

# Fisiologia do equilíbrio

## *Physiology of balance*

Filipa Januário<sup>(1)</sup> | Carla Amaral<sup>(1)</sup>

### Resumo

**Objectivo:** Conhecer o conjunto de factores que influenciam o equilíbrio e controlo postural, assim como as associações e interconexões entre o sistema sensitivo-sensorial, o Sistema Nervoso Central (SNC) e a resposta neuromuscular. **Material e Métodos:** Efectuou-se uma revisão de literatura que usou como fontes de pesquisa alguns livros publicados e bases de dados. **Resultados:** O controlo postural é essencial para a manutenção do equilíbrio. A obtenção de informações sensoriais ocorre através do sistema visual, vestibular e somato-sensorial e são veiculadas até ao SNC, onde são integradas e processadas pelo cérebro, cerebelo, núcleos da base e tronco cerebral. Do tronco cerebral partem e nele passam inúmeras vias descendentes e ascendentes que irão regular o tónus, os movimentos e vários reflexos. **Conclusões:** O corpo humano está numa busca constante de equilíbrio cujo controlo envolve uma rede complexa de vias possibilitando que o “comando central” (SNC) seja constantemente modificado e regulado pelo “feedback” periférico. O equilíbrio é uma função multiorgânica que requer uma abordagem global do doente.

Palavras-chave: fisiologia; equilíbrio postural

### Abstract

**Purpose:** To know the factors that influence balance and postural control, as the associations and interconnections between the sensitive-sensorial system, Central Nervous System (CNS) and neuromuscular response. **Material and Methods:** It was done a literature review with published books and databases. **Results:** The postural control is essential to the maintainance of the balance. The obtainment of sensorial informations occurs through the visual, vestibular and somatosensory systems and they are conducted to the CNS, where they are integrated and processed by the brain, cerebellum, basal ganglia and brainstem. Numerous descending and ascending pathways depart and pass through from the brainstem which will regulate the tonus, the movements and several reflexes. **Conclusions:** The human body is in a constant search of balance, whose control involves a complex net of pathways, allowing the “central comand” (CNS) to be constantly modified and regulated by the peripheral feedback. The balance is a multiorganic function that requires a global approach.

Key-words: physiology; postural balance

### Introdução

É importante conhecer a fisiologia do equilíbrio, porque este é essencial para a realização de todas as capacidades funcionais<sup>[1]</sup>.

“Postura” representa o posicionamento dos segmentos corporais, uns em relação aos outros, e da orientação destes segmentos no espaço<sup>[2]</sup>, enquanto o controlo postural é uma complexa capacidade motora que resulta da interacção de múltiplos processos sensoriomotores<sup>[3]</sup>.

O sistema sensorial fornece informações sobre a posição de segmentos corporais em relação a outros segmentos e ao ambiente; o sistema motor é responsável pela activação correcta dos músculos durante a realização de movimentos; o sistema nervoso central (SNC) integra informações provenientes do sistema sensorial para coordenar as respostas neuromusculares adequadas.

O equilíbrio é algo tão complexo que depende do sistema sensitivo-sensorial (visual, vestibular e somato-

(1) Serviço de Medicina Física e de Reabilitação, Hospitais da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.  
Morada: Filipa Januário - Serviço de Medicina Física e de Reabilitação - Hospitais da Universidade de Coimbra  
Av. Bissaya Barreto e Praceta Prof. Mota Pinto - 3000-075 Coimbra Portugal - E-mail: fajanuário@gmail.com

sensorial), tempo de reacção, sistema motor (sinergias de reacção músculo-temporal, força muscular e amplitude articular), os centros de equilíbrio (SNC), processamento cognitivo, sistemas adaptativos, morfologia corporal (altura, centro de massa, comprimento dos pés, distribuição do peso)<sup>[4]</sup> e também da hora do dia, pois quer o controlo postural estático quer o dinâmico são melhores de manhã<sup>[5]</sup>. Esta revisão tem como objectivo compreender a complexidade da fisiologia do equilíbrio e a sua importância como função multiorgânica. Só possuindo este conhecimento é que podemos avaliá-lo adequadamente e compreender o grande número de patologias que interferem no equilíbrio e controlo postural. Por outro lado, também se tem assistido a um aumento da população geriátrica, cujo envelhecimento leva a menor capacidade de controlo postural. Os défices de equilíbrio aumentam o risco de queda e, consequentemente grandes custos económicos e problemas sociais<sup>[6-9]</sup>.

## Material e Métodos

Efectuou-se uma revisão de literatura que usou como fontes de pesquisa as bases de dados da PubMed e ScienceDirect para busca de artigos publicados. Esta revisão foi complementada recorrendo a outros artigos com relevância disponíveis online e pela consulta de alguns livros publicados. Os artigos foram seleccionados por relevância e afinidade com o assunto "fisiologia do equilíbrio" e "controlo postural".

