

Assessment of gait in toddlers with normal motor development and in hemiplegic children with mild motor impairment: a validity study

Avaliação da marcha de lactentes com desenvolvimento motor normal e crianças hemiplégicas com comprometimento motor leve: estudo de validade

Priscilla R. P. Figueiredo¹, Paula L. P. Silva^{1,2}, Bruna S. Avelar¹,
Paula S. C. Chagas³, Luísa C. P. Oliveira⁴, Marisa C. Mancini^{1,5}

ABSTRACT | Background: The optimization of gait performance is an important goal in the rehabilitation of children with cerebral palsy (CP) who present a prognosis associated with locomotion. Gait analysis using videos captured by digital cameras requires validation. **Objective:** To evaluate the validity of a method that involves the analysis of videos captured using a digital camera for quantifying the temporal parameters of gait in toddlers with normal motor development and children with CP. **Method:** Eleven toddlers with normal motor development and eight children with spastic hemiplegia who were able to walk without assistive devices were asked to walk through a space contained in the visual field of two instruments: a digital camera and a three-dimensional motion analysis system, Qualisys Pro-Reflex. The duration of the stance and swing phases of gait and of the entire gait cycle were calculated by analyzing videos captured by a digital camera and compared to those obtained by Qualisys Pro-Reflex, which is considered a highly accurate system. **Results:** The Intraclass Correlation Coefficient (ICC) demonstrated excellent agreement ($ICC > 0.90$) between the two procedures for all measurements, except for the swing phase of the normal toddlers ($ICC = 0.35$). The standard error of measurement was less than 0.02 seconds for all measures. **Conclusions:** The results reveal similarities between the two instruments, suggesting that digital cameras can be valid instruments for quantifying two temporal parameters of gait. This congruence is of clinical and scientific relevance and validates the use of digital cameras as a resource for helping the assessment and documentation of the therapeutic effects of interventions targeted at the gait of children with CP.

Keywords: gait; toddlers; cerebral palsy; image processing; computer-assisted; rehabilitation.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Figueiredo PRP, Silva PLP, Avelar BS, Chagas PSC, Oliveira LCP, Mancini MC. Assessment of gait in toddlers with normal motor development and in hemiplegic children with mild motor impairment: a validity study. *Braz J Phys Ther.* 2013 July-Aug; 17(4):359-366. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552012005000105>

RESUMO | Contextualização: A otimização da marcha é objetivo relevante na reabilitação de crianças com prognóstico de locomoção na paralisia cerebral (PC). A análise da marcha com vídeos capturados por câmeras digitais necessita ser validada. **Objetivo:** Avaliar a validade de um método que envolve a inspeção de vídeos capturados por câmera digital para quantificação de variáveis temporais da marcha de lactentes com desenvolvimento motor normal e crianças com PC. **Método:** Onze lactentes com desenvolvimento motor normal e oito crianças com PC do tipo hemiplegia espástica capazes de deambular sem dispositivos de auxílio de marcha foram solicitadas a caminhar em um espaço contido no campo visual de dois instrumentos: câmera digital e sistema tridimensional de análise de movimento *Qualisys Pro-Reflex*. As medidas de duração das fases de apoio e balanço e o tempo total do ciclo da marcha foram calculados a partir da análise de vídeos de câmera digital e comparados às medidas obtidas pelo *Qualisys Pro-Reflex*, considerado sistema de alta acurácia. **Resultados:** O Coeficiente de Correlação Intraclassa (CCI) demonstrou concordância excelente ($CCI > 0,90$) nas medidas dos dois grupos, exceto para a fase de balanço dos lactentes ($CCI = 0,35$). O erro padrão das medidas foi menor que 0,02 segundos para todas as mensurações. **Conclusões:** Resultados revelam semelhança entre os dois instrumentos, sugerindo que a câmera digital pode ser instrumento válido para quantificação de dois parâmetros temporais da marcha. Tal congruência tem relevância clínica e científica, preconizando uso da câmera digital como recurso auxiliar à avaliação e documentação de efeitos terapêuticos das intervenções direcionadas à marcha de crianças com PC.

Palavras-chave: marcha; lactentes; paralisia cerebral; processamento de imagem assistida por computador; reabilitação.

¹Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil

²Departamento de Fisioterapia, EEFFTO, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil

³Departamento de Fisioterapia do Idoso, do Adulto e Materno-infantil, Faculdade de Fisioterapia, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG, Brasil

⁴Fisioterapeuta, Belo Horizonte, MG, Brasil

⁵Departamento de Terapia Ocupacional, EEFFTO, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil

Received: 09/24/2012 Revised: 01/28/2013 Accepted: 02/01/2013.

● Introdução

A marcha é importante indicador de funcionalidade e independência dos indivíduos¹⁻³. Em consequência, a emergência e o aprimoramento da habilidade locomotora de pacientes têm sido um objetivo central no processo de reabilitação². A implementação de intervenções com esse foco requer métodos de avaliação confiáveis e válidos, de forma que a análise da marcha auxilie no estabelecimento de diagnóstico funcional preciso, com subsequente definição de metas terapêuticas, e na documentação de efeitos das intervenções^{1,2,4}.

