

Efeito da Perturbação Vestibular Transitória na Transposição de Obstáculos

Cândida Taís Gonçalves
Renato de Moraes
Lilian Teresa Bucken Gobbi
Universidade Estadual Paulista

Resumo—O objetivo do presente estudo foi verificar o efeito da perturbação vestibular transitória (PVT) nas estratégias adaptativas para transpor obstáculos durante a locomoção. Participaram 40 adultos jovens sem comprometimentos vestibulares. Cada participante foi convidado a percorrer uma distância de 8 metros, em condições que combinavam a PVT e a altura do obstáculo. Os obstáculos foram personalizados e correspondiam a 10 centímetros acima do joelho (alto) e a 10 centímetros abaixo do joelho (baixo). Tanto para a distância vertical pé-obstáculo (DVPO) quanto para a distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) não houve diferença estatística significativa entre as condições testadas. Desta forma, foram apresentadas evidências de que a DVPO e DHPO são resistentes aos efeitos da perturbação vestibular.

Palavras chaves: locomoção; perturbação vestibular; obstáculos

Abstract—“Effect of transitory vestibular perturbation while stepping over obstacles.” The aim of this study was to determine the effects of vestibular disturbance on adaptive strategies during locomotion over an obstacle. Forty young adults without any diagnosed vestibular problems participated in the study. Each participant was invited to walk on an 8-meter travel path under conditions that combined vestibular disturbance and variations in obstacle height. Obstacle heights were personalized according to knee height: the high obstacle was set at 10 cm above the knee level, and the low obstacle was set at 10 cm below the knee level. For toe clearance (TC) and leading foot placement (LFPL) prior to the obstacle there were no statistical differences among the conditions. The results suggest that TC and LFPL are resistant to vestibular disturbance.

Key words: locomotion; vestibular disturbance; obstacles

Introdução

Quando um indivíduo é solicitado a realizar uma tarefa motora, ele necessita reconhecer as características do ambiente onde se encontra para implementar esta tarefa satisfatoriamente. O reconhecimento do ambiente implica na utilização dos sistemas sensoriais para captar as informações relevantes do ambiente para a realização da tarefa em questão. Nos seres humanos, esta captação das informações do ambiente tem uma dependência muito grande do sistema visual (Patla, 1997). Entretanto, outros sistemas sensoriais podem estar contribuindo para obtenção da informação adequada de modo que o comportamento motor específico seja realizado adequadamente.

A contribuição do sistema vestibular na locomoção tem sido pouco estudada. Sabe-se que as informações sensoriais oriundas do sistema vestibular combinadas com as informações oriundas do sistema visual e do sistema somatosensorial são fundamentais para a manutenção do equilíbrio estático (Tang & Woollacott, 1996). Com relação a situações dinâmicas, como no andar, Patla (1997, 1998) mostrou a contribuição da informação visual para implementação

do andar de modo adequado. Entretanto, as contribuições dos outros dois sistemas sensoriais para o andar não estão bem documentadas.

Sabe-se que o sistema vestibular fornece ao sistema nervoso central informações relevantes sobre a posição e movimentação da cabeça no espaço em relação à força gravitacional e às forças inerciais. Além disso, o sistema vestibular é crucial, pois age parcialmente independente do sistema visual (Kelly, 1991; Spirduso, 1995; Shumway-Cook & Woollacott, 1995; Horak & Macpherson, 1996). Neste caso torna-se interessante explorar as relações deste sistema com a locomoção. Mais especificamente, entender como o sistema vestibular participa na locomoção e quais as estratégias de controle motor são utilizadas pelos indivíduos para transpor obstáculos quando estão sob efeito de uma perturbação vestibular transitória (PVT).

Os sistemas sensoriais e a locomoção sobre obstáculos

Mesmo sabendo que o andar é uma habilidade praticada automaticamente pelo ser humano, ela é uma tarefa comple-

xa que exige integração sensório-motora no deslocamento de segmentos do corpo para produzir os movimentos coordenados dos passos e resultar na progressão. Além dessas características, o andar exige que haja uma postura adequada e, para isso, é preciso estar preparado para possíveis mudanças de equilíbrio durante o andar. Shumway-Cook e Woollacott (1995) afirmam que o andar envolve todo o corpo e requer a coordenação de muitos músculos e articulações, principalmente quando o ambiente oferece restrições.

Quando o indivíduo se locomove em terrenos providos de obstáculos como escadas, valetas, mobília, sarjetas, degraus, entre outros presentes na vida diária, é requerida a combinação de informações sensoriais para modular o sistema efetor para ultrapassar ou desviar estes obstáculos. Locomover-se em um meio ambiente complexo exige maior atenção, conseqüentemente, realizar outras tarefas, como cumprimentar uma pessoa do outro lado da rua, ler um livro ou tomar um sorvete durante a transposição destes obstáculos acaba se tornando inviável (Gobbi & Patla, 1997).

