Marta Simões Peres\*, Carlos Alberto Gonçalves\*\*

.....

\* *Fisioterapeuta, Mestre em Ciências da Saúde*

\*\* *Engenheiro, Doutor em Engenharia Biomédica, Prof. Adjunto, Departamento de Ciências Fisiológicas, CFS/Instituto de Ciências Biológicas, UnB*

### Resumo

O controle do equilíbrio é considerado uma habilidade fundamental, pois constitui um pré-requisito para se iniciar qualquer movimento. Lesões ao Sistema Sensorial, ao Sistema Nervoso Central e ao Sistema Músculo-Esquelético podem afetar essa habilidade, daí a importância de medidas de estabilidade postural em estudos ligados à fisiologia, geriatria, neurologia e traumatologia. A Biomecânica é a área do conhecimento que nos fornece as ferramentas para avaliar diversos parâmetros do movimento e do equilíbrio. Este estudo norteou a opção pela cinemática como um método eficiente de avaliação de equilíbrio de tronco em pessoas com lesão medular. Deste modo, a partir da exposição de conceitos, bases fisiológicas e evolução histórica das técnicas, este trabalho revê os principais métodos de mensuração do equilíbrio, a fim de oferecer um leque de possibilidades a futuras pesquisas sobre o tema.

### Palavras-chave:

Avaliação de equilíbrio,  
controle de tronco,  
registro em vídeo,  
biomecânica,  
lesão medular

---

### Endereços para correspondência:

Marta Simões Peres: SHCES Qd 105 Bl 'B' apto 403 Cruzeiro Novo - DF 70650-152 tel (61)3633181 e-mail pedrobento@zaz.com.br  
Carlos Alberto Gonçalves: Cond. Solar de Atenas D27 Grande Colorado Sobradinho/DF 73.070-014 tel (61) 4858192 e-mail cg@unb.br

---

### Abstract

Balance control is viewed as a fundamental ability, inasmuch as it constitutes a prerequisite for movement initiation. Lesions to the Sensory Systems, the Central Nervous System, and the Skeletal-Muscle System may hinder such ability, indicating the importance of postural balance measures in studies related to physiology, geriatrics, neurology and traumatology. Biomechanics is the field which provides the necessary tools to evaluate various movement and balance-related parameters. In this investigation, cinemetry was employed as an efficient mode for appraising thoracic balance in spinal cord injured patients. Therefore, through an analysis of the theoretical framework, physiological basis and historical evolution of techniques, this study reviews the main methods for measuring balance, in order to offer a broad range of possible topics for future research.

### Key-words:

*Balance evaluation,  
thoracic control,  
video recording,  
biomechanics,  
spinal cord injury*

### Introdução

Este estudo foi motivado pela necessidade de escolhermos um método adequado para avaliar, em posição sentada, o ganho de equilíbrio de tronco em pessoas com lesão medular após treinamento por atividade de dança. Esta revisão bibliográfica serviu de suporte para primeiros testes, no Laboratório de Biomecânica da Universidade de Brasília (UnB), que nos levaram à elaboração de um método de avaliação do controle dos movimentos de tronco por aqueles sujeitos (Peres, 2000).

### Conceituação

Equilíbrio é definido como “o estado de um corpo em que as diversas forças de gravidade formam uma cadeia fechada, anulando-se” (Fraccaroli, 1991) ou como a “*habilidade em manter o centro de massa do corpo sobre sua base de suporte com uma oscilação postural mínima*” (Shumway-Cook et al, 1988).

A habilidade funcional para o equilíbrio abrange dois tipos, o estático e o dinâmico. O primeiro relaciona-se à capacidade de manter-se em determinada posição e o segundo, à capacidade de controle ao longo de um movimento. O equilíbrio estático, por sua vez, pode ser dividido em três tipos: estável, quando para causar-lhe uma mudança de posição é

necessária aplicar uma força considerável, por exemplo, quando nos encontramos deitados; neutro, quando o corpo muda de uma posição para outra, mas seu centro de gravidade permanece no mesmo nível, tal como uma bola girando sobre uma superfície plana; instável, quando a base de suporte é mínima e a energia potencial é máxima, de forma que apenas uma pequena força é necessária para mover a linha de gravidade, como quando, sentado num banco de base pequena, alguém é empurrado, então, recupera seu equilíbrio ou cai, atingindo uma situação estável.

