

Inicialização da marcha no desenvolvimento do andar independente em crianças de 1.3 anos a 4 anos: estudo preliminar¹

Stepping initiation of gait pattern development of children aged 1.3 years to 4 years: preliminary study

Inicialización de la marcha en el desarrollo del andar independiente en niños de 1.3 años a 4 años: estudio preliminar



Fernanda Grazielle da Silva Azevedo Nora

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

e-mail: Fernanda_nora@ufg.br



Nilva Pessoa de Souza

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

e-mail: nilvapessoa@gmail.com



Franciele Paiva

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

e-mail: francielepaiva@hotmail.com



Marcus Fraga Vieira

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

e-mail: marcus@ufg.br



Paula Hentschel Lobo da Costa

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil

e-mail: paulahlc@gmail.com

Resumo: O processo de transição da postura em pé parada para a caminhada cíclica é chamado de inicialização da marcha. Esse processo exige

¹ Este estudo tem financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) através do edital 3/2015, Programa Primeiros Projetos Jovem Doutor.

ajustes posturais antecipatórios. Porém, pouco se sabe sobre como esses ajustes se desenvolvem à medida que crianças pequenas adquirem a marcha independente. Assim, este é um estudo transversal com o objetivo de descrever o processo de inicialização da marcha em crianças de desenvolvimento típico, com idades entre 1.3 e 4 anos. Sessenta crianças de ambos os sexos de um Centro Municipal de Educação Infantil, devidamente autorizadas pelos pais ou responsáveis, participaram voluntariamente do estudo. As crianças compuseram quatro grupos etários de 15 participantes: G1(1.3 anos de idade), G2 (2 anos de idade), G3 (3 anos de idade) e G4 (4 anos de idade). Uma plataforma de força dupla portátil foi utilizada para a obtenção do comportamento do centro de pressão (COP) durante a transição da posição em pé para o primeiro passo. Cada criança realizou cinco tentativas da inicialização da marcha, que compreendia sair da posição em pé parada sobre a plataforma de força dupla com os pés afastados. Após o sinal sonoro, iniciava a atividade com o pé direito para fora da plataforma e continuava a andar até o fim de uma passarela pré-determinada, a uma velocidade autosselecionada. Os resultados foram descritos conforme as fases da inicialização da marcha para as faixas etárias. As crianças com 1.3 anos apresentaram menor deslocamento anteroposterior do COP (COPAP_1: $p < 0.001$, COPAP_2: $p < 0.001$) e maior velocidade de deslocamento do COP anteroposterior (VELAP_1: $p < 0.001$ e VELAP_2: $p < 0.001$), quando comparadas com as dos grupos de crianças de 2, 3 e 4 anos, enquanto as crianças de 4 anos demonstram uma tendência de aumento do deslocamento anteroposterior COP e diminuição da velocidade de deslocamento do COP, quando em comparação às crianças de 1.3 anos. O aumento do valor no deslocamento do COPAP, juntamente com a diminuição da velocidade de deslocamento do COP entre as crianças de 1.3 anos, 2 anos, 3 anos e 4 anos, sugerem que o comportamento antecipatório para a inicialização da marcha se desenvolve primeiro no plano frontal (AP) e que, com o desenvolvimento do andar independente, melhora a estabilidade postural necessária para alcançar totalmente o controle para a execução da inicialização da marcha quando adquire o padrão maduro aos 7 anos de idade.

Palavras-chave: Inicialização da Marcha. Centro de Pressão. Desenvolvimento do Andar Independente.

Abstract: The process of transitioning from standing posture to cyclic gait is called gait initiation. This requires anticipatory postural adjustments. However, little is known about how these adjustments develop as young children acquire independent gait. Thus, this is a cross-sectional study with the objective of describing the process of gait startup in children of typical development aged between 1.3 and 4 years. Sixty children of both sexes from a Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI) duly authorized by parents or guardians voluntarily participated in the study. Children comprised four age groups of 15 children G1(1.3 years of age), G2 (2 years of age), G3 (3 years of age) and G4 (4 years of age). A portable dual force platform (AMTI model ASC-DUAL L201, AMTI, USA) was used to acquire pressure center behavior (COP) during the transition from standing position to first step, called gait initiation. Each children made five attempts at the start of the march, which included standing standing on the dual force platform with their feet away, after the beep started the activity with the right foot off the platform and continued to walk to the end of a predetermined walkway, at a self-selected speed. The results demonstrate the presence of a motor sequence characterized by increased development of the movement of the body forward lower displacement of cop and decreased cop displacement speed in all groups of children studied. Children 1.3 years old demonstrated lower anteroposterior displacement of cop (COPAP_1: $p < 0.001$, COPAP_2: $p < 0.001$) and higher displacement speed of anteroposterior COP (VELAP_1: $p < 0.001$ and VELAP_2: $p < 0.001$), while 4-year-olds demonstrate a trend of increased anteroposterior COP displacement and decreased cop displacement speed compared to 1.3-year-old children. The increase in the value of copap displacement, along with the decrease in cop displacement speed among children aged 1.3 years to 4 years, suggest that anticipatory gait-starting behavior develops first in the frontal plane (AP) and that with the development of the independent floor improves the postural stability necessary to fully achieve control for the execution of gait startup when it acquires the mature standard at 7 years of age.

