

# Controle Motor

*Teoria e  
aplicações  
práticas*

SEGUNDA EDIÇÃO

Dr. Sílvia Maria A. João  
CREFITO-3/11892-F  
Fisioterapeuta

John Shumway-Cook  
e  
H. Woollacott

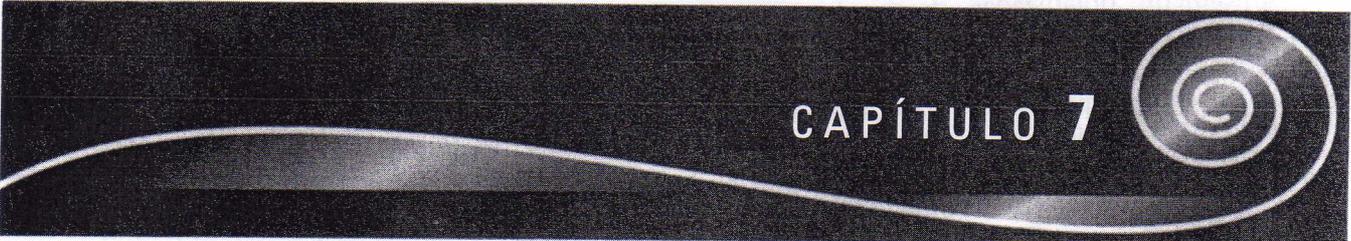


Manole





# Controle Postural



## Controle Postural Normal

### INTRODUÇÃO

- Definição do Controle Postural
- Definição dos Sistemas para o Controle Postural
- As Exigências em Relação ao Controle Postural Variam de Acordo com a Tarefa Funcional e o Ambiente

### CONTROLE DA POSTURA VERTICAL IMÓVEL

- Mecanismos Motores para o Controle Postural
- Controle Motor da Postura Vertical Imóvel
  - Atividade de Laboratório 7-1
  - Alinhamento
  - Tônus Muscular
  - Tônus Posturais
  - Correlação das Medidas do CDP com

- o Controle Postural
- Limites da Estabilidade Durante a Postura Vertical Imóvel
- Estratégias Motoras Durante a Postura Vertical Perturbada
- Estabilidade Antero-posterior
- Estratégia do Tornozelo
- Estratégia do Quadril
- Estratégia do Passo
- Estabilidade Médio-lateral
- Adaptação das Estratégias Motoras
- Subsistemas Neurais que Controlam a Orientação Postural e a Estabilidade
- Mecanismos Sensoriais Associados ao Controle Postural
- Sentidos que Contribuem para o Controle Postural
- Informações Visuais

- Informações Somatossensitivas
- Informações Vestibulares
- Estratégias Sensoriais Durante a Postura Vertical Imóvel
- Estratégias Sensoriais Durante a Postura Vertical Perturbada
- Integração Central: Adaptação dos Sentidos ao Controle Postural
- Atividade de Laboratório 7-2
- Adaptação às Perturbações Rotacionais da Superfície de Apoio
- Adaptação dos Sentidos Durante a Aprendizagem de uma Tarefa Nova
- Controle Postural Antecipatório
- Atividade de Laboratório 7-3

### CONTROLE DA POSTURA SENTADA RESUMO

### INTRODUÇÃO

Imagine-se saindo do carro no aeroporto, correndo para embarcar a tempo. Você pega a mala e corre na direção do terminal. No caminho, você calcula mal a altura da calçada e tropeça, mas se equilibra, chega ao terminal e embarca suas malas. Você sobe na esteira rolante que o leva até o portão, andando rapidamente para evitar chocar-se com as outras pessoas. Por fim, você embarca no avião e afunda, agradecido, na sua poltrona.

As inúmeras tarefas envolvidas desde sair do carro até sentar-se na poltrona exigem altas demandas dos sistemas que controlam a postura e o equi-

líbrio. Ao examinar algumas dessas tarefas, você pode verificar que a postura e o equilíbrio envolvem tanto a capacidade de se recuperar da instabilidade como a habilidade de antecipar e mover-se de formas que o ajudem a evitar a instabilidade.

Enquanto poucos terapeutas discutem a importância da postura e do equilíbrio para a independência em atividades como ficar sentado, em pé e caminhar, não existe uma definição universal ou um acordo sobre os mecanismos neurais subjacentes ao controle dessas funções.

Nas últimas décadas, as pesquisas sobre o controle da postura e do equilíbrio e de suas disfunções tornaram-se mais amplas e evoluíram. As próprias

definições de postura e equilíbrio foram alteradas, assim como o nosso conhecimento sobre os mecanismos neurais subjacentes. Na ciência da reabilitação, existem no mínimo duas teorias conceituais que descrevem o controle neural da postura e do equilíbrio: a teoria reflexa/hierárquica e a dos sistemas (Shumway-Cook, 1989; Woollacott e Shumway-Cook, 1990; Horak, 1991).

A teoria reflexa/hierárquica sugere que a postura e o equilíbrio resultam de respostas reflexas e hierarquicamente organizadas, desencadeadas por sistemas sensoriais independentes. De acordo com essa teoria, durante o desenvolvimento, ocorre uma transformação progressiva da dominância de reflexos espinhais primitivos em níveis superiores de reações posturais, até que as respostas corticais *maduras* dominem. Essa teoria do controle do equilíbrio será apresentada com mais detalhes no próximo capítulo que discutirá o controle normal da postura e do equilíbrio, a partir da perspectiva dos sistemas. Aqui, abordaremos a postura e o equilíbrio associados às posições sentada e vertical. Em relação à mobilidade, no entanto, essas duas funções serão descritas nas próximas sessões deste livro.

Como já foi visto no Capítulo 1, a abordagem dos sistemas sugere que o controle postural se dá pela interação entre o indivíduo, a tarefa e o ambiente (Fig. 7-1). Além disso, supõe que a capacidade de controlar a posição do corpo no espaço surge da complexa interação entre os sistemas musculoesquelético e neural, coletivamente denominados sistema do controle postural.

### Definição do Controle Postural

Para compreender o controle postural de um indivíduo, devemos conhecer a tarefa do controle postural e examinar o efeito do ambiente sobre esta tarefa.

O **controle postural** envolve o controle da posição do corpo no espaço, para o objetivo duplo de estabilidade e orientação. A **orientação postural** é definida como a capacidade de manter uma relação adequada entre os segmentos do corpo e entre o corpo e o ambiente, para uma determinada tarefa (Horak e Macpherson, 1996). O termo *postura* é freqüentemente usado para descrever o alinhamento biomecânico do corpo e a orientação do corpo em relação ao ambiente. Empregamos o termo orientação postural para incluir ambos conceitos. Na maioria das tarefas funcionais, mantemos a orientação vertical do corpo. No processo de estabelecimento de uma orientação vertical, utilizamos referências sensoriais múltiplas, incluindo a gravidade (sistema vestibular), a superfície de apoio (sis-

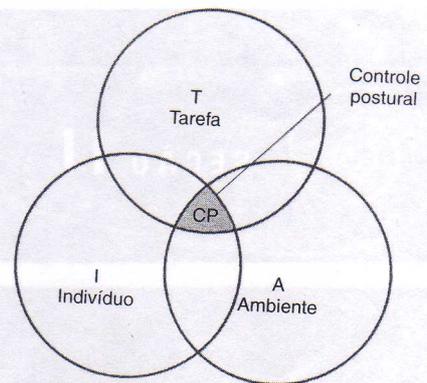


FIGURA 7-1. As ações posturais emergem de uma interação entre o indivíduo, a tarefa com suas demandas posturais inerentes e as restrições ambientais sobre as ações posturais.

tema somatossensitivo) e a relação do nosso corpo com os objetos existentes no ambiente (sistema visual).

A estabilidade postural é a capacidade de manter o corpo em equilíbrio. Um corpo está em equilíbrio quando se encontra em repouso (equilíbrio estático) ou em movimento estável (equilíbrio dinâmico). Um sistema estável é aquele no qual o movimento não é significativamente alterado a partir da trajetória desejada, mesmo quando submetido a perturbações (Brauer, 1998). Um objeto é considerado estável quando o centro da massa (CDM) é mantido sobre sua base de apoio (BDA). O CDM é definido como o ponto que está no centro total da massa corpórea, determinado pela descoberta da média do peso do CDM de cada segmento do corpo. A BDA é definida como a área do objeto que está em contato com a superfície de apoio. A projeção vertical do CDM é geralmente definida como o centro da gravidade (CDG).

A **estabilidade postural**, ou equilíbrio, é portanto definida como a capacidade de manter o CDM projetado dentro dos limites da BDA, denominados limites da estabilidade. Durante a postura vertical imóvel, os limites de estabilidade são definidos como a área envolvida pelas bordas externas dos pés, em contato com o chão. Estes são os limites nos quais o corpo pode manter sua posição, sem alterar a base de apoio. Os **limites da estabilidade** não são fixos e mudam de acordo com a tarefa, a biomecânica individual e os diversos aspectos do ambiente.

A conservação da estabilidade é um processo dinâmico, que envolve o estabelecimento de equilíbrio entre as forças de estabilização e desestabili-

zação (McCollum e Leen, 1989). Por exemplo, uma pessoa produz forças musculares continuamente para controlar a posição do CDM. A projeção vertical dessas forças musculares que orientam o movimento do CDM é o centro de pressão (CDP). Durante a postura vertical imóvel, existe um ponto separado de CDP sob cada um dos pés. O CDP total fica entre os pés e depende do peso que cada membro suporta. A fim de manter uma posição estável, é possível reposicionar o CDM por meio do movimento de diferentes segmentos do corpo, ou ajustar o tamanho da base de apoio, por exemplo, dando um passo (Brauer, 1998).

A estabilidade e a orientação são dois objetivos distintos do sistema do controle postural. Algumas tarefas colocam mais importância na conservação de uma orientação apropriada, à custa da estabilidade. O bloqueio bem-sucedido de um gol no futebol, ou a captura de uma bola no beisebol, exigem que o jogador sempre permaneça orientado em relação à bola, às vezes caindo no chão em um esforço de bloquear o gol ou pegar a bola. Portanto, embora o controle postural seja uma exigência que a maioria das tarefas tem em comum, as demandas da estabilidade e da orientação mudam de acordo com a tarefa (Shumway-Cook e McCollum, 1990; Horak e Macpherson, 1996).

Em todo este capítulo e este livro, o termo *controle postural* será usado em um sentido mais amplo, abrangendo o controle da orientação postural e da estabilidade, ou equilíbrio.

### Definição dos Sistemas para o Controle Postural

O controle postural para a estabilidade e a orientação requer a percepção (integração das informações sensoriais, para analisar a posição e o movimento do corpo no espaço) e a ação (capacidade de produzir forças para controlar os sistemas de posicionamento do corpo). Portanto, o controle postural exige uma interação complexa entre os sistemas musculoesquelético e neural, ilustrada na Figura 7-2. Os componentes musculoesqueléticos incluem elementos como amplitude de movimento da articulação, flexibilidade da coluna, propriedades musculares e relações biomecânicas entre segmentos corpóreos unidos.

Os componentes neurais essenciais para o controle postural envolvem: (a) processos motores, incluindo sinergias da resposta muscular; (b) processos sensoriais, abrangendo os sistemas visual, vestibular e somatossensitivo; e (c) processos de integração de nível superior, essenciais para mapear a sensação para a ação e garantir os aspectos de antecipação e adaptação do controle postural.

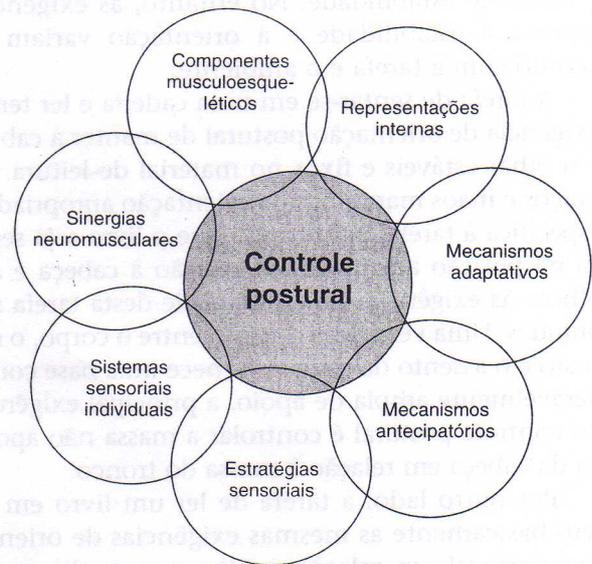


FIGURA 7-2. Modelo conceitual representando os sistemas que contribuem para o controle postural.

Nesse livro, nos referimos aos processos neurais de nível superior como influências cognitivas sobre o controle postural. É importante entender, no entanto, que o termo cognitivo utilizado aqui não representa um controle consciente. Os aspectos cognitivos de nível superior do controle postural são a base para os aspectos de antecipação e adaptação do controle postural. O **controle postural adaptativo** envolve a modificação dos sistemas sensorial e motor em resposta às alterações nas demandas da tarefa e do ambiente. Os aspectos antecipatórios do controle postural preparam os sistemas sensorial e motor para as demandas posturais, com base na experiência prévia e na aprendizagem. Outros aspectos da cognição que afetam o controle postural incluem processos como atenção, motivação e intenção.

Assim, em uma abordagem dos sistemas, o controle postural resulta de uma interação complexa entre diversos sistemas orgânicos que trabalham de forma cooperativa, a fim de controlar a orientação e a estabilidade do corpo. A organização específica dos sistemas posturais é determinada pela tarefa funcional e o ambiente no qual ela está sendo executada.

### As Exigências em Relação ao Controle Postural Variam de acordo com a Tarefa Funcional e o Ambiente

A capacidade de controlar a posição do corpo no espaço é fundamental para tudo o que fazemos. Todas as tarefas exigem um controle postural. Ou seja, cada tarefa tem um componente de orientação

e outro de estabilidade. No entanto, as exigências quanto à estabilidade e à orientação variam de acordo com a tarefa e o ambiente.

A tarefa de sentar-se em uma cadeira e ler tem a exigência de orientação postural de manter a cabeça e o olhar estáveis e fixos no material de leitura. Os braços e mãos mantêm uma orientação apropriada e específica à tarefa, permitindo que o livro seja seguro na posição adequada em relação à cabeça e aos olhos. As exigências de estabilidade desta tarefa são brandas. Uma vez que o contato entre o corpo, o encosto e o assento da cadeira fornece uma base consideravelmente ampla de apoio, a principal exigência do controle postural é controlar a massa não apoiada da cabeça em relação à massa do tronco.

Por outro lado, a tarefa de ler um livro em pé tem basicamente as mesmas exigências de orientação postural em relação à cabeça, aos olhos, aos braços e ao livro, mas as demandas da estabilidade são bem mais estritas: ela envolve manter o CDM em uma base muito menor de apoio, definida pelos dois pés.

Por fim, uma pessoa que está de pé dentro de um ônibus em movimento deve manter constantemente a estabilidade, sempre ameaçada pelo movimento do ônibus. A tarefa da estabilidade é mais rigorosa, refletindo a natureza mutável e imprevisível da tarefa. Nesse caso, as demandas da tarefa variam a cada momento, exigindo uma adaptação constante do sistema postural.

Portanto, você pode ver que, apesar dessas tarefas exigirem o controle postural, as demandas específicas de orientação e estabilidade variam de acordo com a tarefa e o ambiente. Por causa disso, as estratégias sensoriais e motoras utilizadas para executar o controle postural devem se adaptar às demandas variadas da tarefa e do ambiente.

## CONTROLE DA POSTURA VERTICAL IMÓVEL

Como os sistemas sensorial e motor trabalham juntos para controlar uma posição vertical estável? A tarefa do controle postural vertical tem demandas estritas de estabilidade, exigindo que o CDM seja mantido dentro dos limites de estabilidade, definidos principalmente pelo comprimento dos pés e a distância entre eles (McCollum e Leen, 1989).

O controle postural vertical é geralmente associado à conservação de uma orientação vertical, embora esta não seja uma exigência invariável da tarefa. Ou seja, é possível manter uma posição vertical durante a flexão do tronco, olhando para algo que está no chão, ou ficar em pé com a cabeça esticada, pro-

curando um pássaro. Em ambos os casos, pode-se variar a configuração das partes do corpo para executar essas duas tarefas na posição vertical, mas as exigências quanto à estabilidade não variam. Se o centro da massa corporal não estiver dentro da base de apoio dos pés a pessoa cairá, a menos que a base de apoio seja alterada dando-se um passo.