## Resultados

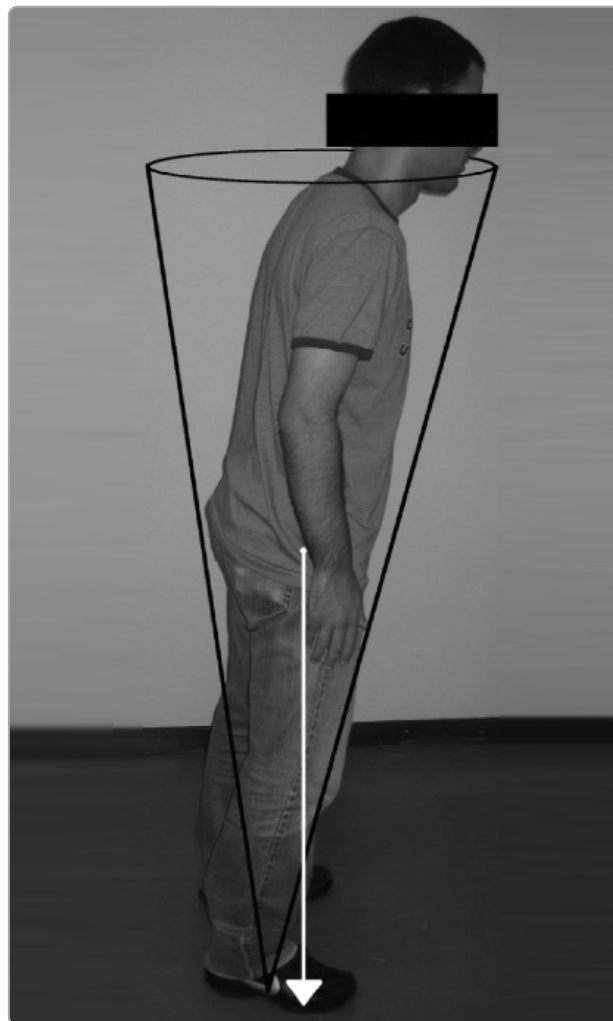
Da pesquisa efectuada seleccionaram-se cerca de 46 artigos e 5 livros, tendo em conta o tema deste trabalho. O controlo postural é essencial para a manutenção do equilíbrio. A obtenção de informações sensitivo-sensoriais ocorre através do sistema visual, vestibular e somato-sensorial e são veiculadas até ao SNC, onde são integradas e processadas pelo cérebro, cerebelo, núcleos da base e tronco cerebral. Do tronco cerebral partem e nele passam inúmeras vias ascendentes e descendentes que irão regular o tónus, os movimentos e vários reflexos.

## Discussão

### Factores Biomecânicos

O facto de o Homem andar numa posição ortostática, resulta na existência de uma grande massa (tronco) situada numa posição elevada para uma base de suporte pequena; tal dificulta o controlo postural<sup>[10]</sup>. Deve-se começar por diferenciar equilíbrio estático de equilíbrio dinâmico<sup>[11]</sup>. O equilíbrio estático ocorre em resposta à gravidade e força de reacção ao solo, permitindo que o corpo permaneça na posição desejada, enquanto o equilíbrio dinâmico ocorre em resposta a uma perturbação (alteração sensorial do ambiente envolvente) e permite que o corpo se mova de maneira controlada<sup>[12,13]</sup>.

Os factores biomecânicos mais importantes para a manutenção do equilíbrio são o centro de massa (*centre of mass* - COM) e centro de pressão (*centre of pressure* - COP). O COM, conceito muito análogo ao centro de gravidade, é o ponto onde se encontra a resultante de todas as forças que agem sobre o corpo. A sua projecção vertical deve ser mantida dentro da base de suporte. O COP é o ponto de aplicação da resultante das forças verticais actuando na superfície de suporte<sup>[14]</sup>. A qualidade e tamanho da base de suporte é muito importante. Os limites de estabilidade expressam a área na qual o indivíduo pode mover o seu COM e manter o equilíbrio sem alterar a base de suporte. Aquela área resulta da projecção de um cone, o que leva a inferir que o equilíbrio não é uma posição, mas um espaço<sup>[15]</sup> (Figura 1). Normalmente, a inclinação máxima que o indivíduo pode alcançar a partir da vertical sem perder o equilíbrio é de 8 graus nas direcções anterior e lateral e 4 graus na direcção posterior<sup>[16]</sup>. O SNC utiliza a representação interna deste cone de estabilidade para calcular o movimento, mantendo o equilíbrio.



**Figura 1** - Limites normais de estabilidade (forma de um cone) expressam a área na qual o indivíduo pode mover o seu centro de massa (ponto branco) e manter o equilíbrio sem alterar a base de suporte.

Mecanicamente, as condições de equilíbrio do corpo dependem das forças e momentos de força sobre ele aplicados. Como exemplo de forças externas nomeiam-se a força de gravidade e a força de reacção ao solo; as forças internas podem ser fenómenos fisiológicos, como batimentos cardíacos, movimentos respiratórios e perturbações geradas pela activação muscular. Um corpo está em equilíbrio mecânico quando o somatório de todas as forças agindo sobre ele é igual a zero. Contudo, na postura ortostática existem sempre pequenas oscilações do corpo, porque as forças só se anulam momentaneamente. Logo, o corpo humano está em constante desequilíbrio, numa busca incessante por equilíbrio.