Profissionais da reabilitação frequentemente avaliam as habilidades locomotoras de crianças com deficiências motoras e prognóstico para marcha, como crianças hemiplégicas espásticas com comprometimento motor leve. A locomoção dessas crianças geralmente é avaliada observacionalmente com escalas padronizadas, como a *Physicians Rating Scale (PRS)*⁵⁻⁷ e o *Gross Motor Function Measure (GMFM)*^{6,8-11}, ou por documentação de variáveis biomecânicas, como parâmetros têmporo-espaciais de marcha^{10,12,13}. Independente do método, um recurso auxiliar nesse processo é a câmera digital, que permite que o desempenho do indivíduo seja registrado para posterior análise.

No contexto da pesquisa científica, a avaliação da locomoção pauta-se tipicamente em parâmetros cinemáticos (i.e., deslocamentos angulares das articulações e variáveis têmporo-espaciais)¹⁴⁻¹⁷ e cinéticos (i.e., momentos articulares, potências articulares e força de reação do solo)^{17,18} que caracterizam as estratégias motoras utilizadas. Tal análise é feita por sistemas computadorizados de análise de movimento e plataformas de força. No contexto clínico, a avaliação da marcha raramente usa parâmetros cinéticos, visto que sistemas de análise de movimento acoplados a plataformas de força não estão disponíveis nos ambulatórios da rede pública e particular, com exceção dos grandes centros de pesquisa. Entretanto, a obtenção de medidas cinemáticas, em particular de parâmetros temporais, tem sido cada vez mais viabilizada e acessível em ambiente terapêutico pela análise de vídeos obtidos com câmeras digitais. São exemplos desses parâmetros: a duração das fases de apoio e balanço bem como a duração total do ciclo da marcha.

Os parâmetros temporais da marcha são indicadores relevantes de desempenho dessa atividade funcional¹⁹. Por exemplo, a emergência e proficiência no desenvolvimento da marcha são marcadas por modificações em variáveis biomecânicas, dentre as quais estão os parâmetros temporais da marcha^{20,21}.

Na emergência da marcha independente, lactentes exibem passos curtos e instáveis, base de suporte alargada, maiores amplitudes de flexão de quadril e joelho na fase de balanço, além de reduzida velocidade de marcha^{21,22}. À medida que o padrão de marcha torna-se maduro, a velocidade e tempo da fase de balanço aumentam¹¹, enquanto o tempo do apoio duplo diminui^{11,21,22}. Além disso, os parâmetros temporais permitem a diferenciação entre padrões de marcha considerados normais e patológicos, como o de crianças com PC^{2,23}. A marcha de crianças com PC do tipo hemiplegia espástica, comparada à de crianças normais, é caracterizada por menores velocidade e tempo de apoio simples no membro mais comprometido, além de reduzido comprimento do passo e assimetria entre membros^{2,24,25}. Essas alterações provavelmente devem-se à fraqueza muscular e destreza comprometida no hemicorpo afetado, o que pode dificultar transferência e descarga de peso no membro inferior acometido durante a marcha². Os treinos de fortalecimento e destreza de membros inferiores, associados à prática funcional da deambulação, são muitas vezes foco das terapêuticas com essas crianças, visando provocar mudanças nos parâmetros temporais de marcha (e.g. aumentar duração da fase de apoio no membro plégico para melhorar simetria entre membros). Em acréscimo, alterações nos parâmetros temporais são importantes indicadores do nível de comprometimento motor da criança com PC^{8,26}. Portanto, a relação desses parâmetros com o nível de desempenho na marcha parece bem estabelecida na literatura e, ademais, são parâmetros possíveis de se documentar clinicamente.

Para se obterem parâmetros temporais da marcha estratificados por fase, é necessária a determinação de pelo menos dois eventos de referência no ciclo da marcha, tais como contato inicial e retirada dos dedos. Esses eventos delimitam as fases de apoio e o balanço de um ciclo da marcha²⁷⁻²⁹. O uso de plataformas de força^{27,28,30,31} e de sistemas computadorizados de análise do movimento têm sido considerados métodos de alta precisão para a definição dos eventos da marcha e descrição de seus parâmetros temporais¹. Contudo, esses métodos possuem procedimentos complexos, sendo geralmente restritos ao ambiente laboratorial¹. Ambos os equipamentos possuem custo elevado e limitações quanto à aplicabilidade clínica. A busca por métodos alternativos que possam prover praticidade e fornecer novas opções de medidas válidas para pautar a prática clínica torna-se uma necessidade na reabilitação motora³⁰.