Na década de 1980, as estratégias sensoriais e motoras subjacentes ao controle postural vertical foram amplamente estudadas. O que queremos dizer com estratégias para o controle postural? Uma estratégia é um plano de ação, uma abordagem para a organização de elementos individuais de um sistema em uma estrutura coletiva. As **estratégias motoras** posturais são a organização de movimentos adequados para controlar a posição do corpo no espaço. As **estratégias sensoriais** organizam as informações sensoriais dos sistemas visual, somatossensitivo e vestibular para o controle postural. Por fim, as **estratégias sensorio-motoras** refletem as normas de coordenação dos aspectos sensorial e motor do controle postural (Nashner, 1989).

As pesquisas sobre o controle postural vertical se concentraram principalmente no exame das estratégias para controlar a inclinação para a frente e para trás. Por quê? A aplicação deste conceito pode ser encontrada na Atividade de Laboratório 7-1.

Como mostra o exercício de laboratório, ninguém fica em pé absolutamente imóvel; em vez disso, o corpo se inclina em pequenas amplitudes, principalmente para a frente e para trás. É por isso que os pesquisadores se concentraram principalmente em entender como os adultos normais mantêm a estabilidade no plano sagital. No entanto, nos últimos anos, começaram também a se dedicar ao estudo dos mecanismos subjacentes à estabilidade de lateral.

Agora, podemos explorar profundamente os mecanismos subjacentes ao controle postural, começando pelos mecanismos motores. Na nossa discussão sobre os mecanismos motores importantes para o controle postural, consideramos primeiro a função do tônus muscular e do tônus postural no controle das pequenas oscilações do corpo durante a postura vertical imóvel. Depois, comentaremos as estratégias motoras e as sinergias musculares subjacentes que nos ajudam a recuperar a estabilidade quando o equilíbrio é ameaçado.

## Mecanismos Motores para o Controle Postural

O controle postural exige a produção e a coordenação de forças que geram os movimentos eficazes para controlar a posição do corpo no espaço. Como o sistema nervoso organiza o sistema motor,

a fim de garantir o controle postural durante a postura vertical imóvel? Como a organização muda quando a estabilidade é ameaçada?

### Controle Motor da Postura Vertical Imóvel

Quais são as características comportamentais da postura vertical imóvel, e o que nos permite permanecer eretos quando estamos em pé ou sentados? A postura vertical imóvel é caracterizada por pequenas quantidades de inclinação postural espontânea. Diversos fatores contribuem para a nossa estabilidade nesta situação. Primeiro, o alinhamento do corpo pode minimizar o efeito das forças gravitacionais, que tendem a nos deslocar do nosso centro. Em se-

gundo lugar, o tônus muscular evita que o corpo entre em colapso em resposta à atração exercida pela gravidade. Três fatores principais contribuem com nosso tônus muscular básico durante a postura vertical imóvel: (a) a rigidez intrínseca dos músculos propriamente ditos; (b) o tônus muscular básico, que existe normalmente em todos os músculos por causa das contribuições neurais e (c) o tônus postural, a ativação dos músculos antigravidade durante a postura imóvel. A partir daqui, examinaremos esses fatores (Roberts, 1979; Basmajian e De Luca, 1985; Kendall e McCreary, 1983; Schenkman e Butler, 1992).

### Alinhamento

Como o alinhamento contribui para a estabilidade postural? Em uma postura perfeitamente alinhada, ilustrada na Figura 7-3, a linha vertical da gravidade corresponde à linha média entre: (a) o processo mastóide, (b) um ponto exatamente na frente das articulações dos ombros, (c) as articulações do quadril ou um ponto atrás delas, (d) um ponto à frente do centro das articulações dos joelhos e (e) um ponto à frente das articulações do tornozelo (Basmajian e De Luca, 1985). O alinhamento ideal na postura vertical permite que o corpo seja mantido em equilíbrio com um gasto mínimo de energia interna.

Antes de continuarmos a nossa análise das pesquisas referentes ao controle postural, não se esqueça de revisar as informações contidas nos Quadros de Tecnologia, que incluem uma discussão sobre as técnicas para a análise do movimento em diferentes níveis do controle, incluindo a eletromiografia (Quadro 7-1), a cinemática (Quadro 7-2) e a cinética (Quadro 7-3).

### Tônus Muscular

O que é tônus muscular e como ele nos ajuda a manter o equilíbrio? O **tônus muscular** é a força com a qual o músculo resiste ao alongamento, ou seja, sua rigidez (Basmajian e De Luca, 1985). Em geral, ele é testado clinicamente pela extensão e flexão passiva dos membros relaxados do paciente, sentindo a resistência oferecida pelos músculos. Mecanismos neurais e não-neurais contribuem para a rigidez ou o tônus muscular.

Um certo nível de tônus muscular está presente em uma pessoa normal, consciente e relaxada. No entanto, no estado relaxado, a eletromiografia (EMG) não registra a atividade elétrica do músculo esquelético humano normal. Isso levou os pesquisadores a argumentar que as contribuições não-neurais para o tônus muscular são resultantes de pequenas quantidades de cálcio livre na fibra muscular, que causam um nível baixo de reciclagem contínua das pontes cruzadas (Hoyle, 1983).



#### ATIVIDADE DE LABORATÓRIO 7-1

**OBJETIVO:** Explorar as estratégias motoras utilizadas para o controle da postura vertical imóvel.

**PROCEDIMENTO:** Com um parceiro, observe os movimentos do corpo nas seguintes condições:

1. Fique em pé com os pés separados e alinhados com os ombros, durante um minuto.
2. Tente inclinar levemente o corpo para trás e para a frente e depois incline o máximo que você conseguir, sem dar um passo. Agora, incline o corpo para trás e para a frente até que precise dar um passo para manter a estabilidade.
3. Fique nas pontas dos pés e faça a mesma coisa.
4. Calce um par de botas ou outro sapato que restrinja o movimento do tornozelo e tente inclinar-se para a frente e para trás.
5. O seu parceiro coloca três dedos no seu esterno e o empurra para trás, primeiro suavemente e depois com mais força.

**TAREFA:** Escreva respostas para as seguintes questões, com base nas suas observações sobre o seu próprio equilíbrio e o do seu parceiro, nas diferentes condições:

Durante a postura vertical imóvel, você conseguiu ficar perfeitamente imóvel ou se moveu ligeiramente? Em qual direção você conseguiu se inclinar mais?

Durante a inclinação ativa, descreva as estratégias de movimento utilizadas para controlar a inclinação do corpo.

Descreva as estratégias de movimento que você usou para reagir enquanto seu parceiro te empurrava.

Discuta como essas estratégias mudam em função do tamanho da base de apoio, da velocidade do movimento e da posição do centro da massa em relação à base de apoio (dentro, perto da borda, fora), quando o movimento estava restrito ao tornozelo.

Cite os músculos que você acredita estarem ativos para controlar a inclinação nessas condições. Quais músculos você sente trabalhando para manter o equilíbrio quando se inclina um pouco? Quais músculos funcionaram quando você se inclinou mais? O que aconteceu quando você se inclinou tanto para a frente que o centro da massa se moveu para fora da base de apoio dos seus pés?

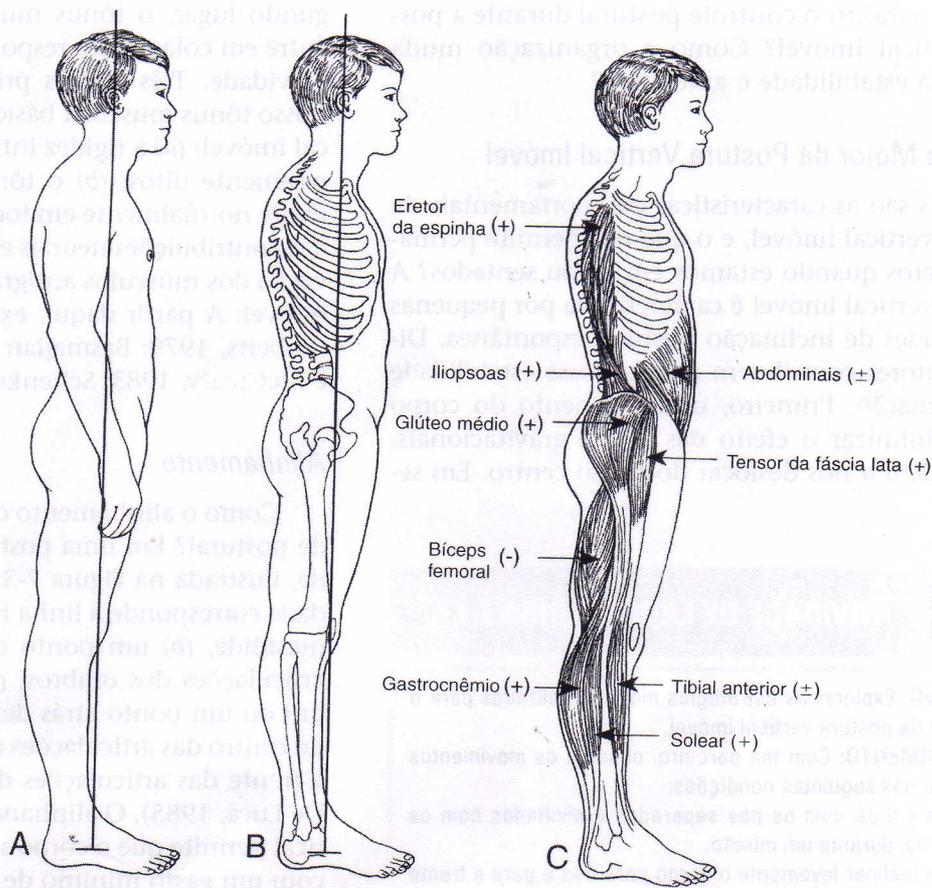


FIGURA 7-3. A, B. O alinhamento ideal na postura vertical, que exige um esforço muscular mínimo para manter essa postura. C. Os músculos tonicamente ativos durante o controle da postura vertical imóvel. (Adaptado com permissão de Kendall FP, McCreary EK. *Muscles: testing and function*. 3ª ed., Baltimore: Williams & Wilkins, 1983:280.)

Além disso, as contribuições neurais para o tônus ou a rigidez muscular são associadas à ativação do reflexo de alongamento, que resiste ao alongamento do músculo. O fuso muscular sente as mudanças no comprimento do músculo. Essas informações aferentes são transmitidas para os motoneurônios, que alteram sua taxa de disparos para obter a força necessária para alterar o comprimento muscular até o valor desejado. Desta forma, a curva do reflexo de alongamento age continuamente, para manter o comprimento do músculo no valor estabelecido. Para uma revisão mais detalhada da função do fuso muscular, consulte o Capítulo 3.

A função do reflexo de alongamento, como contribuição para o tônus muscular normal, é consideravelmente clara. A função dos reflexos de alongamento no controle da postura vertical, no entanto, já não é tão clara. De acordo com uma teoria, os reflexos de alongamento cumprem uma função de *feedback* durante a conservação da postura vertical. Portanto, esta teoria sugere que, à medida em que inclinamos o corpo para a frente e para trás enquanto estamos

em pé, os músculos do tornozelo são alongados, ativando o reflexo de alongamento. Isso resulta no encurtamento reflexo do músculo e no controle da inclinação para a frente e para trás.

Enquanto alguns autores sugerem que o reflexo de alongamento é fundamental para manter uma postura, outros questionam a sua função no controle da postura vertical imóvel. Os relatos de que o ganho do reflexo de alongamento é bem baixo durante a postura vertical levaram alguns pesquisadores a questionar a sua relevância para o controle de inclinação (Gurfinkel *et al.*, 1974).

### Tônus Postural

Explicamos os mecanismos que contribuem para a produção do tônus dos músculos individuais, quando uma pessoa se encontra em um estado relaxado. Esse nível básico de atividade muda em certos músculos posturais antigravidade enquanto estamos em pé, compensando assim a força da gravidade. Esse nível elevado de atividade dos múscu-



### QUADRO DE TECNOLOGIA 7-1

**ELETROMIOGRAFIA** é uma técnica usada para medir a atividade dos músculos por meio de eletrodos colocados na superfície da pele, sobre o músculo a ser registrado ou no músculo propriamente dito. O sinal de resultado do eletrodo (eletromiograma ou EMG) descreve o resultado do sistema muscular a partir do reservatório de motoneurônios. Ele fornece ao terapeuta informações sobre (a) a identidade dos músculos ativos durante o movimento, (b) a cronometragem e a intensidade relativa da contração muscular e (c) se a atividade do músculo antagonista ou sinérgico está ocorrendo. Os eletrodos são utilizados com mais frequência na superfície; no entanto, a sua capacidade de diferenciar a atividade de músculos adjacentes não é muito eficaz.

A amplitude do sinal do EMG é frequentemente interpretada como uma medida esboçada da tensão produzida no músculo. No entanto, deve-se tomar cuidado ao interpretar as medidas da amplitude do EMG. Muitas variáveis podem afetar a amplitude dos sinais do EMG, incluindo a velocidade da alteração do comprimento do músculo, a resistência associada ao tecido cutâneo e à gordura subcutânea e a localização do eletrodo. Portanto, geralmente, não é acurado comparar amplitudes absolutas de atividade EMG de um músculo em diferentes indivíduos ou no mesmo indivíduo em dias diferentes. Os pesquisadores que usam os dados sobre amplitude do EMG para comparar padrões temporais e espaciais de atividade muscular, em diferentes indivíduos ou no mesmo indivíduo em dias diferentes, geralmente convertem as medidas absolutas da amplitude em medidas relativas. Por exemplo, é possível determinar a relação entre a amplitude da resposta (a área sob a curva da atividade EMG para o momento especificado, denominada EMG integrado, ou EMGI) e a amplitude da contração voluntária máxima do mesmo músculo. Como alternativa, a relação do EMGI para os músculos agonista e antagonista em uma articulação pode ser determinada. Da mesma forma, a relação do EMGI para os músculos sinérgicos pode ser encontrada. Então, é possível examinar como essa relação se modifica em função das alterações na tarefa ou nas condições ambientais (Gronley e Perry, 1984; Winter, 1990).

los antigravidade é conhecido como **tônus postural**. Quais são os fatores que contribuem para o tônus postural?

Diversos aspectos o influenciam. As evidências — oriundas de experimentos que mostraram que as lesões das raízes dorsais “sensoriais” da medula espinal reduziram o tônus postural — indicam que o tônus postural é influenciado por informações do sistema somatossensitivo. Além disso, há muito tempo se sabe que a ativação das informações cutâneas das solas dos pés causam uma reação de posicionamento, que resulta na extensão automática do pé na direção da superfície de apoio, aumentando assim o tônus postural dos músculos extensores. As informações somatos-



### QUADRO DE TECNOLOGIA 7-2

**ANÁLISE CINEMÁTICA** é a descrição das características do movimento de um objeto, incluindo deslocamentos linear e angular, velocidade e aceleração. Os dados sobre os deslocamentos são geralmente compilados a partir da medida da posição de marcadores colocados sobre marcos anatômicos e descritos em relação a um sistema anatômico coordenado, ou seja, ângulo articular relativo, ou a um sistema externo de referência espacial. Existem várias formas de medir a cinemática dos movimentos do corpo. Os goniômetros, ou potenciômetros elétricos, podem ser anexados a uma articulação para medir o ângulo articular (uma alteração no ângulo articular produz uma mudança proporcional na voltagem). A maioria dos acelerômetros é transdutor de força que medem as forças de reação associadas à aceleração de um segmento do corpo. A massa do corpo é acelerada contra o transdutor de força, produzindo uma voltagem de sinal proporcional à aceleração. Por fim, as técnicas de medidas de imagem, incluindo a cinematografia, o vídeo ou os sistemas optoeletrônicos, podem ser usadas para medir os movimentos do corpo. Os sistemas optoeletrônicos exigem que o indivíduo use, em cada marco anatômico, lâmpadas infravermelhas especiais ou marcadores reflexivos, que são registrados por uma ou mais câmeras. A localização da lâmpada ou do marcador é expressa em termos de coordenadas x e y no sistema bidimensional, ou x, y e z no tridimensional. O resultado desses sistemas é expresso como alterações nos deslocamentos do segmento, ângulos articulares, velocidades ou acelerações; os dados podem ser usados para criar uma reconstrução dos movimentos do corpo no espaço (Gronley e Perry, 1984; Winter, 1990).