### Sistema Sensitivo-Sensorial

Existem várias classificações dos receptores sensoriais. Uma delas divide os receptores com base na sua distribuição corporal e na sua função sensorial em exteroceptores, propioceptores e interoceptores. Os exteroceptores respondem a estímulos externos e localizam-se na ou perto da superfície e podem ser subdivididos em gerais (incluem as terminações nervosas livres e encapsuladas) e em especiais (receptores olfactivos, visuais, acústicos e gustativos). Os propioceptores respondem a estímulos dos tecidos profundos, detectando movimento, stress mecânico e alterações na posição corporal ou de segmentos do corpo e incluem os órgãos tendinosos de Golgi, os fusos neuromusculares, os corpúsculos de Pacini, outras terminações nas articulações e os receptores vestibulares. Os interoceptores incluem receptores nas paredes das vísceras, glândulas e vasos sanguíneos<sup>[17]</sup>. Por uma questão didáctica e de acordo com a terminologia utilizada pela maioria dos autores citados na bibliografia, far-se-á referência aos receptores localizados na pele, articulações e músculos como o sistema somato-sensorial. O sistema visual e vestibular serão descritos separadamente.

A modulação da informação sensorial depende de estados de atenção e mesmo da integridade de cada um dos sistemas sensoriais<sup>[18]</sup>. Em pessoas saudáveis, numa base de suporte firme, a informação sensorial utilizada é proveniente sobretudo do sistema somato-sensorial (70%), complementada com a informação dos sistemas visual (10%) e vestibular (20%)<sup>[19]</sup>.

A abundância de informações garante o equilíbrio mesmo na falência de um sistema, pois os outros tendem a compensar. Contudo, o sistema nervoso pode mudar de forma abrupta a fonte principal de informação sensorial, tendo em conta o contexto ambiental. Por exemplo, em mudanças ambientais, na transição de um ambiente iluminado para um escuro, ou de uma plataforma fixa para uma móvel, há uma actualização do peso relativo dos sistemas sensoriais, para que o comando dos músculos seja baseado na informação sensorial disponível mais precisa<sup>[20]</sup>. Alguns autores também defendem a existência de dominância

de um sistema sensorial sobre outro, de forma a evitar conflitos de informação<sup>[21]</sup>.

### Sistema Somato-Sensorial

Os propioceptores do pescoço informam sobre a inclinação do pescoço, ou seja, acerca da orientação da cabeça relativamente ao corpo, e transmitem essa informação aos núcleos vestibulares e reticulares. Quando há inclinação do pescoço relativamente ao tronco, os propioceptores do pescoço contrariam a informação do sistema vestibular, impedindo que haja uma sensação de desequilíbrio. Quando todo o corpo se inclina, com alinhamento do pescoço e tronco, estes propioceptores não contrariam a informação do sistema vestibular<sup>[22]</sup>. Salientam-se também os propioceptores do tornozelo, que informam sobre a deslocação do centro de gravidade, os cutâneo-plantares, fundamentais na manutenção do controlo postural antero-posterior<sup>[23]</sup> e os dos músculos extra-oculares, que reflectem a posição dos olhos em relação à cabeça.

O défice de um dos receptores é compensado por outros receptores na determinação da posição, mas com redução da capacidade de adaptação ou da qualidade da resposta.

É importante recordar algumas das vias da sensibilidade cuja lesão poderá levar a alterações do equilíbrio: (a) tacto protopático (grosseiro) conduzido pelo feixe espino-talâmico anterior, os seus axónios terminam no núcleo ventral postero-lateral do tálamo; (b) tacto epicrítico (fino) segue pelos cordões posteriores em conjunto com a sensibilidade propioceptiva; (c) sensibilidade propioceptiva consciente conduzida pelos cordões posteriores (fascículos Gracilis e Cuneiforme) incorporando-se no lemnisco medial que termina no núcleo ventral postero-lateral do tálamo; (d) sensibilidade propioceptiva inconsciente segue pelo feixe espino-cerebeloso anterior e posterior até ao cerebelo<sup>[24]</sup>.

### Sistema Visual

A informação do sistema visual é importante na determinação da velocidade e percurso de objectos e dos vários segmentos do corpo<sup>[25]</sup>, permitindo a manutenção do ortostatismo e da orientação do movimento corporal relativamente ao ambiente. A eficácia da visão no controlo postural depende directamente da acuidade visual, do contraste, da distância do objecto e da iluminação ambiente.