### Bases fisiológicas

O controle do equilíbrio é considerado uma habilidade fundamental, pois constitui um pré-requisito para se iniciar qualquer movimento. Em termos fisiológicos, “*o equilíbrio consiste na resposta biomecânica do sistema músculo-esquelético quando o indivíduo encontra-se de pé, sentado, deambulando ou executando algum outro movimento*” (Theasaurus Medline, 1998). As teorias de controle motor preconizam que essa resposta neuro-motora depende da atuação de vários sistemas que se integram por mecanismos de retro-alimentação, sendo que os principais são: 1) sistema sensorial, compos-

to pelo visual, cutâneo, proprioceptivo e vestibular; 2) sistema motor, cuja função é criar o movimento e manter a postura; 3) sistema biomecânico, constituído pela estrutura dos ossos e das articulações.

Portanto, o controle do equilíbrio depende, basicamente, da integração entre a organização sensorial, a coordenação motora dos componentes do sistema neurológico e da biomecânica do sistema músculo-esquelético. Isto se dá de forma que as informações recebidas pelo Sistema Nervoso Central e as reações daí decorrentes, em termos de contrações musculares necessárias, dependem da acurácia da entrada e da integração de informação nesses sistemas, visando estabilizar a postura ou prevenir uma mudança indesejada. Isso ocorre por meio da escolha de respostas rápidas correspondentes às modificações ambientais internas e externas requisitadas. Segundo Wooley e Armstrong (1993), o componente motor do controle postural depende das estratégias de movimento evocadas na musculatura das extremidades e do tronco.

Considerando-se que lesões ao Sistema Sensorial, ao Sistema Nervoso Central e ao Sistema Músculo-Esquelético podem afetar o controle postural, é grande o interesse relativo a este assunto. Diversos campos de pesquisa voltam-se para o estudo do equilíbrio e da postura, enfocando tanto indivíduos 'normais' quanto portadores de patologias variadas. Medidas de estabilidade postural são úteis na caracterização de mudanças ligadas à idade, doenças neurológicas e trauma. Particularmente entre idosos, a perda de força muscular e déficits sensoriais leva à diminuição do controle postural, o que traz a essa população, quedas frequentes, lesões e custos hospitalares.

É obrigatório, portanto, recorrer aos métodos de avaliação do equilíbrio, a fim de investigar os efeitos da reabilitação e de outras intervenções, em campos tais como a geriatria, a neurologia, a ortopedia, a traumatologia, a obstetrícia, entre outros, com sujeitos adultos e crianças, portadores ou não de deficiências.

## **Métodos de mensuração do equilíbrio**

### *Histórico*

Murray (1975) classifica os métodos de avaliação da postura ortostática em três grupos: 1) mensuração do movimento do centro de pressão; 2) mensuração da atividade muscular responsável pela manutenção da postura; 3) mensuração do deslocamento do segmento corporal durante a posição ortostática.

A Biomecânica, que vem a ser a área do conhecimento que nos fornece as ferramentas para avaliar o equilíbrio, divide-se em quatro ramos principais: a antropometria<sup>1</sup>, a dinamometria, a eletromiografia e a cinemetria, sendo que os três últimos estão respectivamente relacionados aos métodos citados por Murray.

Com base nisso, a análise do equilíbrio tem sido um importante instrumento ao fisioterapeuta para avaliar distúrbios do Sistema Nervoso Central.

As observações subjetivas de Romberg, um neurofisiologista alemão, sobre as oscilações de sujeitos portadores de tabes dorsalis em 1853, consistiram num marco inicial. Seus achados o permitiram desenvolver um teste para a avaliação do equilíbrio, que até hoje é utilizado em exames físicos de rotina de avaliações neurológicas, conhecido como "teste de Romberg". Ele representa a forma mais simples de exame de equilíbrio e consiste na observação visual da habilidade ou tendência ao desequilíbrio do paciente em manter-se na posição ortostática, com os pés unidos, de olhos abertos e de olhos fechados.

