

Artigo originalAdriana Inês de Paula¹
Eliane Mauerberg-deCastro¹
Márcia Valéria Cozzani¹**DESENVOLVIMENTO LONGITUDINAL DO ANDAR PARA FRENTE E PARA TRÁS: IMPACTO DA RESTRIÇÃO AMBIENTAL****LONGITUDINAL DEVELOPMENT OF FORWARD AND BACKWARD WALKING: IMPACT OF ENVIRONMENTAL CONSTRAINTS****RESUMO**

O objetivo desse estudo foi verificar através de observações longitudinais o desenvolvimento e a emergência do andar para frente e para trás de bebês, através da organização de seus aspectos temporais. Ainda, verificar o impacto da restrição ambiental gerada por diferentes tipos de superfícies (piso duro e colchão) sobre as variáveis temporais da marcha dos bebês. Sete bebês foram recrutados para participar deste estudo a partir do momento que conseguiam andar com apoio até o início do andar independentemente para frente. Eles foram filmados quinzenalmente, andando para frente e para trás sobre as duas diferentes superfícies. A organização temporal incluiu: fase relativa inter-membros, duração dos ciclos da passada, duração das fases dos ciclos (balanço e duplo suporte) e seus respectivos desvios-padrão, indicadores da variabilidade do sistema. Os resultados confirmam que o desenvolvimento do andar, tanto para frente como para trás, seguem uma linearidade e, na fase de transição ocorre um aumento da variabilidade da fase relativa e na duração da fase de duplo suporte. O andar para trás demanda menos alterações na organização temporal do que o andar para frente, apresentando apenas aumento na duração da fase de balanço. A restrição ambiental (i.e., superfície colchão) não foi suficientemente perturbadora para a variável duração do ciclo a ponto de desestabilizar o sistema, mas foi capaz de aumentar a duração da fase de duplo suporte e sua variabilidade. Concluímos que o relacionamento de fase inter-membros do bebê é semelhante ao encontrado no andar maduro. A variabilidade diminuiu com a experiência na tarefa de andar, tanto para frente como para trás (exceto na fase de transição do andar independente para frente).

Palavras-chave: desenvolvimento, andar para frente, andar para trás, organização temporal.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate, through longitudinal observations, the onset and development of forward and backward walking in their temporal organization and the impact of environmental constraints. The second purpose was to verify the impact of environmental constraint caused by floor and padded surfaces on temporal parameters of infant gait. Seven infants began their participation in the study when they were able to walk with support, until they were able to walk forward independently. They were videotaped while walking forward and backward on a hard and soft padded surfaces. Their temporal organization was analyzed through intra-limb relative phase, duration of the walking cycle and duration of phases within the walking cycle. The results showed that the development of walking follows a linear trend and, at the transition phase, variability increases for intra-limb relative phase and duration of swing phase. Except for an increase on swing phase duration, backward walking imposes less change on temporal organization than forward walking. A padded surface was not enough to disrupt the duration of stepping cycles, but it did change the double support phase duration, increasing its variability. It was concluded that intra-limb relative phase of infants was similar to mature walking; variability reduced as the infants evolved in the study. The padded surface did not impact the relative phases, however, it was able to change the time in double support. Infants increase the duration of the forward walking cycles in comparison to backward walking.

Key words: development, walking forward, walking backward, temporal organization.

¹ UNESP/Rio Claro

INTRODUÇÃO

Após a aquisição do andar independente para frente as crianças começam a variar direções da marcha para melhor explorar o ambiente. Por exemplo, elas começam a andar para os lados aos 16 meses e para trás aproximadamente aos 17 meses. Além disso, o andar já pode, aos 3 anos, ser feito sobre pequenas bases de suporte^{1,2,3}.

Os adultos, para atender as demandas da vida diária, precisam mover-se em diferentes direções, incluindo para trás. Deslocar o corpo para trás concilia com várias tarefas, como sentar-se em uma cadeira ou sofá, fazer um recuo ao tentar atravessar uma rua movimentada. O deslocamento para trás é utilizado também em programas de reabilitação e de condicionamento físico^{4,5}.

Muitos estudos buscam o aprofundamento dos processos que norteiam o desenvolvimento do andar nos primeiros dois anos de vida. Tipicamente, estes estudos elegem o andar para frente. Por causa da característica do andar para trás associada com outras habilidades (e.g. deslocar o pé para trás ao sentar), estudos sobre estratégias de controle e status da coordenação nesta habilidade são menos freqüentes. Os estudos sobre o andar investigam desde os movimentos reflexivos dos membros^{6,7} até estudos que observam a característica quantitativa da estabilidade e padrão de desenvolvimento (e.g., diminuição da variabilidade da fase relativa inter-membros após a aquisição do andar independente⁸).

A técnica de análise de relacionamento de fase, conhecida como fase relativa, é bastante utilizada no estudo da aquisição de andar de bebês. Esta técnica descreve o relacionamento do ciclo da passada de um membro em relação ao outro. No andar maduro a fase relativa de uma perna está 50% fora de fase com a outra. Isto quer dizer que o mesmo evento em uma perna ocorre na metade do caminho do ciclo da outra perna⁸. Também é a medida proporcional de um ciclo de uma perna, em relação ao ciclo de outra perna⁹. A fase relativa é um ótimo instrumento para descrever a essência do comportamento, apontando possíveis assimetrias espacial ou temporal entre os membros e, além disso, a variabilidade desta medida reflete a estabilidade do sistema como um todo. A fase relativa, então, é um importante parâmetro para investigar o impacto de perturbações ou alterações na organização do sistema locomotor¹⁰.