Keywords: Gait Initiation. Center of Pressure. Force platform. Development of the Independent Gait.

Resumen: El proceso de transición de la postura de pie a la marcha cíclica se llama inicio de la marcha. Esto requiere un ajuste postural anticipatorio. Sin embargo, poco se sabe acerca de cómo estos ajustes se desarrollan a medida que los niños pequeños adquieren marcha independiente. Así, se trata de un estudio transversal con el objetivo de describir el proceso de puesta en marcha de la marcha en niños de desarrollo típico de entre 1,3 y 4 años. Sesenta hijos de ambos sexos de un Centro Municipal de Educación Infantil debidamente autorizado por los padres o tutores participaron voluntariamente en el estudio. Los niños estaban compuestos por cuatro grupos de edad de 15 niños G1(1,3 años de edad), G2 (2 años de edad), G3 (3 años de edad) y G4 (4 años de edad). Una plataforma portátil de doble resistencia (modelo AMTI ASC-DUAL L201, AMTI, EE. UU.) se utilizó para adquirir el comportamiento del centro de presión (COP) durante la transición de la posición de pie al primer paso, llamado arranque de marcha. Cada niño hizo cinco intentos al comienzo de la marcha, que incluyó estar de pie en la plataforma de doble fuerza con los pies alejados, después de que el pitido comenzó la actividad con el pie derecho fuera de la plataforma y continuó caminando hasta el final de una pasarela predeterminada, a una velocidad auto-seleccionada. Los resultados demuestran la presencia de una secuencia motora caracterizada por un mayor desarrollo del movimiento del cuerpo hacia adelante menor desplazamiento de la policía y disminución de la velocidad de desplazamiento del cop en todos los grupos de niños estudiados. Los niños de 1,3 años demostraron un menor desplazamiento anteroposterior del policía (COPAP_1: $p < 0.001$, COPAP_2: $p < 0.001$) y mayor velocidad de desplazamiento de la COP anteroposterior (VELAP_1: $p < 0.001$ y VELAP_2: $p < 0.001$), mientras que los niños de 4 años demuestran una tendencia de aumento del desplazamiento de la COP anteroposterior y disminución de la velocidad de desplazamiento del copo en comparación con los niños de 1,3 años. El aumento del valor del desplazamiento de copap, junto con la disminución de la velocidad de desplazamiento de la policía entre los niños de 1,3 años a 4 años, sugieren que el comportamiento anticipatorio de arranque de la marcha se desarrolla primero en el plano frontal (AP) y que con el desarrollo del piso independiente mejora la estabilidad postural necesaria para lograr

plenamente el control para la ejecución de la puesta en marcha de la marcha cuando adquiere el estándar maduro a los 7 años de edad.

Palabras clave: Inicialización de la Marcha. Centro de presión. Plataforma de fuerza. Desarrollo del Andar Independiente.

Introdução

A locomoção é produzida pela inicialização bem-sucedida da marcha a partir do estado estacionário. Esse início do ciclo do andar envolve uma transição da postura em pé parada para a execução do primeiro passo e daí para o movimento cíclico da marcha. Durante essa tarefa, ocorre a dissociação entre o centro de massa (COM) e o centro de pressão (COP), permitindo a transferência de peso ao membro de apoio e o deslocamento a frente do COM.

A inicialização da marcha é realizada por ajustes posturais antecipatórios (APAs) que primeiro deslocam o COP posteriormente e lateralmente. Esse processo permite que o COM do corpo acelere anteriormente e contralateralmente ao membro de balanço, esses movimentos acontecem antes de qualquer movimento observável dos pés (LEDEBT *et al.*, 1998). Em seguida, o COP move-se na posterior, lateral e medial em direção ao membro de balanço, durante o qual acontece a projeção vertical COM. Por fim, o COP transita para o pé de apoio à medida que o sujeito realiza o primeiro passo, isso corresponde com a fase inicial do apoio duplo (LEDEBT *et al.*, 1998). Sendo assim, a avaliação do processo da inicialização da marcha pode ser considerada uma ferramenta para a compreensão de como o APAs se consolida para executar a transição da postura em pé para a marcha cíclica no desenvolvimento da aquisição do andar independente (HALLIDAY *et al.*, 1998).

Estudos encontrados na literatura apontam a inicialização da marcha em crianças como meio de contribuir para o estudo da transição da postura quasi-estática para desempenhar movimentos complexos com deslocamentos do COM e dos apoios em situações patológicas e ortopédicas (BRENIÈRE, BRIL e FONTAINE, 1989, WICART, RICHARDSON, MATON, 2006; STACKHOUSE *et al.*, 2007; CALLISAYA *et al.*, 2016). A inicialização do passo, e sua relação com o processo de aquisição e desenvolvimento da marcha ainda, é pouco estudada em crianças típicas, sem desordens neuromusculares ou ortopédicas.