Algumas décadas depois, Mitchell e Lewis (1886) posicionaram sujeitos em frente a uma parede quadriculada e observaram excursões máximas de oscilação em direções lateral e sagital (Oliveira, 1993). Em 1887, Hinsdale utilizou um "ataxiógrafo", instrumento constituído por uma agulha estacionária que registrava oscilações sobre um disco plano preso à cabeça do sujeito. Nas décadas de 20 e 30, buscando-se cada vez mais a quantificação destas oscilações, foram desenvolvidos instru-

---

<sup>1</sup> Antropometria: processo ou técnica de mensuração do corpo humano ou de suas várias partes (Ferreira, 1986)

---

mentos como a “cefalografia”, o “ataxiômetro” e balanças especiais. Estes exames, no entanto, ainda apresentavam precisão deficiente, grande demanda operacional, tal como a necessidade de fixar transdutores no corpo do paciente. Tudo isto *“impedia a aplicação, em larga escala, destas técnicas na área clínica, as quais permaneceram a nível experimental”* (Oliveira, 1993).

Nos anos 50, Babinski e seus colaboradores desenvolveram a estabilografia, técnica de medição aperfeiçoada por Terekov (1976). Este passou a utilizar circuitos eletrônicos, e nos anos 70 implantou, em plataformas fixas, transdutores de carga (*strain-gauges*). Bizzo (1985) publicou especificações para a construção de uma plataforma de força vertical projetada para a estabilometria clínica (*idem*).

#### *Dinamometria*

A dinamometria<sup>2</sup> utiliza-se do instrumental de uma plataforma apoiada sobre transdutores de força, que fornece o registro contínuo da amplitude e frequência dos deslocamentos ântero-posteriores e laterais do Centro de Pressão<sup>3</sup>. Ao registrar quantitativamente oscilações posturais, consiste num método de avaliação do desempenho do sistema de controle postural, em ortostatismo, com fins diagnósticos. Nas últimas décadas, o desenvolvimento tecnológico da construção de plataformas de força e a grande sofisticação do processamento de sinais levaram ao uso corrente deste instrumento para quantificar a oscilação postural contínua do corpo na postura de pé. Estas têm sido usadas para examinar sujeitos sem deficiência e populações portadoras de limitações diversas devido à doença ou à lesão.

O exame da estabilidade postural pode incluir testes de olhos abertos e fechados para estimar o papel do sistema visual na manutenção do equilíbrio, técnica cuja origem é o já mencionado teste de Romberg. Outra possível situação de instabilidade pode ser proposta solicitando-se ao sujeito ficar sobre um pé só, a fim de avaliar a estabilidade sob condições que desafiam o sistema de controle

postural e comparar com os dois pés apoiados.

Na posturografia estática, o movimento do centro de pressão é mensurado enquanto o sujeito fica de pé, procurando manter-se imóvel, sobre a plataforma. Presume-se que uma estabilidade postural diminuída, ou um equilíbrio precário, leve a uma área aumentada da trajetória do centro de pressão. Como a plataforma de força mede também a aceleração do centro de pressão, um aumento da mesma pode indicar um déficit no controle postural ou a adoção de uma estratégia de controle postural diferente.

Estudos relativos à quantificação dos mecanismos responsáveis pelo equilíbrio, após distúrbios externos, originaram a posturografia dinâmica. Em outras palavras, esta refere-se aos métodos que medem a performance do sistema de controle postural quando este responde a uma perturbação do ambiente. Os agentes externos geradores de desequilíbrio evoluíram desde pequenos empurrões até plataformas que se inclinam ou vibram de maneira programada (Oliveira, 1993).

Com a utilização da informática e da eletrônica digital, as técnicas de estabilometria avançaram de forma a tornar-se possível a quantificação precisa das oscilações posturais. Portanto, embora seja utilizada como método de pesquisa, o caráter aplicativo desta técnica na clínica vem se expandindo em diversas instituições do mundo.

Deste modo, esta técnica oferece algumas vantagens, pelo fato de ser padronizada e fornecer valores precisos.