### QUADRO DE TECNOLOGIA 7-3

**ANÁLISE CINÉTICA** é a análise das forças que causam o movimento, incluindo as externas e as internas. As forças internas são produzidas pela atividade muscular, os ligamentos ou a fricção dos músculos e das articulações; as forças externas se originam no solo ou nas cargas externas. A análise cinética nos dá informações sobre as forças que contribuem para o movimento. Os aparelhos de medidas da força, ou transdutores de força, são usados para medi-la, com sinais resultantes proporcionais à força aplicada. As plataformas de força medem a reação do solo, que são as forças exercidas abaixo da área do pé, a partir da qual os dados sobre o centro de pressão (CDP) são calculados. O centro de gravidade (CDG) do corpo não é a mesma coisa que o CDP. O CDG é a localização do centro da massa no plano vertical. O CDP é a localização da reação da força vertical do solo na plataforma de força, e é igual e oposta a todas as forças que agem de cima para baixo (Gronley e Perry, 1984; Winter, 1990).

sensitivas do pescoço, ativadas por alterações na orientação cefálica, também podem influenciar a distribuição do tônus postural no tronco e nos membros. Esses foram denominados reflexos tônicos do pescoço e

serão discutidos mais profundamente no Capítulo 8, que descreve o desenvolvimento postural (Ghez, 1991a; Roberts, 1979).

As informações dos sistemas visual e vestibular também influenciam o tônus postural. As informações vestibulares, ativadas por uma alteração na orientação cefálica, modificam a distribuição do tônus postural no pescoço e nos membros, denominada reflexos vestibulo-cólico e vestibulo-espinhal (Massion e Woolacott, 1996).

Freqüentemente, as contribuições desses reflexos para o controle postural são altamente enfatizadas na literatura clínica. No entanto, é importante lembrar que existem muitas influências no controle postural de um indivíduo normal, intacto e com funções adequadas (Anderson e Binder, 1989). É possível que no indivíduo com comprometimento neurológico, que perdeu quantidades variadas de influências que não envolvem reflexos, os trajetos do reflexo podem assumir uma função de comando no controle postural.

A literatura clínica coloca uma grande ênfase no conceito do tônus postural como um mecanismo importante do apoio do corpo contra a gravidade. Muitos terapeutas sugeriram que o tônus postural do tronco é o principal elemento no controle da estabilidade postural normal durante a posição ereta (Schenkman e Butler, 1992; Davies, 1985). Qual a consistência desta suposição em relação aos estudos EMG que examinaram a atividade muscular na postura vertical imóvel?

Os pesquisadores observaram que muitos músculos do corpo estão tonicamente ativos durante a postura vertical imóvel (Basmajian e De Luca, 1985). Alguns, ilustrados na Figura 7-3C, incluem: (a) o solear e o gastrocnêmio, uma vez que a linha da gravidade está ligeiramente à frente dos joelhos e tornozelos; (b) o tibial anterior, quando o corpo se inclina para trás; (c) o glúteo médio e o tensor da fáscia lata, mas não o glúteo máximo; (d) o iliopsoas, que previne a hiperextensão do quadril, mas não os jarretes e quadríceps; e (e) o eretor da espinha torácica no tronco (junto com a ativação intermitente dos abdominais), porque a linha da gravidade está na frente da coluna vertebral.

Esses estudos sugerem que músculos do corpo todo, não apenas do tronco, estão tonicamente ativos para manter o corpo em uma posição estreitamente confinada à vertical, durante a postura vertical imóvel. Uma vez que o centro da massa se desloca para fora da estreita amplitude definida pelo *alinhamento ideal*, mais esforço muscular é exigido para recuperar uma posição estável. Nessa situação, as estratégias de compensação postural são usadas para voltar o centro da gravidade a uma posição estável, dentro da base de apoio.

### Correlação das Medidas do CDP com o Controle Postural

Uma suposição tradicional, em relação às medidas do CDP, era de que a eficácia do sistema do controle postural para a conservação do equilíbrio estava diretamente associada à amplitude de movimento do CDP. De um lado, os movimentos de amplitude reduzida do CDP refletem um controle "bom" do equilíbrio; de outro lado, os deslocamentos amplos do CDP refletem um controle "ruim" do equilíbrio. Esse conceito foi apoiado por numerosos estudos, que mostraram que quando existe uma redução nas informações sensoriais que contribuem para o controle postural, como a patologia ou o envelhecimento, a amplitude de movimento do CDP, durante a postura vertical imóvel, tende a aumentar. No entanto, esta regra tem diversas exceções. Por exemplo, os cientistas relataram uma redução no movimento do CDP nos indivíduos com problemas no equilíbrio previamente diagnosticados, como o mal de Parkinson (Panzer e Hallett, 1990; Horak, 1992). Além disso, foi relatado que os dançarinos, que apresentam habilidades de equilíbrio altamente elaboradas, mostram um aumento no movimento do CDP durante a postura vertical imóvel (Brauer, 1998).

### Limites da Estabilidade Durante a Postura Vertical Imóvel

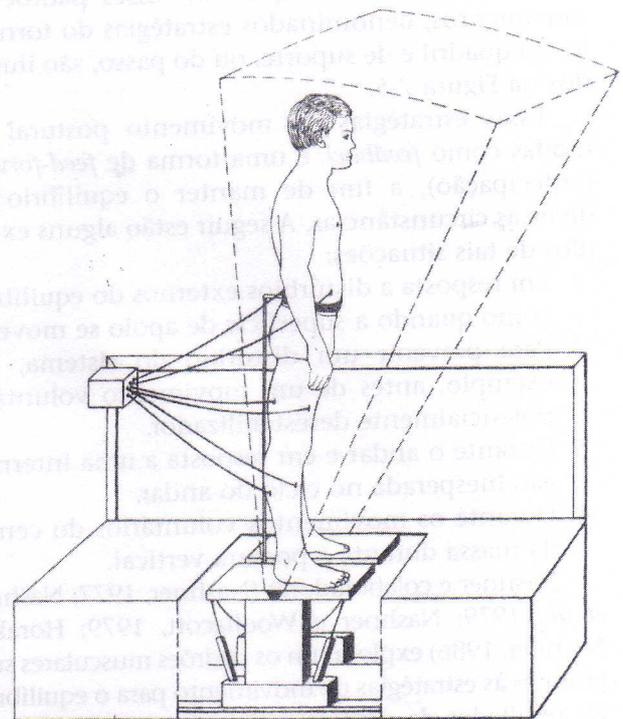
Os limites teóricos da estabilidade na postura vertical são tradicionalmente considerados dependentes da área da BDA (o comprimento ântero-posterior do pé e a largura médio-lateral da postura vertical), da posição da projeção vertical do CDM referente às bordas da base de apoio, da altura do CDM desde a superfície de apoio (correlacionada com a altura da pessoa) e do peso da massa que será controlada (Hayes, 1982). Essas variáveis tendem a exibir uma co-variação considerável, de forma que indivíduos de alturas diferentes demonstram limites semelhantes de estabilidade (Duncan *et al.*, 1990). Pesquisas recentes sugerem que os verdadeiros limites da estabilidade também dependem de uma interação entre a posição e a velocidade do CDM. Portanto, se o paciente estiver muito perto da borda da BDA e a velocidade do CDM for alta, será mais difícil recuperar a estabilidade do que se ele estivesse no centro da BDA, com uma velocidade igualmente alta (Pai e Patton, 1997).

Os limites percebidos da estabilidade podem ser definidos como a distância em que a pessoa está disposta e é capaz de se mover, sem perder o equilíbrio ou desviar os pés da direção de avanço. Diversos estudos foram conduzidos, a fim de deter-

minar os limites percebidos da estabilidade de adultos saudáveis. Quando discutirmos os limites de estabilidade nesta seção, iremos nos referir aos limites percebidos. Esses estudos (Brauer, 1998) foram resumidos para os limites ântero-posterior (Tabela 7-1) e médio-lateral (Tabela 7-2) da estabilidade. Deve ser notado que em nenhum desses estudos a posição do pé foi padronizada; portanto, provavelmente ela tenha variado entre os indivíduos. Os estudos demonstram variabilidade considerável, com médias para adultos jovens: na estabilidade ântero-posterior, de 54, 67 e 80% do comprimento do pé; e na estabilidade médio-lateral, 59 e 80% da largura da posição. Como era de se esperar, existe uma interação entre a largura da posição e o limite médio-lateral da estabilidade (LDE); esse limite é maior quando os pés estão juntos do que quando estão em uma posição de largura confortável (Murray *et al.*, 1975).

#### Estratégias Motoras Durante a Postura Vertical Perturbada

Muitos laboratórios de pesquisa, incluindo o de Lewis Nashner, nos Estados Unidos, e os laboratórios de Dichgans, Dietz e Allum, na Europa, utilizando uma variedade de plataformas móveis, como a que é ilustrada na Figura 7-4, estudaram a organização das estratégias de movimento empregadas para recuperar a estabilidade em resposta a deslocamentos breves da superfície de apoio (Nashner, 1976; Allum e Pfaltz, 1985; Diener *et al.*, 1982).



**FIGURA 7-4.** Posturografia na plataforma móvel, usada para estudar o controle postural. (Adaptado com permissão de Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner LM. "Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination". *Int J Aging Hum Dev* 1986; 22:332.)

Além disso, foram descritos os padrões característicos da atividade muscular, denominados sinergias musculares, associados às estratégias de movimento postural (Nashner, 1977; Nashner e Woollacott,

**TABELA 7-1. Limites Ântero-posteriores da Estabilidade**

Estudos	Indivíduos	Limites da estabilidade
Whitney (1962)	10 homens 18-21 anos	67% do comprimento do pé
Murray <i>et al.</i> (1975)	24 homens jovens	54% do comprimento do pé
Lee e Deming (1988)	40 homens e mulheres < 60 anos	35-90% do comprimento do pé
	40 homens e mulheres > 60 anos	15-60% do comprimento do pé
Blaszczyk <i>et al.</i> (1994)	9 homens e mulheres 22-36 anos	80% do comprimento do pé
	9 homens e mulheres 69-77 anos	50% do comprimento do pé

**TABELA 7-2. Limites Médio-laterais da Estabilidade**

Estudos	Indivíduos	Limites da estabilidade
Murray <i>et al.</i> (1974)	24 homens jovens	59% da largura da postura vertical
Lee e Deming (1988)	40 homens e mulheres < 60 anos	60-90% da largura da postura vertical
	40 homens e mulheres > 60 anos	30-65% da largura da postura vertical
Blaszczyk <i>et al.</i> (1994)	9 homens e mulheres 22-36 anos	80% da largura da postura vertical
	9 homens e mulheres 69-77 anos	68% da largura da postura vertical

1979; Horak e Nashner, 1986). Esses padrões de movimentos, denominados estratégias do tornozelo, do quadril e de suporte, ou do passo, são ilustrados na Figura 7-5.

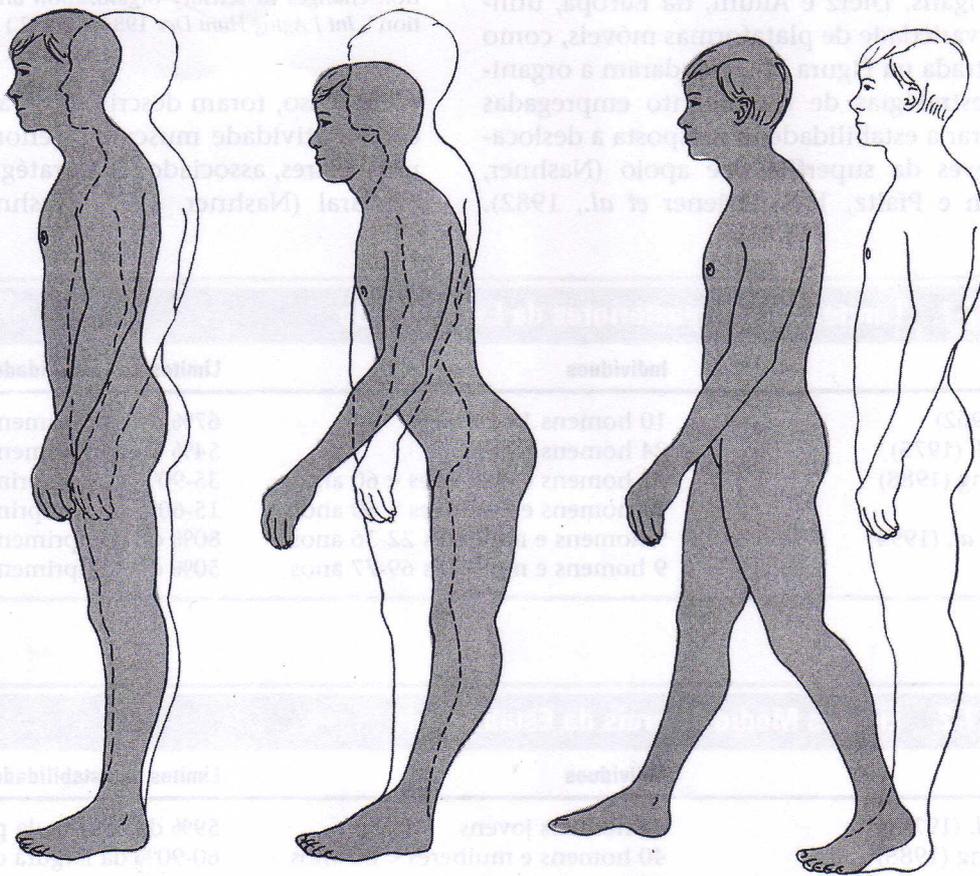
Essas estratégias do movimento postural são usadas como *feedback* e uma forma de *feed-forward* (antecipação), a fim de manter o equilíbrio em diversas circunstâncias. A seguir estão alguns exemplos de tais situações:

1. Em resposta a distúrbios externos do equilíbrio, como quando a superfície de apoio se move.
2. Para prevenir um distúrbio do sistema, por exemplo, antes de um movimento voluntário potencialmente desestabilizador.
3. Durante o andar e em resposta a uma interrupção inesperada no ciclo do andar.
4. Durante os movimentos voluntários do centro da massa durante a postura vertical.

Nashner e colaboradores (Nashner, 1977; Nashner *et al.*, 1979; Nashner e Woollacott, 1979; Horak e Nashner, 1986) exploraram os padrões musculares subjacentes às estratégias de movimento para o equilíbrio. Os resultados da pesquisa sobre o controle postural, em um adulto jovem e com o sistema neurológico

intacto, sugerem que o sistema nervoso combina músculos independentes, embora associados, em unidades denominadas **sinergias musculares**. Uma **sinergia** é definida como um acoplamento funcional de grupos de músculos, de forma que eles sejam obrigados a agir juntos, como unidade; isso simplifica as demandas de controle sobre o sistema nervoso central (SNC). É importante lembrar que, apesar de as sinergias musculares serem importantes, elas são apenas um dos diversos mecanismos motores que afetam os débitos para o controle postural.

Quais são algumas das sinergias musculares subjacentes às estratégias de movimento essenciais para o controle da postura vertical? Como os cientistas sabem se essas respostas neuromusculares são devidas a programas neurais (isto é, sinergias), ou se resultam de um alongamento independente dos músculos individuais, nas articulações mecanicamente acopladas? Existem tipos diferentes de estratégias e respostas de sinergias musculares subjacentes, na estabilidade ântero-posterior comparada com a médio-lateral? Nas próximas sessões, examinamos as estratégias utilizadas para a estabilização nos planos ântero-posterior e médio-lateral.



**FIGURA 7-5.** Três estratégias de movimento postural usadas por adultos normais para o controle da postura vertical. (Reimpresso com permissão de Shumway-Cook A, Horak F. "Vestibular rehabilitation: an exercise approach to managing symptoms of vestibular dysfunction". *Semin Hearing* 1989;10:199.)