Existem vários movimentos oculares fundamentais para o controlo postural: (a) movimentos sacádicos (uma imagem aparece de repente no campo visual periférico e é imediatamente centrada na retina por um movimento brusco dos olhos); (b) movimento de perseguição (ao seguir um objecto com os olhos, este mantém-se de forma constante na retina); (c) nistagmo optocinético (os 2 movimentos anteriores combinados, ex. múltiplos objectos a passar no campo visual, dão

uma sensação de movimento); (d) movimentos oculares conjugados (os olhos movem-se para o mesmo lado); e (e) movimentos de vergência (os olhos movem-se em espelho)<sup>[26]</sup>.

Um reflexo importante é a reacção visual de correcção postural, em que a cabeça se verticaliza em resposta ao reconhecimento visual do ambiente envolvente, tendo por base orientações horizontais e verticais. Quando a percepção visual está distorcida, provocando uma inclinação da cabeça, todo o equilíbrio ficará comprometido.

Isotalo *et al.*<sup>[27]</sup> compararam a visão binocular com a monocular no controlo postural e concluíram que no controlo postural estático a visão monocular é tão eficaz quanto a visão binocular, enquanto o controlo postural dinâmico está mais dependente da visão binocular. A “cegueira-postural”, isto é, a não utilização da visão no controlo postural, pode ser consequência da alteração da tonicidade dos músculos extra-oculares, da alteração de conexões com o sistema vestibular ou da ausência de visão binocular.

#### 4.2.3. Sistema Vestibular

O sistema vestibular auxilia a manutenção do equilíbrio. O labirinto membranoso contém o utrículo, o sáculo e os canais semicirculares, que são preenchidos por um fluido que acompanha o movimento da cabeça, activando células ciliares, cujos potenciais de acção são transmitidas pelo ramo vestibular do nervo vestibulococlear (VIII par).

Na parede do utrículo e sáculo existe uma área sensorial, a mácula, onde existem milhares de células ciliadas, cobertas por uma substância gelatinosa onde estão impregnados cristais de carbonato de cálcio, os otolitos. O utrículo tem uma disposição horizontal e o sáculo vertical. A acção da força de gravidade sobre os otolitos provoca inclinação dos cílios, assim como as acelerações lineares provocam deflexão dos cílios devido à inércia dos cristais de cálcio, com consequente transmissão de impulsos nervosos. Deste modo, a mácula permite detectar a orientação da cabeça em relação à direcção da força de gravidade ou outras forças aceleratórias.

Os canais semi-circulares dispõem-se em 3 orientações (anterior, posterior e lateral)<sup>[28,29]</sup> nos 3 planos do espaço, com uma porção distal, a ampola que contém a cúpula. Quando a cabeça inicia um movimento angular, há um fluxo do líquido do canal para a ampola, inclinando a cúpula cujo movimento informa o SNC acerca das acelerações angulares da cabeça, através dos potenciais de acção desenvolvidos.

Os órgãos otolíticos e os canais semi-circulares são complementares e sua activação combinada é necessária para compreender a grande diversidade de movimentos físicos no quotidiano. O sistema vestibular detecta as acelerações lineares e angulares da cabeça, causadas por movimentos de flexão, extensão, inclinação e rotação do pescoço, todavia não regista a

persistência de movimentos passivos contínuos a uma velocidade constante<sup>[30]</sup>.

Os impulsos vestibulares têm pouco ou nenhum papel no controlo postural quando uma pessoa está quieta sobre uma superfície fixa com os olhos abertos, contudo, um défice do sistema vestibular condiciona uma dificuldade desproporcionada em manter o equilíbrio no escuro/olhos fechados. Logo, nas situações de défice vestibular, é necessária uma maior atenção visual, sendo possível um equilíbrio quase normal se os movimentos forem lentos num ambiente bem iluminado.

O sistema vestibular tem conexões com núcleos vestibulares, córtex cerebral, cerebelo, formação reticular, espinal-medula e núcleos oculomotores. Os sinais vestibulares contribuem para funções cerebrais, como reflexos automáticos ou percepção espacial e mesmo coordenação motora<sup>[31]</sup>.

Os canais semi-circulares afectam a posição dos olhos por intermédio do reflexo vestibulo-ocular (RVO). Trata-se de uma resposta ocular compensatória que permite a estabilização do olhar, através do desvio dos olhos na direcção oposta ao movimento da cabeça, mantendo a imagem visual estabilizada na retina. A latência do RVO é de 5-6 ms<sup>[32]</sup>. O conflito entre a informação vestibular e visual é considerado o principal factor responsável pelo enjoo de movimento, associado frequentemente a movimentos do corpo ou da cabeça em condições de transporte passivo<sup>[30]</sup>.