Uma alternativa para determinação dos eventos de marcha é a inspeção visual de vídeos feitos por câmeras digitais²⁷. Esse equipamento possui

baixo custo e não necessita de local ou condições especiais de instalação¹. No entanto, existem estudos que argumentam sobre suas limitações para análise da marcha, como longo tempo despendido na análise, falhas humanas e imprecisão na inspeção visual devido a imperfeições nos procedimentos de filmagem^{17,29}. Alguns estudos apontam um aumento significativo da consistência dos dados quando a análise dos vídeos utiliza recursos que permitam a visualização quadro a quadro do movimento, em câmera lenta^{1,3}.

Além de largamente utilizados clinicamente, os vídeos capturados por câmeras digitais são também usados em pesquisas de validação de escalas de análise funcional da marcha^{5,32,33}. Nesses estudos, as filmagens de câmeras digitais foram utilizadas para pontuação de escalas observacionais de marcha e, posteriormente, os escores obtidos foram comparados com métodos mais sofisticados de análise tridimensional de marcha, como o *Qualisys Pro-Reflex*[®]. Apesar da ampla utilização, o método de análise de marcha por vídeos de câmera digital carece de evidência que suporte sua validade em grupos específicos de indivíduos.

A validade das medidas de parâmetros da marcha deve ser conhecida para que eles possam integrar procedimentos de avaliação. Diferenças encontradas nestes parâmetros antes e após um tratamento podem decorrer dos efeitos terapêuticos, dos erros de medida ou de ambos. O conhecimento da magnitude da taxa de erro das mensurações pode minimizar os riscos de super ou subestimação dos resultados de uma intervenção; é necessário identificar se os efeitos do tratamento superam os erros de medida³⁴.

O objetivo deste estudo foi avaliar a validade de um método clínico para quantificação do tempo das fases de apoio, balanço e ciclo total da marcha de lactentes com desenvolvimento motor normal e de crianças com hemiplegia espástica. O método clínico envolveu a quantificação das medidas temporais supracitadas por análise de vídeos de câmera digital. As mesmas medidas foram quantificadas utilizando-se vídeos obtidos concomitantemente por um sistema tridimensional de análise de movimento (*Qualisys Pro-Reflex* – o qual será chamado de método laboratorial) para servirem de referência para análise da validade do método clínico. O intuito de validar o método clínico proposto para populações com padrões de marcha distintos (lactentes em fase de maturação e crianças hemiplégicas com padrão de marcha maduro, porém adaptado à condição patológica) foi o fato de ambos estarem sujeitos a acentuadas mudanças. O primeiro devido ao processo

natural de desenvolvimento e o último devido a intervenções terapêuticas. Dessa forma, a marcha de lactentes e crianças hemiplégicas tem sido avaliada com câmera digital nos contextos clínico e científico, ressaltando a importância de validação desse método.

● Método

Amostra

Participaram deste estudo 11 lactentes com desenvolvimento motor normal, em fase de aquisição de marcha (grupo 1), e oito crianças com hemiplegia espástica (grupo 2). Tanto os lactentes quanto as crianças hemiplégicas foram selecionados por conveniência. Os pais dos lactentes foram informados acerca do estudo no momento da consulta de seus filhos com o médico pediatra (colaborador da pesquisa). Os que demonstraram interesse em participar do estudo foram contactados pelos pesquisadores responsáveis e esclarecidos sobre seus objetivos e procedimentos. As crianças com PC foram recrutadas em serviços de reabilitação conveniados com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil, e/ou a partir das listas de espera desses e da comunidade local. Seus pais ou responsáveis também foram informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo. Em ambos os casos, os pais ou responsáveis que concordaram com a participação de suas crianças no estudo assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

Os critérios de inclusão do grupo 1 foram nascimento a termo, ausência de complicações nos períodos pré, peri e pós-natais e desenvolvimento motor grosso normal segundo o teste *Alberta Infant Motor Scale (AIMS)*³⁵. Quanto ao grupo 2, os critérios de inclusão foram diagnóstico médico de paralisia cerebral hemiplégica espástica, idade entre seis e 12 anos, capacidade de entender comandos simples e deambular sem auxílio (classificadas nos níveis I e II do *Gross Motor Function Classification System - GMFCS*)³⁶, sugerindo comprometimento motor leve. Além disso, as crianças com PC não poderiam ter aplicado toxina botulínica, colocado gesso seriado, ou ter sido submetidas a cirurgias ortopédicas até seis meses antes do início da pesquisa.

Os procedimentos utilizados para as coletas de dados dos lactentes e das crianças hemiplégicas foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, sob os pareceres ETIC n° 609 / 07 e ETIC n° 585/08.

Instrumentação e procedimentos

As crianças selecionadas para participação no estudo compareceram ao Laboratório de Análise de Movimento (LAM) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG acompanhadas de seus pais ou responsáveis para coleta de dados. Inicialmente, foram fixados marcadores passivos reflexivos nas cabeças do primeiro e quinto metatarsos e no calcâneo para permitir rastreamento dos movimentos do antepé e retopé necessários para delimitação dos eventos de marcha. Nos lactentes, os marcadores foram posicionados no membro inferior direito e, nas crianças hemiplégicas, no membro inferior afetado.