Visando a interação das estruturas e processos envolvidos no andar sobre obstáculos e como a capacidade de desviar obstáculos se comporta no decorrer do processo de desenvolvimento, Patla, Prentice e Gobbi (1996) elaboraram um modelo teórico onde resumiram as características mais importantes das estratégias utilizadas pelos sujeitos para ultrapassar obstáculos. Neste modelo, semelhante a um quebra-cabeça, as peças representam as estruturas e processos envolvidos no andar sobre obstáculos, tais como: sinais exteroceptivos, sinais exproprioceptivos, sinais cinestésicos, as propriedades do sistema efetor e a dinâmica intersegmentar. As informações vestibulares, de acordo com este modelo, estão incluídas nos sinais cinestésicos. Em cada período do desenvolvimento, este quebra-cabeça se encontra de uma determinada forma: quando criança as peças estão separadas e ainda não lapidadas, de modo que o encaixe entre as peças não está bem definido; no adulto jovem as peças estão bem lapidadas e se encaixam de maneira uniforme; com o processo de envelhecimento, o quebra-cabeça se mantém montado, porém, no encaixe de suas peças é possível observar pequenas fendas e desgastes.

Este modelo mostra que, com o processo de desenvolvimento, as estruturas e processos envolvidos no andar sobre obstáculos passam por transformações que fornecem adaptações ao meio ambiente e ingredientes para os indivíduos locomoverem-se com sucesso nestas condições. Porém, mais do que entender como esse quebra-cabeça funciona no decorrer do processo de desenvolvimento, é importante saber quais as estratégias utilizadas pelos indivíduos para se locomover com sucesso na transposição de obstáculos quando uma ou mais estruturas/processos do quebra-cabeça se tornam ausentes.

Em crianças de 3 a 4 anos foi observado que, quando transpondo obstáculos, elas utilizaram algumas estratégias locomotoras tais como: um ajustamento no comprimento da passada e na trajetória da perna de abordagem com relação à altura dos obstáculos (Gobbi & Patla, 1997). Em adultos jovens e idosos, Patla et al. (1996) observaram que a estratégia para ultrapassar o obstáculo foi escolhida de acordo

com o fator segurança. Adultos jovens preferem ultrapassar o obstáculo quando este é menor ou igual à altura de seu joelho e desviá-lo quando este tem altura maior. Idosos, por sua vez, sentem maior dificuldade quando o obstáculo é muito baixo, sugerindo déficit visual que é característico da idade.

Com relação às estratégias adaptativas, Patla et al. (1996) verificaram que a distância vertical pé-obstáculo (DVPO) foi maior para os idosos em comparação aos jovens. Com relação à altura do obstáculo, os idosos aumentaram a DVPO com o aumento da altura do obstáculo, enquanto os jovens apresentaram uma DVPO constante nas alturas de 7 e 14 cm e uma DVPO menor na altura de 27 cm. Este aumento da DVPO pelos idosos provavelmente representa uma estratégia conservadora e segura, mas também indica problemas na percepção visual de tamanho. Para aumentar a DVPO, os indivíduos idosos apresentaram uma maior elevação do quadril para facilitar a elevação do pé. Ao mesmo tempo em que essa estratégia assegura uma ultrapassagem estável, ela pode acarretar em desestabilização médio-lateral do tronco. Quanto à distância horizontal pé-obstáculo (DHPO), os idosos colocaram a perna de abordagem mais distante do obstáculo em comparação aos jovens. Com esta estratégia os idosos teriam um tempo maior para monitorar e fazer modificações instantâneas (*on-line*) na trajetória da perna de abordagem sobre o obstáculo.

Patla et al. (1996) mostraram também que a incidência de tropeços nos obstáculos com a perna de abordagem (jovens e idosos) era menor que 0,5%. Esta baixa incidência é utilizada para justificar que o tropeçar sobre obstáculos implica em alguma falha no controle antecipatório (*feedforward*) da elevação da perna de abordagem sobre o obstáculo. Desta forma, acredita-se que a informação sensorial tem um papel importante no ato de ultrapassar e desviar o obstáculo sem o contato do indivíduo com o objeto. Uma perturbação em um desses sistemas (visual, somatosensorial ou vestibular) durante a locomoção em terrenos irregulares implicaria num aumento da quantidade de contatos do indivíduo com o obstáculo, o que prejudicaria sobremaneira sua locomoção.

Patla e Prentice (1995) também encontraram diferença estatística para a DVPO em adultos jovens quando transpondo obstáculos que variavam de 0,5 cm a 38 cm de altura sem nenhum tipo de perturbação sensorial. Neste estudo, como no estudo de Patla et al. (1996) os obstáculos não foram personalizados e isto pôde contribuir para estes efeitos na DVPO. Uma estratégia nesse caso é definir a altura do obstáculo em função de algum parâmetro antropométrico do indivíduo.