#### Reflexos e Tónus

Alterações súbitas da orientação angular e linear do corpo no espaço desencadeiam reflexos que ajudam a manter o equilíbrio. Os reflexos vestibuloespinais aparentam ser facilitados pelo aumento das oscilações do corpo<sup>[33]</sup>. Os vários reflexos de origem vestibular são: reflexos labiríntico-tónicos, com contracção ou relaxamento de músculos extensores dos membros em resposta a alterações da orientação espacial da cabeça; reflexos labiríntico de rectificação que permitem a retoma de postura erecta a partir duma postura reclinada pela verticalização da cabeça devido a resposta automática da informação do sistema vestibular; e reflexos labiríntico-dinâmicos, em que os canais semicirculares sensíveis à velocidade angular dão o alerta quando o corpo está na eminência de queda e reage com uma reacção de protecção, como por exemplo a estratégia do passo. Também são descritos reflexos do pescoço: movimentos da cabeça relativamente ao corpo resultam em movimentos reflexos dos membros (por ex. quando a cabeça é movimentada para a esquerda, há extensão dos membros esquerdos e flexão dos membros direitos)<sup>[34]</sup>. Há reflexos posturais observados em estudos com animais, como por exemplo, reacção de sustentação positiva em que a pressão sobre a pata faz com que o membro se estenda de modo reflexo, permitindo a sustentação do peso do corpo<sup>[22]</sup>.



O tónus é o estado de tensão elástica que o músculo apresenta em repouso, permitindo que este inicie a contracção muscular imediatamente após receber o impulso nervoso. O reflexo miotático está directamente relacionado com o tónus e é um reflexo monossináptico primitivo que origina contracção muscular quando o músculo é estirado<sup>[22]</sup>. Por exemplo, uma extensão ou flexão ligeiras dão origem a um reflexo miotático que activa os músculos necessários para se oporem ao movimento, permitindo a manutenção da postura.

### Resposta Motora

O sistema motor é responsável por gerar actividade muscular apropriada para o alcance e/ou manutenção do equilíbrio e de uma orientação espacial desejada. É necessário um controlo activo da intensidade e duração da actividade dos vários grupos musculares responsáveis pelo controlo postural musculoesquelético<sup>[7]</sup>.

Os músculos envolvidos no controlo postural necessitam de ser resistentes, pois é necessário manter uma determinada postura durante grande parte do dia, mas também têm de possuir a capacidade de contrair rapidamente caso surja alguma perturbação do equilíbrio<sup>[35]</sup>.

Para uma dada perturbação, a informação sensorial é integrada e usada para estimular e modular uma resposta muscular sinérgica, planeada e coordenada [36], de forma a manter a projecção do COM dentro do polígono de sustentação. Quer nos movimentos voluntários, quer nos ajustes posturais reactivos para corrigir um desequilíbrio, há uma conexão permanente entre a actividade muscular sinérgica e os centros motores superiores<sup>[37]</sup>.

Existem estratégias motoras que dependem das características da perturbação externa, da intenção do indivíduo e da sua experiência prévia, pois o controlo postural também se baseia no conhecimento anterior. Na estratégia do tornozelo, utilizada habitualmente em situações de pequenas oscilações de baixa frequência, o corpo move-se pelos tornozelos como um pêndulo invertido flexível. Na estratégia da anca, o corpo move-se em torno das ancas, permitindo um movimento rápido, surgindo habitualmente em situações de perturbações maiores, de alta frequência, ou num ambiente onde o movimento dos pés é restrito. Na estratégia do passo, como o nome indica, a pessoa dá um passo na direcção oposta a uma grande perturbação, permitindo que o COM volte para uma posição de equilíbrio evitando a queda<sup>[38]</sup>.

Podê-se inferir que, perante um desequilíbrio, uma intervenção consciente corrige mais rapidamente grandes oscilações, enquanto pequenas oscilações são corrigidas pelos reflexos. As estratégias para controlo postural podem ser reactivas (compensatórias, em resposta à informação sensorial), preditivas (antecipatórias, quando uma ameaça ao equilíbrio é previsível face a experiência prévia) ou ambas<sup>[39]</sup>.

### Sistema Extrapiramidal

O sistema extrapiramidal é essencial no controlo motor e é constituído pelos núcleos da base e formação reticular, núcleos vestibulares, núcleos rubros e tubérculos quadrigémios localizados no tronco cerebral, pelo cerebelo e vias extrapiramidais.

Os núcleos da base são núcleos profundos nos hemisférios cerebrais, por onde passam quase todas as fibras nervosas motoras e sensitivas que conectam o córtex cerebral e a espinal-medula. Controlam todos os movimentos (ex. axiais e das cinturas escapular e pélvica), fornecendo o suporte postural necessário para a execução dos movimentos voluntários simples e inibem o tónus motor. As suas funções mais relevantes são a contribuição para a flexibilidade, o controlo de respostas correctoras, incluindo a capacidade de dar prioridade aos elementos da função postural e o processamento da informação aferente, que é cada vez mais reconhecido como muito relevante para o controlo postural<sup>[40]</sup>.