Em seguida, as crianças foram solicitadas a andar descalças, sem apoio e/ou órteses, em velocidade natural, por uma distância de cinco metros de comprimento. O local definido para a deambulação estava dentro do campo visual das seis câmeras do sistema de análise de movimento *Qualisys ProReflex* MCU (*QUALISYS MEDICAL AB*®, 411 12 Gothenburg, Suécia) e da câmera digital (Filmadora DVD Sony DCR/DVD 405). A câmera digital foi posicionada sobre um tripé, a uma distância perpendicular de dois metros da área de deambulação, com a finalidade de registrar a marcha dos participantes no plano sagital. Cada criança deambulou de dez a 20 vezes pelo espaço estabelecido, dependendo de sua disposição, para tentar garantir um mínimo de três ciclos adequados para análise. Para serem adequadas para análise, as filmagens deveriam evidenciar todos os marcadores do pé da criança.

Foi construído um circuito de luz (led) infravermelha com lâmpada pequena, colocado dentro do campo visual da câmera digital e das câmeras do *Qualisys ProReflex*®. Esse procedimento permitiu a sincronização entre os dois sistemas. Enquanto a câmera digital utilizada no estudo possibilitava a delimitação de 30 quadros por segundo (30 Hz), as câmeras do *Qualisys*® permitiam a delimitação de 120 quadros por segundo (120 Hz). Além de ser um sistema de alta confiabilidade, o *Qualisys*® apresenta

alta precisão, o que permite que movimentos rápidos sejam medidos com exatidão³⁷.

Após a coleta dos dados, duas pesquisadoras, cuja confiabilidade interexaminadores está descrita na Tabela 1, analisaram, de forma independente, os vídeos obtidos tanto pela câmera digital quanto pelo sistema *Qualisys*®. A garantia de que os mesmos ciclos estavam sendo analisados nos dois sistemas foi assegurada pela sincronia obtida pelo circuito de led.

Para um mesmo ciclo da marcha selecionado, foram registrados manualmente os momentos (em segundos) nos quais os eventos contato inicial 1, retirada dos dedos e contato inicial 2 ocorreram em ambos os sistemas. Para ambos os grupos, o contato inicial 1 foi definido como o primeiro instante no qual qualquer parte do pé tocava o solo; a retirada dos dedos foi definida como o instante anterior ao qual a última parte do pé, ainda em contato com o solo, era liberada, e o contato inicial 2 foi definido como o novo contato de qualquer parte do pé no solo.

Redução dos dados

As variáveis de desfecho do presente estudo foram as durações das fases de apoio, balanço e do ciclo total da marcha. A fase de apoio foi calculada pela subtração entre o momento de ocorrência da retirada dos dedos e o do contato inicial 1. A fase de balanço, por sua vez, pela subtração entre o momento do contato inicial 2 e o da retirada dos dedos. Por fim, o ciclo total da marcha foi calculado pela subtração entre o momento do contato inicial 2 e o do contato inicial 1.

Em média, seis ciclos de marcha (mínimo de três e máximo de nove) foram analisados para cada uma das 19 crianças, totalizando 123 ciclos. Esse número corresponde a todos os ciclos disponíveis para análise, uma vez que foram eliminados os vídeos nos quais as crianças se desviaram do plano sagital e/ou a sincronia entre a câmera digital e o *Qualisys* não foi obtida por falha no circuito de led. Para cada ciclo selecionado, foram computados os valores de durações das fases de apoio, balanço e do ciclo total da marcha. Em seguida, foi calculada a média de cada variável para cada criança. O procedimento foi

Tabela 1. Confiabilidade interexaminadores das durações de variáveis temporais da marcha na análise dos vídeos obtidos pela câmera digital e sistema *Qualisys Pro-Reflex*.

Confiabilidade (CCI) Interexaminadores Câmera Digital × Qualisys					
Fase apoio Câmera	Fase apoio Qualisys	Fase balanço Câmera	Fase balanço Qualisys	Ciclo total Câmera	Ciclo total Qualisys
0,99*	0,99*	0,59**	0,88*	1,00*	1,00*

*Concordância excelente (CCI=0,81 a 1)²⁸; **Concordância moderada (CCI=0,41 a 0,60)²⁸. Os valores de CCIs foram arredondados para manter duas casas decimais.

realizado tanto para a filmagem por câmera digital (método clínico) quanto para o sistema *Qualisys* (método laboratorial).

Análise estatística

A concordância entre os valores obtidos para as variáveis temporais da marcha via análise por vídeo da câmera digital e via sistema *Qualisys* foi calculada pelo Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI) para cada grupo utilizando-se o *software Statistical Package for Social Sciences (SPSS®)*, versão 15.0. Foi considerado um nível de significância de $\alpha=0,05$. O erro padrão da medida (EPM) foi calculado para cada variável de desfecho (i.e., durações das fases de apoio, balanço e do ciclo total da marcha) obtida de cada instrumento.

