

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE EM MOVIMENTOS COMPLEXOS: CICLO PERCEPÇÃO-AÇÃO NO CONTROLE POSTURAL

José Angelo BARELA*

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo discutir alguns aspectos do funcionamento do sistema postural, enfatizando o relacionamento entre informação sensorial e ação motora. Verificando a utilização da informação visual e somatosensória na manutenção da posição em pé, por adultos e crianças, foi observado que o sistema de controle postural busca manter um relacionamento coerente e estável entre a pessoa e o meio ambiente. No caso da informação somatosensória a coerência e estabilidade deste relacionamento foi alcançada utilizando uma estratégia de “feedforward”, onde informação sensorial é utilizada para obter informação entre o indivíduo e o ambiente e, então, utilizada para antecipar a ocorrência da ação motora específica com o objetivo de reduzir oscilação corporal. Esta estratégia foi verificada tanto para adultos quanto para crianças. Entretanto, em crianças a estabilidade do relacionamento entre informação sensorial e ação motora é mais fraca que em adultos. Desta forma, foi concluído que a estabilidade entre informação sensorial e ação motora é crucial para o funcionamento do sistema de controle postural.

UNITERMOS: Controle postural; “Feedforward”; Acoplamento percepção-ação.

Estratégias de controle em movimentos complexos: ciclo percepção-ação no controle postural

O funcionamento do sistema postural envolve a necessidade de coordenar e controlar os segmentos corporais com base nas informações sensoriais. Desta forma, mesmo um comportamento cotidiano como a manutenção da posição ereta, ao contrário do que parece, é uma tarefa complexa que envolve um intrincado relacionamento entre informação sensorial e atividade motora. Apesar dos avanços no entendimento do funcionamento do sistema postural, uma questão central relacionada ao seu funcionamento começou apenas recentemente a ser respondida: “como informação sensorial e ação motora estão relacionados um com outro durante a manutenção de uma posição

corporal desejada”. O objetivo deste trabalho é discutir alguns aspectos do funcionamento do sistema postural, enfatizando o relacionamento entre informação sensorial e ação motora.

Controle postural: uma tarefa complexa

A manutenção de uma posição corporal desejada envolve a coordenação e controle dos segmentos corporais com relação aos outros segmentos corporais e a coordenação e controle destes segmentos corporais com relação ao meio ambiente. Horak & Macpherson (1996) definiram dois objetivos comportamentais do sistema de controle postural: orientação e equilíbrio corporal. A orientação postural está relacionada à manutenção da posição dos segmentos corporais com respeito aos outros

* Instituto de Biociências da Universidade Estadual de São Paulo – Rio Claro.

segmentos corporais e com respeito ao meio ambiente. O equilíbrio postural está relacionado ao equilíbrio das forças internas e externas que agem no corpo durante as ações motoras.

Um problema que o sistema de controle postural tem que resolver, durante a manutenção de uma posição corporal, é que as forças atuando nos segmentos corporais não são constantes. Uma consequência da variação destas forças é que, mesmo em uma posição estática, como por exemplo a manutenção da posição ereta, o corpo nunca está totalmente imóvel. A FIGURA 1 apresenta um estabilograma, onde a posição do centro de massa nas direções médio-lateral (abscissa) e ântero-posterior (ordenada), de uma pessoa adulta mantendo a posição em pé o mais estável possível, durante o intervalo de 25 segundos, é apresentada. Como pode ser verificado a posição do centro de massa oscila de um lado

para o outro e para frente e para trás. Estas oscilações são decorrentes da dificuldade em manter os muitos segmentos corporais alinhados entre si sobre uma base de suporte restrita, utilizando um sistema muscular esquelético que produz forças que variam ao longo do tempo (De Luca, LeFever, McCue & Xenakis, 1982). Desta forma, os segmentos corporais controlados pela ação muscular são incapazes de permanecer em orientações estritamente constantes (Collins & De Luca, 1993). A questão que surge é: como a manutenção de uma orientação corporal é mantida por um sistema que sofre a ação de forças constantemente mudando? Sem dúvida, a manutenção de uma orientação é alcançada com base em um intrincado relacionamento entre informação sensorial e atividade motora. Uma sugestão de como este relacionamento ocorre é discutida no próximo tópico.