Brenière, Bril e Fontaine (1989) demonstraram que o comportamento antecipatório de inicialização de um novo passo é pouco evidente em crianças que andam de forma independente há seis meses e que um andar cíclico e rítmico só pode ser reconhecido nessas mesmas crianças após pelo menos quatro passos. Outras informações sobre o comportamento antecipatório ao passo em crianças foram trazidas por Malouin e Richards (2000) e Assaiante, Woollacott e Amblard (2000). Esses estudiosos, além da cinética, investigaram a atividade eletromiográfica em crianças entre quatro e seis anos, comparando-as com adultos. Ledebt, Bril e Brenière (1998) descreveram as diferenças no padrão de deslocamento do centro de pressão entre crianças em idade de dois, cinco e oito anos e verificaram que a experiência de andar melhora a estabilidade postural, necessária para alcançar o controle efetivo do processo de inicialização do passo (NORA, 2010; NORA, 2012).

Nesse contexto, seria interessante investigar se crianças pequenas, que se encontram em diferentes estágios de maturação do andar, apresentariam comportamentos de inicialização do passo específicos. Assim, o objetivo deste estudo foi descrever comparativamente o padrão da inicialização da marcha entre crianças de 1.3 a 4 anos, a fim de se verificar se esse comportamento se altera à medida que a criança adquire o andar independente.

Nossa hipótese é de que o deslocamento do COP nas direções anteroposterior (COPAP) e mediolateral (COPML) fosse aumentando com o desenvolvimento do andar independente, ou seja, que as crianças de 1.3 anos apresentassem valores maiores quando comparados com os das crianças de 2 anos, 3 anos e 4 anos. Além disso, que a velocidade de deslocamento do COP nas direções anteroposterior (VELAP) e mediolateral (VELML) também aumentasse com o desenvolvimento do andar independente, devido às crianças com maior experiência executarem o movimento de forma automática e com maior velocidade de execução, refletida nos valores da velocidade de deslocamento do COP.

Esse conhecimento será útil como referência para identificação de padrões fisiológicos que servirão para analisar a capacida-

de infantil de lidar com o campo gravitacional e com o equilíbrio dinâmico na transição da postura parada para o andar cíclico. No contexto de aplicações clínicas, tal conhecimento pode colaborar na tomada de decisões quanto a procedimentos de reabilitação motora de distúrbios neurológicos ou de outra natureza que afetem a marcha em crianças.

Metodologia

Sujeitos

Este estudo contou com a participação de sessenta crianças com idade entre 1.3 anos a 4 anos, de ambos os sexos, de um Centro Municipal de Educação Infantil (CMEI), da rede municipal de educação de Goiânia, Goiás, devidamente autorizadas pelos pais ou responsáveis, constituindo uma amostra por conveniência. As crianças compuseram quatro grupos etários contendo 15 crianças em cada um: G1 (1.3 anos de idade), G2 (2 anos de idade), G3 (3 anos de idade) e G4 (4 anos de idade), conforme mostra a tabela 1. As coletas foram realizadas logo após o aniversário delas (tendo uma tolerância de 5 dias após a data). Antes da coleta de dados, foi realizada uma anamnese com os pais ou responsáveis com informações sobre o estado geral de saúde da criança, sobre o período gestacional e de quando as crianças começaram a andar.

Tabela 1: Dados demográficos dos sujeitos

	G1	G2	G3	G4
Idade (anos)	1.3 (0.00)	2.0 (0.00)	3.00(0.00)	4.00 (0.00)
Peso corporal (n)	115.71 (1.40)	134.35 (2.68)	271.45 (12.75)	295.28 (12.75)
Estatura (cm)	78.81 (2.08)	98.80 (2.09)	100.90 (9.18)	102.50 (9.18)
Experiência com o andar independente (meses)	2.0 (0.82)	18.28 (1.52)	24.00 (0.69)	36.00 (1.89)

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Aspectos Éticos

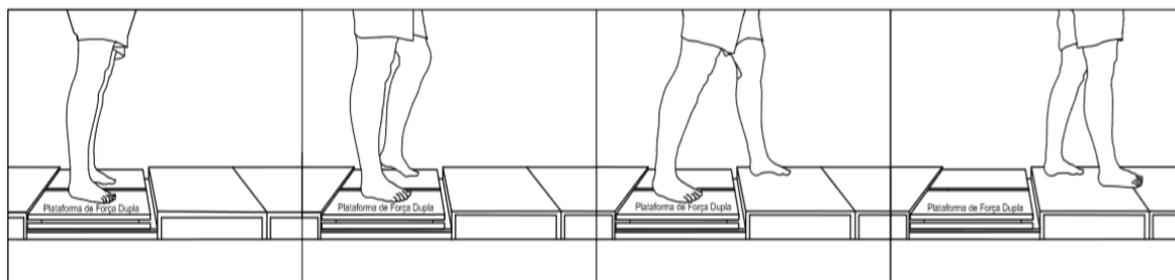
O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás (número do protocolo: 2.016.980). O Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE) foi assinado por todos os pais e ou responsáveis pela criança.