Clark et al⁸ buscaram determinar se a estrutura coordenativa inter-membros no andar do adulto é também a mesma encontrada em bebês. As autoras investigaram um grupo de bebês, desde aqueles que só andavam apoiados até bebês que já tinham 6 meses de experiência no andar independente. Elas também olharam este comportamento em adultos com o objetivo de comparação. Os resultados revelaram que a média do relacionamento temporal

era semelhante entre os grupos, isto é, bebês e adultos produziam, similarmente, relacionamentos de fase ao redor de 50%. Entretanto, os bebês no período de transição entre andar com suporte e andar independente (durante 3 meses de experiência) apresentaram grande variabilidade na fase relativa. Os bebês que andavam com suporte apresentavam variabilidade da fase relativa tão reduzida quanto os bebês que tinham mais de 3 meses de experiência no andar independente, semelhante ao nível de variabilidade encontrado no grupo de adultos. Estes resultados sugerem que a estrutura coordenativa inter-membros usada pelos bebês que estão iniciando o andar é similar a dos adultos. Essa coordenação depende do relacionamento temporal estreito entre segmentos adjacentes (i.e., acoplamento entre coxa, canela e pé). Nos bebês este acoplamento durante a coordenação do andar não é estável como nos adultos até que os primeiros alcancem os três meses de experiência no andar.

A revisão da literatura nos permite afirmar que pouco se sabe a respeito do desenvolvimento do andar para trás. Não sabemos se a relação do andar para frente é equivalente com o andar para trás, tampouco sabemos sobre o período de aquisição deste comportamento. Questões sobre o seu desenvolvimento implicam análise da sua organização temporal e análise da adaptação sob restrições ambientais (e.g. superfícies diferentes).

Um dos estudos realizados com o andar para trás de bebês¹¹ investigou se o mesmo gerador central de padrão do andar para frente podia controlar as passadas de bebês de 2 a 11 meses andando para trás. Neste caso, os bebês foram apoiados sobre uma esteira rolante, funcionando em diferentes velocidades e direções. Os autores observaram que 69% dos participantes realizaram o andar para trás com sucesso. Eles ainda notaram algumas diferenças nos padrões de ativação muscular, como por exemplo, a grande atividade dos músculos posteriores da coxa durante a fase de balanço da perna, durante o andar para trás, comparado com o andar para frente. Esses resultados, segundo os autores, apóiam a idéia de que o mesmo gerador central de padrão controla as diferentes direções da passada dos bebês.

Mauerberg-DeCastro e Angulo-Kinzler¹⁰ afirmam que a utilização de diferentes superfícies como restrição ambiental é um bom método para identificar níveis de estabilidade em habilidades motoras fundamentais, tais como o andar. Campos¹², avaliando entre outros aspectos o andar de crianças surdas em piso duro, trave de equilíbrio e piso elástico, encontrou que o último exerceu maior impacto sobre as variáveis investigadas. Para ele, a característica física do piso elástico altera a configuração das passadas. Ou seja, em comparação ao piso duro, induzindo a passadas mais largas, mais lentas, com menor velocidade e cadência.

O andar para trás - Os estudos do andar para trás oferecem um potencial considerável para expandir o entendimento das estratégias de controle do comportamento locomotor humano através da cinemática e cinética. A base para esta afirmação divide-se em duas justificativas: a) andar para trás é uma forma natural da locomoção humana, embutida em inúmeros comportamentos; e b) andar para trás é uma forma invertida do andar para frente. Neste último aspecto, entretanto, vários autores buscam encontrar as similaridades e diferenças nos parâmetros temporais e cinemáticos entre o andar para frente e para trás^{13,14,15}.

Thorstensson¹⁶ estudou as modificações que ocorrem no movimento e no padrão de atividade muscular, em cinco participantes, produzindo o movimento de andar para frente e na direção oposta em esteira rolante. Ele observou que as trajetórias das pernas nas duas direções foram praticamente espelhadas e os deslocamentos angulares das articulações do quadril, joelho e tornozelo foram iguais nas duas situações. Os padrões de atividade muscular foram invertidos em relação às diferentes fases do movimento do andar para trás. Houve diminuição da duração do ciclo do andar para trás de 8% a 14% em relação ao andar para frente. Entretanto a duração relativa das fases de balanço e suporte permaneceram iguais. O autor explica que mudanças específicas na cinemática ocorrem porque o circuito neural é o mesmo do andar para frente, simplesmente revertendo os movimentos das pernas e a propulsão para trás.