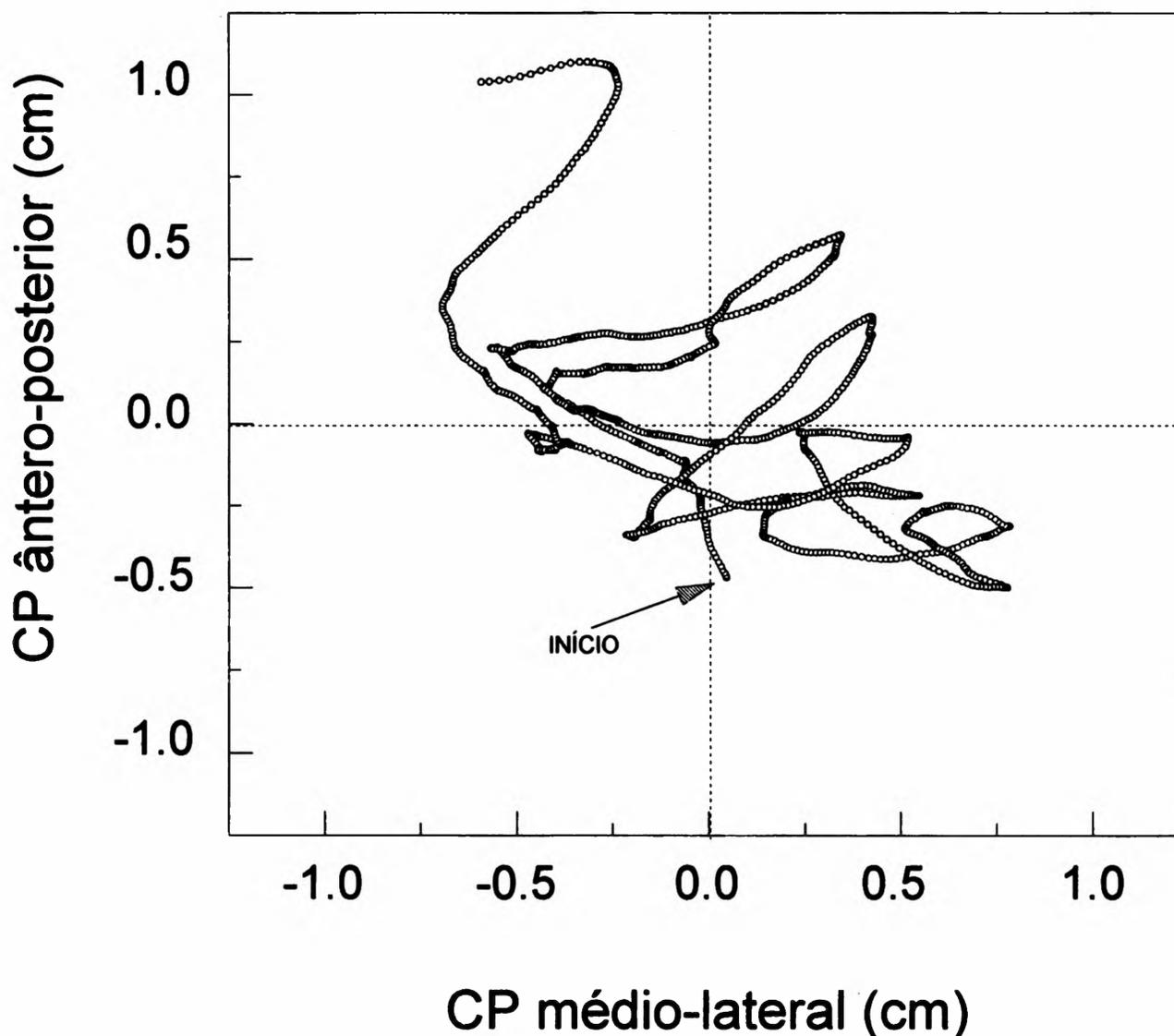


FIGURA 1 - Estabilograma do centro de pressão de uma pessoa adulta mantendo a posição em pé durante 20 segundos.

Controle postural: ciclo percepção-ação

O sistema de controle postural recebe informação sensorial predominantemente dos

sistemas visual, vestibular e somatosensório (Nashner, 1981). Estas informações sensoriais informam sobre a posição relativa dos segmentos corporais e sobre as forças internas e externas,

atuando nos segmentos corporais. Todas estas informações sensoriais são, então, utilizadas para estimar e antecipar as forças agindo no corpo e, combinadas com atividade muscular apropriada, para produzir ou manter a posição corporal desejada (Horak & MacPherson, 1996).

Esta visão de funcionamento do sistema de controle postural assume que informação sensorial e atividade motora estão entrelaçados entre si com o objetivo de atingir ou manter o equilíbrio e a orientação postural. Em muitas situações, o relacionamento entre informação sensorial e atividade muscular dá-se de forma contínua, como por exemplo, durante a manutenção da posição ereta por algum período de tempo. Neste caso, informação sensorial influencia a realização das ações motoras relacionadas ao controle postural e, simultaneamente, a realização destas ações motoras influencia a obtenção de informação sensorial. Por exemplo, na manutenção da posição ereta, uma oscilação para frente é detectada pelos sistemas sensoriais e, conseqüentemente, ocorre contração dos músculos posteriores para que esta oscilação seja revertida. Entretanto, assim que a oscilação é revertida, agora para trás, um novo fluxo de informação faz-se disponível, indicando a nova direção da oscilação. Baseado nesta informação, ocorrerá nova contração, agora, dos músculos anteriores e assim sucessivamente. Nas situações em que esta dependência mútua entre percepção e ação é manifestada regularmente, o padrão percepção-ação (Schöner, 1991) ou o ciclo percepção-ação (Barela, 1997) é formado.

O uso da informação sensorial para atenuar oscilação corporal

A influência da informação sensorial no controle postural tem sido estudada basicamente através de duas estratégias. A primeira estratégia baseia-se na manipulação da informação sensorial, ou seja, quando a mesma está presente, ausente ou é deficiente. Por exemplo, a oscilação corporal verificada na manutenção da postura em pé quase dobra quando a informação visual é eliminada, seja pelo ato de fechar os olhos ou de deixar o ambiente escuro (Paulus, Straube & Brandt, 1984; Paulus, Straube, Krafczyk & Brandt, 1989). Além da disponibilidade de informação, a qualidade da informação visual também é importante e influencia no controle postural. Paulus e colegas (Paulus, Straube & Brandt, 1984; Paulus, Straube,

Krafczyk & Brandt, 1989) observaram que qualquer manipulação na qualidade da informação visual, como por exemplo, diminuição da acuidade visual ou aumento da distância entre o observador e o cenário visual, provoca aumento da oscilação corporal.