O cerebelo tem um papel primordial na coordenação dos mecanismos da postura e do equilíbrio [41]. É constituído pelo lobo floculonodular (Arqueocerebelo), que recebe aferências dos núcleos vestibulares pela via vestibulo-cerebelosa, sendo fundamental na manutenção do equilíbrio; lobo anterior (Paleocerebelo), que recebe aferências proprioceptivas dos membros através dos tratos espino-cerebelosos, sendo importante na manutenção da postura, do tónus e coordenação dos membros inferiores (marcha); e lobo posterior (Neocerebelo), que recebe aferências dos núcleos pânticos via cortico-ponto-cerebelosa, tendo a função de coordenação dos movimentos voluntários e dos movimentos finos iniciados no córtex cerebral. O cerebelo funciona em associação com outros sistemas do controlo motor e recebe aferências dos núcleos vestibulares, dos proprioceptores e do tronco cerebral que o informam constantemente acerca da posição corporal, velocidade de movimentos e forças que actuam sobre o corpo; controla a execução do movimento através das eferências dirigidas aos núcleos talâmicos (e daí ao córtex motor), núcleos da base, núcleo rubro, núcleos vestibulares, tronco cerebral e espinal-medula. Está envolvido na pré-programação das actividades motoras, compara os movimentos reais com os movimentos pretendidos e faz ajustes correctivos, controlando instantaneamente as interacções entre grupos musculares agonistas/antagonistas. É essencial na coordenação dos movimentos complexos e vital no controlo das actividades musculares rápidas<sup>[22]</sup>. É também importante na postura ortostática e usa mecanismos estático-cinéticos de antecipação e reacção para manter o equilíbrio durante a locomoção. A lesão do cerebelo causa grandes défices do equilíbrio e resulta, por exemplo, numa ataxia da marcha.

As vias descendentes são muito importantes pois conduzem a resposta motora dos centros superiores do SNC e espinal-medula para os músculos. O feixe rubro-

espinal inibe os músculos extensores dos membros superiores. O feixe retículo-espinal contribui para a manutenção das posturas de suporte, do tónus e modulação dos movimentos corporais. O feixe retículo-espinal-pôntico activa o tónus antigravitacional, enquanto o feixe retículo-espinal bulbar inibe-o. O feixe vestibulo-espinal mantém a postura erecta contra a acção da gravidade e realiza a manutenção do tónus. O lateral facilita os músculos extensores dos membros, enquanto o medial controla os músculos axiais do pescoço e tronco. O feixe tecto-espinal coordena os movimentos da cabeça e dos olhos. Pode-se inferir que simples testes de controlo postural podem ser indicadores do controlo neuromuscular e da comunicação apropriada entre o sistema nervoso periférico e o central.

### Processamento Cognitivo e Orientação Espacial

Tradicionalmente acreditava-se que o controlo postural era automático, isto é, apenas controlado por reflexos [42]. Há evidências de que o córtex motor e as áreas de processamento cognitivo estão envolvidos no controlo de aspectos específicos do equilíbrio [43]. Capacidades cognitivas como a atenção, intenção, percepção e memória influenciam o equilíbrio. Mesmo na posição erecta quieta é necessário um processamento cognitivo. Quanto mais difícil for o controlo postural, maior a necessidade de concentração [3]. O desempenho de uma determinada postura/movimento pode ser comprometido pelo aparecimento de uma tarefa cognitiva secundária [44], havendo um maior risco de quedas, sobretudo nas pessoas idosas. Donker *et al.* [45] concluíram que a regularidade da trajectória do COP está positivamente relacionada com a “quantidade” de atenção dispendida no controlo postural. Se há défices sensoriais, o controlo do equilíbrio requer mais atenção e compensação. A aprendizagem também tem um papel importante no controlo do equilíbrio. Factores psicológicos, como o medo, poderão afectar directamente o controlo postural [46]. O SNC tem a capacidade de seleccionar a capacidade cognitiva mais adequada a situações particulares com o intuito de manter o equilíbrio [47].

A orientação espacial é essencial no controlo postural e está relacionada com o posicionamento e alinhamento dos segmentos corporais uns em relação aos outros e em relação ao ambiente [12]. A percepção da verticalidade tem múltiplas representações neuronais.

A percepção da verticalidade visual (capacidade de orientar na vertical um foco de luz no escuro) é independente da percepção da verticalidade proprioceptiva (capacidade de retomar a posição vertical quando sentado num assento inclinado) [48]. A verticalidade visual está sobretudo dependente do sistema vestibular. Na posição sentada, a orientação da cabeça é sustentada pela informação vestibular, enquanto que a orientação do tronco é mantida pela informação somato-sensorial [49].

### 4.7. Efeitos do envelhecimento no controlo postural

O envelhecimento está associado a alterações do equilíbrio, como consequência da perda do número de neurónios sensitivos e motores, do declínio funcional dos três sistemas sensoriais (visual, vestibular e somato-sensorial) [50], mas também do compromisso da força muscular, das amplitudes articulares e do próprio sistema neuromuscular. As capacidades cognitivas também estão afectadas, o que leva a um atraso na reacção postural [51]. Tendo em conta as estratégias motoras, os idosos optam com maior frequência pela estratégia da anca e do passo, quando comparados com adultos jovens [52]. Nesta idade geriátrica, há um contributo aumentado da visão relativamente às outras aferências sensoriais. Contudo, Poulain e Giraudet [53] concluíram que indivíduos entre os 44-60 anos já apresentavam mais oscilações no escuro que jovens adultos, o que nos sugere que as alterações no controlo postural se podem iniciar mais cedo.