## Estabilidade Ântero-posterior

**Estratégia do Tornozelo.** A estratégia do tornozelo e sua sinergia muscular associada estão entre os primeiros padrões identificados de controle da inclinação na postura ereta. A estratégia do tornozelo restaura a posição de estabilidade do CDM, por meio de um movimento corpóreo centralizado, principalmente nas suas articulações. A Figura 7-6A mostra a atividade sinérgica muscular típica e os movimentos corpóreos associados às correções para a perda do equilíbrio, na direção de avanço. Neste caso, o movimento da plataforma para trás faz com que o indivíduo se incline para a frente. A atividade muscular começa em cerca de 90 a 100 ms após o início da perturbação do gastrocnêmio, seguida pela ativação dos jarretes 20 a 30 ms depois e, finalmente, pela ativação dos músculos paraespinhais (Nashner, 1977, 1989).

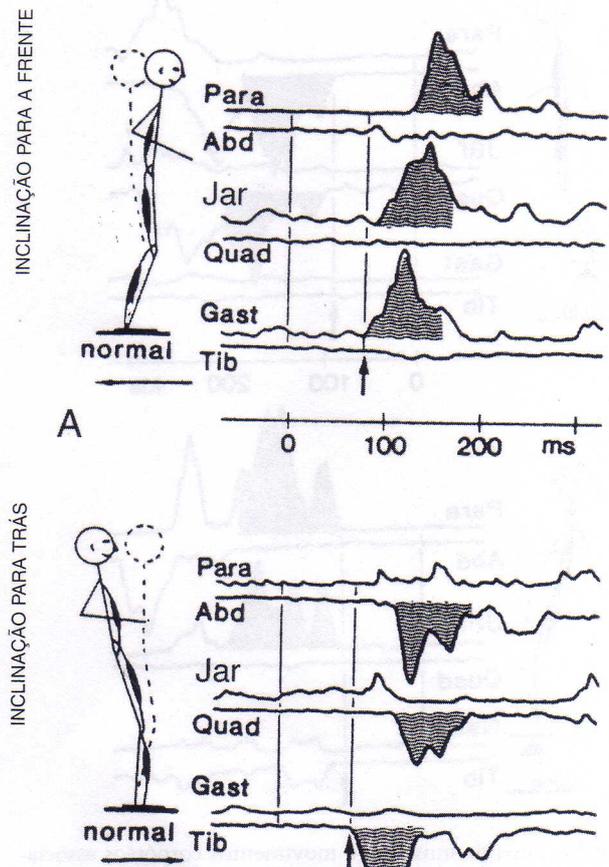
A ativação do gastrocnêmio produz um torque de flexão plantar que de início desacelera e depois reverte o movimento do corpo para a frente. A ativação dos músculos jarretes e paraespinhais mantém o quadril e joelhos em uma posição estendida. Sem a ativação sinérgica dos jarretes e músculos paraespinhais, o efeito indireto do torque do tornozelo e gastrocnêmio sobre segmentos corporais proximais resultaria no movimento do tronco para a frente, em relação às extremidades inferiores.

A Figura 7-6B mostra a atividade muscular sinérgica e os movimentos corpóreos usados durante o restabelecimento da estabilidade, em resposta à instabilidade para trás. A atividade muscular começa no músculo distal, o tibial anterior, e é seguida pela ativação do quadríceps e dos músculos abdominais.

Como os cientistas sabem que os músculos do tornozelo, do joelho e do quadril fazem parte de uma sinergia neuromuscular, em vez de serem ativados em resposta ao alongamento individual de cada articulação? Alguns dos primeiros experimentos sobre o controle postural (Nashner, 1977; Nashner e Woollacott, 1979) fornecem evidências quanto à organização sinérgica dos músculos.

Nesses primeiros experimentos, a plataforma era rotacionada nas direções *artelhos para cima* ou *artelhos para baixo*. Na primeira, o movimento da plataforma causa o alongamento do músculo gastrocnêmio e a dorsiflexão do tornozelo, mas esses dados não são associados aos movimentos do joelho e do quadril, mecanicamente acoplados. A resposta neuromuscular à rotação da plataforma, com os artelhos para cima, inclui a ativação dos músculos das articulações do tornozelo, joelho e quadril, independentemente do fato de o movimento ter ocorrido apenas na articulação do tornozelo. As evi-

## ESTRATÉGIA DO TORNOZELO

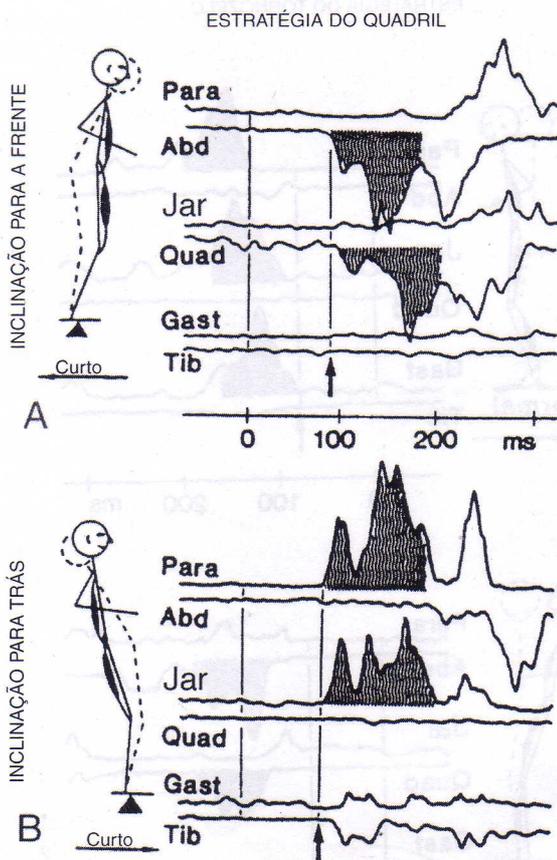


**FIGURA 7-6.** Sinergia muscular e movimentos corpóreos associados a uma estratégia do tornozelo, para controlar a inclinação para a frente (A) e para trás (B). (Reimpresso com permissão de Horak F, Nashner L. "Central programming of postural movements: adaptation to altered support surface configurations". *J Neurophysiol* 1986; 55:1372.)

dências decorrentes desses experimentos apóiam a hipótese da existência de uma sinergia muscular com programação neural (Nashner, 1976, 1977; Nashner e Woollacott, 1979), envolvendo os músculos do joelho e do quadril no mesmo lado do corpo que o músculo alongado do tornozelo.

Uma vez que estas respostas à rotação causam a desestabilização, a reconquista do equilíbrio envolve a necessidade de ativar músculos do lado oposto do corpo. Foi formulada a hipótese de que essas respostas são ativadas em reação a informações visuais e vestibulares (Allum e Pfaltz, 1985) e às vezes são denominadas respostas M3 em vez de M1 (reflexo monossináptico de alongamento), ou respostas de alongamento M2, de latência mais longa (Diener *et al.*, 1982).

A estratégia de movimento do tornozelo descrita acima parece ser utilizada mais habitualmente nas situações em que a perturbação do equilíbrio é menor e a superfície de apoio é firme. A utilização



**FIGURA 7-7.** Sinergia muscular e movimentos corpóreos associados a uma estratégia do quadril para controlar a inclinação para a frente (A) e para trás (B). (De Horak F, Nashner L. "Central programming of postural movements: adaptation to altered support surface configurations". *J Neurophysiol* 1986; 55:1372.)

da estratégia do tornozelo requer amplitude de movimento intacta e força nos tornozelos. O que ocorre se a perturbação do equilíbrio é muito intensa ou se somos incapazes de produzir a força usando os músculos e as articulações do tornozelo?

**Estratégia do Quadril.** Os cientistas identificaram outra estratégia para o controle da inclinação do corpo: a estratégia de movimento do quadril (Horak e Nashner, 1986). Essa estratégia controla o movimento do CDM por meio da produção de um movimento amplo e rápido nas articulações do quadril, com rotação antifase dos tornozelos (Fig. 7-5).

A Figura 7-7A mostra a atividade muscular sinérgica típica, associada à estratégia do quadril. O movimento da plataforma para trás faz novamente com que o indivíduo incline o corpo para a frente. De acordo com o que mostra a Figura 7-7A, os músculos que tipicamente respondem à inclinação para a frente, quando o indivíduo está em pé sobre uma viga estreita, são diferentes dos músculos ativados em resposta à inclinação para a frente

quando ele está em pé sobre uma superfície plana. A atividade muscular começa no abdome cerca de 90 a 100 ms após o início da perturbação, seguida pela ativação do quadríceps. A Figura 7-7B mostra o padrão muscular e os movimentos do corpo associados à estratégia do quadril, que corrigem a inclinação para trás.

Horak e Nashner (1986) sugerem que a estratégia do quadril é usada para restaurar o equilíbrio em resposta a perturbações mais amplas e rápidas, ou quando a superfície de apoio é flexível ou menor do que os pés, como, por exemplo, quando o indivíduo está em pé sobre uma viga.

**Estratégia do Passo.** Quando as estratégias sem deslocamento, como a do tornozelo ou do quadril, são insuficientes para recuperar o equilíbrio, um passo ou salto (a estratégia do passo) é usado para alinhar novamente a base de apoio sob o CDM (Fig. 7-5). Inicialmente, os pesquisadores acreditavam que a estratégia do passo fosse usada apenas em resposta às perturbações que deslocassem o CDM para fora da BDA (Horak, 1991; Shumway-Cook e Horak, 1989; Nashner, 1989). Em pesquisas mais recentes, foi observado que, em muitas condições, o passo ocorre mesmo quando o CDM está dentro dos limites da BDA (Brown *et al.*, 1999; McIlroy e Maki, 1993).

Maki (1993) observou que a maioria dos estudos e pesquisas que examinaram a recuperação da estabilidade, após uma ameaça ao equilíbrio vertical, desencoraja as respostas de passo, com instruções para que os indivíduos não desloquem os pés, a menos que seja absolutamente necessário. Isso pode levá-los a utilizar outras estratégias, como a do quadril. Para determinar a veracidade dessa sugestão, McIlroy e Maki (1993) conduziram um estudo para estabelecer a relação entre a prevalência das respostas de passo e as instruções dadas ao indivíduo. Eles observaram que as respostas posturais automáticas iniciais eram registradas nos músculos do tornozelo em todos os experimentos, independente de resultarem ou não no passo e também que a frequência dos passos mostrava uma tendência a ser mais alta nas condições sem restrições (nenhuma instrução específica fornecida) do que nas restritas ("não desloque os pés"). No entanto, nenhum efeito significativo foi observado (McIlroy e Maki, 1993). Isso questiona se as instruções dadas ao indivíduo cumprem ou não uma função em determinar o tipo de estratégia de movimento usado para recuperar a estabilidade após uma perturbação.

Embora as estratégias do tornozelo, do quadril e do passo e suas sinergias musculares associadas sejam apresentadas como entidades discretas, os pesquisadores mostraram que a maioria dos indivíduos com sistema neurológico intacto utiliza várias

misturas dessas estratégias quando controlam a inclinação para a frente e para trás durante a postura vertical (Horak e Nashner, 1986).

As informações sobre os padrões de ativação de músculos selecionados e sobre movimentos corpóreos podem fornecer alguns dados sobre as estratégias do controle motor utilizadas para a reconquista do equilíbrio. No entanto, o cálculo do torque articular pode oferecer informações adicionais importantes, já que nos fornece a soma das forças aplicadas por todos os músculos que agem sobre uma determinada articulação.

Experimentos recentes, conduzidos em 2 laboratórios (Runge *et al.*, 1999; Jensen *et al.*, 1996), usaram esta técnica para testar a hipótese de que as estratégias do tornozelo são utilizadas principalmente para as perturbações de velocidade baixa (o CDM está dentro dos limites da estabilidade), enquanto as estratégias do quadril são utilizadas para os distúrbios de alta velocidade (o CDM chega mais perto do limite da estabilidade). Eles demonstraram que à medida que a velocidade da plataforma aumenta gradualmente, de 10 cm/s até 55 a 80 cm/s, os indivíduos não alternam simplesmente o uso da força do tornozelo, em velocidade baixa, pelas forças do quadril nas velocidades mais altas. Em vez disso, continuam aumentando a força aplicada ao tornozelo e depois começam a adicionar a força do quadril, em um determinado ponto limiar crítico. Esse ponto varia entre os indivíduos: alguns deles utilizam principalmente a força do tornozelo para a maioria das velocidades de perturbação. As estratégias puras do quadril, previamente identificadas por meio da utilização de padrões EMG, quando os indivíduos respondiam aos distúrbios posturais enquanto estavam em pé sobre uma superfície estreita de apoio (Horak e Nashner, 1986), nunca foram observadas. Os registros EMG também mostraram que, quando a ativação dos músculos abdominais e do tronco era correlacionada com a flexão do tronco, a atividade dos músculos do tornozelo permanecia (Runge *et al.*, 1999; Jensen *et al.*, 1996). A Figura 7-8 utiliza a combinação dos músculos do tornozelo e do quadril, observada em resposta a perturbações cada vez mais intensas da plataforma de apoio. As respostas musculares (EMG da superfície) são ilustradas na Figura 7-8A; os torques articulares que as acompanham são ilustrados na Figura 7-8B.

### *Estabilidade Médio-lateral*

As primeiras pesquisas sobre as estratégias de resposta postural exploraram a estabilidade apenas na direção ântero-posterior. Pesquisas mais recentes revelam que estratégias alternativas são usadas para recuperar a estabilidade na direção médio-lateral. Isso se deve ao fato de que o alinhamento dos seg-

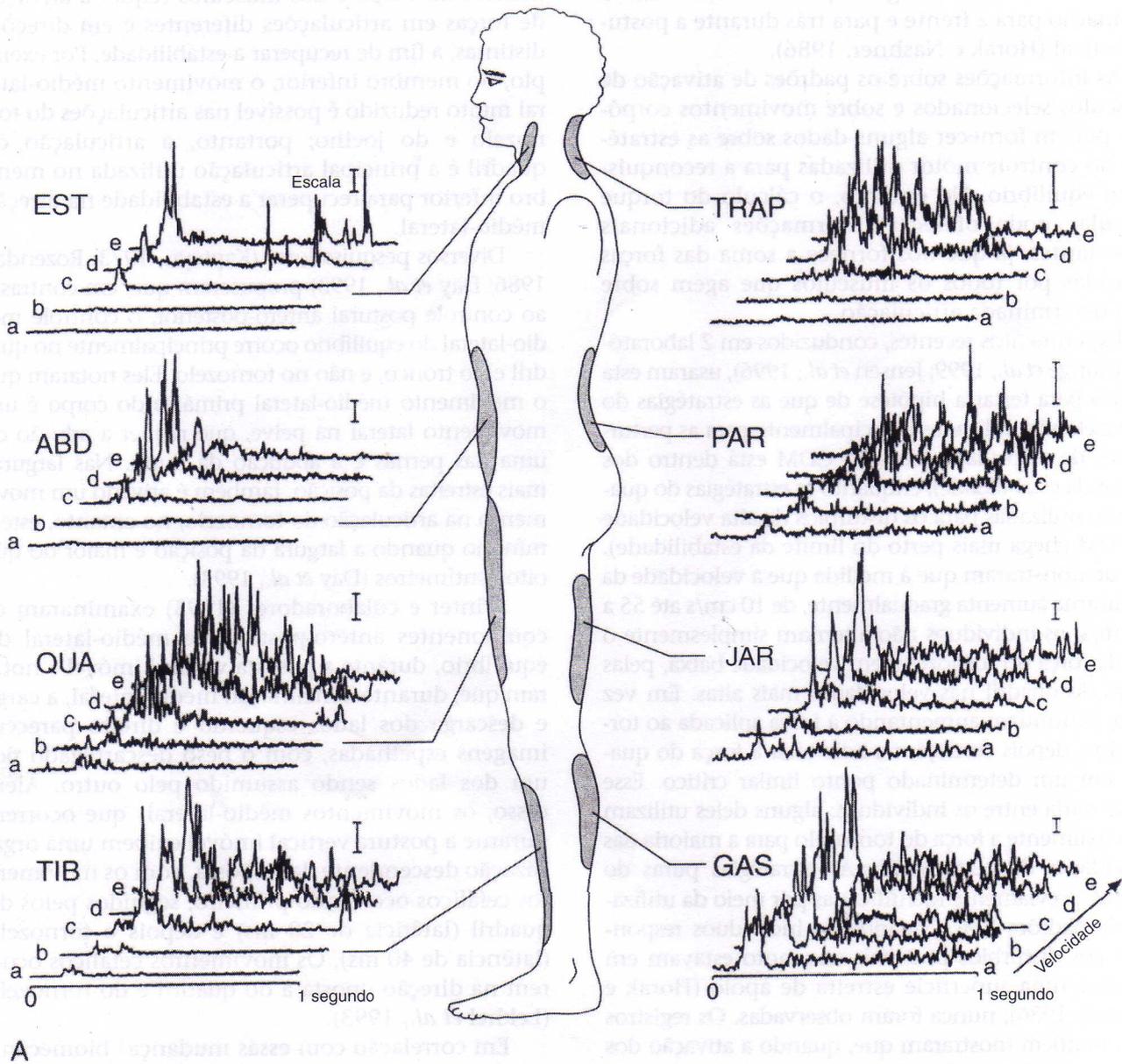
mentos do corpo e dos músculos requer a ativação de forças em articulações diferentes e em direções distintas, a fim de recuperar a estabilidade. Por exemplo, no membro inferior, o movimento médio-lateral muito reduzido é possível nas articulações do tornozelo e do joelho; portanto, a articulação do quadril é a principal articulação utilizada no membro inferior para recuperar a estabilidade na direção médio-lateral.