A explicação de como a informação visual influencia o controle postural foi formulada baseando-se no deslocamento do cenário ambiental na retina do observador (Paulus, Straube, Krafczyk & Brandt, 1989). Quando a informação visual está disponível, por exemplo, durante a manutenção da posição em pé com os olhos abertos, o cenário do ambiente está sendo projetado na retina do observador. Conforme o observador oscila para frente, a projeção deste cenário na retina aumenta e o observador interpreta este aumento como sendo decorrente de sua oscilação para frente. Esta informação é usada na produção de atividade muscular com o objetivo de diminuir e reverter esta oscilação. Quando informação visual não está disponível, por exemplo quando o observador está com os olhos fechados ou em um ambiente escuro, a projeção do cenário na retina não pode ser utilizada e, conseqüentemente, outras fontes de informação sensorial devem ser utilizadas. Esta explicação também é coerente com as situações nas quais a informação visual é manipulada. Por exemplo, diminuição da acuidade visual ou aumento da distância entre o observador e o cenário influencia a projeção do cenário na retina. Com o aumento da distância, a projeção do cenário na retina é reduzida. Conseqüentemente, o observador necessita ter uma amplitude de oscilação maior para que a projeção seja alterada em uma mesma quantidade do que quando a distância do observador e o cenário era menor. Desta forma, o sistema de controle postural parece minimizar a expansão da imagem na retina com o objetivo de manter um relacionamento estável entre o observador e o cenário ao seu redor.

Recentemente, o efeito da informação somatosensória no controle postural tem sido investigado utilizando a estratégia do toque suave em uma superfície rígida (Holden, Ventura & Lackner, 1994; Jeka & Lackner, 1994; 1995). Nestes estudos, indivíduos adultos na posição em pé tocaram a ponta do dedo indicador em uma superfície rígida estacionária, posicionada ao lado deles, em duas condições experimentais: a) podiam aplicar o quanto de força quisessem e; b) podiam aplicar no máximo 1 N de força (toque suave). Em ambas situações, foi verificada uma

redução significativa da oscilação corporal comparado com a situação sem toque. No caso da situação em que a quantidade de força aplicada era ilimitada, a redução da oscilação corporal ocorreu decorrente do suporte mecânico fornecido pela superfície. Entretanto, no caso do toque suave, a força aplicada na superfície era insuficiente para fornecer suporte mecânico (Holden, Ventura & Lackner, 1994; Jeka & Lackner, 1994; 1995). Mais interessante ainda, foi a constatação que, em ambas as condições experimentais, variações da força aplicada na superfície e variações da oscilação corporal estavam relacionadas. Na situação de

força ilimitada, mudanças na força e mudanças na oscilação corporal ocorriam espacial e temporalmente de forma semelhante, sem qualquer diferença temporal. Por outro lado, na situação de toque suave, as mudanças estavam espacialmente relacionadas mas com uma diferença temporal entre a força e a oscilação corporal. Mudanças na força aplicada ocorriam de 200 a 300 milésimos de segundo a frente de mudanças na oscilação corporal (Jeka & Lackner, 1994). Um exemplo deste relacionamento entre força aplicada na superfície e oscilação corporal é apresentado na FIGURA 2.