Moraes¹⁷ investigou os efeitos do processo de envelhecimento no andar para trás, comparando aspectos cinemáticos entre idosos e adultos jovens. Os resultados das análises dos retratos de fase dos segmentos coxa e canela não acusaram diferenças entre os grupos. Entretanto, os retratos de fase da articulação do joelho, no andar para trás, não apresentaram o loop interno encontrado tipicamente no andar para frente. Neste caso o loop é uma característica comum na trajetória do andar para frente, no momento em que o pé toca a superfície. Derivando as variáveis cinemáticas em ângulos de fase, o autor não encontrou mais a relação em-fase e fora-de-fase no ciclo da passada típica do andar para frente. Durante todo o ciclo da passada, no andar para trás, ele encontrou apenas uma relação em-fase. Este resultado cinemático seguiu outra estratégia de controle no amortecimento durante a fase de suporte. No andar para frente este amortecimento cria pequenas reversões na direção dos segmentos adjacentes. No andar para trás uma reversão maior da coxa coincide com a da canela eliminando o loop na cinemática. O autor também encontrou diminuição do comprimento e da velocidade da passada no andar para trás nos idosos. Também utilizando a técnica de retratos de fase no padrão de andar para trás em pessoas

com síndrome de Down, Mauerberg-deCastro e Angulo-Kinzler encontraram similaridades entre as trajetórias nas duas direções nos dois segmentos (perna e coxa) e também verificaram a ausência do loop interno nos retratos de fase da articulação do joelho de todos os participantes. Estes resultados sugerem que, no andar para trás, o sistema utiliza-se de um mecanismo de amortecimento diferente daquele utilizado no andar para frente¹⁰.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é, através de observações longitudinais, investigar o desenvolvimento do padrão do andar para frente e para trás de bebês, através da organização de seus aspectos temporais. Ainda, verificar o impacto da restrição ambiental gerada por diferentes tipos de superfícies (piso duro e colchão) sobre as variáveis temporais da marcha dos bebês.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Participantes

Sete bebês participaram deste estudo e as idades variaram entre 11 e 16 meses, no início do estudo, e 13 meses e 2 semanas a 21 meses, na sessão final. Os bebês foram recrutados de creches municipais e da comunidade da cidade de Rio Claro. Todos tinham autorização dos pais ou responsáveis para participar do estudo.

Delineamento do estudo

Os bebês iniciaram a participação no estudo a partir do momento que conseguiam se manter em pé e andavam com apoio. Eles permaneceram no estudo até o momento em que realizaram o andar para frente de forma independente nas situações de coletas. O andar para trás sempre precisou de apoio do experimentador. O intervalo entre as coletas foi quinzenal. As coletas eram feitas no período matutino e duravam em média 30 minutos para cada bebê. Para três dos bebês o número de coletas foi de seis sessões e quatro bebês foram avaliados em cinco sessões de coletas.

Procedimentos

Três experimentadores participavam da coleta, sendo que um operava a câmara filmadora, registrando perpendicularmente à direção dos deslocamentos a imagem sagital dos movimentos dos participantes. Outro experimentador apresentava bichos de pelúcia no final do corredor (quando necessário, para motivar o bebê), enquanto que o terceiro experimentador era responsável por conduzir o bebê ao longo do corredor. Este último experimentador, que foi sempre a mesma pessoa desde a primeira até a última coleta, procurou manter sempre a mesma velocidade, amplitude da passada e estratégia para conduzir os bebês ao longo das sessões, colocando-se à sua frente, segurando-o pelas duas mãos, puxando-o levemente no início

da trajetória do andar para frente, ou empurrando-o levemente para iniciar a tarefa do andar para trás. Na última coleta, quando os bebês já realizavam o andar para frente independentemente, apenas encorajadores visuais e auditivos eram dados aos bebês.

Os participantes realizaram 3 tentativas (ida e volta) em cada uma de 4 condições experimentais: a) andar para frente no piso; b) andar para trás no piso; c) andar para frente no colchão; d) andar para trás no colchão. A ordem destas condições foi randomizada.

Material

A sessão experimental incluiu os seguintes equipamentos e materiais: uma câmera de vídeo Panasonic M9000/S-VHS, com capacidade de gerar 30 quadros por segundo, tripé, nível, fitas de vídeo, brinquedos e um colchão de 185cm x 120cm e 6cm de altura revestido de napa. A tarefa de andar no piso foi realizada em piso de chão frio e em todas as condições, no piso ou colchão os bebês usavam seus próprios calçados, normalmente tênis ou sapato.

A análise dos dados requereu o uso de um vídeo cassete Panasonic AG-1680/S-VHS com reprodução de imagem quadro a quadro; um microcomputador Genuine-Intel Pentium(r) III processor; placa de vídeo e o software Dvideow3.0 (Laboratory of Biomechanics & Institute of Computation - Unicamp) para captura das imagens.

Análise dos dados

De cada coleta, a melhor tentativa de cada condição experimental foi considerada para análise. Cada tentativa referia-se a imagens de vários ciclos de passadas, os quais variaram em número de tentativa para tentativa devido às diferenças individuais. Os eventos (retirada dos dedos, toque do calcanhar no andar para frente, retirada do calcanhar, e toque dos dedos no andar para trás) analisados quadro-a-quadro permitiram calcular as variáveis: fase relativa, duração do ciclo e duração das fases de cada ciclo do andar assim como seus desvios padrão.

Análise estatística

As coletas dos participantes incluíram períodos longitudinais intervalados por 15 dias, durante os quais as tarefas de andar para frente e para trás foram realizadas. As coletas analisadas foram assim classificadas: col1 (sessão inicial, referente ao momento em que o bebê foi recrutado para o estudo); col2 (sessão intermediária, referente a coleta mais próxima à metade do período total de observações); col3 (penúltima sessão, referente a coleta em que foi relatada a emergência do andar independente para frente, segundo pais ou responsáveis pelo bebê); col4 (última sessão, coleta referente ao andar independente para frente, realizado efetivamente na

situação de coleta).