Protocolo Experimental

Este estudo é de caráter analítico transversal. Os dados antropométricos, como, por exemplo, estatura, massa e comprimento do membro inferior foram coletados no dia da realização do protocolo experimental. Para mensurar a inicialização do passo, as magnitudes das componentes das forças de reação do solo e seus respectivos momentos foram adquiridas por uma plataforma de força dupla portátil AMTI modelo ASC-DUAL L201 (AMTI, USA). Essa plataforma foi deslocada até o Centro Municipal de Educação Infantil para a realização do protocolo experimental.

Após um sinal sonoro dado para o início da atividade, cada criança executou a inicialização da marcha sobre a plataforma de força dupla com os pés afastados. Depois, continuou a andar até o fim de uma passarela de 3 metros a uma velocidade autoselecionada, conforme mostra a Figura 1. Cada criança executou a inicialização da marcha sempre com o pé direito.

Figura 1: Protocolo experimental para o estudo da inicialização da marcha utilizando plataforma de força dupla AMTI



Fonte: Elaborada pela autora, 2018

Foram realizadas cinco tentativas válidas com cada criança. Sendo consideradas como tentativas válidas quando a criança realizava a inicialização da marcha com o pé direito, tocando fora da área da plataforma de força em direção ao bloco de madeira. Foram desconsideradas a primeira e a última de cada criança, sendo analisadas 3 tentativas. Não foi levada em consideração a lateralidade da criança.

Aquisição dos Dados e Variáveis

Os dados brutos das plataformas de força foram amostrados a uma frequência de 100 Hz por canal e filtrados com um filtro passa-baixa Butterworth, com uma frequência de corte de 12,5 Hz (HASS *et al.*, 2012; UEMERA *et al.*, 2012; VIEIRA *et al.*, 2015, NORA, 2010; NORA, 2012). A posição instantânea do COP foi calculada conforme relatado pelo fabricante da plataforma de força. As variáveis das forças de reação do solo foram normalizadas pelo peso corporal para permitir comparações entre os indivíduos. Um código personalizado MATLAB (The Mathworks Inc., EUA) foi desenvolvido para calcular as variáveis selecionadas.

O início do fenômeno dinâmico (primeiros movimentos do COP) foi definido como o instante em que a força de reação do solo vertical excedeu seu valor médio durante o primeiro 1.5 segundos de posição silenciosa mais três desvios padrão (HASS *et al.*, 2012; UEMERA *et al.*, 2012; VIEIRA *et al.*, 2015). O final do movimento do COP foi definido como o instante de perda de contato do pé de suporte com a plataforma de força, quando a força de reação do solo vertical caiu para zero (HASS *et al.*, 2012; UEMERA *et al.*, 2012; VIEIRA *et al.*, 2015; NORA, 2010; NORA, 2012).

A trajetória do COP ao longo do processo de inicialização da marcha foi subdividida em 3 fases: fase antecipatória (S1), de sobrecarga do pé de apoio, execução do primeiro passo (S2) e a fase de descarga do pé de apoio, execução do 2º passo (S3), como ilustra a Figura 2 (MALOUIN e RICHARDS, 2000; HASS *et al.*, 2008;

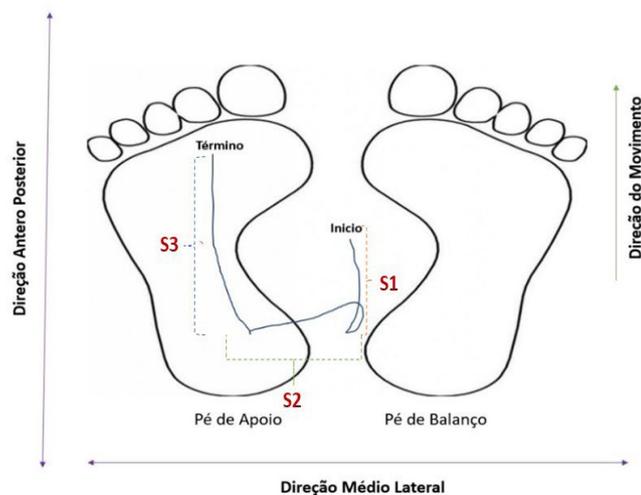
VIEIRA *et al.*, 2015; LEDEBT e BRENIÈRE, 1994; NORA *et al.*, 2019; NORA, 2010; NORA, 2012):

S1: inicialmente o COP se move posteriormente e lateralmente para o membro inferior de balanço;

S2: o COP move medialmente para o lado do membro de apoio momento que ocorre o primeiro passo;

S3: o COP avança anteriormente juntamente com o membro de apoio que irá executar o 2º passo;

Figura 2: Comportamento do COP durante as fases da inicialização da marcha.



S1: Fase antecipatória; S2: Fase de sobrecarga do pé de apoio (execução do 1º passo) e S3: Fase de descarga do pé de apoio (execução do 2º passo).

Fonte: Elaborada pela autora, 2018

A velocidade média do COP foi calculada pela trajetória do COP para cada direção (VELAP_anteroposterior e VELML_mediolateral) em razão do tempo total de cada fase da inicialização da marcha. A amplitude de deslocamento do COP foi estimada como a distância entre o deslocamento máximo e mínimo do COP em cada direção (COPAP_anteroposterior, COPML_mediolateral) em função do

tempo de duração de cada fase da inicialização da marcha (NORA, 2010; NORA, 2012; NORA *et al.*, 2019).