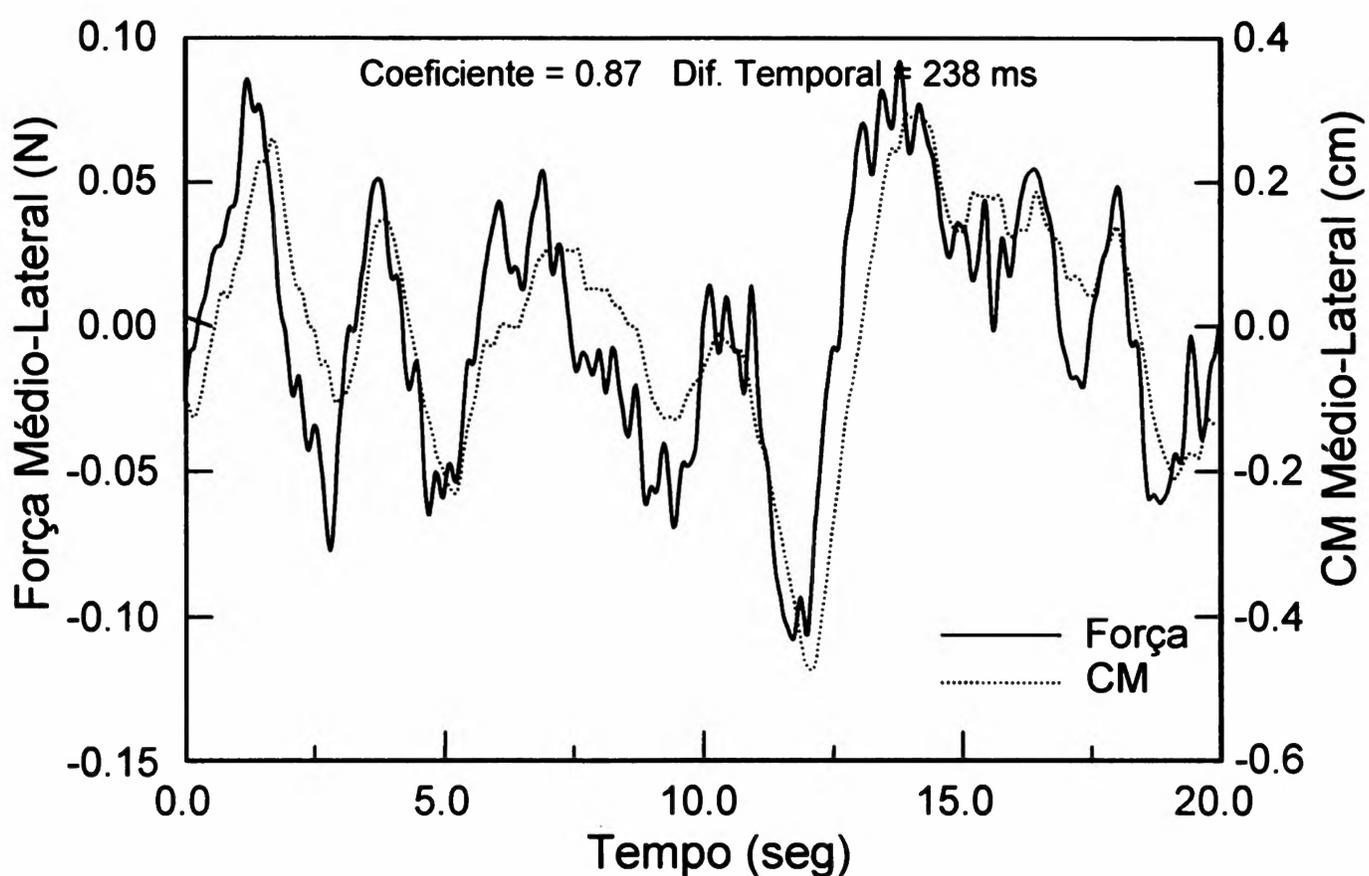


FIGURA 2 - Variação da força aplicada em uma superfície estacionária e do centro de massa durante a manutenção da posição em pé. Nota: O coeficiente e diferença temporal obtidos através da correlação cruzada para os dois sinais são apresentados. A escala para o centro de massa é mostrada no lado direito do gráfico.

Jeka & Lackner (1994) sugeriram que o toque suave da ponta do dedo com a superfície fornece informação sobre a oscilação corporal que é utilizada na forma de “feedforward” para implementar o controle postural e, conseqüentemente, reduzir oscilação corporal. Por exemplo, conforme uma pessoa oscila na direção da superfície que esta tocando, a força aplicada na superfície aumenta na mesma direção que a pessoa está oscilando, indicando a oscilação da pessoa. A partir da constatação desta oscilação, a pessoa diminui a força aplicada na ponta dos dedos, para

evitar ultrapassar o limite imposto (1 N), e utiliza esta informação para iniciar a oscilação do corpo na direção oposta ao movimento que estava ocorrendo. Desta forma, mudanças na força aplicada ocorrem à frente das mudanças correspondentes na oscilação corporal. A diferença de 200 a 300 milésimos de segundo é decorrente, sugeriram Jeka & Lackner (1994), do tempo necessário para processamento e tomada de decisão e do tempo necessário para produzir ativação muscular e reverter o momento de inércia do corpo.

Em um estudo subsequente, Jeka & Lackner (1995) investigaram o mecanismo de “feedforward”, referente ao uso de informação somatosensória a partir do toque suave com uma superfície, de forma mais detalhada. Jeka & Lackner (1995) investigaram a atividade eletromiográfica dos músculos responsáveis pela reversão da oscilação corporal na direção médio-lateral, na situação de toque suave. Os resultados indicaram que a ativação muscular ocorre por volta de 150 milésimos de segundo após mudanças na força aplicada e, após outros 150 milésimos de segundo, a oscilação corporal ocorre. Baseados nestes resultados, os autores concluíram que o contato da ponta dos dedos com uma superfície estacionária fornece informação sobre a oscilação corporal que é utilizada para produzir ativação muscular apropriada, de forma antecipatória (“feedforward”), com o objetivo de controlar a oscilação corporal (Jeka & Lackner, 1995).

Os estudos desenvolvidos por Jeka & Lackner (1994, 1995) indicaram a utilização do ciclo percepção-ação pelo sistema de controle postural. Informação sensorial e ação motora estão intimamente relacionados na obtenção da tarefa de manter o corpo em uma determinada posição desejada. Mais ainda, o funcionamento do sistema de controle postural necessita que este relacionamento entre informação sensorial e ação motora seja coerente e estável. Recentemente, estes dois aspectos foram verificados em estudos desenvolvimentais (Barela, Jeka & Clark, 1999a, 1999b). Seguindo longitudinalmente bebês durante a aquisição da posição em pé independente, Barela, Jeka & Clark (1999a) observaram que a aquisição de um relacionamento coerente entre informação sensorial e oscilação corporal é essencial para a solução do problema de manter um corpo composto de muitos segmentos sobre uma pequena superfície de apoio. Bebês, no curso de aquisição da posição em pé independente, apresentaram melhoras significativas na manutenção da posição ereta quando conseguiram incorporar as informações sensoriais provenientes do toque em uma superfície com uma mão, utilizando a mesma estratégia de feedforward verificada para adultos.

Em outro estudo, Barela, Jeka & Clark (1999b) examinaram a estabilidade do ciclo percepção-ação em crianças de quatro, seis e oito anos de idade. Estas crianças foram testadas na situação experimental do toque suave. Os resultados revelaram, primeiro, que oscilação corporal foi reduzida significativamente com o

toque suave da ponta do dedo em uma superfície. Crianças nas três diferentes idades apresentaram redução de 30 a 50% da oscilação corporal na situação de toque suave em comparação com a situação sem toque. Este resultado sugere que crianças na faixa de quatro a oito anos estavam utilizando a informação somatosensória proveniente do contato da ponta dos dedos com a superfície estacionária. Segundo, estas crianças utilizavam a informação sensorial empregando a mesma estratégia de “feedforward”, verificada para os adultos. Mudanças na força aplicada pela ponta do dedo na superfície estacionária estavam relacionadas espacial e temporalmente com mudanças na oscilação corporal. Semelhantemente aos adultos, mudanças na forças estavam por volta de 300 milésimos de segundos a frente das mudanças na oscilação corporal.