O modelo estatístico adotado para a análise da variável fase relativa foi ANOVA (2 direções x 2 superfícies x 2 pernas x 4 coletas) com medidas repetidas nos 3 primeiros fatores e, para as variáveis duração do ciclo do andar e duração das fases do andar foi ANOVA (2 direções x 2 superfícies x 4 coletas) com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores. Considerou-se o valor de $\alpha < 0,05$ para significância e valores de α entre 0,05 e 0,10 como marginalmente significativo. Utilizamos a prova de contraste de tendência polinomial com os mesmos valores de significância para α .

RESULTADOS

Os resultados de todas as coletas e condições experimentais foram organizados e descritos da seguinte maneira: a) fase relativa, que capturou o relacionamento entre os membros e do desvio padrão da fase relativa que capturou a variabilidade entre cada ciclo do andar de cada participante; b) duração do ciclo do andar e desvio-padrão do ciclo do andar, este último também calculado a partir de cada ciclo de cada participante e c) duração das fases do ciclo do andar (fase de balanço e duplo suporte) e seus respectivos desvios-padrão de cada ciclo.

Fase relativa

Os valores médios da variável fase relativa não apresentaram diferenças significativas nas diferentes condições da tarefa. A condição experimental que revelou maior discrepância no relacionamento entre os membros foi na col1 durante o andar para frente sobre o piso, com valores médios de 57,22% para perna direita e 46,45% perna esquerda. Já a situação de melhor relacionamento de fase entre os membros foi observada na col2 durante o andar para trás no colchão, com relacionamento de 51,14% para perna direita e 50,74% para perna esquerda.

Desvios-padrão da fase relativa

O desvio padrão da fase relativa foi calculado a partir das diferenças dos valores da fase relativa de cada ciclo do andar de cada bebê. AANOVA dos desvios-padrão da fase relativa da perna direita (2 direções x 2 superfícies x 4 coletas), com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores, revelou efeito principal de coleta ($F_{3,72} = 4,592$; $p < 0,005$). Assim, à medida que o grupo avançou no desenvolvimento, a variabilidade entre os ciclos do andar diminuiu. O contraste polinomial revelou uma tendência cúbica marginal ($F_{1,23} = 3,952$; $p < 0,058$) ao longo do período. A prova de contraste polinomial permitiu delinear a curva desenvolvimental ao longo do período investigado e, como se observa na Figura 1a, a tendência cúbica marginal apontou uma leve inversão na col4, em relação ao período anterior,

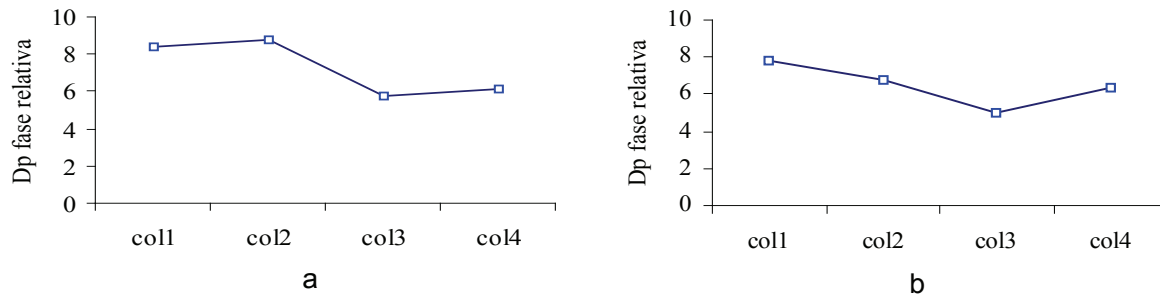


Figura 1. Desvios-padrão (Dp) das fases relativas (%) dos ciclos do andar das pernas (a) direita e (b) esquerda, nas quatro condições experimentais, ao longo das observações longitudinais, para ambas as superfícies e direções.

col3, ou seja, a variabilidade voltou a aumentar na col4. Não foram encontradas diferenças significativas para as direções e superfícies.

ANOVA dos desvios-padrão da fase relativa da perna esquerda (2 direções x 2 pisos x 4 coletas) com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores, também apresentou efeito principal de coleta ($F_{3,72} = 2,805$; $p < 0,046$). O contraste polinomial revelou uma tendência cúbica entre as coletas ($F_{1,23} = 4,338$; $p < 0,048$), como pode-se observar na Figura 1b. Para essa perna, ocorreu o mesmo fenômeno de inversão (entre col3 e col4) na taxa de variabilidade como observado anteriormente na perna direita.

A prova de contraste do desvio-padrão da fase relativa da perna esquerda também revelou tendência cúbica marginal entre coletas e direção ($F_{1,23} = 3,331$; $p < 0,080$). Exceto nas col1 e col3, os bebês apresentaram variabilidade nos valores das fases relativas quando andaram para trás (Figura 2), comparados com os valores encontrados no andar para frente.

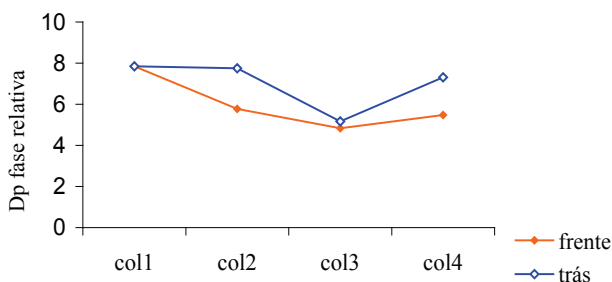


Figura 2. Desvios-padrão (Dp) da fase relativa da perna esquerda do grupo de bebês no andar para frente e andar para trás ao longo das quatro observações longitudinais, para ambas as superfícies.