Resultados

O grupo 1 foi composto por 11 lactentes com desenvolvimento motor normal em fase de aquisição de marcha, sendo seis do sexo masculino (54,5%) e cinco do sexo feminino (45,5%), com média de idade de $1,03 \pm 0,07$ anos. O grupo 2 foi composto por oito crianças com hemiplegia espástica, sendo cinco do sexo masculino (62,5%) e três do sexo feminino (37,5%), com média de idade de $7,5 \pm 1,30$ anos. Nesse grupo, uma criança (12,5%) tinha o lado

esquerdo acometido, e sete (87,5%) tinham o lado direito. Em relação à gravidade do comprometimento motor, cinco crianças foram classificadas como nível I (62,5%) e três como nível II (37,5%) do GMFCS.

Os valores de média e desvio padrão obtidos para cada uma das variáveis de desfecho estão descritos na Tabela 2.

Os valores de CCI das medidas de duração das fases de apoio, balanço e ciclo total da marcha para cada um dos grupos, bem como os EPMs para cada variável e instrumento, encontram-se descritos na Tabela 3. Os valores de referência do CCI utilizados neste estudo foram os propostos por Bartko³⁸: concordâncias fraca < 0,40; moderada = 0,41 a 0,60; boa = 0,61 a 0,80; excelente = 0,81 a 1,00. O grupo 1 (lactentes) apresentou concordância excelente para durações da fase de apoio e do ciclo total, bem como concordância fraca para duração da fase de balanço. Quanto ao grupo 2 (PC), a concordância foi excelente para as três variáveis analisadas. A magnitude de grande parte dos índices CCI revela concordância excelente entre as medidas realizadas pela câmera digital e pelo sistema *Qualisys*, exceto para a fase de balanço no grupo de lactentes, que obteve coeficiente fraco.

Quanto aos EPMs, foram encontrados valores menores que 0,02 segundos para todas as variáveis de desfecho em ambos os instrumentos de medida.

Tabela 2. Médias e desvios padrão das durações das variáveis temporais da marcha por grupo.

	Médias e Desvios Padrão Câmera Digital × Qualisys					
	Fase Apoio Câmera	Fase Apoio Qualisys	Fase Balanço Câmera	Fase Balanço Qualisys	Ciclo Total Câmera	Ciclo Total Qualisys
Grupo 1 (Lactentes)	0,472 (0,129)	0,524 (0,110)	0,315 (0,016)	0,274 (0,032)	0,788 (0,138)	0,798 (0,126)
Grupo 2 (PC)	0,630 (0,117)	0,631 (0,087)	0,480 (0,042)	0,459 (0,065)	1,110 (0,142)	1,090 (0,133)

Números indicam: média e (desvio padrão), em segundos. PC=Paralisia cerebral.

Tabela 3. Coeficientes de Correlação Intraclasse (CCIs) e erros padrão das medidas (EPMs) para variáveis temporais da marcha obtidas pela câmera digital e sistema *Qualisys Pro-Reflex*.

	Duração da Fase de Apoio		Duração da Fase de Balanço		Duração do Ciclo Total	
	Câmera Digital	Sistema Qualisys	Câmera Digital	Sistema Qualisys	Câmera Digital	Sistema Qualisys
Grupo 1 (Lactentes)	0,93*		0,35**		0,99*	
Grupo 2 (PC)	0,93*		0,91*		0,96*	
EPM†	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

*Concordância excelente (CCI=0,81 a 1,00)²⁸; **Concordância fraca (CCI<0,40)²⁸; † EPM em segundos. Os valores de CCIs foram arredondados para manter duas casas decimais.

● Discussão

No presente estudo, foi observada concordância excelente ($CCI > 0,90$) entre as medidas realizadas por câmera digital e pelo sistema *Qualisys* na quantificação de variáveis temporais da marcha tanto de lactentes com desenvolvimento normal quanto de crianças hemiplégicas. Os resultados sugerem que a câmera digital é um instrumento válido para quantificação clínica de pelo menos dois parâmetros temporais da marcha de crianças com e sem deficiência.

Especificamente no grupo de lactentes, o coeficiente apresentou-se fraco ($CCI = 0,35$) na duração da fase de balanço. Essa baixa concordância entre a medida de duração do balanço obtida pelos métodos clínico (câmara digital) e laboratorial (sistema *Qualisys*) pode ser explicada se considerarmos as particularidades do período de aquisição da marcha. A duração da fase de balanço é um indicador de estabilidade² e, por se tratar de um período marcado por passos irregulares e curtos, a duração da fase de balanço na aquisição da marcha em lactentes é muito inferior à da fase de apoio, se comparada ao padrão de marcha maduro²⁰. A tecnologia de vídeo da câmera digital utilizada neste estudo, que possibilita a delimitação de apenas 30 quadros por segundo, possivelmente dificultou a detecção do momento exato no qual ocorreram os eventos de marcha necessários para o cálculo dessa fase de relativa curta duração no grupo de lactentes. O mesmo não ocorreu com os dados provenientes do sistema *Qualisys*, que delimita 120 quadros por segundo. Como a precisão temporal da análise por vídeo na câmera digital é menor, esse método pode ser problemático na delimitação de eventos de curta duração. A mesma justificativa pode ser atribuída ao menor valor da confiabilidade interexaminadores alcançada para a duração da fase de balanço na filmagem da câmera digital ($CCI = 0,59$).