Apesar destas semelhanças verificadas entre as crianças e os adultos, a estabilidade temporal do ciclo percepção-ação é mais fraca em crianças do que em adultos. Embora mudanças na força e na oscilação corporal estivessem relacionadas, os coeficientes de correlação observados para as crianças foram mais baixos dos aqueles observados para os adultos (Barela, Jeka & Clark, 1999b). Um exemplo das semelhanças e diferenças entre crianças e adultos utilizando o toque suave para atenuar a oscilação corporal é apresentado na FIGURA 3. Claramente, pode ser observado que mesmo uma criança de quatro anos de idade consegue utilizar o toque suave para atenuar a oscilação corporal (comparação da oscilação nas FIGURAS 3a e 3b), entretanto, ela não consegue manter um relacionamento estável entre oscilação corporal e informação sensorial durante a tentativa toda, indicando que o acoplamento não está desenvolvido nos níveis verificados para adultos.

De forma geral, informações sensoriais são incorporadas na tarefa de controle da posição corporal desejada. Mais ainda, estas informações são utilizadas de forma contínua, como sugerido ocorrer no ciclo percepção-ação. O objetivo deste ciclo, como exemplificado para ambos os casos, visão e toque suave, é o de manter a relação entre a pessoa e o ambiente o mais estável possível. O sistema de controle postural tenta manter a imagem projetada na retina o mais estável e estacionária possível. Da mesma forma, a relação entre as mudanças de força na ponta do dedo e da oscilação corporal também é mantida a mais estável possível, pelo menos no caso de adultos.

Então, a estratégia utilizada pelo sistema de controle postural é minimizar as alterações no ciclo

percepção-ação, ou seja, minimizar alterações entre o relacionamento da pessoa e o ambiente.

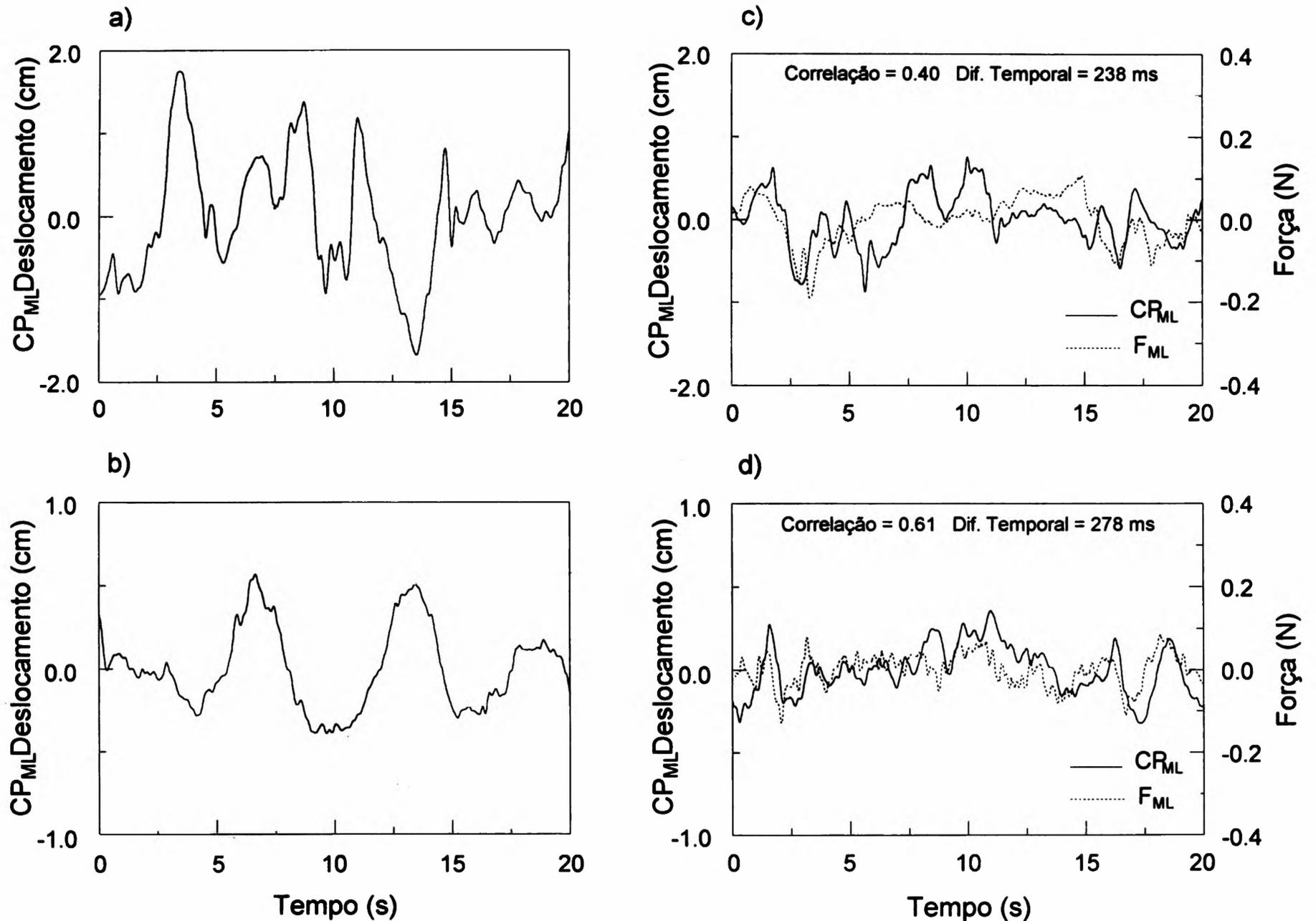


FIGURA 3 - Oscilação do centro de pressão na direção médio-lateral na condição sem toque para uma criança de quatro anos de idade (A) e para um adulto (B). Oscilação do centro de pressão e variação da força aplicada na condição de toque suave para uma criança de quatro anos de idade (C) e para um adulto (D) com os respectivos coeficientes e diferenças temporais obtidos através da correlação cruzada entre os dois sinais. Nota: As escalas são diferentes entre os gráficos da criança e do adulto para melhor representação gráfica.