Duração do ciclo do andar

Segundo a ANOVA (2 direção x 2 piso x 4 coletas) com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores, a variável duração do ciclo permaneceu inalterada entre as diferentes condições experimentais. Entretanto, a análise revelou efeito principal de coleta ($F_{3,72} = 4,105$; $p < 0,010$) e o contraste de tendência polinomial ($F_{1,24} = 7,407$; $p < 0,012$) indicou uma diminuição linear na duração do ciclo do andar ao longo das observações (Figura 3).

Desvio-padrão da duração do ciclo do andar

A ANOVA calculada para o desvio-padrão da duração dos ciclos revelou efeito principal de coleta ($F_{3,72} = 3,394$; $p < 0,022$) e o contraste revelou tendência linear entre as coletas ($F_{1,24} = 5,882$; $p < 0,023$). Este resultado indica que a variabilidade da duração dos ciclos do andar diminuiu ao longo das observações (Figura 4).

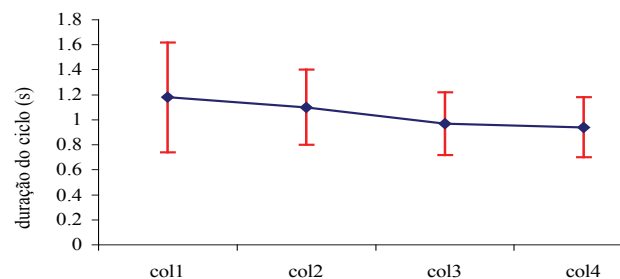


Figura 3. Médias aritméticas e desvios-padrão da duração do ciclo do andar nas quatro condições experimentais, ao longo das observações longitudinais.

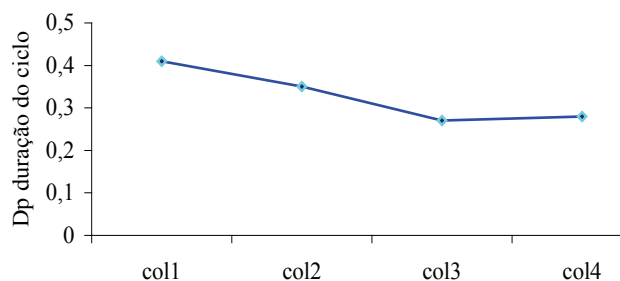


Figura 4. Desvios-padrão (Dp) da duração dos ciclos do andar nas quatro condições experimentais ao longo das observações longitudinais selecionadas.

Duração das fases do ciclo do andar

Duração da fase de balanço - A ANOVA da duração da fase de balanço (2 direções x 2 superfícies x 4 coletas), com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores, revelou apenas efeito principal marginalmente significativo de direção ($F_{1,23} = 2,929$; $p < 0,10$). O andar para frente exigiu menor tempo em fase de balanço ($36,74\% \pm 4,06$) do que andar para trás ($37,97\% \pm 3,14$).

Desvio-padrão da duração da fase de balanço

A ANOVA do desvio-padrão da fase de balanço (2 direções x 2 superfícies x 4 coletas) com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores apresentou efeito principal de coletas ($F_{3,72} = 2,259$; $p < 0,089$). O contraste revelou uma diminuição linear na variabilidade entre os ciclos do andar ($F_{1,24} = 7,054$; $p < 0,014$), ou seja, com o passar do tempo, a duração da fase de balanço de cada ciclo de passada dos bebês foi se tornando mais consistente (Figura 5).

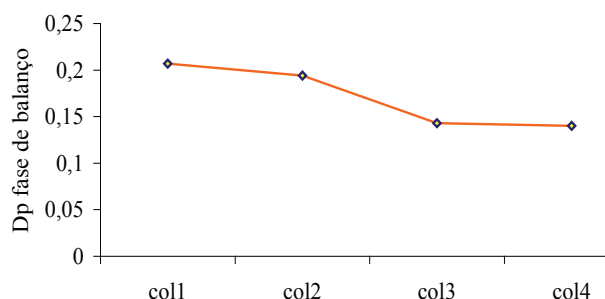


Figura 5. Desvios-padrão (Dp) da duração da fase de balanço (s) nas quatro condições experimentais ao longo das observações longitudinais selecionadas.

A ANOVA calculada para o desvio-padrão da fase de balanço (2 direções x 2 superfícies x 4 coletas) com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores, também revelou efeito principal de direção ($F_{1,24} = 8,014$; $p \leq 0,009$). A variabilidade na fase de balanço foi maior quando os bebês andaram para trás (Figura 6).

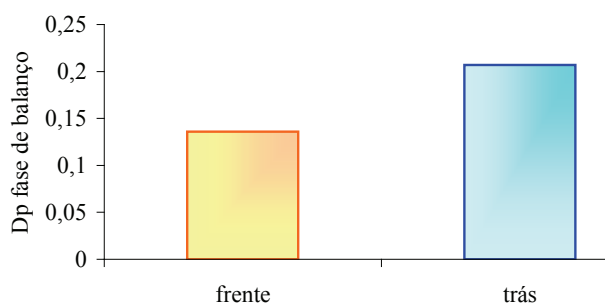


Figura 6. Desvios-padrão (Dp) da duração da fase de balanço (s) no andar para frente e para trás, independente da superfície.