Uma primeira tentativa de associar a informação vestibular com a locomoção sobre obstáculos foi proposta por Marins (1999). A perturbação vestibular foi aplicada utilizando saltos verticais num trampolim acrobático. Neste estudo os obstáculos foram personalizados em função do comprimento da perna do participante. Com relação às estratégias adaptativas foi encontrado que tanto a DVPO quanto a DHPO não foram influenciadas nem pela altura do obstáculo e nem pela perturbação vestibular. A personalização da altura do obstáculo pode ter contribuído para essa ausência de

diferença, bem como a perturbação aplicada não ser suficiente.

Vários estudos têm apresentado a questão da transposição de obstáculos durante a locomoção de adultos jovens (Marins, 1999; Patla 1997, 1998; Patla et al., 1996; Patla & Prentice, 1995; Patla & Rietdyk, 1993). Entretanto, a maioria destes estudos tem enfatizado a influência da visão na transposição de obstáculos. Estudos têm sido desenvolvidos em seres humanos visando observar os efeitos da perturbação vestibular no equilíbrio estático (Cauquil, Bousquet, Salon & Bessou, 1997; Zink, Steddin, Weiss, Brandt & Dieterich, 1997) e não têm se preocupado com os efeitos da perturbação vestibular em tarefas dinâmicas, mais precisamente, durante a locomoção. Especificamente, considerando a importância da capacidade de desviar obstáculos na locomoção independente e visto que parte da informação obtida para ajustar o comportamento motor nesta tarefa locomotora vem do sistema vestibular, questiona-se: poderia uma perturbação vestibular transitória (PVT) desencadear estratégias locomotoras diferenciadas para ultrapassar obstáculos em adultos jovens saudáveis?

Desta forma, o objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos da PVT na transposição de obstáculos realizada por adultos jovens. Esperava-se que, com a PVT, adultos jovens aumentassem o número de contatos com o obstáculo. Adicionalmente, esperava-se que, na presença da PVT, as variáveis quantitativas revelassem um aumento na margem de segurança sobre o obstáculo (DVPO) e maior aproximação do obstáculo antes de ultrapassá-lo (DHPO).

Paradigma experimental: Rotação do corpo no eixo longitudinal utilizando uma cadeira giratória

Muito tem se questionado sobre os métodos para induzir uma perturbação vestibular e quais estruturas vestibulares são estimuladas com a perturbação. Existem vários métodos para induzir a perturbação vestibular tais como a estimulação galvânica, a irrigação calórica, a irrigação de água morna, a aceleração ipversiva e a estimulação rotacional (aceleração angular). Todos estes métodos induzem a um aumento na atividade vestibular aferente (Zink et al., 1997).

Purkinje (citado por Zink et al., 1997) foi o primeiro a descrever os efeitos da estimulação galvânica nos movimentos dos olhos e da postura. O autor observou um nistágmo rotatório horizontal induzido e concluiu que a estimulação galvânica afeta principalmente a função dos canais semicirculares. Estudos com esquilos têm mostrado que a estimulação galvânica age primeiramente nas fibras aferentes do nervo vestibular (Goldeberg, Smith & Fernández, citados por Cauquil et al., 1997; Zink et al., 1997). Entretanto, Zink et al. (1997) afirmam não estar claro quais as porções do labirinto e/ou do nervo vestibular são ativadas pela estimulação galvânica.

Embora conhecida desde o século anterior, a estimulação galvânica tem sido questionada—seja em investigações clínicas ou experimentais—devido, provavelmente, à ação da

corrente elétrica no aparelho vestibular (Cauquil et al., 1997; Zink et al., 1997). Assim, visto que a estimulação galvânica age nas fibras aferentes do nervo vestibular, este método seria análogo aos outros métodos de indução da perturbação vestibular citados.

Como a ação da corrente elétrica no aparelho vestibular é questionada quando aplicada em seres humanos, outros métodos têm sido apontados para induzir a perturbação vestibular. Guyton (1997) mostrou que os canais semicirculares, em humanos, podem ser estimulados através da aceleração angular. Quando a cabeça sofre uma rotação súbita, os canais semicirculares acompanham o movimento da cabeça. Diferentemente, a endolinfa, existente dentro dos canais semicirculares, gira para o lado oposto à rotação da cabeça, ocorrendo excitação das células ciliadas. Quando a rotação pára repentinamente, a perturbação no sistema vestibular aumenta, pois ocorre efeito inverso, ou seja, os canais semicirculares param e a endolinfa começa a girar na direção oposta, fazendo com que a cúpula se curve também na direção oposta e iniba a ação das células ciliadas. Após 20 segundos, a cúpula retorna ao seu estado de repouso, permitindo que a descarga das células ciliadas retorne ao seu nível tônico normal. A aceleração angular necessária para que ocorra a estimulação dos canais semicirculares seria, em média, de aproximadamente 1 grau/s. Assim, para manter a excitação das células ciliadas, a velocidade de rotação deve ser aumentada em 1 grau/s, de forma a garantir que a perturbação rotacional permaneça por um tempo maior.