Diversos pesquisadores (Kapteyn, 1973; Rozendal, 1986; Day *et al.*, 1993) propuseram que, em contraste ao controle postural ântero-posterior, o controle médio-lateral do equilíbrio ocorre principalmente no quadril e no tronco, e não no tornozelo. Eles notaram que o movimento médio-lateral primário do corpo é um movimento lateral na pelve, que requer a adução de uma das pernas e a abdução da outra. Nas larguras mais estreitas da posição, também é ativado um movimento na articulação do tornozelo; no entanto, este é mínimo quando a largura da posição é maior do que oito centímetros (Day *et al.*, 1993).

Winter e colaboradores (1993) examinaram os componentes ântero-posterior e médio-lateral do equilíbrio, durante a postura vertical imóvel e notaram que, durante a inclinação médio-lateral, a carga e descarga dos lados esquerdo e direito parecem imagens espelhadas, com o peso descarregado por um dos lados sendo assumido pelo outro. Além disso, os movimentos médio-laterais que ocorrem durante a postura vertical imóvel exibem uma organização descendente da resposta, com os movimentos cefálicos ocorrendo primeiro, seguidos pelos do quadril (latência de 20 ms) e depois o tornozelo (latência de 40 ms). Os movimentos cefálicos ocorrem na direção oposta à do quadril e do tornozelo (Lekhel *et al.*, 1993).

Em correlação com essas mudanças biomecânicas, existem respostas musculares específicas para controlar a inclinação lateral. Diversos laboratórios demonstraram que o abductor do quadril (glúteo médio e tensor da fáscia lata) e os grupos de músculos adutores são ativados no controle da carga e descarga de ambas as pernas, durante a inclinação médio-lateral (Maki *et al.*, 1994b; Winter *et al.*, 1993; Horak e Moore, 1989). Ao contrário dos padrões de respostas musculares ântero-posteriores, organizados desde o plano distal até o proximal, os padrões musculares médio-laterais são organizados desde uma direção proximal até a distal, com os músculos do quadril sendo ativados antes dos músculos do tornozelo (Horak e Moore, 1989).

Resultados semelhantes foram observados em estudos com perturbação médio-lateral, conduzidos em gatos. A fim de comparar as estratégias de inclinação postural em uma variedade de direções,



**FIGURA 7-8.** Respostas musculares (A) e torques articulares (B) evidenciados por perturbações de velocidade crescente. As respostas musculares ocorrem em reação a perturbações da plataforma de 15 cm/s (a), 20 cm/s (b), 25 cm/s (c), 32 cm/s (d) e 40 cm/s (e). EST, esternocleidomastóideo; ABD, abdominais; QUA, quadríceps; TIB, tibial anterior; TRAP, trapézio; PAR, paraespinhais; JAR, jarretes; GAS, gastrocnêmio. Os dados são de indivíduos separados. (Adaptado com permissão de Runge CF, Shupert CL, Horak FB, Zajac FE. "Postural strategies defined by joint torques". *Gait Posture* 1999; 10:161-170.)

Macpherson desenvolveu um experimento no qual tentava perturbar a postura de gatos em dezesseis direções, dispostas em um *continuum* de 360 graus (Macpherson, 1988). Ela percebeu que, em resposta às perturbações médio-laterais que causavam a carga de um dos membros dianteiros e a descarga de outro, os abdutores do quadril do membro carregado eram ativados, enquanto na resposta à perturbação ântero-posterior, os flexores e extensores do quadril eram ativados (Macpherson e Craig,

1986). Independentemente do fato de os gatos serem deslocados em dezesseis direções, eles responderam com vetores de força em apenas duas. Além disso, enquanto alguns músculos pareciam funcionalmente combinados em sinergias, outros pareciam independentemente controlados e utilizados para refinar as sinergias.

Um trabalho mais recente, conduzido no laboratório de Macpherson (Jacobs e Macpherson, 1996), mostrou que os músculos da coxa podem ser subdi-

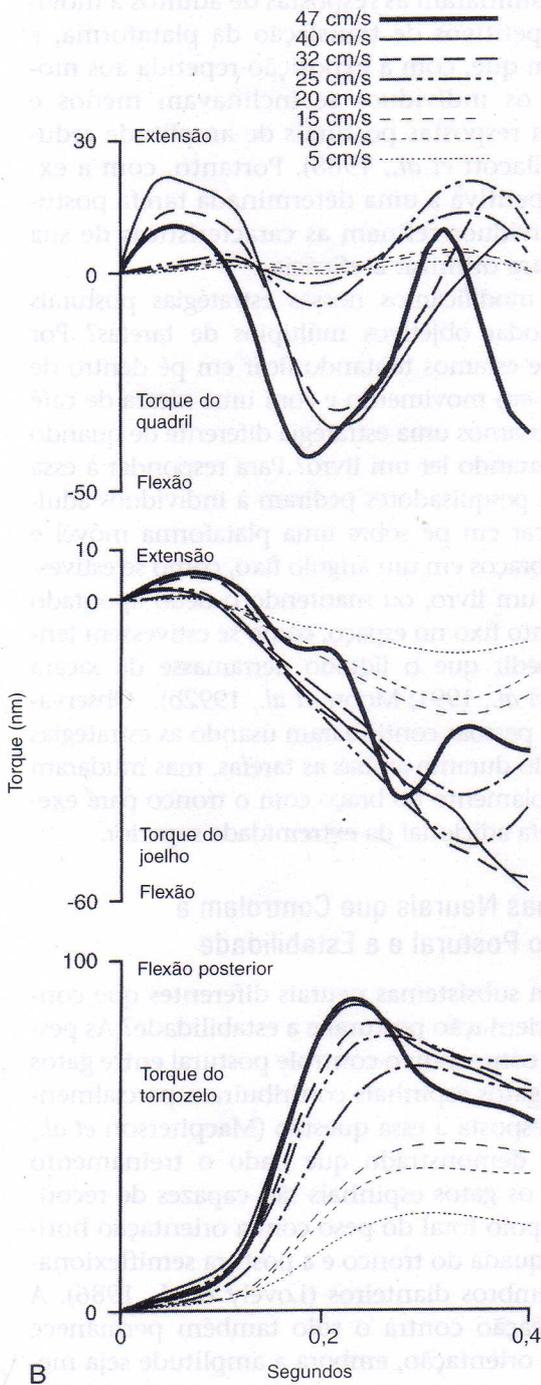


FIGURA 7-8. continuação.

vididos em dois grupos funcionais distintos, em relação ao controle postural. O primeiro grupo inclui os músculos monoarticulares e alguns biarticulares, os quais contribuem para o apoio antigravitacional do corpo (as respostas foram altamente correlacionadas com forças de contato vertical na superfície de apoio). Por exemplo, os flexores eram ativados durante a descarga do membro, enquanto os extensores tornavam-se ativos durante a carga. O segun-

do grupo muscular, que consiste em músculos biarticulares, parece contribuir mais para a estabilidade horizontal do corpo (as respostas foram correlacionadas com a diferença entre os torques no joelho e no quadril), ajudando a refinar a direção da força de contato. Os autores afirmam que o sistema nervoso pode, assim, controlar o movimento, mas não no nível de torques de articulações individuais. Em vez disso, controla a postura com um canal de forças verticais (suporte anti-gravidade) e um segundo canal para a combinação de forças verticais e tangenciais que refinam a direção do vetor da força (estabilidade horizontal) (Jacobs e Macpherson, 1996).

Como esse trabalho realizado em gatos é associado aos experimentos do controle postural humano? Até recentemente, a pesquisa sobre a postura humana enfatizou a importância do número limitado de sinergias musculares que formam a base do controle postural. Esse experimento em gatos sugere que alguns músculos dentro desta sinergia podem ser estreitamente combinados, mas a atividade de outros músculos às vezes é altamente mutável. Além disso, sugere que o SNC não controla simplesmente a postura por meio de forças aplicadas em articulações individuais, mas sim gerencia funções mais gerais, como o apoio antigravitacional e a estabilidade horizontal. Portanto, o SNC pode combinar músculos por mais processos do que originalmente se acreditava. No entanto, a forma pela qual as forças são aplicadas pode ser muito limitada. Isso pode mudar a ênfase no controle postural: ela é retirada do número limitado de sinergias musculares e recai no número limitado de estratégias de força.

Existe um certo apoio para essas hipóteses nos humanos, originário de experimentos posturais que pesquisam as respostas musculares utilizadas para controlar a inclinação em várias direções, no adulto jovem (Moore *et al.*, 1988). Por exemplo, experimentos mostraram que os humanos demonstram sinergias de resposta muscular estereotipadas quando a inclinação ocorre para a frente ou para trás, mas essas respostas são mais variáveis em outras direções. À medida que a direção da perturbação é alterada, a ativação dos músculos registrados varia continuamente, em função da direção do deslocamento.

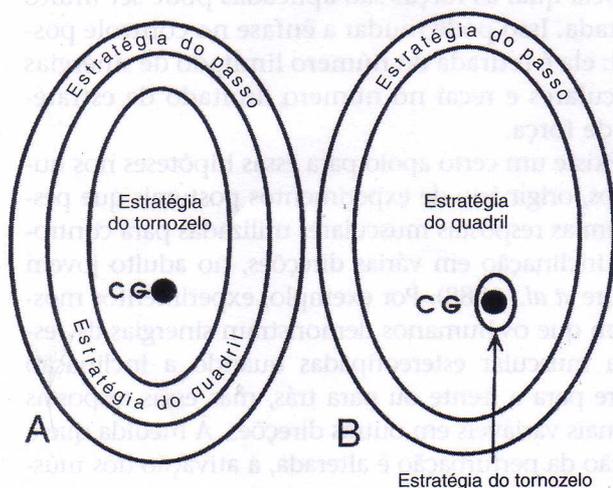
### Adaptação das Estratégias Motoras

Alguns estudos demonstraram que indivíduos normais podem substituir rapidamente uma estratégia de movimento postural por outra. Por exemplo, quando instruídos a ficar em pé sobre uma viga estreita durante os deslocamentos ântero-posteriores da plataforma,

a maioria dos indivíduos trocava a estratégia do tornozelo pela do quadril entre cinco e quinze experimentos e, quando voltavam à superfície normal de apoio, retomavam a estratégia do tornozelo em seis tentativas. Durante a transição de uma estratégia para a seguinte, os indivíduos usavam táticas mais complexas do movimento, que eram combinações de estratégias puras (Horak e Nashner, 1986).

Os cientistas acreditam que o SNC pode empregar as diferentes estratégias de movimento em relação aos limiares do espaço no qual elas podem ser usadas com segurança. Ou seja, o SNC parece mapear a relação entre os movimentos do corpo no espaço e as estratégias motoras usadas para controlá-los. Estes limiares conceituais são ilustrados na Figura 7-9. Os limiares podem ser dinâmicos, mudando em resposta às demandas da tarefa e do ambiente. Por exemplo, os limiares para a utilização das estratégias do quadril, do tornozelo e do passo, quando o indivíduo está em pé em uma superfície firme e plana (Fig. 7-9A), podem ser diferentes daqueles adotados sobre uma viga estreita (Fig. 7-9B) (Horak *et al.*, 1989b).

Essa informação é interessante, mas é verdade que modificamos a amplitude das respostas posturais apenas quando elas são inadequadas para a tarefa? Na realidade, não. Pesquisas recentes mostraram que estamos constantemente modelando as amplitudes das respostas posturais, mesmo quando são adequadas. Por exemplo, Woollacott e colabo-



**FIGURA 7-9.** Limiares para as estratégias motoras usadas para controlar a alteração da inclinação, em função da superfície de apoio. Mapa sugerido da relação entre os movimentos corpóreos no espaço e as estratégias motoras utilizadas para controlar esses movimentos com o indivíduo em pé sobre uma superfície firme e plana (A) versus na diagonal, sobre uma viga (B). (Reimpresso com permissão de Horak FB. "Effects of neurological disorders on postural movement strategies in the elderly". Em: Vellas B, Toupet M, Rubenstein L *et al.*, orgs. *Falls, balance and gait disorders in the elderly*. Paris: Elsevier, 1992:147).

radores examinaram as respostas de adultos a movimentos repetitivos de translação da plataforma, e observaram que, com a exposição repetida aos movimentos, os indivíduos se inclinavam menos e mostravam respostas posturais de amplitude reduzida (Woollacott *et al.*, 1988). Portanto, com a exposição repetitiva a uma determinada tarefa postural, os indivíduos refinam as características de sua resposta para otimizar a eficácia.

Como modificamos nossas estratégias posturais para acomodar objetivos múltiplos de tarefas? Por exemplo, se estamos tentando ficar em pé dentro de um ônibus em movimento e com uma xícara de café nas mãos, usamos uma estratégia diferente de quando estamos tentando ler um livro? Para responder a essa questão, os pesquisadores pediram a indivíduos adultos para ficar em pé sobre uma plataforma móvel e manter os braços em um ângulo fixo, como se estivessem lendo um livro, ou mantendo o dedo apontado em um ponto fixo no espaço, como se estivessem tentando impedir que o líquido derramasse da xícara (Sveistrup *et al.*, 1991; Moore *et al.*, 1992b). Observaram que as pessoas continuaram usando as estratégias do tornozelo durante ambas as tarefas, mas mudaram para o acoplamento do braço com o tronco para executar a tarefa adicional da extremidade superior.

### Subsistemas Neurais que Controlam a Orientação Postural e a Estabilidade

Existem subsistemas neurais diferentes que controlam a orientação postural e a estabilidade? As pesquisas que comparam o controle postural entre gatos normais e gatos espinhais contribuíram parcialmente para a resposta a essa questão (Macpherson *et al.*, 1997). Foi demonstrado que dado o treinamento adequado, os gatos espinhais são capazes de reconquistar o apoio total do peso com a orientação horizontal adequada do tronco e a postura semiflexionada dos membros dianteiros (Lovely *et al.*, 1986). A força de reação contra o solo também permanece normal na orientação, embora a amplitude seja menor. Assim, parece que o circuito neural-espinhal propriamente dito pode causar uma ativação tônica dos músculos extensores para o apoio antigravitacional adequado para a orientação postural dos quatro membros (Macpherson *et al.*, 1997).

No entanto, o controle da estabilidade postural no gato espinhal crônico é imensamente reduzido. Esses animais não demonstram estabilidade lateral, embora consigam suportar o seu próprio peso. Eles também não exibem o padrão normal de ativação EMG, com uma ausência completa da ativação do flexor quando o membro está descarregado, diferente das respostas observadas no gato normal. Os mús-

culos extensores ainda apresentam respostas à instabilidade do equilíbrio, mas com amplitudes muito mais reduzidas do que o normal. Também é interessante notar que a maioria dos músculos já não é mais modulada em relação à força vertical, com exceção dos tonicamente ativos para o suporte do peso. Portanto, parece que a estabilidade postural não é organizada no nível espinhal, mas sim controlada por centros superiores, como o tronco cerebral (incluindo os núcleos vestibulares) e o cerebelo (Macpherson *et al.*, 1997; Macpherson e Fung, 1999).