Duração da fase de duplo suporte

A ANOVA da duração do duplo suporte (2 superfícies x 2 direções x 4 coletas) com medidas repetidas nos 2 primeiros fatores revelou efeito principal de superfície ($F_{1,23} = 4,433$; $p < 0,046$), com o colchão exigindo mais tempo de duplo suporte do que o piso (Figura 7).

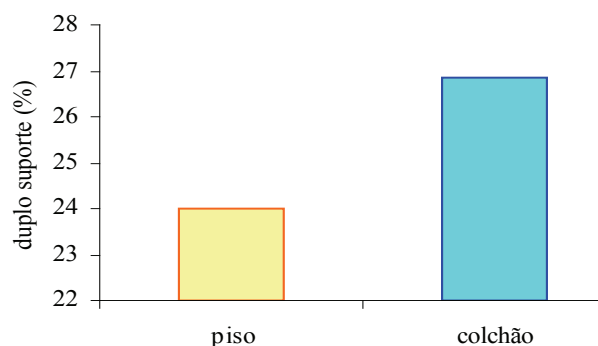


Figura 7. Médias aritméticas da duração do duplo suporte (%) nas duas superfícies de suporte.

Desvio-padrão da duração do duplo suporte

A ANOVA calculada para o desvio padrão da duração do duplo suporte (2 superfícies x 2 direções x 4 coletas) revelou efeito principal marginalmente significativo para superfície ($F_{1,24} = 4,197$ $p < 0,052$). O colchão proporcionou, entre um ciclo do andar e outro, maior variabilidade na duração do duplo suporte do que o andar no piso (Figura 8).

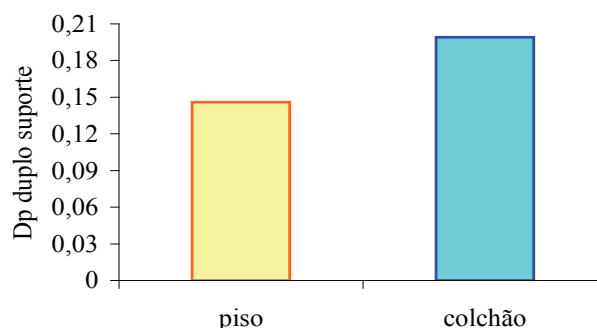


Figura 8. Desvios-padrão (Dp) da duração do duplo suporte durante o andar no piso e no colchão.

DISCUSSÃO

A análise da coordenação inter-membros investigada através da variável fase relativa revelou que os valores do relacionamento de fase encontram-se muito próximos daqueles apresentados pelos adultos. Independente da direção e da superfície de suporte, os bebês permaneceram próximos ao relacionamento 50% fora de fase nas tarefas de andar para frente e para trás durante todo o período investigado. Estes resultados confirmam que a emergência da organização inter-membros ocorre bem antes do andar independente e, por conta disso, o comportamento do andar está relativamente estável a ponto de resistir às restrições do ambiente, bem como às demandas diferenciadas das direções do andar¹⁸. Entretanto, um resultado relevante referente ao período de transição para o andar para frente independente foi o aumento da variabilidade da fase relativa. Nossos resultados mostraram uma variabilidade decrescente até a col3, momento

em que os pais ou responsáveis informaram que os bebês já estavam exibindo alguns passos independentes. Na col4 a variabilidade novamente aumentou, embora não nos níveis iniciais quando o andar foi realizado na sessão experimental. Este fato corrobora estudos que relatam que no andar com suporte e após os 3 meses de experiência de andar independente, os bebês apresentam níveis de variabilidade semelhantes aos encontrados no andar maduro, mas a variabilidade é aumentada no período de transição^{8,9}. Quando eles andaram apoiados, a menor variabilidade na fase relativa dos bebês levou as autoras deste estudo sugerirem que o controle postural é um dos subsistemas que pouco contribui no refinamento da coordenação inter-membros porque o bebê ainda conta com o apoio do experimentador. Entretanto, quando o bebê executa o andar independentemente ele precisa de maior controle postural, e daí é que a variabilidade da coordenação inter-membros aumenta, demonstrando que a instabilidade postural é a responsável pela imaturidade do andar nesse momento de aquisição²⁰. Assim, desde o início do andar independente, o bebê é atraído pela mesma solução dinâmica do adulto, entretanto, como predito pela teoria dos sistemas dinâmicos, no momento de transição essa solução é instável²¹.

A variável duração do ciclo, diferentemente da fase relativa, foi extremamente influenciada pelo desenvolvimento dos bebês. Com exceção do andar para trás no colchão, que apresentou os mesmos valores inicial e final, todas as outras condições apresentaram uma redução na duração do ciclo entre primeira e última coleta.

Na análise da variável duração das fases do andar, encontramos que a duração do duplo suporte apresentou uma tendência quadrática marginal (houve uma diminuição entre col1 e col2, outra leve diminuição em col3 e aumento na col4) demonstrando que o andar no piso exigiu um aumento acentuado no período de transição. Clark e Phillips²¹ afirmam que a porcentagem média do ciclo—gasta em duplo suporte pelos bebês—só atinge os valores encontrados no andar maduro após 2 meses de experiência de andar independente. Este resultado pode ser explicado por estudos que relatam que no período em que o bebê inicia o andar independente o equilíbrio é alterado e o maior tempo de duplo suporte é uma estratégia para a manutenção do equilíbrio^{22,23}.