Outros autores utilizaram os mesmos instrumentos do presente estudo, porém com finalidades distintas. Araújo et al.¹ desenvolveram escala observacional constituída de parâmetros cinemáticos representativos das alterações da marcha de crianças hemiplégicas e diplégicas espásticas e testaram sua validade comparando os resultados obtidos pela análise de vídeo com dados do sistema *Qualisys*. A escala abordava as articulações tornozelo/pé, joelho, quadril e pelve. Foi encontrada correlação muito boa para joelho ($r = 0,64$, $p < 0,05$) e boa para o complexo tornozelo/pé ($r = 0,59$, $p < 0,05$). Os demais itens apresentaram correlação de razoável a fraca ou não demonstraram correlação significativa com a mensuração pelo *Qualisys*.

Da mesma forma, Dickens e Smith⁷ analisaram a validade de uma escala visual de marcha em crianças com hemiplegia espástica comparando análise de vídeos com análise tridimensional. Os resultados revelaram que, para os quatro parâmetros cinemáticos estudados, houve divergência entre os dois métodos de análise. A concordância para a posição do quadril e joelho na fase de balanço foi pobre ($kappa = -0,11$ a $0,07$), enquanto, na fase de apoio, variou de razoável a moderada ($kappa = 0,21$ a $0,51$).

A concordância dos dados analisados por filmagens de câmera digital e por sistemas tridimensionais de análise de movimento de estudos anteriores acima citados não foi tão alta se comparada à do presente estudo. Distingões nas magnitudes dos coeficientes podem ser explicadas pelas diferentes características dos parâmetros analisados. Enquanto Araújo et al.¹ e Dickens e Smith⁷ compararam análise visual e tridimensional da cinemática articular, o presente estudo utilizou variáveis temporais, determinadas a partir da análise de movimentos bidimensionais. Por se tratarem de variáveis mais complexas, específicas e que exigem cálculos mais refinados, de modo geral, os valores dos parâmetros que quantificam a cinemática articular não apresentaram boa correspondência nos dois métodos. Em contrapartida, os parâmetros temporais do presente estudo são variáveis mais globais e mais simples de serem determinadas, podendo justificar a boa concordância encontrada entre as análises por vídeos advindos de câmera digital e do sistema *Qualisys*.

Os valores de EPMS apresentaram valores iguais ou menores que 0,02 segundos em ambos os instrumentos de medida, tanto para a determinação da duração das fases de apoio e balanço quanto para a determinação da duração do ciclo total da marcha. O EPM nos permite quantificar a extensão na qual um instrumento ou teste fornece mensurações acuradas, de forma que baixos valores de EPM indicam alto nível de precisão da medida e vice-versa. Em particular, os resultados encontrados sugerem que podemos esperar um erro máximo de $\pm 0,02$ segundos nas estimativas de duração do ciclo da marcha e das fases de apoio e balanço tanto com o método clínico quanto com o laboratorial. Encontramos um valor de 0,47 segundos de duração da fase de apoio de lactentes utilizando-se a câmera digital. Como o EPM dessa medida foi de 0,02 segundos, podemos dizer, com 95% de confiança, que a duração média real dessa fase encontra-se entre 0,45 e 0,49 segundos, indicando um erro relativo de apenas 5% em torno do valor encontrado. O mesmo raciocínio se aplica às outras medidas. Em suma, os valores de EPM encontrados neste estudo sugerem que as medidas

realizadas, tanto usando a câmera digital quanto o *Qualisys*, são estáveis e minimamente passíveis de erro.

No que tange às limitações, embora nossos resultados suportem o uso da câmera digital para avaliação da marcha de crianças no contexto clínico, esse instrumento foi utilizado em um ambiente laboratorial, no qual vários cuidados foram assegurados no intuito de garantir sua validade interna, incluindo treinamento dos avaliadores, colocação dos marcadores sempre pelo mesmo avaliador e padronização do ambiente de coleta. Possivelmente, no ambiente clínico, onde alguns desses cuidados podem passar despercebidos, os valores de concordância e EPMs podem ser menos satisfatórios, indicando a necessidade de adequar e padronizar os procedimentos de avaliação da marcha com a câmera digital.