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada no software Statistica 10.0 (TIBCO). Após verificação da normalidade das distribuições e da homogeneidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilks, foram aplicados testes não paramétricos de Friedman com post-hoc de Dunn-Bonferroni, a fim de verificar diferenças entre os quatro grupos para as variáveis selecionadas. Foi utilizado como referência estatística o nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). As variáveis são apresentadas como média e desvio-padrão.

Resultados

Os resultados aqui apresentados são valores referentes a média de 3 tentativas válidas. Foram consideradas como tentativas válidas quando as crianças realizavam a inicialização da marcha com o pé direito realizando o 1º passo fora da área da plataforma de força em direção ao bloco de madeira. Não foi levado em consideração a lateralidade da criança, portanto, foi-se padronizado o início do movimento com o membro inferior direito, apesar de ter sido coletadas cinco tentativas, sendo desconsideradas a primeira e a última de cada criança.

A Tabela 2 apresenta os resultados do deslocamento do COP nas direções anteroposterior (COPAP) e mediolateral (COPML) e suas respectivas velocidades média de deslocamento durante as três fases da inicialização da marcha. Na fase antecipatória (S1), o deslocamento do COPAP_1 ($p < 0.001$) e COPML_1 ($p = 0.004$), do grupo G1, foram significativamente menores quando comparados com os dos grupos G2, G3 e G4. Resultados similares foram encontrados para a fase de sobrecarga do pé de apoio (S2), em que os deslocamentos do COAP_2 (<0.001) e COPML_2 ($p=0.004$),

do grupo G1, também foram significativamente menores quando comparados com os dos grupos G2, G3 e G4. Por fim, na fase de descarga do pé de apoio (S3), não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos estudados para o deslocamento do COPAP_3 ($p=0.06$) e COPML_3 (0.07).

Tabela 2: Comportamento do Centro de Pressão (COP) durante as três fases da inicialização da marcha

Variáveis do COP	G1	G2	G3	G4	p
Fase Antecipatória					
COPAP_1 (cm)	-2.723(1.868) ^a	-3.336 (1.443) ^a	-4.047 (2.306) ^a	-5.288 (0.882) ^a	<0.001 ^a
COPML_1 (cm)	3.212 (1.344) ^b	3.853 (1.306)	3.992 (1.877)	6.112 (1.517) ^b	0.004 ^b
VELAP_1 (cm/s)	-10.861 (2.997) ^c	-9.211 (1.051) ^c	-7.773 (1.255) ^c	-6.031 (1.454) ^c	< 0.001 ^c
VELML_1 (cm/s)	3.448 (2.502) ^d	3.916 (1.769)	4.378 (2.004) ^d	5.819 (2.103) ^d	<0,001 ^d
Fase de Sobrecarga do pé de apoio (Execução do 1º Passo)					
COPAP_2 (cm)	3.207 (1.795) ^a	5.504 (1.187) ^a	5.420 (1.829) ^a	6.682 (0.381) ^a	<0.001 ^a
COPML_2 (cm)	3.110 (0.899) ^b	5.074 (1.651) ^b	5.515 (1.359)	5.964 (1.537) ^b	0.004 ^b
VELAP_2 (cm/s)	9.327 (2.644) ^c	8.744 (1.997)	8.034 (1.973) ^c	7.356 (1.571) ^c	< 0.001 ^c
VELML_2 (cm/s)	4.479 (1.014)	5.369 (2.568)	5.962 (1.301)	6.299 (1.352)	0.06
Fase de descarga do pé de apoio (Execução do 2º Passo)					
COPAP_3 (cm)	6.569 (0.962)	6.765 (1.800)	7.309 (1.217) ^a	7.335 (1.439)	0.06
COPML_3 (cm)	3.212 (1.344)	3.853(1.306)	3.992 (1.877)	4.112 (1.517)	0.07
VELAP_3 (cm/s)	8.583 (1.572)	8.303 (1.038)	8.982 (2.777)	8.512 (2.168)	0.07
VELML_3 (cm/s)	4.388 (1.010)	4.658 (1.137)	4.070 (1.327)	5.022 (1.078)	0.198

Os dados estão expressos em média \pm desvio padrão. ML: mediolateral; AP: anteroposterior.

Os índices nos nomes das variáveis referem-se às fases _1, _2 e _3. a,b,c,d Significativo post hoc Dunn-Bonferroni

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

No que diz respeito às velocidades médias, os valores apresentados na Tabela 2, na fase antecipatória (S1), VELAP_1 ($p < 0.001$), do grupo G1, foram significativamente maiores do que os apresentados nos grupos G2, G3 e G4, enquanto VELML_1, do grupo G1, foi significativamente menor que nos grupos G3 e G4 ($<0,001$). Na fase de sobrecarga do pé de apoio (S2), VELAP_2 ($p < 0.001$), do grupo G1, foi significativamente maior do que nos grupos G3 e G4. Porém, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos para VELML_2 ($p = 0.06$). Na fase de descarga do pé de apoio tanto (S3) VELAP_3 ($p = 0.06$) quanto VELML_3 ($p = 0.07$) não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, apresentam velocidade de deslocamento do COP de forma semelhante.