Além disso, a variabilidade da fase de balanço também foi maior quando os bebês andaram para trás. Este resultado é intrigante, já que a fase de duplo suporte não revelou efeito principal e, dessa forma, não é possível relacionar este aumento a demandas posturais, por exemplo. Esta alteração poderia ser explicada pelo apoio dado pelo experimentador, pela falta de experiência na tarefa, pelo receio de pisar naquilo que ele não vê, ou pelos tropeços

que por vezes os bebês apresentavam ao realizar o andar para trás, principalmente nas observações iniciais (até col3). Estas ocorrências demonstram a flexibilidade nos padrões e possível exploração por um mecanismo mais eficiente e definitivo na ação o qual é parcialmente alcançado nas últimas fases de observação. Cabe ainda lembrar que a variabilidade da duração da fase de balanço diminuiu linearmente ao longo das observações, indicando que os bebês vão se tornando mais consistentes com o aumento da experiência na tarefa.

Em particular sobre a restrição ambiental, a variável duração do duplo suporte pareceu mais sensível às demandas impostas pelo colchão, o qual causou aumento na duração da passada e mostrou também maior variabilidade em comparação ao andar no piso. O aumento da duração dessa variável no colchão já era esperado uma vez que as características físicas do colchão proporcionam a deformação da superfície e o “afundamento” do indivíduo a cada contato do pé nessa superfície, devido ao peso corporal. Uma superfície de suporte deformável de fato ameaça mais a manutenção do equilíbrio do que o piso rígido muito embora ofereça segurança no caso de quedas. Esta duração aumentada do duplo suporte é, como já discutido anteriormente, uma estratégia para alcançar estabilidade e equilíbrio^{21,22}.

Os resultados não revelaram efeito principal de superfície para a variável duração do ciclo. Desta forma pode-se dizer que, para a maioria dos bebês, a restrição ambiental não foi suficientemente capaz de perturbar o sistema em seu relacionamento temporal mais amplo. Em nosso estudo, o colchão tem uma característica pouco perturbadora do ponto de vista biomecânico, embora requeira do bebê executar movimentos mais amplos para sequenciar os passos, uma vez que o afundamento no colchão impede o arrastar de pés e, conseqüentemente o bloqueio na articulação do joelho. Mauerberg-deCastro e Angulo-Kinzler²⁴ encontraram diferentes estratégias adaptativas ao investigar adultos com síndrome de Down andando em colchão. Elas observaram pequena diferenciação entre as atividades da canela e coxa em conseqüência da reduzida atividade flexora e estensora do joelho comum no andar no piso. A ausência de amortecimento no nível do joelho, também encontrada em estudo com bebês com síndrome de Down, andando em esteira rolante, foi explicada como uma estratégia de controle que resulta em segmentos—canela e coxa—acoplados como pêndulo simples²⁵.

A variabilidade nos resultados da duração das fases do ciclo do andar permite afirmar que os bebês ainda estão longe da invariância que é característica do andar maduro. Thelen e Cooke²⁶ salientam que os bebês nesta fase são instáveis e variáveis, pois perdem a força ao permanecerem no suporte simples e por este motivo, não se utilizam, efetivamente, das

propriedades visco-elásticas e inerciais dos membros para iniciar o balanço. Por outro lado, utilizam-se frequentemente de co-contracção muscular para progredir na direção desejada. Esta estratégia torna a duração das fases extremamente variável, longe da relação relativamente estável de 40% do ciclo para a fase de balanço, 60% do ciclo para a fase de suporte (sendo 20% em duplo suporte), encontrada no andar maduro^{27,28}.

Em síntese, os resultados do presente estudo confirmam que o desenvolvimento do andar, tanto para frente como para trás, segue uma linearidade e, na fase de transição (momento em que o bebê muda do andar com suporte para o andar independente), ocorre um aumento na duração do duplo suporte e um aumento da variabilidade da fase relativa. O andar para trás demanda menos alterações na organização temporal do que no andar para frente, apresentando apenas o aumento da duração da fase de balanço e, ao mesmo tempo, a diminuição de sua variabilidade ao longo das observações. É possível que o suporte, oferecido em todas as coletas, tenha sido o fator influenciador desta diminuição da variabilidade. A restrição ambiental não foi suficientemente perturbadora para a variável duração do ciclo a ponto de desestabilizar o sistema. Nesse sentido, o aumento da fase de duplo suporte, bem como de sua variabilidade parece que se deve não à instabilidade do sistema e sim a uma resposta adaptativa à estrutura deformável do colchão. Talvez, nesta fase do desenvolvimento dos bebês, o sistema já se encontrava organizado o bastante a ponto de não se desestabilizar frente à restrição ambiental.

CONCLUSÃO

O relacionamento de fase inter-membros do andar do bebê é semelhante ao relacionamento encontrado no andar maduro, sendo que a variabilidade tende a diminuir com a experiência na tarefa. Neste período de transição do andar para frente com suporte para o andar independente, a variabilidade do relacionamento de fase é levemente aumentada em decorrência das demandas do controle postural.

A superfície de suporte colchão não é capaz de perturbar o relacionamento de fase dos bebês, entretanto, é capaz de impactar na duração do duplo suporte, ou seja, os bebês utilizam-se dessa estratégia (maior tempo com os dois pés no chão) para a manutenção do equilíbrio.