Deve-se ter especial atenção a esta população, quer devido aos seus défices intrínsecos pelo envelhecimento, quer pela sua maior vulnerabilidade a quedas e suas consequências.

### Conclusão

O corpo humano está numa busca constante de equilíbrio e para este ser alcançado há uma rede complexa de vias que permite que o “comando central” (SNC) seja constantemente modificado e regulado pelo “feedback” periférico. O controlo postural é uma função multiorgânica que requer uma abordagem global do doente com alterações do equilíbrio, quer na avaliação clínica e despiste dos diferentes factores etiológicos, quer na programação do tratamento de forma a readquirir ou melhorar a estabilidade postural.

### Referências / References:

1. Yavuzer G, Eser F, Karakus D, Karaoglan B, Stam, HJ. The effects of balance training on gait late after stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2006; 20: 960-969.
2. Júnior PF, Barela JA. Alterações no funcionamento do sistema de controlo postural de idosos. Uso da informação visual. *Ver Port Cienc Desp.* 2006;6(1):94-105.
3. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* 2006;35(52):ii7-ii11.
4. Gallahue DL, Ozmun J. *Compreendendo o desenvolvimento motor: Bebés, Crianças, Adolescentes e Adultos.* São Paulo: Phorte Editora, 2003. 524-545.
5. Gribble PA, Tucker WS, White PA. Time-of-Day Influences on Static and Dynamic Postural Control. *J Athl Train.* 2007;42(1):35-41.
6. Lamb SE, Ferrucci L, Volapto S, Fried LP, Guralnik JM. Women's Health and Aging Study. Risk factors for falling in home-dwelling older women with stroke: The Women's Health and Aging Study. *Stroke.* 2003;34(2):494-501.