Discussão

Neste estudo, comparou-se o comportamento do centro de pressão durante o processo de inicialização da marcha entre crianças com 1.3 anos, 2 anos, 3 anos e 4 anos, a fim de se verificar como a experiência com o andar afeta o comportamento da transição da posição em pé parada para a marcha cíclica.

Essa relação entre experiência do andar e o comportamento do COP durante a inicialização da marcha sugere que quanto mais experiente a criança for maior é a amplitude de deslocamento anteroposterior e mediolateral do COP, como mostra a Tabela 2. Aqui, porém, podemos perceber o aumento da amplitude de deslocamento durante as três fases da inicialização da marcha. As crianças do Grupo G1 apresentaram amplitudes de deslocamento AP e ML do COP (Tabela 2), quando comparados com G2, G3 e G4, o que está de acordo com os dados de Malouin e Richards (2000), que também dividiram o movimento em fases (NORA, 2010; NORA, 2012).

Vários estudos subdividem a inicialização do passo em fases a partir da cinemática do movimento (MALOUIN e RICHARDS, 2000),

porém, é possível fazê-lo a partir dos dados da plataforma de força, obtendo, de maneira igualmente útil, as distintas fases para análise. No presente estudo, as fases foram identificadas exclusivamente a partir do comportamento do centro de pressão (COP) líquido, obtido a partir de uma plataforma de força dupla portátil (HASS *et al.*, 2008; VIEIRA *et al.*, 2015; LEDEBT e BRENIÈRE, 1994; NORA *et al.*, 2019, NORA, 2010; NORA, 2012).

Fase Antecipatória (S1)

Essa fase antecipatória durante a inicialização do passo está relacionada à aceleração do centro de massa (COM) em direção ao pé de apoio para realização do 1º passo, antecedida pelo deslocamento lateral do COP em direção ao pé de balanço. Esse fenômeno é pouco estudado em crianças que estão passando pelo processo de aquisição do andar independente. Alguns poucos estudos (MALOUIN *et al.*, 2000) sugerem que o ajuste antecipatório é pouco evidente em crianças com uma experiência de seis meses de andar independente, isso se justifica pelo fato dessas crianças não se comportarem exatamente segundo o modelo do pêndulo invertido e, assim, ainda são pouco eficientes na marcha. Portanto, a velocidade e a amplitude de deslocamento do COP nas direções anteroposterior e mediolateral apresentam valores significativamente menores quando comparados com os das crianças mais experientes com o processo da inicialização da marcha, fato também descrito por Malouin e Richards (2000).

Resultados semelhantes foram encontrados nesse estudo. Menores amplitudes de deslocamento COPAP_1 e COPML_1, na fase no grupo G1, em relação às crianças mais experientes do grupo G2, G3 e G4, sugerem que, nesse grupo, inicia o andar independente tendo uma experiência de apenas em média de dois meses. Sendo assim, o ajuste antecipatório ainda está sendo construído

juntamente com a experiência do andar independente (MALOUIN e RICHARDS, 2000; HENRIKSSON *et al.*, 2005)

Durante a fase antecipatória, a trajetória da COP na direção anteroposterior (COPAP) é influenciada pelos momentos gerados no plano sagital na articulação do tornozelo que estão associados ao controle permanente da postura. Esses eventos ocorrem com objetivo de reduzir os efeitos das perturbações posturais e assim realizar a transição da postura estática para a dinâmica do ciclo da marcha de forma controlada (MALOUIN e RICHARDS, 2000; HENRIKSSON *et al.*, 2005).

A velocidade de deslocamento do COP na direção anteroposterior (VELAP_1) apresenta uma diminuição progressiva dentro dos grupos etários estudados, e, como essa velocidade está associada à estabilidade postural, isso sugere certo controle da inicialização do passo.

A velocidade anteroposterior do COP diminui progressivamente com a idade entre os grupos estudados. E, como essa velocidade está associada à estabilidade postural, esse fato sugere maior estabilidade da postura em pé antes de progredir para a ação de dar o passo, à medida que se adquire o andar independente. Por outro lado, a velocidade mediolateral aumenta com a idade, o que sugere uma transferência de peso mais efetiva para o membro de apoio ao se deslocar o COM em direção a este (MALOUIN e RICHARDS, 2000; NORA, 2010; NORA, 2012).

Portanto, houve um aumento progressivo do COPAP_1 e COPML_1 entre os grupos estudados, sugerindo um aumento progressivo na habilidade de deslocar o COM, antecedido pelo deslocamento lateral e posterior do COP. Além disso, o grupo G1 apresenta os menores valores encontrados, pois necessita de preservar o equilíbrio na postura em pé. Esse comportamento está diretamente relacionado ao tamanho da base de apoio que nessas crianças ainda está se desenvolvendo, uma vez que elas adquiriram a pouco tempo a postura bípede.

Fase de Sobrecarga do pé de apoio (S2)

Esse momento de execução do primeiro passo é reconhecido como uma etapa mais desafiadora para o controle de estabilidade durante a execução da inicialização da marcha, pois o processo de inicialização da marcha só é completado quando o corpo atinge uma velocidade de andar (caminhada) constante (CAILBHE *et al.*, 2017).