O uso da informação sensorial para induzir oscilação corporal

Tendo sugerido que o sistema de controle postural procura minimizar a relação do observador e o ambiente, a questão que surge é: será que esta minimização ocorre mesmo em casos que a informação sensorial é manipulada? Na década de setenta, Lee e colaboradores (Lee & Aronson, 1974; Lee & Lishman, 1975; Lishman & Lee, 1973) manipularam experimentalmente a informação visual movendo uma “sala” suspensa.

Esta sala, conhecida como “sala móvel”, era composta pelas paredes laterais, o teto e um dos fundos e podia ser movimentada para frente e para trás. Adultos e crianças ficavam em pé nesta sala e, quando a mesma era movimentada para frente e para trás, oscilações corporais correspondentes eram observadas. Em alguns casos em que a sala móvel foi movimentada bruscamente, a manutenção da posição ereta foi comprometida, ocorrendo até quedas (Lee & Aronson, 1974). Estes estudos pioneiros de Lee e colegas demonstraram que a manipulação da informação

visual produz alterações na manutenção da orientação postural. Apesar dos muitos estudos que utilizaram este paradigma experimental (p.ex. Bertenthal & Bai, 1989; Butterworth & Hicks, 1977; Delorme, Frigon & Lagacé, 1989; Schmuckler, 1997) muitas dúvidas ainda persistem com relação ao acoplamento entre informação visual e ação motora no controle da posição postural.

Jeka e colaboradores (Jeka, Oie, Schöner, Dijkstra, Henson, 1998; Jeka, Schöner, Dijkstra, Ribeiro & Lackner, 1997; Jeka, Schöner & Lackner, 1994) examinaram o relacionamento entre informação somatosensória e ação motora no controle postural. Eles criaram a versão deles da "sala móvel" para examinar os efeitos do toque suave em uma superfície oscilatória, posicionada na posição lateral de adultos mantendo a posição ereta. Similarmente à condição do toque suave na superfície estacionária, contato com a superfície oscilatória ocorreu através da ponta do dedo indicador com níveis de força abaixo de 1 N. Os resultados revelaram que a oscilação corporal foi semelhante à frequência de oscilação da superfície e que o relacionamento entre a oscilação da superfície e a oscilação corporal foi temporalmente estável. Análises mais detalhadas indicaram que o acoplamento entre a informação proveniente do toque suave na superfície oscilatória e a oscilação corporal foi baseado na velocidade e posição dos sinais somatosensoriais provenientes da ponta dos dedos quando em contato com a superfície (Jeka, Oie, Schöner, Dijkstra & Henson, 1998; Jeka, Schöner, Dijkstra, Ribeiro & Lackner, 1997).

Os resultados obtidos por Jeka e colegas, tanto na atenuação da oscilação corporal através do toque suave em uma superfície estacionária quanto a indução de oscilação corporal através do toque suave em uma superfície oscilatória, indicaram que informação sensorial influencia o sistema de controle postural através de um acoplamento entre informação sensorial e oscilação corporal. Mais ainda, o sistema de controle postural procura manter uma relação estável com o meio no qual a posição corporal desejada é mantida. Esta relação estável é mantida mesmo em situações em que o sistema de controle postural necessita produzir oscilação corporal, como verificado na situação do toque suave em uma superfície oscilatória (Jeka, Oie, Schöner, Dijkstra & Henson, 1998; Jeka, Schöner, Dijkstra, Ribeiro & Lackner, 1997).

Se o acoplamento entre informação sensorial e ação motora no controle postural é crucial, será que diferenças comportamentais podem ser decorrentes de diferenças neste acoplamento? Este acoplamento está presente em crianças e, se está, é semelhante ao verificado em adultos? Procurando responder estas perguntas Barela, Jeka & Clark (1999c) verificaram o acoplamento entre uma superfície oscilatória e a oscilação corporal em crianças de quatro, seis e oito anos de idade, utilizando a estratégia experimental desenvolvida por Jeka e colegas. Crianças tocaram uma superfície oscilatória, aplicando menos de 1 N de força, com o dedo indicador. Os resultados revelaram que o movimento da superfície oscilatória induziu oscilação corporal correspondente em crianças.

A FIGURA 4 apresenta a oscilação e respectiva análise espectral da superfície de toque e da oscilação corporal de uma criança de quatro anos de idade e de um adulto, ao longo de uma tentativa. Como pode ser verificado, o toque suave da ponta do dedo indicador à uma superfície oscilatória induz oscilação corporal tanto na criança de quatro anos de idade quanto no adulto (FIGURA 4a e 4c, respectivamente). Conforme a superfície oscilava de lado para outro, correspondente oscilação corporal foi verificada. Mais ainda, a frequência da oscilação corporal foi semelhante à frequência de oscilação da superfície de toque. No caso das tentativas apresentadas na FIGURA 4, a frequência de oscilação da superfície foi de 0,2 Hz. Análise espectral revelou picos bem definidos para o movimento da superfície e para a oscilação corporal (FIGURA 4b e 4d, respectivamente) ao redor de 0,2 Hz. Apesar do pico bem definido, a análise espectral revelou uma distribuição de frequência muito mais ampla ao redor deste pico para a criança de quatro anos do que a verificada para os adultos. Isto indica que apesar de ser influenciada pelo movimento da superfície e oscilar predominantemente com a mesma frequência da superfície de toque, as crianças apresentam outras frequências compondo a oscilação corporal.