Outros estudos têm mostrado novos métodos de se estimular o sistema vestibular de maneira não invasiva. Belafsky, Gianoli, Soileau, Moore e Davidowitz (2000), utilizaram o teste de auto-rotação vestibular, para diagnosticar pacientes com problemas de vertigem. Aoki, Ito, Burchill, Brookes e Gresty (1999) utilizaram um simulador de vôo para induzir uma perturbação vestibular em seus participantes. Assim, com o propósito de utilizar uma nova técnica de investigação e testá-la, e visto que outros métodos de estimulação com cadeira já têm sido utilizados em forma de simuladores de vôo, por exemplo, optou-se por um paradigma experimental utilizando uma cadeira giratória. No paradigma dos simuladores de vôo não há a possibilidade de perturbar o sistema vestibular e, em seguida, andar. Desta forma, a cadeira giratória foi utilizada para induzir uma PVT em adultos jovens, pois além de não ser um método invasivo, é um objeto confortável, de simples manipulação e permite que a locomoção seja realizada logo em seguida da perturbação.

Método

Participantes

Participaram deste estudo 40 adultos jovens, universitários, do curso de graduação em educação física da UNESP/Rio Claro, com idade média de 22.1 anos (± 2.62). Estes participantes foram voluntários e não apresentaram comprometimento vestibular diagnosticado. Após serem informados dos

objetivos, procedimentos e riscos da tarefa, assinaram o termo de consentimento.

Procedimento

O comprimento da perna foi medido para personalização da altura dos obstáculos. O comprimento da perna compreendeu a distância entre o maléolo lateral e a linha média da articulação do joelho. Duas alturas do obstáculo foram definidas: alta e baixa. O obstáculo alto foi igual ao comprimento da perna mais 10 cm, enquanto que o obstáculo baixo foi igual ao comprimento da perna menos 10 cm. Os obstáculos utilizados foram de madeira com massa que variou de 300 a 800 gr em função da altura. Os obstáculos tinham 1m de largura e 0.25 cm de espessura.

A PVT foi induzida utilizando o paradigma da cadeira giratória. Os participantes foram instruídos a sentar em uma cadeira giratória (modelo secretária) com a cabeça inclinada de forma a tocar a ponta do queixo no tronco, manter os olhos fechados e apoiar os braços de forma confortável nos apoios laterais da cadeira. A cadeira foi girada manualmente pelo experimentador com uma velocidade aproximadamente similar para todos os participantes. A cadeira foi girada quatro vezes no sentido horário, o que correspondeu a quatro voltas completas no eixo longitudinal. O número de giros da cadeira foi definido com base no estudo piloto. A frequência de giro da cadeira não foi computada.

A tarefa requerida aos participantes consistiu em andar descalço uma distância de 8 m (Figura 1). A tarefa foi executada sobre um tapete para aumentar o atrito do solo com o pé do participante evitando possíveis escorregões e também para tornar a tarefa mais confortável, visto que os participantes realizavam-na descalços. Após os giros na cadeira, o experimentador emitiu o sinal sonoro padrão “vai” e o participante foi instruído a primeiro abrir os olhos e, imediatamente após, levantar da cadeira, andar e ultrapassar um obstáculo colocado no caminho. Este obstáculo variou em altura, sendo que em algumas tentativas foi usado o obstáculo alto e em outras o obstáculo baixo. O obstáculo foi posicionado a aproximadamente 1.5 m da cadeira. Após transpor o obstáculo, o participante deveria continuar andando em seu modo preferido até o final da distância de 8 m. Este percurso restante, que o participante teve para se deslocar, foi necessário para que a PVT fosse dissipada e não interferisse na tentativa seguinte. As estratégias de orientação, como, por exemplo, localizar e fixar um alvo visual qualquer, foram deixadas a critério dos participantes. Os participantes foram instruídos a ultrapassar o obstáculo com a perna esquerda, porém no decorrer das tentativas houve uma alteração da perna de abordagem.

A combinação da altura do obstáculo (alto e baixo) com a PVT (com e sem) geraram quatro condições experimentais: (1) sem PVT e obstáculo baixo, (2) sem PVT e obstáculo alto, (3) com PVT e obstáculo baixo, (4) com PVT e obstáculo alto. Cada participante executou cinco tentativas em cada condição, totalizando 20 tentativas completamente randomizadas. A segurança dos participantes foi garantida pelo acompanhamento do examinador em todas as tentati-

vas. O toque do experimentador no participante só seria necessário caso houvesse perda de equilíbrio ou tropeço no obstáculo.