#### *Eletromiografia (EMG)*

A atividade elétrica de um músculo pode ser registrada e medida através da eletromiografia. A instrumentação necessária a esta técnica é disponível há algumas décadas. Um sistema típico de registro eletromiográfico consiste numa aparelhagem de eletrodos de superfície ou de agulha posicionados sobre, ou próximos, ao ponto motor, que vem a ser o local onde o nervo principal chega ao músculo.

<sup>2</sup> Também chamada de estabilometria ou estatocinesiógrafia computadorizada.

<sup>3</sup> Centro de pressão é a localização do vetor vertical nas direções médio-lateral e ântero-posterior da superfície da plataforma de força.

Harbourne *et al.* (1992) analisaram e correlacionaram, com programa computadorizado, dados eletromiográficos e variáveis cinemáticas, para descrever o desenvolvimento de bebês quanto ao controle da postura sentada e das respostas a perturbações externas. Estas pesquisadoras concluíram que as crianças diminuem a velocidade e o deslocamento do tronco gradualmente à medida que adquirem controle da posição sentada e ressaltaram a importância dos músculos paraespinais, isquiotibiais, e quadríceps no sentido de atuarem em sinergia para manter a estabilidade da pelve sobre a base de suporte dos membros inferiores. Além disto, observaram que as sinergias musculares mais bem sucedidas na manutenção da estabilidade do conjunto pelve/fêmur são selecionadas a partir de tentativas e erros.

Seelen (1998) relata estudos sobre a postura de sujeitos com lesão medular. A partir da análise eletromiográfica de músculos posturais e não posturais de sujeitos portadores de lesão medular, este autor observou o desenvolvimento de padrões de ativação muscular específica. Concluiu que sujeitos paraplégicos apresentaram uma restauração de função dos eretores espinhais e os tetraplégicos apresentaram um uso compensatório dos músculos grande dorsal, trapézio e peitoral maior.

### *Cinemetria*

A cinemetria consiste no registro do movimento através de imagens, possibilitando avaliar visualmente o deslocamento de um segmento corporal, ou do corpo como um todo. Este método está diretamente relacionado ao desenvolvimento das técnicas fotográficas, cinematográficas e videográficas.

O trabalho do fotógrafo inglês Muybridge (1872) consiste num relevante marco inicial quanto aos estudos do movimento por imagens. Ele executou uma experiência na qual atravessou uma pista com fios, presos a 24 aparelhos fotográficos. À medida que o cavalo passava pela pista, eram disparadas as câmeras. Deste modo, ele conseguiu fazer com que o milionário americano, por quem havia sido contratado, ganhasse uma aposta, na qual havia afirmado que no decurso de um galope,

haveria um instante em que nenhum dos cascos do cavalo tocaria a terra. Através de outras inúmeras seqüências fotográficas, ele registrou o movimento de humanos e animais em situações diversas, resultando num trabalho que, por sua beleza, pertence aos campos da ciência e da arte. Uma década depois, Marey desenvolveu uma série de dispositivos de mensurações por cine-fotografia, e é por isto considerado o pioneiro na quantificação da locomoção. Ele criou o primeiro “Laboratório de Marcha” de que se tem notícia (Challier et col., 1995).

A propósito, com a invenção do cinema, as pesquisas em biomecânica receberam um forte impulso, já que muitas seqüências de movimento podem ser gravadas e examinadas quadro a quadro. Deste modo, atualmente, a cinemetria é vastamente utilizada, especialmente no campo da análise de marcha, a fim de aumentar a precisão dos julgamentos dos especialistas em relação à avaliação de seus pacientes e aos efeitos de seus procedimentos.

Em geral, nos exames de marcha são empregados métodos simplificados, nos quais das imagens são extraídos traços representando os segmentos corporais, a fim de estudar os ângulos entre os mesmos. Pela utilização de marcas reflexivas sobre determinados pontos anatômicos, o registro das imagens é transformado em gráficos que descrevem os movimentos das articulações durante um intervalo de tempo.

Além de suas aplicações no estudo da marcha, a cinemetria é utilizada em investigações sobre o movimento de qualquer segmento do corpo.