Barela, Jeka & Clark (1999c) verificaram a estabilidade do acoplamento entre o movimento da superfície e a oscilação corporal verificando a coerência entre os dois sinais. Os resultados indicaram que a estabilidade do acoplamento entre a oscilação corporal e a oscilação da superfície foi mais fraco para as crianças do que para os adultos. Desta forma,

diferenças no controle postural em crianças parecem ser decorrentes de um acoplamento menos estável entre informação sensorial e ação motora

necessário para a manutenção de uma posição postural desejada (Barela, 1997).

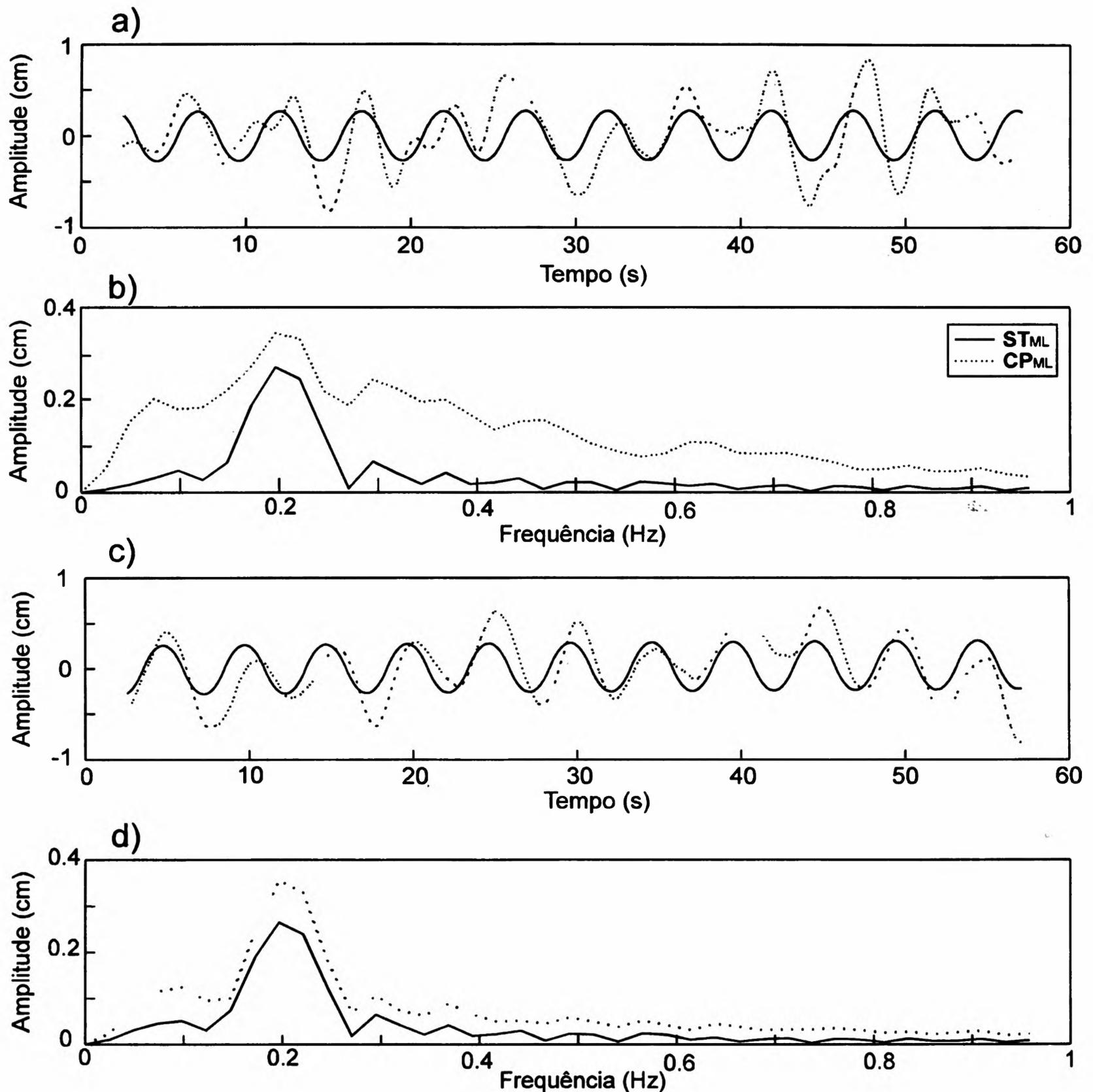


FIGURA 4 - Oscilação do centro de pressão e da superfície de toque para uma criança (A) e para um adulto (C) e análise espectral para ambos os sinais para a tentativa da criança (B) e para a tentativa do adulto (D).

CONCLUSÃO

Durante a manutenção de uma orientação postural desejada, há a necessidade de ocorrer um relacionamento estável entre o executante e o meio ambiente ao seu redor. Para que isto ocorra, informação sensorial e ação motora são utilizadas continuamente pelo sistema de controle postural, formando um ciclo percepção-ação. Este ciclo está baseado em um relacionamento coerente e estável que, no caso da

utilização da informação somatosensória, ocorre utilizando uma estratégia de "feedforward". Neste caso, informação sensorial é utilizada para estimar oscilação corporal e, então, utilizada para produzir atividade motora antecipatória com o objetivo de minimizar esta oscilação corporal. Este relacionamento parece não estar totalmente desenvolvido em crianças e pode ser a causa das diferenças comportamentais entre crianças e adultos com relação ao controle postural.