Nessa fase, observa-se novamente um aumento progressivo com a idade no deslocamento COPAP_2 e COPML_2. Um deslocamento COPML_2 maior do grupo G4 nessa fase parece estar associado a uma base de apoio mais larga do que grupo G1, porém, como a VELML_2 não é estatisticamente diferente entre os grupos, isso sugere que o grupo G4 desloca mediolateralmente o COP nessa fase de forma mais controlada (MANCINI *et al.* 2009; MALOUIN e RICHARDS, 2000).

Por outro lado, o deslocamento COPAP_2 aumenta progressivamente com a idade, de forma semelhante à fase Antecipatória. Porém, a VELAP_2 também diminui entre os grupos G1, G2, G3 e G4 progressivamente nessa fase. Isso sugere que crianças de 1.3 anos ainda deslocam o COP na direção anteroposterior de maneira a preservar a estabilidade da posição em pé, pois, nessa fase, o COM já está indo para frente e na direção do pé de (WINTER, 1995). As crianças de 4 anos já o fazem de forma mais dinâmica, com deslocamento e velocidade anteroposteriores maiores do que as das crianças com 1.3 anos.

Fase de descarga do pé de apoio (S3)

Na fase de execução do 2º passo, o COP está sob o pé de apoio e desloca-se para frente sob a superfície plantar até a perda de contato do pé de apoio. Essa fase também é chamada de fase de locomoção (MUNIZ *et al.*, 2008)

O deslocamento COPAP_3, no grupo G4, apresentou valores significativamente maiores que nos grupos G1, G2 e G3. Esse resultado é consistente com o fato de que os adultos são maiores do que as crianças e já realizam o passo com mais segurança devido ao tempo de experiência com o andar independente.

Não há diferenças entre os grupos nas demais variáveis, o que sugere que o segundo passo já é realizado utilizando estratégias semelhantes pelos grupos estudados, independente da experiência cronológica com andar independente.

Pode-se perceber que, nessa fase, a velocidade de deslocamento VEPAP_3, apesar de não significativa, também aumenta o que sugere uma duração de execução do segundo passo semelhante entre os grupos, consistente com dados encontrados na literatura (MALOUIN e RICHARDS, 2000; LEDEBT *et al.*, 1998; NORA, 2010; NORA, 2012).

Com a experiência do andar independente, a criança torna-se cada vez mais habilidosa devido ao aprimoramento de sua capacidade para avaliar as condições do ambiente e agir de forma adaptativa, pois tem capacidade de encontrar soluções dinâmicas bem-sucedidas e estáveis para a transição da postura em pé parada ao primeiro passo (NORA, 2010; NORA, 2012).

Conclusão

Os diferentes grupos etários avaliados apresentaram diferentes ajustes posturais durante as duas fases da inicialização da marcha. O aumento do deslocamento anteroposterior do COP (COPAP), entre as crianças de 1.3 a 4 anos, está fortemente relacionado com a estabilidade dos APAs, pois é influenciada pela intenção da criança em iniciar o movimento da postura em pé para o andar cíclico. Já a velocidade de deslocamento do COP nas direções anteroposterior (VELAP) aumentou com a idade, o que sugere que as crianças de 4 anos apresentaram uma velocidade maior de

execução quando comparadas com as crianças de 1.3 anos. Por outro lado, na 3 fase de execução da inicialização da marcha, todos os grupos etários apresentaram valores próximos, sugerindo assim o comportamento do COP parecido nesta fase.

Referências

ANNICK LEDEBT, YVON BRENIÈRE. Dynamical implication of anatomical and mechanical parameters in gait initiation process in children. **Human Movement Science**, USA, v. 13, Issue 6, 1994, p. 801-815.

ALESSANDRA BOMBARDA MÜLLER, NADIA CRISTINA VALENTINI, PAULO FELIPE RIBEIRO BANDEIRA. Affordances in the home environment for motor development: Validity and reliability for the use in daycare setting. **Infant Behavior and Development**, USA, v. 47, Pages 138-145, 2017.

A.M.S. MUNIZ, J. NADAL, K.E. LYONS, R. PAHWA, W. LIU. Long-term evaluation of gait initiation in six Parkinson's disease patients with bilateral subthalamic stimulation. **Gait & Posture**, USA, v. 35, Issue 3, 2012, p. 452-457.

ASSAIANTE, C.; WOOLLACOTT, M.; AMBLARD, B. The development of postural anticipatory adjustments during initiation of gait: Kinematic and EMG Analysis. **Journal of Motor Behavior**, USA, v. 32, n. 3, p. 211-226, 2000.

BRENIÈRE Y, CUONG DO M, BOUISSET S. Are dynamic phenomena prior to stepping essential to walking? **Journal of Motor Behavior**, USA, n. 29, p. 19 - 62, 1987.

BRENIÈRE, Y; BRIL, B; FONTAINE, R. Analysis of the transition from upright stance to steady-state locomotion in children with under 200 days of autonomous walking. **Journal of Motor Behavior**, USA, v. 20, p. 41-60, 1989.