Em resumo, sabemos que a capacidade de produzir e aplicar forças de uma forma coordenada, a fim de controlar a posição do corpo no espaço, é uma parte essencial do controle postural. Sabemos também que o SNC deve ativar músculos sinérgicos em articulações mecanicamente associadas, para garantir que as forças produzidas em uma articulação para o controle do equilíbrio não causem instabilidade em outras áreas do corpo. Acreditamos que o SNC representa internamente a posição do corpo no espaço, em referência às estratégias comportamentais eficientes para controlar o movimento; no entanto, não está claro se essas estratégias comportamentais são internamente representadas como sinergias musculares, estratégias de movimento ou estratégias de força.

### Mecanismos Sensoriais Associados ao Controle Postural

O controle postural eficiente requer mais do que a habilidade de produzir e aplicar forças para controlar a posição do corpo no espaço. A fim de saber *quando* e *como* aplicar as forças da restauração, o SNC deve ter uma imagem acurada de *onde* o corpo está no espaço e se ele está imóvel ou em movimento. Como o SNC consegue fazer isto?

#### Sentidos que Contribuem para o Controle Postural

O SNC deve organizar as informações dos receptores sensoriais de todo o corpo, antes que possa determinar a posição do corpo no espaço. Normalmente, as informações periféricas dos sistemas visual, somatossensitivo (proprioceptivo, cutâneo e receptores articulares) e vestibular estão disponíveis para detectar o movimento e a posição do corpo no espaço, em relação à gravidade e ao ambiente. Cada sentido fornece ao SNC informações específicas sobre a posição e o movimento do corpo; portanto, cada um deles fornece uma diferente *estrutura de referência* para o controle postural (Hirschfeld, 1992; Gurfinkel e Levick, 1991).

Quais informações cada um desses sentidos fornece para o controle postural? Existe um sentido que seja mais importante do que os demais? O SNC usa todos os três sentidos ao mesmo tempo? Caso contrário, como ele decide qual sentido será utilizado?

#### Informações Visuais

As informações visuais relatam dados sobre a posição e o movimento da cabeça em relação aos objetos circunjacentes. Os dados visuais oferecem uma referência para a verticalidade, porque muitas coisas que nos cercam, como janelas e portas, são alinhadas verticalmente. Além disso, o sistema visual relata o movimento cefálico, pois enquanto a sua cabeça se move para a frente, os objetos circunjacentes se movimentam na direção oposta. As informações visuais incluem dados visuais periféricos e foveais, apesar de existirem evidências que sugerem que o estímulo periférico (ou um campo visual amplo) é mais importante para o controle da postura (Paillard, 1987).

Os dados visuais são uma fonte importante de informações para o controle postural, mas será que eles são absolutamente necessários? Não, já que a maioria das pessoas consegue manter o equilíbrio quando fecha os olhos ou está em uma sala escura. Além disso, as informações visuais nem sempre são uma fonte acurada de dados sobre a orientação do *automovimento*. Se você está sentado dentro do carro, parado no farol vermelho, e o carro ao seu lado se move, o que você faz? Você rapidamente coloca o pé no freio. Nessa situação, as informações visuais sinalizam o *movimento*, que o cérebro inicialmente interpreta como um *automovimento*; em outras palavras, "*o meu carro está andando*". Portanto, o cérebro envia sinais para os neurônios motores da perna e do pé, de forma que você pise no freio e *interrompa* o movimento. Portanto, as informações visuais podem ser mal-interpretadas pelo cérebro. O sistema visual tem dificuldade para distinguir o movimento do objeto, denominado *exocêntrico*, do *automovimento*, chamado *egocêntrico*.

#### Informações Somatossensitivas

O sistema somatossensitivo fornece ao SNC informações sobre a posição e o movimento do corpo, em referência às superfícies de apoio. Além disso, as informações somatossensitivas de todo o corpo relatam dados sobre a relação de diferentes segmentos do corpo uns com os outros. Os receptores somatossensitivos incluem os fusos musculares e os órgãos de tendão de Golgi (sensíveis ao comprimento e tensão dos músculos), receptores articulares (sensíveis ao movimento e tensão das articulações) e mecanorreceptores cutâneos, incluindo corpúsculos de Pacini (sensíveis à vibração),

corpúsculos de Meissner (sensíveis ao toque e a vibração leves), discos de Merkel (sensíveis à pressão local) e terminações de Ruffini (sensíveis ao alongamento da pele). Em circunstâncias normais, quando o indivíduo está em pé sobre uma superfície firme e plana, os receptores somatossensitivos fornecem informações sobre a posição e o movimento do corpo em relação à superfície horizontal. No entanto, se você está em pé sobre uma superfície que se move em relação ao seu corpo, por exemplo um barco, ou então sobre um solo que não é horizontal, como uma rampa, os receptores não são apropriados para estabelecer uma orientação vertical em referência à superfície. Nessas situações, as informações que relatam a posição do corpo em referência à superfície tornam-se menos proveitosas para estabelecer uma orientação vertical.

### Informações Vestibulares

As informações oriundas do sistema vestibular também são fontes poderosas de dados para o controle postural. O sistema vestibular fornece ao SNC informações sobre a posição e os movimentos cefálicos em relação às forças da gravidade e da inércia, oferecendo uma estrutura de referência *gravitoínerte* para o controle postural.

O sistema vestibular possui dois tipos de receptores, que sentem diferentes aspectos da posição e do movimentos cefálicos. Os canais semicirculares (CSCs) percebem a aceleração angular da cabeça. Os CSCs são particularmente sensíveis aos movimentos cefálicos rápidos, como os que ocorrem durante o andar ou o desequilíbrio, como escorregões, tropeços e passos em falso (Horak e Schupert, 1994).

Os otólitos sinalizam a posição e a aceleração lineares. Pelo fato de a gravidade ser detectada em relação à nossa posição ou movimento linear no espaço, os otólitos são fontes importantes de informação sobre a posição cefálica em relação à gravidade. Esses órgãos respondem principalmente aos movimentos cefálicos lentos, como os que ocorrem durante a inclinação postural. Portanto, o sistema vestibular relata a posição e o movimento da cabeça e é importante para distinguir o movimento exocêntrico do egocêntrico.

Também é interessante notar que os sinais vestibulares isolados não conseguem fornecer ao SNC uma *imagem real* de como o corpo está se movendo no espaço. Por exemplo, o SNC não consegue distinguir um aceno de cabeça (movimento cefálico em relação ao tronco estável) de uma inclinação para a frente (movimento da cabeça junto com o tronco) utilizando apenas as informações vestibulares (Horak e Schupert, 1994).

Como o SNC organiza essas informações sensoriais para o controle postural? As demandas postu-

rais durante a posição vertical imóvel, frequentemente denominadas controle do equilíbrio estático, são diferentes daquelas que ocorrem durante as perturbações da postura imóvel e da locomoção, que exigem mais formas dinâmicas de controle. Portanto, é provável que a informação seja organizada de maneira diferente para essas tarefas.

### Estratégias Sensoriais Durante a Postura Vertical Imóvel

As informações somatossensitivas de todas as partes do corpo contribuem para o controle postural durante a postura vertical imóvel. Estudos conduzidos pelo cientista francês Roll e seus colaboradores, que usaram minivibradores para excitar os músculos do olho, do pescoço e do tornozelo, exploraram as contribuições das informações proprioceptivas desses músculos para o controle postural, durante a postura vertical imóvel (Roll e Roll, 1988). Eles observaram que a vibração dos músculos do olho de um indivíduo em pé, com os olhos fechados, produzia a inclinação do corpo, cuja direção dependia do músculo vibrado. A vibração do músculo esternocleidomastóideo do pescoço ou do músculo solear da perna também produziu a inclinação do corpo. Quando esses músculos vibravam simultaneamente, os efeitos eram cumulativos, sem uma dominância clara de uma influência proprioceptiva sobre a outra. Isso sugere que a propriocepção de todas as partes do corpo cumpre uma função importante na conservação do controle postural, quando o indivíduo está em pé e imóvel.

Outros estudos demonstraram que a redução das informações aferentes do membro inferior, provocada por isquemia vascular, anestesia ou resfriamento, causa um aumento no movimento do CDP durante a postura vertical imóvel (Diener *et al.*, 1984; Magnusson *et al.*, 1990).

Um trabalho recente, conduzido por Jeka e Lackner (1994, 1995), mostrou que o toque leve da ponta do dedo em uma superfície estável reduz a inclinação postural dos indivíduos apoiados em apenas uma das pernas, nas pontas dos dedos ou nos calcanhares. Eles mediram o CDP médio-lateral em três diferentes condições de contato com as pontas dos dedos: ausência de contato, toque leve (até 1 N (newton) ou 100 g de força) ou contato de força (cuja intensidade poderia ser qualquer uma desejada). Observaram que a inclinação era maior na condição de sem contato; ela era reduzida igualmente nas condições de toque leve ou de força, mesmo que o toque das pontas dos dedos fosse aproximadamente dez vezes mais forte na condição de contato de força. A partir dos cálculos, eles ob-

servaram que forças de contato de 0,4 N previam uma redução de 2 a 3% na inclinação; no entanto, o contato do torque causou uma redução de 50 a 60%. Demonstraram que a estabilização adicional fornecida pelo contato leve é devida às forças produzidas por músculos distantes das pontas dos dedos (pernas e tronco), orientados pelas informações sensoriais oriundas de receptores cutâneos nas pontas dos dedos e de dados proprioceptivos sobre a posição do braço (Jeka, 1997).

Muitos estudos que examinaram o efeito da visão sobre a postura vertical imóvel analisaram a amplitude da inclinação com os olhos abertos e fechados, descobrindo um aumento significativo na inclinação em indivíduos normais com os olhos fechados. Portanto, foi proposto que embora a visão não seja absolutamente necessária para o controle da postura vertical imóvel, ela contribui ativamente para o controle do equilíbrio durante essa postura (Edwards, 1946; Lee e Lishman, 1975; Paulus *et al.*, 1984). A proporção da inclinação do corpo com os olhos abertos e fechados foi denominada quociente de Romberg (Romberg, 1853).

A maneira pela qual utilizamos as dicas visuais depende do fato de estarmos em pé imóveis ou respondendo a uma ameaça inesperada ao desequilíbrio? A resposta parece positiva. Diversos pesquisadores estudaram a sensibilidade e as dicas de movimento visual contínuo *versus* temporário, em pessoas de diferentes faixas etárias (Lee e Lishman, 1975; Butterworth e Hicks, 1977; Butterworth e Pope, 1983; Brandt *et al.*, 1976).

Os primeiros experimentos desse tipo foram executados por David Lee e seus colaboradores de Edimburgo, na Escócia, usando um novo paradigma no qual os indivíduos ficavam em pé em uma sala com o solo fixo, mas com paredes e teto que poderiam ser movidos para trás ou para a frente, criando a ilusão de inclinação na direção oposta (Lee e Lishman, 1975). A sala móvel pode ser usada para criar oscilações lentas, simulando dicas visuais durante a inclinação na postura imóvel ou uma perturbação abrupta do campo visual, imitando uma perda inesperada do equilíbrio. Se oscilações muito curtas e contínuas forem usadas na sala, os adultos com sistema neurológico intacto começam a inclinar o corpo de acordo com as oscilações da sala, o que mostra que as informações visuais causam uma influência importante no controle postural dos adultos durante a postura vertical imóvel.

Outros estudos aplicaram oscilações lentas e contínuas da plataforma (simulando a postura vertical imóvel) e depois perturbações rápidas e temporárias (criando a perda da estabilidade). Os resultados desses estudos indicam que as informações

visuais, vestibulares e somatossensitivas influenciam o controle do equilíbrio em adultos normais durante oscilações lentas, semelhante às que ocorrem na postura vertical imóvel. Por outro lado, as informações somatossensitivas parecem dominar o controle postural em resposta às perturbações temporárias da superfície (Diener *et al.*, 1986).

Experimentos recentes, conduzidos por Dietz e colaboradores (1994), modularam o fluxo visual e a superfície de apoio (esteira ergométrica) sobre a qual os indivíduos ficavam em pé. Eles observaram que os flexores da perna apresentam uma responsividade mais alta aos estímulos visuais, enquanto os extensores respondem mais às informações somatossensitivas.

O que podemos concluir de todos estes estudos? Eles sugerem que os três sentidos contribuem para o controle postural durante a postura vertical imóvel.

### Estratégias Sensoriais Durante a Postura Vertical Perturbada

Como as informações visuais, vestibulares e somatossensitivas contribuem para o controle postural durante a recuperação após uma perturbação temporária do equilíbrio? Vamos examinar agora algumas das pesquisas que analisaram esta questão.

As salas móveis, como a que acabamos de descrever, também foram usadas para examinar a contribuição das informações visuais para a recuperação após perturbações temporárias. Quando os movimentos são abruptos, as crianças de um ano compensam esta perda ilusória do equilíbrio com respostas motoras, projetadas para restaurar a posição vertical. No entanto, uma vez que não existe uma inclinação verdadeira do corpo, e sim apenas uma ilusão de inclinação, as respostas motoras têm um efeito desestabilizador, fazendo com que os lactentes cambaleiem ou caiam na direção do movimento da sala (Lee e Aronson, 1974; Lee e Lishman, 1975). Isso indica que a visão pode ser uma informação dominante para compensar as perturbações temporárias de lactentes que estão aprendendo a ficar em pé.

É interessante notar que crianças mais velhas e adultos não costumam mostrar respostas de inclinação ampla a esses movimentos, indicando que nos adultos, a visão não parece cumprir uma função importante na compensação de perturbações temporárias.

As latências da resposta muscular às dicas visuais que sinalizam perturbações ao equilíbrio são bastante lentas, na ordem dos 200 ms, em comparação com as respostas somatossensitivas, as quais são ativadas de 80 a 100 ms (Nashner e Woollacott, 1979; Dietz *et al.*, 1991). Pelo fato de as respostas somatossensitivas às translações da superfície de apoio parecerem muito

mais rápidas do que aquelas desencadeadas pela visão, os pesquisadores observaram que o sistema nervoso depende preferencialmente das informações somatossensitivas para controlar a inclinação do corpo, quando o desequilíbrio é causado por um deslocamento rápido da superfície de apoio.

Qual é a contribuição relativa do sistema vestibular para as respostas posturais às perturbações da superfície de apoio? Experimentos conduzidos por Dietz e colaboradores indicam que a contribuição do sistema vestibular é muito menor do que a das informações somatossensitivas (Dietz *et al.*, 1991). Nesses experimentos, a latência e a amplitude iniciais das respostas musculares foram comparadas em dois tipos de perturbações da postura vertical: (a) a superfície de apoio era movida para a frente ou para trás, estimulando as informações somatossensitivas; e (b) uma carga (2 kg) presa na cabeça era deslocada para a frente ou para trás, estimulando o sistema vestibular (a resposta estava ausente nos pacientes com déficit vestibular). Em acelerações comparáveis, as respostas dos músculos aos sinais vestibulares representavam cerca de um décimo da magnitude das respostas somatossensitivas, induzidas pelo deslocamento dos pés. Isso sugere que as dicas vestibulares cumprem apenas uma função mínima na recuperação do controle postural, quando a superfície de apoio é deslocada horizontalmente.

No entanto, sob determinadas condições, as informações vestibulares e visuais são importantes para controlar as respostas a perturbações temporárias. Por exemplo, quando a superfície de apoio é rotacionada com os artelhos para cima, alongando e ativando o músculo gastrocnêmio, essa resposta é desestabilizadora, empurrando o corpo para trás. Allum, um pesquisador suíço, demonstrou que a resposta subsequente de compensação do músculo tibial anterior, utilizada para restaurar o equilíbrio, é ativada pelos sistemas visual e vestibular quando os olhos estão abertos. Com os olhos fechados, ela é principalmente (80%) ativada pelos canais semicirculares vestibulares (Allum e Pfaltz, 1985).

Esses estudos, que examinaram o controle postural em resposta às perturbações horizontais temporárias da postura imóvel, sugerem que os adultos com sistema neurológico intacto tendem a depender das informações somatossensitivas, diferentemente das crianças pequenas, que confiam mais nas informações visuais.