Os resultados deste estudo revelaram que análise de vídeos documentados por câmera digital é um procedimento válido para determinação das fases gerais da marcha de lactentes com desenvolvimento normal e de crianças hemiplégicas e, portanto, adequado para uso clínico. Os parâmetros temporais avaliados neste estudo seriam difíceis de ser mensurados e identificados sem algum tipo de recurso de vídeo gravação. A câmera digital permite visualização quadro a quadro e em velocidade lenta, possibilitando inclusive retornar a filmagem e observar o mesmo evento várias vezes. Profissionais da área de reabilitação poderão fazer uso desse método nos procedimentos de avaliação e acompanhamento terapêutico de forma criteriosa, levando em consideração a taxa de erro existente na determinação de fases de curta duração.

● Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento (CDS – Programa Pesquisador Mineiro - processo nº 00259-10); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de Doutorado, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de iniciação científica e fomento concedidos. Ao Luiz Megale, colaborador; à Tatiana Pessoa da Silva Pinto, que disponibilizou os dados do grupo de crianças com paralisia cerebral, e aos pais, por consentiram a participação voluntária de seus filhos no presente estudo.

● Referências

1. Araújo PA, Kirkwood RN, Figueiredo EM. Validade e confiabilidade intra e interexaminadores da Escala Observacional da Marcha para crianças com paralisia cerebral espástica. *Rev Bras Fisioter.* 2009;13(3):267-73. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552009005000033>
2. Dini PD, David AC. Repeatability of spatiotemporal gait parameters: comparison between normal children and children with hemiplegic spastic cerebral palsy. *Rev Bras Fisioter.* 2009;13(3):215-22. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552009005000031>
3. Harris GF, Wertsch JJ. Procedures for gait analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75(2):216-25. PMID:8311681.
4. Tanaka MS, Luppi A, Morya E, Fávero FM, Fontes SV, Oliveira ASB. Principais instrumentos para a análise da marcha de pacientes com distrofia muscular de Duchenne. *Rev Neurocienc.* 2007;15(2):153-9.
5. Wren TAL, Rethlefsen SA, Healy BS, Do KP, Dennis SW, Kay RM. Reliability and validity of visual assessments of gait using a modified physician rating scale for crouch and foot contact. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(5):646-50. PMID:16199948. <http://dx.doi.org/10.1097/01.mph.0000165139.68615.e4>
6. Curry VCR, Mancini MC, Melo AP, Fonseca ST, Sampaio RF, Tirado MGA. Efeitos do uso de órtese na mobilidade funcional de crianças com paralisia cerebral. *Rev Bras Fisioter.* 2006;10(1):67-74. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552006000100009>
7. Dickens WE, Smith MF. Validation of visual gait assessment scale for children with hemiplegic cerebral palsy. *Gait Posture.* 2006;23(1):78-82 PMID:16311198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.12.002>
8. Damiano DL, Abel MF. Relation of gait analysis to gross motor function in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 1996;38(5):389-96. PMID:8698147. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.1996.tb15097.x>
9. Provost B, Dieruf K, Burtner PA, Phillips JP, Bernitsky-Beddingfield A, Sullivan KJ, et al. Endurance and gait in children with cerebral palsy after intensive body weight-supported treadmill training. *Pediatr Phys Ther.* 2007;19:2-10. PMID:17304092. <http://dx.doi.org/10.1097/01.ppt.0000249418.25913.a3>
10. Oeffinger D, Gorton G, Bagley A, Nicholson D, Barnes D, Calmes J, et al. Outcome assessments in children with cerebral palsy, Part I: descriptive characteristics of GMFCS Levels I to III. *Dev Med Child Neurol.* 2007;49:172-180. PMID:17355472. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00172.x>
11. Delalić A, Kapidžić-Duraković S, Tahirović H. Assessment of motor function score according to the GMFM-88 in children with cerebral palsy after postoperative rehabilitation. *Acta Med Acad.* 2010;39:21-29.
12. Galli M, Cimolin V, Rigoldi C, Tenore N, Albertini G. Gait patterns in hemiplegic children with Cerebral Palsy: Comparison of right and left hemiplegia. *Res Dev Disabil.* 2010;31(6):1340-5. PMID:20674265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2010.07.007>
13. Zipp GP, Winning S. Effects of Constraint-Induced Movement Therapy on Gait, Balance and, Functional