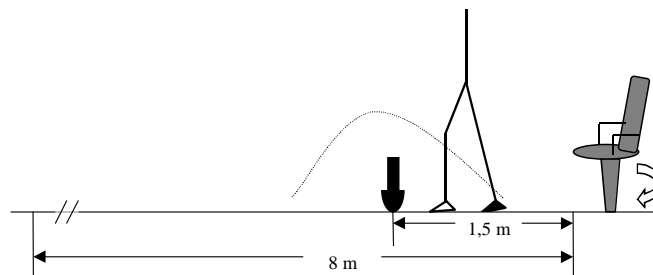


Figura 1. Visão sagital esquerda do esquema experimental. O membro inferior com o pé preenchido representa a perna de abordagem, que passa primeiro sobre o obstáculo. A linha tracejada representa a trajetória da perna de abordagem para ultrapassar o obstáculo. A seta próxima à cadeira representa o sentido horário em que a cadeira foi rodada.

Análise dos Dados

Para a análise cinemática, marcas foram fixadas no quinto metatarso do pé esquerdo e no quinto metatarso do pé direito. Os participantes foram filmados no plano sagital esquerdo com uma filmadora da marca Panasonic (modelo AG-2900). Os dados foram analisados a uma frequência de 30 Hz, já que a placa de digitalização utilizada não permitia a separação dos campos pares e ímpares de cada quadro. As coordenadas x e y foram obtidas através do programa *2-D Biomechanical Analysis*. As coordenadas x e y do quinto metatarso da perna de abordagem sobre o obstáculo foram obtidas em dois momentos para cada tentativa: 1) no quadro da retirada da perna de abordagem do solo e 2) no quadro quando a perna de abordagem estava sobre o obstáculo. Além disso, duas marcas foram fixadas no obstáculo: 1) na base do obstáculo e 2) no topo do obstáculo. Em cada tentativa foram obtidas as coordenadas x e y de cada marca do obstáculo. A diferença entre as coordenadas x1 do quinto metatarso e x1 do obstáculo permitiu a obtenção da DHPO (medida do momento da perda do contato do pé de abordagem com o solo até o obstáculo). A diferença entre y2 do quinto metatarso e y2 do obstáculo permitiu a obtenção da DVPO (medida da extremidade superior do obstáculo até o quinto metatarso do pé de abordagem no momento da ultrapassagem do obstáculo). O esquema de obtenção das duas variáveis dependentes está representado na Figura 2. Vale ressaltar que tanto a DHPO quanto a DVPO foram calculadas somente nas tentativas sem quedas ou desvios do obstáculo.

Para cada variável dependente (DHPO e DVPO) foi realizada uma análise de variância para dois fatores (PVT e obstáculo). Para a análise de variância foi calculada a média aritmética das cinco tentativas para cada participante nas quatro condições experimentais. O nível de significância foi de $p \leq 0,05$.

Com a finalidade de comparar estatisticamente se a PVT e a altura do obstáculo afetaram a variabilidade das variáveis DHPO e DVPO, o desvio-padrão por condição foi analisado. Para obtenção dos valores de variabilidade, o valor médio da DHPO e DVPO nas cinco tentativas, para cada participante, em cada condição, foi subtraído pelo desvio-padrão na condição analisada. Os valores absolutos desta subtração foram transformados utilizando logaritmo na base dez. Isto foi necessário para ajustar os dados de variabilidade dentro da curva normal. Assim, foram obtidas outras duas variáveis dependentes: variabilidade da DHPO e variabilidade da DVPO. Estas duas variáveis foram analisadas separadamente utilizando duas análises de variância para dois fatores (PVT e obstáculo). O nível de significância foi de $p \leq 0,05$.

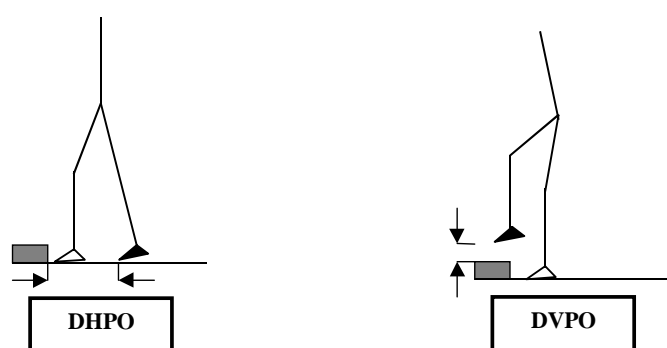


Figura 2. Visão sagital esquerda do esquema representando as duas variáveis cinemáticas medidas: distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) e distância vertical pé-obstáculo (DVPO). O pé preenchido indica a perna de abordagem.

A incidência de tropeços nos obstáculos, desvio dos obstáculos e quedas durante a realização da tarefa também foi computada. O tropeço no obstáculo foi caracterizado como contato do pé no obstáculo. O desvio do obstáculo foi caracterizado como mudança na direção da locomoção. Para cada uma destas definições foi calculada a porcentagem em função do número total de tentativas.