7. Harris JE, Eng JJ, Marigold DS, Tokuno CD, Louis CL. Relationship of balance and mobility to fall incidence in people with chronic stroke. *Phys Ther.* 2005;85(2):150-58.
8. Belgen B, Beninato M, Sullivan PE, Narielwalla K. The association of balance capacity and falls self-efficacy with history of falling in community-dwelling people with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(4):554-61.
9. Chen IC, Cheng PT, Hu AL, Liaw MY, Chen LR, Hong WH, et al. Balance evaluation in hemiplegic stroke patients. *Chan Gung Med J.* 2000;23(6):339-47.
10. Alexandrov AV, Frolov AA, Horak FB, Carlson-Kuhta P, Park S. Feedback equilibrium control during human standing. *Biol Cybern.* 2005;93(5):309-322.
11. Bouisset S, Do MC. Posture, dynamic stability and voluntary movement. *Neurophysiol Clin.* 2008;38:345-362.
12. Júnior, PF, Barela JA. Alterações no funcionamento do sistema de controlo postural de idosos. Uso da informação visual. *Ver Port Cienc Desp.* 6(1) 94-105.
13. Clark S, Riley MA. Multisensory information for postural control: sway-referencing gain shapes center of pressure variability and temporal dynamics. *Exp Brain Res* (2007) 176:299-310.
14. Freitas SMF, Duarte M. Métodos de análise do controlo postural, Laboratório de Biofísica da Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007 [consultado 2009 Maio 5]. Disponível em <http://lob.incubadora.fapesp.br/portal.php>.
15. McCollum G, Leen TK. Form and exploration of mechanical stability limits in erect stance. *J Motor Behav.* 1989; 21:225-44
16. Geiger RA, Allen JB, O'Keefe J, Hicks RR. Balance and mobility following stroke: effects of physical therapy interventions with and without biofeedback/forceplate training. *Phys Ther.* 2001;81(4):995-1005.
17. Williams, Warwick, Dyson, Bannister. *Gray's Anatomy: Cytology of the nervous system.* Thirty-seventh Edition: Churchill Livingstone, 1989, 875-919
18. Day BL, Cole J. Vestibular-evoked postural responses in the absence of somatosensory information. *Brain.* 2002;125(9):2081-8.
19. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophys.* 2002;88:1097-118.
20. Raivaoli E, Oie KS, Kiemel T, Chiari L, Jecka JJ. Nonlinear postural control in response to visual translation. *Exp Brain Res.* 2005;160:450-459.
21. Mochizuki L, Amadio AC. As informações sensoriais para o controlo postural. *Fisioterapia Movimento.* 2006;19(2):11-18.
22. Guyton AC, Hall JE. *Tratado de Fisiologia Médica: funções motoras do tronco cerebral e núcleos basais – formação reticular, aparelho vestibular, equilíbrio e reflexos do tronco cerebral.* 7ª ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara; 1989. 494-502.
23. McKeon PO, Hertel J. Plantar hypoesthesia alters time-to-boundary measures of postural control. *Somatosens Mot Res.* 2007;24(4):171-177.
24. Latarjet M, Liard AR. *Anatomia Humana: Configuración interna y sistematización de la medula espinal.* 4ª ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana; 2008;252-262.
25. Juodzbalienė V, Muckus K. The influence of the degree of visual impairment on psychomotor reaction and equilibrium maintenance of adolescents. *Medicina (Kaunas).* 2006;42(1):49-56.
26. Reddy SS, Gadre A. Balance function testing. *UTMB, Department of Otolaryngology* 2002 [consultado 2009 Maio 5]. Disponível em <http://www.utmb.edu/otoref/Grnds/Balance-Function-Testing-020602/Balance-Function-Testing-2002-02.doc>.
27. Isotola E, Kapoula Z, Feret PH, Gauchon K, Zamfirescu F, Gagey PM. Monocular versus binocular vision in postural control. *Auris Nasus Larynx.* 2004;31:11-17.
28. Latarjet M, Liard AR. *Anatomia Humana: Oído Interno.* 4ª ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana; 2008;456
29. Williams, Warwick, Dyson, Bannister. *Gray's Anatomy: The auditory and vestibular apparatus.* Thirty-seventh Edition: Churchill Livingstone, 1989;1219-1243
30. Coelho C, Santos J, Silva CF. Enjoo de movimento: etiologia, factores predisponentes e adaptação. *Psicologia Saúde Doenças.* 2007;8(1):33-48.
31. Angelaki DE, Cullen KE. Vestibular system: the many facets of a multimodal center. *Annu. Rev. Neurosci.* 2008. 31:125-150.
32. Angelaki D, Cullen K. Vestibular System: the many facets of a multimodal sense. *Annu Rev Neurosci* 2008;31:125-130.
33. Bacsí AM, Colebatch JG. Evidence for reflex and perceptual vestibular contributions to postural control. *Exp Brain Res.* 2005;160: 22-28.
34. Pockock G, Richards CD. *Human Physiology The Basis of Medicine: the control of posture.* Third Edition: Oxford University Press; 2006,153-154.
35. IJkema-Paassen J, Gramsbergen A. Development of Postural Muscles and Their Innervation. *Neural Plast.* 2005;12:141-151.
36. Laufer Y, Barak Y, Chemel I. Age-related Differences in the Effect of a Perceived Threat to Stability on Postural Control. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2006;61:500-504.
37. Ting LH, McKay JL. Neuromechanics of muscles synergies for posture and movement. *Curr Opin Neurobiol.* 2007;17:622-628.
38. Oliveira CB, Medeiros IT, Frota NF, Greters ME, Conforto AB. Balance control in hemiparetic stroke patients: Main tools for evaluation. *J Rehabil Res Dev* 2008;45(8):1215-26.
39. Laessle U, Voigt M. Anticipatory postural control strategies related to predictive perturbations. *Gait Posture.* 2008; 28:62-68.
40. Visser JE, Bloem BR. Role of basal ganglia in balance control. *Neural Plast.* 2005;12(2-3):161-174.
41. Morton SM, Bastian MJ. Cerebellar control of balance and locomotion. *Neuroscientist.* 2004;10(3):247-259.
42. Latash LM, Krishnamoorthy V, Scholz JP, Zatsiorsky VP. Postural Synergies and their Development. *Neural Plast.* 2005;12:119-130.
43. Maki BE, McIlroy WE. Cognitive demands and cortical control of human balance-recovery reactions. *J Neural Transm.* 2007;114:1279-1296.
44. Camicioli R, Howieson D, Lehman S. Talking while walking: the effect of a dual task in ageing and Alzheimer's disease. *Neurol* 1997;48:995-8.
45. Donker S, Roerdink M, Greven A, Beek P. Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Exp Brain Res.* 2007;181:1-11.
46. Allum J, Carpenter MG, Honegger F. Directional aspects of balance corrections in man. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 2003;22(2):37-47.
47. Reilly DS, van Donkelaar P, Saavedra S, Woollacott MH. Interaction Between the Development of Postural Control and the Executive Function of Attention. *J Mot Behav.* 2008; 40(2): 90-102.
48. Karnath HO, Ferber S, Dichgans J. The neural representation of postural control in humans. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2000;97(25):13931-36.
49. Pérennou DA, Amblard B, Laassel EM, Benaim C, Hérisson C, Pélissier J. Understanding the pusher behavior of some stroke patients with spatial deficits : a pilot study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83:570-5
50. Gauchard GC, Jeandel C, Perrin PP. Physical and Sporting activities improve vestibular afferent usage and balance in elderly human subjects. *Gerontology.* 2001;47(5):263-70.
51. Mahboobin A, Loughlin PJ, Redfern MS. A Model-Based Approach to Attention and Sensory Integration in Postural Control of Older Adults. *Neurosci Lett.* 2007; 429(2-3): 147-151.
52. Horak FB, Shupert CL, Mirka A. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol Aging.* 1989;10(6):727-38.
53. Poulain I, Gaudet G. Age related changes of visual contribution in postural control. *Gait Posture* 2008;27:1-7.