Independentemente da tarefa, nenhum sentido isolado pode fornecer ao SNC informações acuradas sobre a posição e o movimento do corpo no espaço, em todas as circunstâncias. A capacidade do sistema nervoso de adaptar a utilização das informações sensoriais, sob condições mutáveis do ambiente e da tarefa, será discutida na próxima seção.

## Integração Central: Adaptação dos Sentidos ao Controle Postural

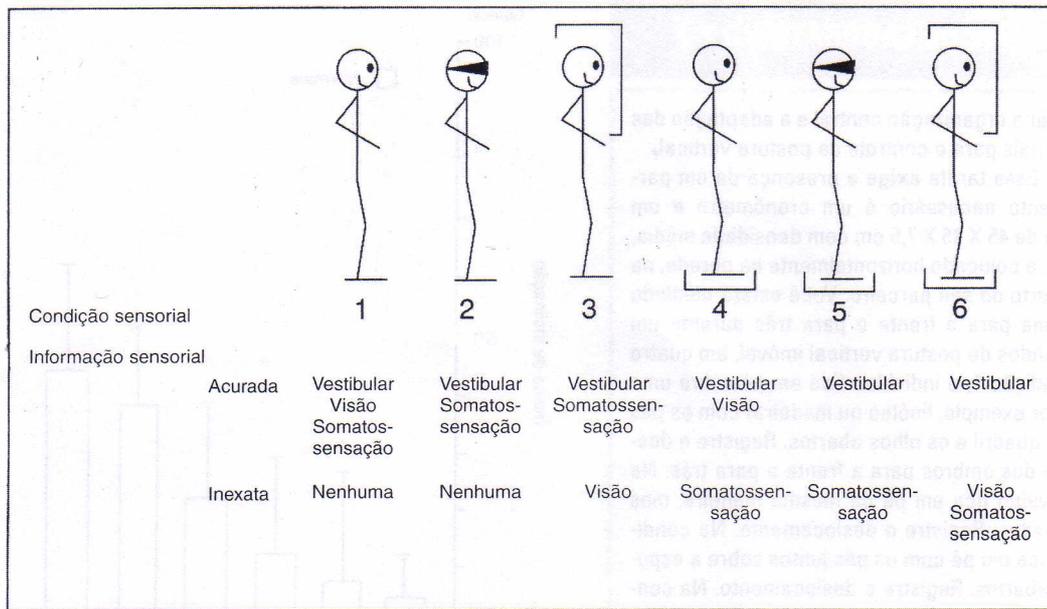
Vivemos em um ambiente que se modifica constantemente. A adaptação do uso dos nossos sentidos para o controle postural é um aspecto essencial da conservação da estabilidade, em uma ampla variedade de ambientes, e tem sido estudada por diversos pesquisadores. As informações aferentes, importante para o controle postural, são processadas por muitos sistemas. Um dos sistemas que parece crítico para a adaptação da resposta é o cerebelo. Ele recebe informações somatossensitivas, visuais e vestibulares e portanto é capaz de compará-las e adaptar as respostas adequadamente.

Uma abordagem para investigar como o SNC adapta informações sensoriais múltiplas para o controle postural foi desenvolvida por Nashner e colaboradores. Essa abordagem utiliza uma plataforma móvel, cercada por um ambiente visual também móvel (Nashner 1976, 1982). Uma versão simplificada do protocolo de Nashner foi desenvolvida por Shumway-Cook e Horak (1986), a fim de examinar a função da interação sensorial no equilíbrio.

No protocolo de Nashner, a inclinação do corpo é medida enquanto o indivíduo permanece imóvel em seis condições diferentes que alteram a disponibilidade e a exatidão das informações visuais e somatossensitivas para a orientação postural. Nas condições de 1 a 3, o indivíduo fica em pé sobre uma superfície normal com os olhos abertos (1), fechados (2) ou com o ambiente visual movendo-se de acordo com a inclinação do corpo (3). As condições de 4 a 6 são idênticas às de 1 a 3, exceto que a superfície de apoio gira de acordo com a inclinação do corpo. Essas condições são demonstradas na Figura 7-10. As diferenças na quantidade de inclinação do corpo, nas distintas condições, são usadas para determinar a capacidade do indivíduo de adaptar as informações sensoriais para o controle postural.

Muitos estudos examinaram o desempenho de indivíduos normais quando as informações sensoriais para o controle postural são variadas (Nashner, 1982; Woollacott *et al.*, 1986; Peterka e Black, 1990). Geralmente, esses estudos demonstram que os adultos e crianças com mais de sete anos conseguem conservar facilmente o equilíbrio em todas as seis condições.

As diferenças médias na inclinação do corpo, nas seis condições sensoriais e dentro de um grupo amplo de adultos com sistema neurológico intacto, são demonstradas na Figura 7-11. A inclinação dos adultos é mínima quando as informações sobre a orientação da superfície de apoio são exatas e relatam a posição do



**FIGURA 7-10.** As seis condições sensoriais usadas para testar como as pessoas adaptam os sentidos às condições sensoriais mutáveis, durante a conservação da postura vertical. (Adaptado com permissão de Horak F, Shumway-Cook A, Black FO. "Are vestibular deficits responsible for developmental disorders in children?" *Insights Otolaryngol* 1988; 3:2.)

corpo no espaço, em relação à superfície, independentemente da disponibilidade e da acuidade das informações visuais (condições 1, 2 e 3). Quando as informações sobre a superfície de apoio já não estão mais disponíveis como uma fonte exata de informações sobre a orientação, os adultos começam a inclinar mais o corpo. A maior quantidade de inclinação é observada nas condições 5 e 6, nas quais apenas um conjunto acurado de informações, as dicas vestibulares, está disponível para mediar o controle postural (Peterka e Black, 1990).

Experimentos semelhantes foram conduzidos para determinar o efeito das lesões cerebelares sobre a capacidade de reconsiderar as respostas posturais nessas condições mutáveis de tarefa. Nashner e colaboradores (1983) mostraram que as crianças com ataxia cerebelar demonstram uma capacidade significativamente reduzida de manter o equilíbrio em condições nas quais as informações sensoriais são reduzidas ou conflitantes (especialmente as condições 5 e 6). Isso apóia o conceito de que o cerebelo pode estar envolvido no processamento de informações associadas à organização central e à adaptação das respostas posturais.

A aplicação desse conceito pode ser observada na Atividade de Laboratório 7-2.

Essa pesquisa sugere diversos aspectos sobre a maneira pela qual o SNC organiza e adapta as infor-

mações sensoriais para o controle postural. Ela apóia o conceito da pesagem hierárquica das informações sensoriais para o controle postural, com base na sua acuidade relativa ao relatar a posição e os movimentos do corpo no espaço. Nos ambientes em que os sentidos não estão oferecendo informações ideais ou acuradas sobre a posição do corpo, o peso dado a um determinado sentido como fonte de orientação é reduzido, enquanto prevalece o peso dado a outros sentidos mais exatos. Devido à redundância dos sentidos disponíveis para a orientação, e também à capacidade do SNC de modificar a importância relativa de qualquer sentido para o controle postural, os indivíduos conseguem manter a estabilidade em ambientes variados.

Em resumo, o controle postural inclui a organização de informações sensoriais múltiplas em estratégias sensoriais para a orientação. Esse processo parece envolver a ordenação hierárquica de estruturas sensoriais de referência, garantindo assim que o sentido mais adequado seja selecionado, de acordo com o ambiente e a tarefa. As estratégias sensoriais, ou seja, o peso relativo dado a um sentido, varia em função da idade, da tarefa e do ambiente. Parece que, em condições normais, o sistema nervoso pode dar mais importância para as informações somatossensitivas no controle postural do que para as dicas visuais ou vestibulares.

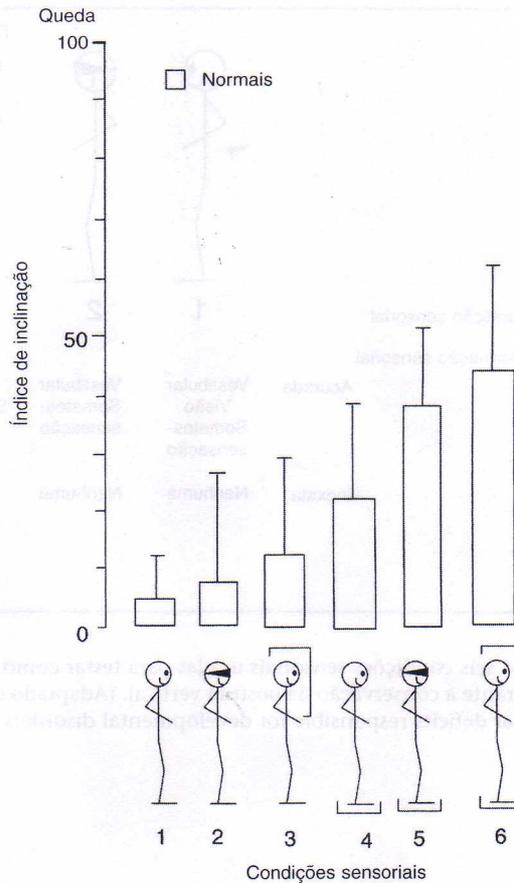


**ATIVIDADE DE LABORATÓRIO 7-2**

**OBJETIVO:** Examinar a organização central e a adaptação das informações sensoriais para o controle da postura vertical.

**PROCEDIMENTOS:** Essa tarefa exige a presença de um parceiro. O equipamento necessário é um cronômetro e um pedaço de espuma de 45 X 45 X 7,5 cm com densidade média, e 1 metro de madeira colocado horizontalmente na parede, na altura do ombro, perto do seu parceiro. Você estará medindo a inclinação máxima para a frente e para trás durante um período de 20 segundos de postura vertical imóvel, em quatro condições. Na condição 1, o indivíduo fica em pé sobre uma superfície firme (por exemplo, linóleo ou madeira) com os pés juntos, as mãos no quadril e os olhos abertos. Registre o deslocamento máximo dos ombros para a frente e para trás. Na condição 2, o indivíduo fica em pé da mesma maneira, mas com os olhos fechados. Registre o deslocamento. Na condição 3, o indivíduo fica em pé com os pés juntos sobre a espuma, com os olhos abertos. Registre o deslocamento. Na condição 4, o indivíduo fica em pé sobre a espuma com os olhos fechados. Existe um risco elevado de perda de equilíbrio nesta condição, por isso, a pessoa que está registrando as medidas deve ficar próxima e, se necessário, apoiar a que está sendo avaliada. Registre o deslocamento.

**TAREFA:** Para cada condição, faça uma lista das dicas sensoriais disponíveis para o controle postural. Compare a inclinação usando suas medidas de deslocamento em todas as condições. Como a inclinação varia em função das dicas sensoriais disponíveis? Como seus resultados podem ser comparados com as observações de Woollacott e colaboradores (1986) em relação às condições 1, 2, 4 e 5 na Figura 7-11?



**FIGURA 7-11.** Inclinação do corpo nas seis condições sensoriais usadas para testar a adaptação sensorial durante o controle da postura vertical. (Adaptado com permissão de Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner L. "Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination". *Int J Aging Hum Dev* 1986; 23:108.)

**Adaptação às Perturbações Rotacionais da Superfície de Apoio**

Os pesquisadores conduziram outros tipos de experimentos para explorar a adaptação postural. Os movimentos rotacionais da plataforma foram empregados para estudar a adaptação das respostas posturais a várias condições (Nashner, 1976; Keshner e Allum, 1986; Hansen *et al.*, 1988). Por exemplo, os movimentos rotacionais da plataforma *com os artelhos para baixo* causam o alongamento dos músculos tibiais anteriores, ativando a sinergia T-Q-A (tibial, quadríceps, abdominais); porém, quando a sinergia é ativada pela primeira vez nesta situação, ela é inadequada e serve para empurrar o indivíduo para a frente, na direção da rotação da plataforma. Estudos indicam que os indivíduos adaptam as respostas através da atenuação de sua amplitude, em séries de aproximadamente dez tentativas. Portanto, foi formulada a hipótese de que quando os indivíduos recebem informações sensoriais inexatas de um dos sentidos (neste caso, as informações da articulação do tornozelo), eles são capazes de compará-las

com as de outros sistemas sensoriais disponíveis. Então, eles reajustam a pesagem das informações sensoriais que orientam as respostas posturais, recorrendo às dicas acuradas remanescentes.

**Adaptação dos Sentidos Durante a Aprendizagem de uma Tarefa Nova**

Até agora, falamos sobre a repesagem das informações sensoriais nos ambientes, quando elas não são adequadas para utilizar um determinado sentido para o controle postural. Uma repesagem semelhante dos sentidos parece ocorrer durante o processo da aprendizagem de uma nova habilidade motora. Lee e Lishman (1975) observaram uma pesagem elevada das informações visuais quando os adultos estavam aprendendo uma tarefa. À medida que a tarefa se torna mais automática, parece haver uma redução da importância relativa das informações visuais para

o controle postural, enquanto aumenta o peso dado às informações somatossensitivas.

Foi avaliado que os adultos que se recuperam de uma lesão neurológica também dependem predominantemente da visão durante a primeira parte do processo de recuperação. À medida que as habilidades motoras, incluindo o controle postural, são reconquistadas, os pacientes tornam-se menos dependentes da visão e são mais capazes de utilizar as informações somatossensitivas (Mulder *et al.*, 1993).

### Controle Postural Antecipatório

Você já ergueu uma caixa, esperando que ela fosse pesada, mas era leve? O fato de você ter erguido a caixa mais alto do que esperava mostra que o SNC havia pré-programado a força usada de acordo com a antecipação da exigência da tarefa. Com base em experiências prévias ao erguer outras caixas de formatos e pesos semelhantes e diferentes, o SNC forma uma representação do processamento sensorial motor e das ações necessárias para executar essa tarefa. Ele ajusta estes sistemas para a tarefa. O nosso erro é uma evidência de que o SNC utiliza processos antecipatórios para controlar a ação.

Na década de 1960, os cientistas russos foram os primeiros a explorar a forma pela qual utilizamos a postura de uma maneira antecipatória, a fim de estabilizar a execução dos nossos movimentos hábeis. Belen'kii e colaboradores (1967) notaram que quando um adulto em pé é instruído a erguer o braço, músculos posturais (perna e tronco) e músculos movedores primários (braço) são ativados. Eles observaram que os padrões de ativação do músculo postural podem ser divididos em duas partes. A primeira parte é uma fase preparatória, na qual os músculos posturais são ativados mais de 50 ms antes dos músculos movedores primários, a fim de compensar antecipadamente os efeitos desestabilizadores do movimento. A segunda parte é uma fase de compensação, na qual os músculos posturais eram novamente ativados após os músculos movedores primários, como em um *feedback*, para estabilizar ainda mais o corpo. Eles observaram que a seqüência dos músculos posturais ativados e, conseqüentemente, a maneira do preparo do movimento eram específicas da tarefa.

Depois da descoberta de que as respostas posturais envolvidas no controle do *feedback* da postura eram organizadas em sinergias distintas (Nashner, 1977), surgiu uma questão importante: as sinergias usadas no controle postural do *feedback* são as mesmas empregadas no controle postural antecipatório? Para responder a esta questão, Cordo e Nashner (1982) conduziram experimentos nos quais indiví-

duos em pé deveriam puxar ou empurrar uma manivela usando bastante força, em uma tarefa com tempo de reação. Eles observaram que as mesmas sinergias de resposta postural, usadas no controle do equilíbrio em pé, eram ativadas de uma forma antecipatória antes dos movimentos do braço. Por exemplo, quando uma pessoa é instruída a puxar uma manivela, primeiro o gastrocnêmio, os jarretes e os extensores do tronco são ativados, e depois o movedor primário, que é o bíceps do braço.

Uma característica dos ajustes posturais associados ao movimento é a sua adaptabilidade às condições da tarefa. No experimento de Cordo e Nashner (1982), quando os indivíduos se inclinavam para a frente contra uma barra horizontal posicionada na altura do peito, os ajustes posturais da perna eram reduzidos ou desapareciam. Portanto, existe uma pré-seleção imediata dos músculos posturais, em função da sua habilidade de contribuir para o apoio adequado.