Resultados

A análise de variância para a DHPO não revelou efeito principal para PVT e altura do obstáculo. A interação PVT e altura do obstáculo também não foi significativa. Na Figura 3 pode-se observar que as médias e desvios-padrão nas quatro condições testadas foram muito próximas. A análise de variância para a variabilidade da DHPO não revelou diferença significativa para a PVT e para a altura do obstáculo. A interação PVT e altura do obstáculo também não foi significativa para a variabilidade da DHPO.

Para a DVPO, não houve efeito principal de PVT e altura

do obstáculo. Da mesma forma, a interação PVT e altura do obstáculo não foi significativa. Pode-se observar na Figura 4, que as médias e desvios-padrão foram similares em todas as condições testadas. Com relação à variabilidade da DVPO, a análise de variância também não revelou efeito principal da PVT e da altura do obstáculo. Porém, a interação entre PVT e altura do obstáculo, para a variabilidade da DVPO, foi significativa ($F_{1,39} = 6,040, p < 0,019$). Na Figura 5, pode-se observar que no obstáculo baixo, a variabilidade foi maior na ausência de PVT, enquanto que para o obstáculo alto não houve diferença.

A incidência de tropeços foi de 10% nas condições que combinavam PVT e obstáculo e 1% nas condições sem PVT. Em 12,5% das tentativas com PVT os participantes desviaram do obstáculo. Sem PVT não houve desvio do obstáculo.

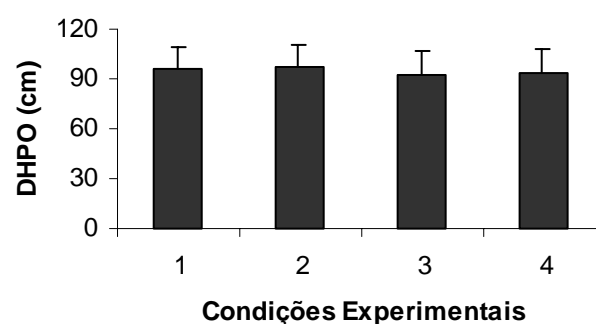


Figura 3. Médias e desvios-padrão da distância horizontal pé-obstáculo (DHPO) nas quatro condições experimentais: 1) sem PVT e obstáculo baixo; 2) sem PVT e obstáculo alto; 3) com PVT e obstáculo baixo; 4) com PVT e obstáculo alto.

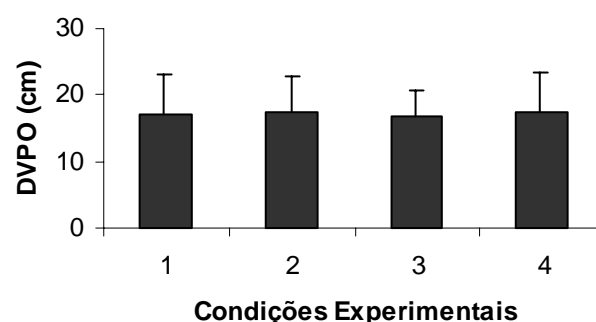


Figura 4. Médias e desvios-padrão da distância vertical pé-obstáculo (DVPO) nas quatro condições experimentais: 1) sem PVT e obstáculo baixo; 2) sem PVT e obstáculo alto; 3) com PVT e obstáculo baixo; 4) com PVT e obstáculo alto.

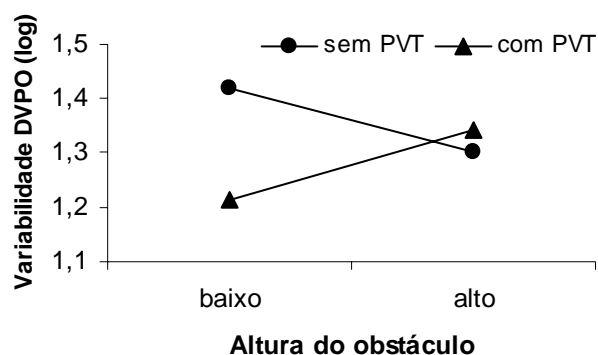


Figura 5. Efeito de interação entre altura do obstáculo e PVT para a variabilidade da DVPO.

Discussão

Os resultados obtidos indicam que os participantes deste estudo mantiveram estável a margem de segurança sobre o obstáculo independente da altura do obstáculo e da PVT. O fato dos participantes visualizarem o obstáculo antes da PVT e da ultrapassagem do obstáculo pode ter contribuído para a estabilidade dos valores da DVPO independente da PVT e da altura do obstáculo. Os participantes podem ter utilizado esta característica do protocolo experimental para realizar o julgamento perceptivo do tamanho e forma do obstáculo e usaram esta informação de modo antecipatório (*feedforward*). Assim, antes da PVT, os participantes já haviam preparado a resposta motora para transpor o obstáculo e a PVT não foi suficiente para desencadear alterações nesta resposta motora.