Bennett (1994) avaliou sujeitos idosos em tarefas de tentar alcançar e pegar objetos e os comparou a sujeitos jovens. Os movimentos foram gravados em vídeo e foram utilizadas marcas sobre os punhos e as mãos. Concluiu-se que sujeitos idosos mostravam movimentos mais lentos, mas que a padronização e coordenação dos mesmos eram semelhantes em ambos os grupos. Myhr (1995) registrou por vídeo e fotografia 10 crianças com paralisia cerebral, a partir da introdução de uma posição que foi chamada de “sentada funcional”. Observou-se, comparando-se mensurações realizadas com cinco anos de intervalo, que as 8 crianças com

a qual utilizou-se a referida posição apresentaram um leve ganho em termos de utilização dos membros superiores, enquanto as outras duas pioraram. Jonsdottir (1997) investigou os efeitos de duas diferentes intervenções terapêuticas, a partir da análise, por vídeo, do controle postural de crianças portadoras de paralisia cerebral. Não foram encontradas diferenças em termos do controle, sendo que as crianças atendidas pelo "tratamento baseado no neurodesenvolvimento" apresentaram um melhor alinhamento postural. Bernhardt (1998) utilizou o vídeo para registrar o desempenho de sujeitos com comprometimentos neurológicos devidos a acidente vascular cerebral em tarefas com os membros superiores. A partir das imagens obtidas, foram analisadas as respectivas velocidades, direções e discontinuidades de seus movimentos, a fim de comparar os julgamentos feitos a partir das imagens em vídeo com a observação visual dos terapeutas, e chegou-se à conclusão de que a última, desde que tratem-se de terapeutas experientes, avalia de forma confiável o desempenho destes sujeitos.

Em relação à análise da postura e dos movimentos, a definição de pontos anatômicos onde são colocadas marcas para orientar o processamento de imagens é mais um tema de interesse.

## Discussão

Como foi exposto acima, os métodos de mensuração sofreram uma evolução ao longo da História, no sentido de permitir avaliações mais precisas e objetivas, visando tanto fins diagnósticos, quanto responder às questões relativas à eficácia de tratamentos e à pesquisa de modo geral.

Este estudo teve como objetivo rever, dentre as ferramentas oferecidas pela Biomecânica, qual seria a mais adequada para a avaliação do ganho de controle dos movimentos de tronco em pessoas com lesão medular (Peres, 2000).

Embora consista numa técnica padronizada e precisa, a dinamometria não se mostrou adequada para avaliar o grau de controle dos movimentos de tronco em sujeitos sentados. Experimentos preliminares, realizados no Laboratório de Biomecânica da Universidade

de Brasília, nos mostraram que a plataforma de força piezoelétrica não tem sensibilidade para detectar as pequenas extensões de movimento de tronco que os sujeitos de nossa pesquisa são capazes de realizar, gerando conseqüentemente pequenos componentes de força, cujos registros se sobrepõem durante o exame, dificultando a análise.

A EMG é útil para verificar a atuação e acompanhar a evolução de determinados grupos musculares, no entanto, esta medida não é um bom parâmetro para avaliar especificamente o ganho em termos espaciais de controle dos movimentos de tronco, ou seja, de equilíbrio dinâmico. É um método focalizado, que pode servir como um excelente complemento, no sentido de definir a musculatura que está atuando em cada situação, passível de utilização em novos estudos.

Finalmente, optamos pela cinemetria, por meio de um sistema video-computadorizado de análise postural (Da Vinci, Micromed, 1999), pois ela se mostrou a técnica mais adequada para a visualização e mensuração dos ângulos de movimentos de tronco dos sujeitos avaliados.

## Agradecimentos

*Micromed Engenharia Biomédica  
QE 40/conj A/ lote 4, Guará II/DF CEP71070-012*

## Referências

- Atwater S. Interrated Test-Retest Reliability of Two Pediatric Balance Tests. *Physical Therapy* 1992;70(2).
- Bennett K. Reach to grasp: changes with age. *Journal of Gerontology* 1994;49(1).
- Bernhardt J. Accuracy of observational kinematic assessment of upper-limbs movements. *Physical Therapy* 1998;78(3):259-270.
- Challier M, Jeuneut L. Era uma vez o Cinema, coleção "As Origens do Saber", São Paulo, Melhoramentos, 1995.
- Delisa. *Medicina de Reabilitação*. São Paulo, Manole, 1992.
- Deoreo K. Dynamic and Static Balancing Ability of Pre-school Children. *Journal of Motor Behavior* 1971;3(4):326-335.
- Dufour M. *Cinesioterapia*. São Paulo, Panamericana, 1989.
- Edwards S. *Neurological Physiotherapy; a problem-solving approach*. Edinburgh, Churchill Livingstone, 1996.