ABSTRACT

STRATEGIES OF CONTROL IN COMPLEX MOVEMENTS: PERCEPTION-ACTION CYCLE IN POSTURAL CONTROL

The purpose of this study was to examine the functioning of the postural control system with emphasis on the relationship between sensory information and motor action. Verifying how visual and somatosensory information are used to maintain the upright position in adults and children, it was possible to observe that the postural control system tries to maintain a coherent and stable relationship between the person and the environment. Regarding the somatosensory information, the coherence and stability of this relationship is obtained through a feedforward strategy where sensory information is used to obtain information about the relationship between the person and the environment and, thus, used to produce anticipatory motor activity in order to reduce body sway. This strategy was verified for both adults and children. However, in children this stability was weaker than in adults. These results indicated that the relationship between sensory information and motor action is crucial for the functioning of the postural control system.

UNITERMS: Postural control; Feedforward; Perception-action coupling.

NOTA

Para realização deste trabalho, o autor foi parcialmente financiado pelo CNPq – Bolsa de Doutorado no Exterior (processo #200952/93.5) – e, atualmente, está sendo financiado pela FAPESP – Programa Jovem Cientista (processo #97/06137-3).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARELA, J.A. **Development of postural control: The coupling between somatosensory information and body sway.** Maryland, 1977. Doctoral Dissertation, University of Maryland, College Park.
- BARELA, J.A.; JEKA, J.J.; CLARK, J.E. The use of somatosensory information during the acquisition of independent upright stance. **Infant Behavior and Development**, v.22, p.87-102, 1999a.

_____. Postural control in children I: the use of somatosensory information to attenuate body sway. **Experimental Brain Research**, (Submetido à publicação, 1999b).

_____. Postural control in children II: properties of somatosensory coupling. **Experimental Brain Research**. (Submetido à publicação, 1999c).

BERTENTHAL, B.I.; BAI, D.L. Infant's sensitivity to optical flow for controlling posture. **Developmental Psychology**, v.25, p.936-45, 1989.

BUTTERWORTH, G.; HICKS, L. Visual proprioception and postural stability in infancy: a developmental study. **Perception**, v.6, p.256-62, 1977.

COLLINS, J.J.; De LUCA, C.J. Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. **Experimental Brain Research**, v.95, p.308-18, 1993.

- DELORME, A.; FRIGON, J.Y.; LAGACÉ, C. Infant's reactions to visual movement of the environment. *Perception*, v.18, p.667-73, 1989.
- De LUCCA, C.J.; LeFEVER, R.S.; McCUE, M.P.; XENAKIS, A.P. Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. *Journal of Physiology*, v.329, p.129-42, 1982.
- HOLDEN, M.; VENTURA, J.; LACKNER, J.R. Stabilization of posture by precision contact of the index finger. *Journal of Vestibular Research*, v.4, p.285-301, 1994.
- HORAK, F.B.; MacPHERSON, J.M. Postural orientation and equilibrium. In: ROWELL, L.B.; SHEPARD, J.T., eds. *Handbook of physiology*. New York, Oxford University Press, 1996. p.255-92.
- JEKA, J.J.; LACKNER, J.R. Fingertip contact influences human postural control. *Experimental Brain Research*, v.100, p.495-502, 1994.
- _____. The role of haptic cues from rough and slippery surfaces in human postural control. *Experimental Brain Research*, v.103, p.267-76, 1995.
- JEKA, J.J.; OIE, K.S.; SCHÖNER, G.; DIJKSTRA, T.; HENSON, E. Position and velocity coupling of postural sway to somatosensory drive. *Journal of Neurophysiology*, v.79, p.1661-74, 1998.
- JEKA, J.J.; SCHÖNER, G.; DIJKSTRA, T.; RIBEIRO, P.; LACKNER, J.R. Coupling of fingertip somatosensory information to head and body sway. *Experimental Brain Research*, v.113, p.475-83, 1977.
- JEKA, J.J.; SCHÖNER, G.; LACKNER, J.R. Entrainment of postural sway to sinusoidal haptic cues. *Society for Neuroscience Abstracts*, v.20, p.336, 1994.
- LEE, D.N.; ARONSON, E. Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception and Psychophysics*, v.15, p.529-32, 1974.
- LEE, D.N.; LISHMAN, J.R. Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies*, v.1, p.87-95, 1975.
- LISHMAN, J.R.; LEE, D.N. The autonomy of visual kinaesthesia. *Perception*, v.2, p.287-94, 1973.
- NASHNER, L.M. Analysis of stance posture in humans. In: TOWE, A.L.; LUSCHEI, E.S., eds. *Motor coordination*. New York, Plenum Press, 1981. p.527-65. (Handbook of behavioral neurology, v.5).
- PAULUS, W.M.; STRAUBE, A.; BRANDT, T. Visual stabilization of posture: physiological stimulus characteristics and clinical aspects. *Brain*, v.107, p.1143-63, 1984.
- PAULUS, W.M.; STRAUBE, A.; KRAFCZYK, S.; BRANDT, T. Differential effects of retinal target displacement, changing size and changing disparity in the control of anterior/posterior and lateral body sway. *Experimental Brain Research*, v.78, p.243-52, 1989.
- SCHMUCKLER, M.A. Children's postural sway in response to low- and high-frequency visual information for oscillation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.23, p.528-45, 1997.
- SCHÖNER, G. Dynamic theory of action-perception patterns: the "moving room" paradigm. *Biological Cybernetics*, v.64, p.455-62, 1991.

ENDEREÇO: José Angelo Barela

Laboratório para Estudos do Movimento (LEM)

Departamento de Educação Física

Instituto de Biociências – UNESP/Rio Claro

Av. 24-A, 1515 – Bela Vista

13506-900 Rio Claro – SP – BRASIL

e-mail: jbarela@rc.unesp.br