Patla et al. (1996) e Patla e Prentice (1995) encontraram diferença estatística para a DVPO em adultos jovens sem nenhum tipo de perturbação sensorial. Como comentado anteriormente, estas diferenças podem ser devidas à não uniformização da altura do obstáculo em relação às características antropométricas do participante. No presente estudo, a uniformização da altura do obstáculo pode ser um fator que explique a ausência de diferença para a DVPO nas condições testadas. Assim, apesar da PVT, a DVPO não foi alterada porque os obstáculos foram personalizados.

A condição física dos participantes pode ser outro fator que contribuiu para a ausência de efeito principal para a DVPO. Como os participantes deste estudo foram adultos jovens, sem problemas sensoriais conhecidos e com uma experiência motora maior, é possível que a combinação destes fatores permitiu a realização da tarefa de forma eficiente. Resultados semelhantes foram obtidos por Marins (1999). Após perturbação vertical do sistema vestibular, este autor não encontrou diferença para a DVPO. Os participantes do estudo de Marins (1999) também foram adultos jovens e alunos de graduação em educação física. Assim, a experiência motora dos participantes deste estudo e do estudo de Marins

(1999) pode sugerir uma melhoria tanto no julgamento perceptivo como na modulação do sistema efetor para manter uma margem de segurança estável.

Apesar de não haver diferença para a DVPO, a medida de variabilidade da DVPO apresentou um efeito significativo para a interação PVT e altura do obstáculo. O aumento da variabilidade na ausência de PVT no obstáculo baixo pode estar indicando que o comportamento é mais rígido na presença de perturbação e que os participantes exibem comportamentos muito parecidos entre si. Assim, a PVT pode estar atuando como um restritor nas possibilidades comportamentais. Por outro lado, o comportamento similar entre os indivíduos no obstáculo alto com e sem PVT pode ter sido consequência da restrição imposta pelo próprio obstáculo alto. Assim, o obstáculo alto torna as possibilidades comportamentais reduzidas e a PVT é indiferente neste caso.

A análise da DHPO não revelou nenhuma alteração em função da PVT e da altura do obstáculo. A análise de variabilidade da DHPO entre os participantes também não foi significativa sugerindo que esta estratégia se mantém estável independente da altura do obstáculo e da PVT. Assim, pode-se inferir que adultos jovens ajustam a distância do pé em relação ao obstáculo nas primeiras tentativas. Ainda, considerando que o obstáculo sempre está posicionado no mesmo lugar (i.e., a distância da cadeira até o obstáculo é sempre a mesma), eles mantêm a mesma DHPO em todas as tentativas. Patla et al. (1996) também encontraram que adultos jovens mantêm a DHPO constante. Desta forma, acredita-se que a DHPO seja menos suscetível a mudanças e por isso, a PVT não influenciou nos valores da DHPO.

Além do efeito sobre a variabilidade da DVPO, no presente estudo, a PVT permitiu observar uma mudança no comportamento dos participantes durante a transposição dos obstáculos. As estratégias utilizadas pelos participantes para ultrapassar os obstáculos algumas vezes não foram apropriadas para que a ultrapassagem fosse realizada com sucesso. A análise dos tropeços e desvios na presença de PVT é um forte indicativo desta mudança. Os índices de tropeço e desvio foram altos quando comparados com os dados obtidos por Patla et al. (1996). Estes autores encontraram uma incidência de tropeços abaixo de 0.5%. No presente estudo foram encontradas uma incidência de 10% de tropeço e uma incidência de 12.5% no desvio de obstáculos nas condições com PVT. Na ausência de PVT, estas porcentagens caíram para 1% de incidência de tropeços e 0% de desvio. Os altos índices de contato e desvio dos obstáculos, bem como o fato da ocorrência de queda (uma queda ter sido registrada logo após o participante ter saído da cadeira) quando a perturbação vestibular estava presente, confirmam a importância do sistema vestibular para a locomoção. O contato com o obstáculo na presença da perturbação vestibular indica que o julgamento perceptivo está empobrecido e, portanto, a probabilidade de queda aumenta.

Patla et al. (1996) atribuíram a presença de tropeço a déficits no sistema visual. Assim, no presente estudo, os altos índices de contato com o obstáculo podem também ser atribuídos, além de aos déficits no sistema visual, às caracte-

terísticas do obstáculo e à perturbação no sistema vestibular. Assim, pode-se inferir que as informações vestibulares desempenham um papel fundamental na transposição de obstáculos. Manter a orientação espacial, permitir julgamentos visuais corretos e controlar o equilíbrio dinâmico podem ser algumas das funções das informações vestibulares.

Estes resultados referentes a DVPO e a DHPO, tanto no estudo de Marins (1999) como neste, permitem especular que a margem de segurança sobre o obstáculo é um parâmetro variável no planejamento locomotor, enquanto que a distância de aproximação apresenta-se como um parâmetro mais estável. Então, como apresentado no modelo teórico do quebra-cabeça, as peças que compõem o quebra-cabeça nos adultos jovens encontram-se lapidadas e unidas, o que é corroborado pelos dados obtidos.