CAILBHE DOHERTY, LIANG ZHAO, JOHN RYAN, YUSUKE KOMABA, AKIHIRO INOMATA, BRIAN CAULFIELD. Concussion is associated with altered preparatory postural adjustments during gait initiation. **Human Movement Science**, USA, v. 52, p. 160-169, 2017.

COLLINS J, DE LUCA C. Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. **Exp Brain Res**, USA, 95(2), p. 308-18, 1993.

DANIËLLE BOUMAN, JOHN F. STINS. Back off! The effect of emotion on backward step initiation. **Human Movement Science**, USA, 2017.

GRAZIELLE DA SILVA AZEVEDO NORA, FERNANDA; MILAN, M. B.; PAIVA, F.; SOUZA, N. P.; ASSIS, A. O.; RODRIGUES, F. B.; VIEIRA, M. F. Gait Initiation Process: Comparing Force and Pressure Platforms Data. *In: XXVI Brazilian Congress on Biomedical Engineering*. 1 ed., Singapore, Springer, USA, v. 70, p. 225-228, 2009.

GOGOLA A, SAULICZ E, KUSZEWSKI M, MATYJA M, MYŚLIWIEC A. Development of low postural tone compensatory patterns in children – theoretical basis. **Dev Period Med**, USA, 18(3), p. 374-9, 2014.

HALLIDAY, SE; WINTER, DA; FRANK, JS; PATLA, AE; PRINCE, F. The initiation of gait in young, elderly, and Parkinson's disease subjects. **Gait and Posture**, USA, v. 8, p. 8-14, 1998.

HASS, C.J.; BUCKLEY, T.A.; PITSIKOULIS, C.; BARTHELEMY, E.J. Progressive resistance training improves gait initiation in individuals with Parkinson's disease. **Gait & Posture**, USA, v. 35, p. 669-673, 2012.

HENRIKSSON M, HIRSCHFELD H. Physically active older adults display alterations in gait initiation. **Gait Posture**, USA, 21:289-296, 2005.

JIAN, Y; WINTER, DA; ISHAC, MC; GILCHRIST, L. Trajectory of the body COG and COP during initiation and termination of gait. **Gait and Posture**, USA, p. 9-22, 1993.

JIN H. YAN. Children benefit differently from night- and day-time sleep in motor learning. **Human Movement Science**, USA, v. 54, p. 297-307, 2017.

LEDEBT, A; BRIL, B; BRENIÈRE, Y. The build-up of anticipatory behavior: an analysis of the development of gait initiation in children. **Experimental Brain Research**, USA, v. 120, p. 9-17, 1998.

MALOUIN F, RICHARDS CL. Preparatory adjustments during gait initiation in 4-6-year-old children. **Gait and Posture**, USA, v. 11 p. 239-253, 2000.

MICHELE. L CALLISAYA, LEIGH BLIZZARD, KARA MARTIN, VELANDAI K. SRIKANTH. Gait initiation time is associated with the risk of multiple falls—A population-based study. **Gait & Posture**, USA, v. 49, p. 19-24, 2016.

MIZUSAWA H, JONO Y, IWATA Y, KINOSHITA A, HIRAOKA K. Processes of anticipatory postural adjustment and step movement of gait initiation. **Human Movement Science**, USA, 52:1–16, 2017.

NORA, FERNANDA GRAZIELLE DA SILVA AZEVEDO. **The comparative study of gait initiation and termination: the baby to adult**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

NORA, FERNANDA GRAZIELLE DA SILVA AZEVEDO. **Estudo do comportamento do centro de pressão no equilíbrio estático e dinâmico**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

PARK S, CHOI H, RYU K, KIM S, KIM Y. Kinematics, kinetics and muscle activities of the lower extremity during the first four steps from gait initiation to the steady-state walking. **J Mech Sci Technol**, USA, 23(1), p. 204–11, 2019.

PH. WICART, J. RICHARDSON, B. MATON. Adaptation of gait initiation in children with unilateral idiopathic clubfoot following conservative treatment. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, USA, v. 16, Issue 6, p. 650-660, 2006.

STACKHOUSE C, SHEWOKIS PA, PIERCE SR, SMITH B, MCCARTHY J, TUCKER C. Gait initiation in children with cerebral palsy. **Gait Posture**, USA, 26(2), p. 301-308, 2007.

VIEIRA, M. F., SACCO, I. DE C. N., NORA, F. G. DA S. A., ROSENBAUM, D., & LOBO DA COSTA, P. H. Footwear and Foam Surface Alter Gait Initiation of Typical Subjects. **PLoS ONE**, USA,10(8), 2015.

WINTER, D. A. **Anatomy, biomechanics and control of balance during standing and walking**. Waterloo, Waterloo Biomechanics, 1995.

WINTER D, PATLA A, PRINCE F, ISHAC M, GIELO-PERCZAK K. Stiffness control of balance in quiet standing. **J Neurophysiol**, USA, 80:1211-21, 1998.

Financiamento

A presente pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA Pesquisa aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Goiás. Número do protocolo: 2.016.980.

Publisher

universidade Federal de Goiás. Faculdade de Educação Física e Dança. Publicação no Portal de Periódicos UFG. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.