- Locomotor Mobility. *Pediatr Phys Ther.* 2012; 24(1):64-8. PMID:22207472. <http://dx.doi.org/10.1097/PEP.0b013e31823e0245>
14. Öberg T, Karsznia A, Öberg K. Basic gait parameters: reference data for normal subjects, 10-79 years of age. *J Rehabil Res Dev.* 1993;30(2):210-23. PMID:8035350.
 15. Wall JC, Scarbrough J. Use of a multimemory stopwatch to measure the temporal gait parameters. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997;25(4):277-81. PMID:9083947.
 16. Sutherland DH, Olshen R, Cooper L, Woo SL. The development of mature gait. *J Bone Joint Surg.* 1980;62:336-53. PMID:7364807.
 17. Chung TM. Avaliação cinética e cinemática da marcha de adultos do sexo masculino. *Acta Fisiátrica.* 2000;7(2):61-7.
 18. Russell S, Bennett B, Sheth P, Abel M. The gait of children with and without cerebral palsy: work, energy, and angular momentum. *J Appl Biomech.* 2011;27:99-107. PMID:21576717.
 19. Lianza S, Gomes C. Consenso Nacional sobre Espasticidade. Diretrizes para diagnósticos e tratamentos. São Paulo: Sociedade Brasileira de Medicina Física e Reabilitação; 2001.
 20. Adolph KE. Motor/physical development: locomotion. In: Haith MM, Benson JB, editors. *Encyclopedia of infant and early childhood development.* San Diego: Academic Press; 2008. p. 359-73. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-012370877-9.00104-3>
 21. Adolph K, Vereijken B, Shrout PE. What Changes in Infant Walking and Why. *Child Dev.* 2003;74(2):475-497. PMID:12705568. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-8624.7402011>
 22. Ivanenko YP, Dominicini N, Lacquaniti F. Development of Independent Walking in Toddlers. *Exerc Sport Sci Rev.* 2007;35(2):67-73. PMID:17417053. <http://dx.doi.org/10.1249/JES.0b013e31803eafa8>
 23. Kirkwood RN, Franco RLLD, Furtado SC, Barela AMF, Deluzio KJ, Mancini MC. Frontal plane motion of the pelvis and hip during gait stance discriminates children with diplegia levels I and II of the GMFCS. *ISRN Pediatr.* 2012;2012:1-10. PMID:22792478 PMID:PMC3389695. <http://dx.doi.org/10.5402/2012/163039>
 24. Norlin R, Odenrick P. Development of gait in spastic children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 1986;6(6):674-80. <http://dx.doi.org/10.1097/01241398-198611000-00006>
 25. Wang X, Wang Y. Gait analysis of children with spastic hemiplegic cerebral palsy. *Neural Regen Res.* 2012;7(20):1578-1584.
 26. O'Malley JM, Abel MF, Damiano LD. Fuzzy clustering of children with cerebral palsy based on temporal-distance gait parameters. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 1997;5(4):300-9. PMID:9422455. <http://dx.doi.org/10.1109/86.650282>
 27. Hreljac A, Marshall RN. Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data. *J Biomech.* 2000;33(6):783-6. [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00014-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00014-2)
 28. O'Connor CM, Thorpe SK, O'Malley MJ, Vaughan CL. Automatic detection of gait events using kinematic data. *Gait Posture.* 2007;25(3):469-74. PMID:16876414. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.05.016>
 29. Zeni JA Jr, Richards JG, Higginson JS. Two simple methods for determining gait events during treadmill and overground walking using kinematic data. *Gait Posture.* 2008;27(4):710-4. PMID:17723303 PMID:PMC2384115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.07.007>
 30. Catalfamo P, Moser D, Ghousayni S, Ewins D. Detection of gait events using F-Scan in-shoe pressure measurement system. *Gait Posture.* 2008;28(3):420-26. PMID:18468441. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.01.019>
 31. Desailly E, Daniel Y, Sardain P, Lacouture P. Foot contact event detection using kinematic data in cerebral palsy children and normal adults gait. *Gait Posture.* 2009;29(1):76-80. PMID:18676147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.06.009>
 32. Brown CR, Hillman SJ, Richardson AM, Herman JL, Robb JE. Reliability and validity of the Visual Gait Assessment Scale for children with hemiplegic cerebral palsy when used by experienced and inexperienced observers. *Gait Posture.* 2008;27(4):648-52. PMID:17913500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.08.008>
 33. Wren TAL, Do KP, Hara R, Dorey FJ, Kay RM, Otsuka NY. Gillette Gait Index as a gait analysis summary measure: comparison with qualitative visual assessments of overall gait. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(7):765-8. PMID:17878782. <http://dx.doi.org/10.1097/BPO.0b013e3181558ade>
 34. McGinley JL. The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: A systematic review. *Gait Posture.* 2009;29(3):360-9. PMID:19013070. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.09.003>
 35. Piper MC, Darrach J. Motor assessment of the developing infant. Philadelphia: W.B.Saunders Company; 1994.
 36. Palisano RJ, Rosenbaum P, Bartlett DJ, Livingston MH. Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Dev Med Child Neurol.* 2008;50(10):744-50. PMID:18834387. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03089.x>
 37. Qualisys Medical AB. Qualisys Track Manager User Manual. Gothenburg; 2004.
 38. Bartko JJ. The Intraclass Correlation Coefficient as a measure of reliability. *Psychol Rep.* 1966;19:3-11. PMID:5942109. <http://dx.doi.org/10.2466/pr0.1966.19.1.3>

Correspondence

Marisa C. Mancini

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
 Colegiado de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação
 Av. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha
 CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil
 e-mail: mcmancini@ufmg.br, marisacmancini@gmail.com