Pelas características apresentadas pelo modelo de quebra-cabeça e pelos resultados obtidos neste estudo, pode-se afirmar que o sistema sensorio-motor do adulto jovem tem grande flexibilidade em se adaptar às perturbações ambientais. Este fato sugere que a deficiência do sistema vestibular pode ser sanada prontamente por outro sistema, visual ou somatossensorial, de modo a proporcionar adaptações seguras ou próximas da rotina de uma navegação desejável.

Desta forma, a partir deste trabalho, novos estudos são encorajados no intuito de aprimorar o paradigma experimental, coletar outras variáveis cinemáticas, incluir um grupo amostral com alunos de outros cursos, abranger crianças e idosos e relacionar as variáveis cinemáticas com as características antropométricas dos participantes.

Referências

- Aoki, M.; Ito, Y.; Burchill, P.; Brookes, G. B. & Gresty M. A. (1999). Tilted perception of the subjective 'upright' in unilateral loss of vestibular function. *American Journal of Otology*, 20, 741-747.
- Belafsky, P.; Gianoli, G.; Soileau, J.; Moore, D. & Davidowitz, S. (2000). Vestibular autorotation testing in patients with benign paroxysmal positional vertigo. *Otolaryngology – Head and Neck Surgery*, 122, 163-167.
- Cauquil, A. S.; Bousquet, P.; Salon, M. C. C. & Bessou, P. (1997). Monaural and binaural galvanic vestibular stimulation in human dynamic balance function. *Gait and Posture*, 6, 210-217.
- Gobbi, L. T. B. & Patla, A. (1997). Desenvolvimento da locomoção em terrenos irregulares: proposta de um modelo teórico. In A. M. Pellegrini (Ed.), *Coletânea de Estudos: comportamento motor I* (pp. 29-44). São Paulo: Movimento.
- Horak, F. B. & Macpherson, J. M. (1996). Postural orientation and equilibrium. In L. B. Rowell, & J. T. Shepherd (Eds.), *Handbook of physiology section 12: exercise: regulation and integration of multiple systems* (pp. 255-292). New York: Oxford.
- Kelly, J. P. (1991). The sense of balance. In E. R. Kandle, J. H. Schwartz, & T. M. Jessel. *Principles of Neural Science* (pp.500-501). Norwalk, CT: Appleton & Lange.
- Marins, F. H. P. (1999). *Sistema vestibular e a locomoção em terrenos irregulares*. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, Monografia de Conclusão de Curso.
- Patla, A. E. (1997). Understanding the roles of vision in the control of human locomotion. *Gait and Posture*, 5, 54-69.
- Patla, A. E. (1998). How is human gait controlled by vision? *Ecological Psychology*, 10, 287-302.
- Patla, A. E. & Prentice, S. D. (1995). The role of active forces and intersegmental dynamics in the control of limb trajectory over obstacles during locomotion in humans. *Experimental Brain Research*, 106, 499-504.
- Patla, A. E.; Prentice, S. D. & Gobbi, L. T. B. (1996). Visual control of obstacle avoidance during locomotion: strategies in young children, young and older adult. In A. Ferrandez & N. Teasdale (Eds.), *Changes in sensory-motor behavior in aging* (pp. 257-277). Amsterdam: Elsevier.
- Patla, A. E. & Rietdyk, S. (1993). Visual control of limb trajectory over obstacles during locomotion: effect of obstacle height and width. *Gait & Posture*, 1, 45-60.
- Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. H. (1995). *Motor control: theory and practical applications*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Spiriduso, W. W. (1995). *Physical dimensions of aging*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Tang, P. & Woollacott, M. H. (1996). Balance control in older adults: training effects on balance control and the integration of balance control into walking. In A. Ferrandez, & N. Teasdale (Eds.), *Changes in sensory-motor behavior in aging* (pp. 339-367). Amsterdam: Elsevier.
- Zink, R.; Steddin, S.; Weiss, A.; Brandt, T. & Dieterich, M. (1997). Galvanic vestibular stimulation in humans: effects on otolith function in roll. *Neuroscience Letters*, 232, 171-174.

Nota do autor

Os autores agradecem à cooperação dos membros do Laboratório para Estudos do Movimento e do Laboratório de Ação e Percepção, ambos do DEF/UNESP/RC.

À Ana Clara de Souza Paiva e ao Francisco Henrique Penha Marins, do Laboratório de Estudos da Postura e da Locomoção, DEF/UNESP/RC.

Amplamente à FAPESP pela concessão do apoio financeiro (Processo #99/04907-1).

Endereço:
Lilian Teresa Bucken Gobbi
Av. 24-A, 1515
Rio Claro, SP
13506-900
E-mail: ltbgobbi@rc.unesp.br