Diversos fatores contribuem para a regulação do tempo da atividade do músculo postural *versus* o músculo movedor primário, durante tarefas voluntárias. Primeiro, o músculo estudado e a sua função nas tarefas são importantes. Por exemplo, a ativação dos músculos do membro inferior tende a preceder a do músculo movedor primário nas tarefas que exigem a elevação do braço ou o ato de puxar/empurrar. Em geral, os músculos do tronco são ativados simultaneamente aos músculos movedores primários nas tarefas de erguer o braço (Cordo e Nashner, 1982; Belen'kii *et al.*, 1967; Brauer, 1998). Em segundo lugar, pode ocorrer uma mudança na regulação do tempo da atividade do músculo postural durante o movimento em diferentes direções, como puxar ao invés de empurrar. Em terceiro lugar, o apoio oferecido durante a tarefa e a postura inicial também influencia a ativação dos músculos posturais. Por exemplo, quando você puxa uma alavanca tentando estabilizar o corpo com o outro braço, os primeiros músculos ativados são os do braço utilizado para equilibrar o corpo. No entanto, quando você executa a mesma tarefa sem nenhum suporte do membro superior, os músculos da perna são ativados primeiro (Marsden *et al.*, 1977). Em quarto lugar, a preparação para a tarefa resulta no encurtamento do tempo de início dos músculos postural e movedor primário (Brown e Frank, 1987; Inglin e Woollacott, 1988). Em quinto lugar, o contexto comportamental e a velocidade do movimento focal afetam os aspectos antecipatórios do controle postural. Por exemplo, quando os indivíduos devem se mover o mais rápido possível e não em uma velocidade confortável, as respostas posturais tendem a ser prematuras e ativadas com maior confiança (Horak *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 1987). Em sexto lugar, a massa do membro ou da carga a ser

movida pode influenciar a amplitude da atividade do músculo postural (Horak *et al.*, 1984; Bouisset e Zattara, 1981). Por fim, o grau de prática e a complexidade da tarefa influenciam a latência da resposta postural. Foi demonstrado que quanto mais complexa a tarefa, mais retardados são os ajustes antecipatórios (Inglin e Woollacott, 1988). Além disso, foi demonstrado que em uma tarefa de elevação da perna, os bailarinos ativam ajustes posturais antecipatórios muito antes do que os outros indivíduos (Mouchnino *et al.*, 1992; Brauer, 1998).

Embora freqüentemente consideremos os ajustes antecipatórios em termos de ativação dos músculos posturais antes de um movimento hábil, também utilizamos a antecipação quando classificamos a amplitude dos ajustes posturais para as perturbações do equilíbrio. A amplitude da resposta muscular é associada à nossa expectativa em relação ao tamanho ou à amplitude da perturbação esperada.

Horak e colaboradores (1989a) examinaram a influência da experiência prévia e do ajuste central sobre as características dos ajustes posturais, fornecendo aos indivíduos perturbações da plataforma nas seguintes condições: (a) condições seriais *versus* aleatórias, (b) condições esperadas *versus* inesperadas e (c) condições praticadas *versus* não praticadas. Eles observaram que a expectativa representa um fator importante na modulação da amplitude das respostas posturais. Por exemplo, o indivíduo exibe uma resposta excessiva quando espera uma perturbação maior do que recebeu; a resposta também é reduzida quando ele espera uma perturbação menos intensa.

A prática também causa uma redução na magnitude da resposta postural e na amplitude da resposta do músculo antagonista. No entanto, o ajuste central não afeta as latências iniciais do EMG. Os autores perceberam que, quando perturbações diferentes eram apresentadas em ordem aleatória, toda a classificação desaparecia. Evidentemente, a classificação das respostas posturais é baseada na antecipação do que é necessário em uma determinada situação.

É importante perceber que os ajustes posturais antecipatórios não são isolados para as tarefas que executamos quando estamos em pé. A aplicação deste conceito pode ser encontrada na Atividade de Laboratório 7-3.

Você pode ter percebido durante essa atividade de laboratório que é capaz de utilizar os ajustes posturais antecipatórios quando está erguendo o livro e afastando-o de sua mão, de forma que a sua mão não se move involuntariamente para cima, embora você não possa usar esses ajustes quando outra pessoa está erguendo o mesmo livro da sua mão.



### ATIVIDADE DE LABORATÓRIO 7-3

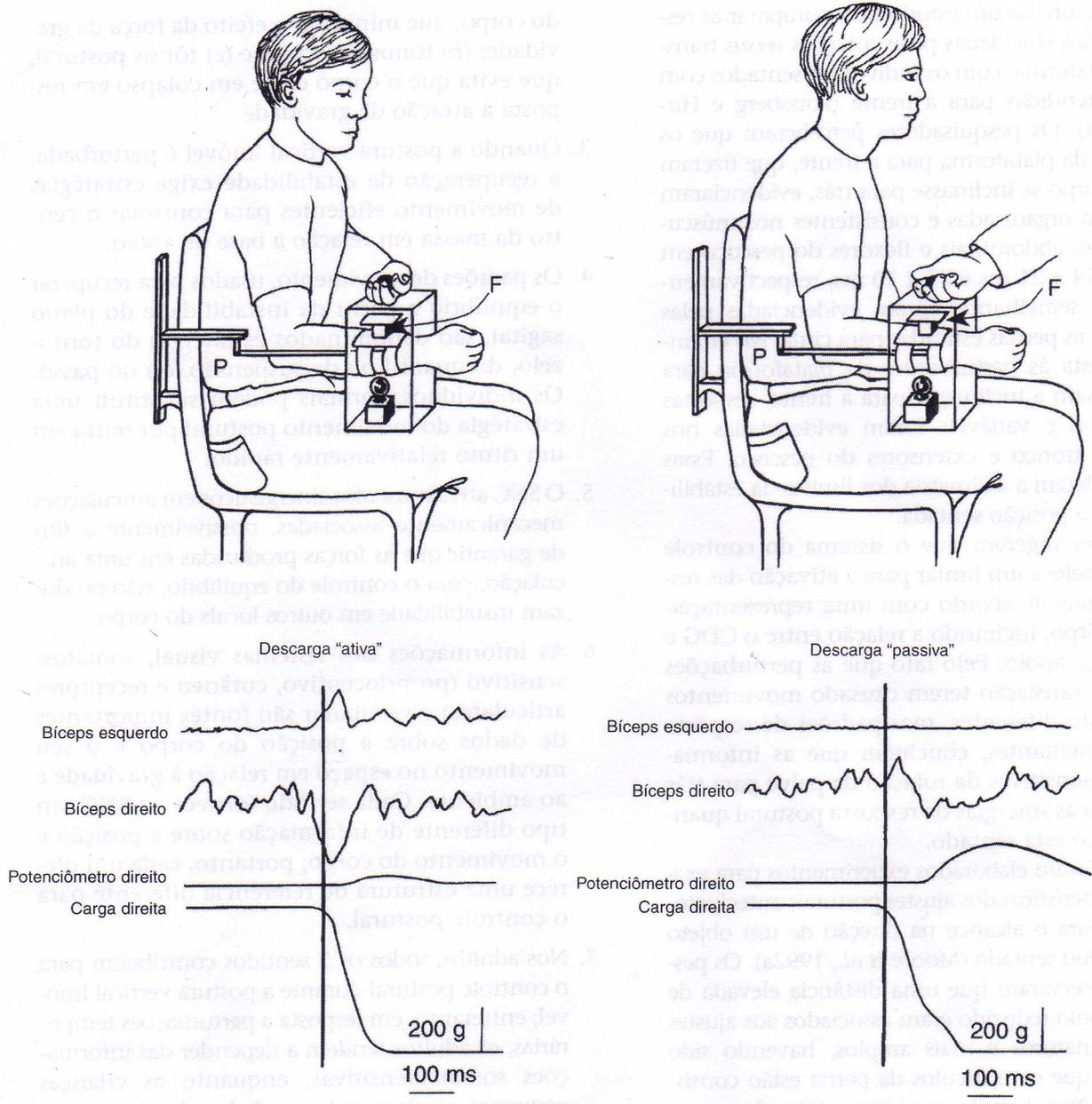
**OBJETIVO:** Explorar o uso dos ajustes posturais antecipatórios, em uma tarefa que envolve um movimento de elevação.

**PROCEDIMENTO:** Trabalhe com um parceiro. Prenda uma régua em posição vertical, na parede mais próxima de onde você está em pé. Fique em pé com o braço esticado na altura da cintura, com a palma da mão virada para cima. Coloque um livro pesado sobre a palma da mão aberta e peça ao parceiro para registrar a posição da mão na régua. Agora, o parceiro deve erguer o livro da sua mão e registrar o seu movimento enquanto o livro é elevado. Coloque o livro novamente na mão. Agora, você deve erguer o livro com a sua outra mão. Peça ao parceiro para registrar o movimento da sua mão nessa condição.

**TAREFA:** Responda às seguintes questões: O que aconteceu com a mão que segurava o livro, enquanto o seu parceiro erguia o livro? Ela ficou estável, ou se moveu para cima, junto com o livro? Quanto ela se moveu? O que aconteceu quando você mesmo ergueu o livro? Ela ficou estável? Quanto ela se moveu? Em qual destas duas condições há evidências de um ajuste postural antecipatório? O que foi necessário para que o ajuste postural antecipatório acontecesse? Como os seus resultados podem ser comparados com os de Hugon e colaboradores (1982), explicados no texto?

Cientistas da França e da Suíça, Hugon e colaboradores (1982) fizeram esta descoberta em experimentos nos quais mediram a EMG dos bíceps dos braços esquerdo e direito, durante uma modificação da tarefa acima mencionada. Neste caso, o indivíduo ou o investigador erguiam um peso de 1 kg do antebraço do indivíduo (Fig. 7-12). Eles observaram que na descarga ativa do braço executada pelo indivíduo, havia uma inibição preparatória do bíceps para evitar que o braço se movesse para cima quando fosse descarregado. A redução antecipatória na EMG do bíceps do braço que estava segurando a carga era travada em relação ao tempo, de acordo com o início da ativação do bíceps do braço que erguia o peso. Essa redução não foi observada durante a descarga passiva.

Como esses ajustes posturais antecipatórios são associados aos movimentos centralmente organizados? Massion e colaboradores conduziram experimentos em animais para discutir essa questão detalhadamente (Massion, 1979). Eles treinaram os animais para executar uma tarefa de elevação da perna, que exigia que o animal ativasse os músculos posturais das outras três pernas, enquanto erguia a perna movedora primária. Observaram que também podiam estimular diretamente o córtex motor ou o núcleo vermelho da área dos flexores



**FIGURA 7-12.** Experimentos que examinam a atividade postural antecipatória quando se ergue um peso do braço de um indivíduo. (Adaptado com permissão de Hugon M, Massion J, Wiesendanger M. "Anticipatory postural changes induced by active unloading and comparison with passive unloading in man". *Pflugers Arch* 1982; 393:292-296.)

do membro dianteiro, produzindo um movimento de elevação da perna. Quando isso ocorria, o movimento era sempre acompanhado por um ajuste postural dos outros membros, iniciado através de uma antecipação. Eles formularam a hipótese de que os ajustes posturais são organizados no nível bulboespinal e que o trato piramidal ativa esses trajetos enquanto envia comandos descendentes para o movedor primário. Massion sugere que, embora os mecanismos básicos para os ajustes posturais possam ser organizados nesse nível, eles pare-

cem ser modulados por diversas outras partes do sistema nervoso, incluindo o cerebelo.

### 🌀 CONTROLE DA POSTURA SENTADA

A conservação do controle postural na posição sentada não foi estudada na mesma extensão que o controle da postura vertical. No entanto, muitos cientistas acreditam que os conceitos importantes para o controle postural vertical serão comprovados como igualmente válidos para o conhecimento do controle postural sentado.

Foi desenvolvido um estudo para comparar as respostas posturais elucidadas pelas rotações *versus* translações da plataforma, com os indivíduos sentados com as pernas estendidas para a frente (Forssberg e Hirschfeld, 1994). Os pesquisadores perceberam que os movimentos da plataforma para a frente, que fizeram com que o corpo se inclinasse para trás, evidenciaram respostas bem organizadas e consistentes nos músculos quadríceps, abdominais e flexores do pescoço em  $63 \pm 12$  ms,  $74 \pm 21$  ms e  $77 \pm 10$  ms, respectivamente. Respostas semelhantes foram evidenciadas pelas rotações com as pernas esticadas para cima. No entanto, em resposta às perturbações da plataforma para trás, que causam a inclinação para a frente, respostas mais reduzidas e variáveis foram evidenciadas nos músculos do tronco e extensores do pescoço. Essas diferenças refletem a assimetria dos limites da estabilidade durante a posição sentada.

Os autores sugerem que o sistema do controle postural estabelece um limiar para a ativação das respostas posturais de acordo com uma representação interna do corpo, incluindo a relação entre o CDG e a superfície de apoio. Pelo fato que as perturbações de rotação e translação terem causado movimentos cefálicos muito diferentes, mas padrões de resposta muscular semelhantes, concluem que as informações somatossensitivas da rotação da pelve para trás desencadeiam as sinergias de resposta postural quando o indivíduo está sentado.

Também foram elaborados experimentos para examinar as características dos ajustes posturais antecipatórios, usados para o alcance na direção de um objeto com o indivíduo sentado (Moore *et al.*, 1992a). Os pesquisadores observaram que uma distância elevada de alcance e o apoio reduzido eram associados aos ajustes posturais prematuros e mais amplos, havendo sido demonstrado que os músculos da perna estão consistentemente ativos durante os ajustes posturais antecipatórios, antes do alcance voluntário na posição sentada (Shepherd *et al.*, 1993).

## RESUMO

1. A tarefa do controle postural envolve determinar a posição do corpo no espaço, de acordo com: (a) a estabilidade, definida como o controle do centro da massa do corpo dentro da base de apoio e (b) a orientação, definida como a capacidade de manter uma relação apropriada entre os segmentos do corpo e entre o corpo e o ambiente, em uma determinada tarefa.

2. Diversos fatores contribuem para o controle durante a postura vertical imóvel (denominado equilíbrio estático), incluindo: (a) alinhamento

do corpo, que minimiza o efeito da força da gravidade; (b) tônus muscular e (c) tônus postural, que evita que o corpo entre em colapso em resposta à atração da gravidade.

3. Quando a postura vertical imóvel é perturbada, a recuperação da estabilidade exige estratégias de movimento eficientes para controlar o centro da massa em relação à base de apoio.

4. Os padrões de movimento, usados para recuperar o equilíbrio a partir da instabilidade do plano sagital, são denominados estratégias do tornozelo, do quadril ou de suspensão, ou do passo. Os indivíduos normais podem substituir uma estratégia do movimento postural por outra em um ritmo relativamente rápido.

5. O SNC ativa músculos sinérgicos em articulações mecanicamente associadas, possivelmente a fim de garantir que as forças produzidas em uma articulação, para o controle do equilíbrio, não produzam instabilidade em outros locais do corpo.

6. As informações dos sistemas visual, somatossensitivo (proprioceptivo, cutâneo e receptores articulares) e vestibular são fontes importantes de dados sobre a posição do corpo e o seu movimento no espaço em relação à gravidade e ao ambiente. Cada sentido fornece ao SNC um tipo diferente de informação sobre a posição e o movimento do corpo; portanto, cada um oferece uma estrutura de referência diferente para o controle postural.

7. Nos adultos, todos os 3 sentidos contribuem para o controle postural durante a postura vertical imóvel; entretanto, em resposta a perturbações temporárias, os adultos tendem a depender das informações somatossensitivas, enquanto as crianças pequenas confiam mais nos dados visuais.

8. Devido à redundância dos sentidos disponíveis para a orientação e a capacidade do SNC de modificar a importância de qualquer sentido para o controle postural, os indivíduos conseguem manter a estabilidade em uma variedade de ambientes.

9. Os ajustes posturais também são ativados antes dos movimentos voluntários, a fim de minimizar os distúrbios potenciais do equilíbrio que o movimento pode causar. Isso é denominado controle postural antecipatório.

10. A conservação do controle postural na posição sentada ainda não foi estudada profundamente. No entanto, muitos cientistas acreditam que os conceitos importantes para o controle da postura vertical serão comprovados como igualmente válidos para o controle da postura sentada.