- Enoka R. *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. Champaign, Human Kinetics, 1988.
- Ferreira A. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. 2ed Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.
- Figura F. Assessment of Static Balance in Children. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 1992;31(2):235-242.
- Fraccaroli L. *Biomecânica; Análise de Movimentos*. Rio de Janeiro, Cultura Médica, 1991.
- Gil H. Posture Recording; A model for sitting posture. *Applied Ergonomics* 1989;20(1):53-57.
- Hamill J, Knutzen K. *Biomechanical Basis of Human Movement*. Philadelphia, Williams & Wilkins, 1995.
- Harbourne R. A Kinematic and Electromyographic Analysis of the Development of Sitting Posture in Infants. *Developmental Psychobiology* 1993;26(1):51-64.
- Horak F. Clinical Measures of Postural Control in Adults. *Physical Therapy* 1997;67(1).
- Jones K. *Human Movement Explained*. Oxford, Butterworth Heinemann, 1996.
- Jonsdottir J. Effects of physical therapy on postural control in children with cerebral palsy. *Pediatric Physical Therapy* 1997;9(2):68-75.
- Kisner C. *Exercícios Terapêuticos; Fundamentos e Técnicas*. 2ed São Paulo, Manole, 1992.
- Laban R. *O Domínio do Movimento*. São Paulo, Summus Editorial, 1978.
- Lapierre A. *A Reeducação Física*. 6º ed., São Paulo, 1979.
- Lehmkuhl *Cinesiologia Clínica de Brunnstrom*, 4º ed. São Paulo, Manole, 1989.
- Low J, Reed A. *Basic Biomechanics Explained*. Oxford, Butterworth Heinemann, 1996.
- Minor M, Hewett J, Webel R, Anderson S, Kay D. Efficacy of Physical Conditioning Exercise in Patients with Rheumatoid Arthritis and Osteoarthritis. *Arthritis and Rheumatism* 1989;32(11):1396-1405.
- Myhr U. Five-year follow up of functional sitting position in children with cerebral palsy. *Development Med Child Neurology* 1995;37(7):587-596.
- Newton R, Neal R. Three-dimensional quantification of human standing posture. *Gait and Posture* 1994;2:205-212.
- Nordin M, Frankel V. *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*, 2º ed Philadelphia, Lea & Febiger, 1989.
- Oliveira L. Estudo de Revisão sobre a Utilização da Estabilometria como método de diagnóstico clínico. *Caderno de Engenharia Biomédica* 1993;9(1).
- Peres M. *Alterações Posturais Profissionais, uma abordagem preventiva*, IBMR, Rio de Janeiro, 1995.
- Peres M. *Dança e Ganho de Equilíbrio de Tronco em Portadores de Lesão Medular: Um estudo Preliminar*. dissertação de mestrado. Brasília, UnB, 2000.
- Rasch P. *Kinesiologia y Anatomia Aplicada, La Ciencia del Movimiento Humano*. Barcelona, El Ateneo, 1973.
- Settineri L. *Biomecânica*. Rio de Janeiro: Atheneu, 1988.
- Shumway-Cook. Postural Sway Biofeedback: Its Effect on Reestablishing Stance Stability in Hemiplegic Patients. *Arch.Phys.Med.Rehabil* 1988;69:395-400.
- Tillotson K. Noninvasive Measurement of Lumbar Sagittal Mobility - An Assessment of the Flexicurve Technique, *Spine* 1991;16(1).
- Umphred. *Fisioterapia Neurológica*. São Paulo, Manole, 1994;
- Woolley M. Differentiation of balance deficits through examination of selected components of static stabilometry. *Journal of Otolaryngology* 1993;22(5):369-374.