A variável duração do ciclo do andar para frente foi extremamente influenciada pelo desenvolvimento dos bebês, apresentando redução dos valores ao longo do desenvolvimento. Outro aspecto desenvolvimental importante dessa variável foi que, ao contrário do comportamento do adulto (encontrado na literatura), os bebês gastam mais tempo na duração do ciclo do andar para frente, do

que no andar para trás.

Um marco importante no desenvolvimento infantil é o momento da aquisição do andar independente, portanto, as características do andar e as estratégias de controle do bebê no período de aquisição do andar independente, sob diferentes contextos ambientais, são dados informativos relevantes não apenas para o aumento do corpo de conhecimento teórico sobre o andar, mas também para os profissionais envolvidos com a prática do desenvolvimento infantil, no que diz respeito à avaliação, estimulação e às características ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Espenchade AS, Eckert, H. M. Motor development, new and pertinent information on motor development and motor performance at all age levels. Columbus, Ohio: Charles E. Merrill Books, 1967.
2. Assaiante C, Thomachot B, Aurenty R, Amblard B. Organization of lateral balance control in toddlers during the first year of independent walking. *J Motor Behav* 1998;30(2):114-129.
3. Gallahue DL, Osmun JC. Understanding motor development: infants, children, adolescents, adults. 4.ed. Boston, Massachusetts: WCB McGraw-Hill, 1998.
4. Laufer Y. Effect of age on characteristics of forward and backward gait at preferred and accelerated walking speed. *J Gerontol* 2005;60:627-632.
5. Threlkeld AJ, Horn TS, Wojtowicz GM, Rooney JG, Shapiro R. Kinematics, ground reaction force, and muscle balance produced by backward running. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;11(2):56-63.
6. Thelen E. Rhythmical behavior in infancy: an ethological perspective. *Dev Psychol* 1981;17(3):237-257.
7. Thelen E, Fisher DM, Ridley-Johnson R, Griffin NJ. *Dev Psychobiol* 1982;15, (5):447-453.
8. Clark JE, Whitall J, Phillips SJ. Human interlimb coordination: the first 6 months of independent walking. *Dev Psychobiol* 1988;21(5):445-456.
9. Forrester LW, Phillips SJ, Clark JE. Locomotor coordination in infancy: the transition from walking to running. In: Savelsberg GPJ, editors. The development of coordination in infancy. Amsterdam: Elsevier, 1993.
10. Mauerberg-DeCastro E, Angulo-Kinzler RM. Locomotor patterns of individuals with Down syndrome: effects of environmental and task constraints. In: D. J. Weeks DJ, Chua R, Elliot D, editors. Perceptual-motor Behavior in Down Syndrome. Champaign: Human Kinetics, 2000, p. 71-98.
11. Lamb T, Yang JF. Could different directions of infant stepping be controlled by the same locomotor central pattern generator? *J Neurophysiol* 2000;83(5):2814-2828.
12. Campos C. Trampolim acrobático: efeito de um programa de treinamento sobre o equilíbrio, locomoção e desempenho em tarefa de salto. [Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências]. Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista; 2000.

13. Vilensky JA, Gankiewicz E, Gehlsen G. A kinematic comparison of backward and forward walking in humans. *J Hum Movement Studies* 1987;13:29-50.
14. Devita P, Stribling J. Lower extremity joint kinetics and energetics during backward running. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23(5):602-10.
15. Vilensky JA, Cook JA. Do quadrupeds require a change in trunk posture to walk backward? *J Biomech* 2000;33:911-916.
16. Thorstensson A. How is the normal locomotor program modified to produce backward walking? *Exp Brain Res* 1986;61:664-668.
17. Moraes R. Efeitos do envelhecimento nas habilidades de andar para frente, andar para trás, sentar e levantar. [Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências]. Rio Claro (SP): Universidade Estadual Paulista; 1999.
18. Thelen E. Developmental origins of motor coordination: leg movements in human infants. *Dev Psychobiol* 1985;18:1-22.
19. Whittall J, Clark JE. The development of bipedal interlimb coordination: interlimb coordination. Neural, dynamical, and cognitive constraints. Academic Press, Inc; 1994.
20. Ivanenko YP, D'Amico N, Cappellini G, Lacquaniti F. Kinematics in newly walking toddlers does not depend upon postural stability. *J Neurophysiol* 2005;94:754-763.
21. Clark JE, Phillips SJ. A longitudinal study of intralimb coordination in the first year of independent walking: a dynamical systems analysis. *Child Dev* 1993;64:1143-1157.
22. Sutherland DH, Olshen R, Cooper L, Woo SLY. *J Bone Joint Surg Am*, 1980;62A(3):336-353.
23. Brill B, Brenière Y. Posture and independent locomotion in early childhood: learning to walk or learning dynamical postural control? In: Savelsbergh GPJ, editors. *The Development of coordination in infancy*. Amsterdam: Elsevier, 1993.

Endereço para correspondência
Adriana Inês de Paula
Rua 7A, 1518 - Bl. 01/ Apto. 22
Vila Alemã - Rio Claro/SP
CEP 13506543
Fone (19) 3535 4268/ Fax (19) 3526 4321
E-mail: depaula@rc.unesp.br

Recebido em 27/04/06
Revisado em 07/08/06
Aprovado em 06/10/06