

## VARIÁVEIS ESPAÇO-TEMPORAIS DA MARCHA DE CRIANÇAS COM PARALISIA CEREBRAL SUBMETIDAS A ELETROESTIMULAÇÃO NO MÚSCULO TIBIAL ANTERIOR

JERÔNIMO BP<sup>1</sup>, SILVEIRA JA<sup>1</sup>, BORGES MBS<sup>1</sup>, DINI PD<sup>2</sup> E DAVID AC<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Fisioterapia, Universidade Católica de Brasília, Taguatinga, DF - Brasil

<sup>2</sup> Faculdade de Educação Física, Universidade de Brasília, Brasília, DF - Brasil

Correspondência para: Maria Beatriz Silva e Borges, SQS 404, Bloco T, Apto 202, Asa Sul, CEP 70238-200, Brasília, DF - Brasil, e-mail: mariab@ucb.br

Recebido: 15/05/2006 - Revisado: 15/02/2007 - Aceito: 28/06/2007

### RESUMO

**Objetivo:** Este estudo teve como objetivo descrever variáveis espaço-temporais da marcha de crianças de 4 a 5 anos de idade com paralisia cerebral (PC) do tipo hemiplegia espástica, antes e após sessões de eletroestimulação do músculo tibial anterior do dimídio plégico. **Metodologia:** Cinco crianças foram submetidas à eletroestimulação durante 12 sessões (três vezes na semana). Para a coleta dos dados biomecânicos, foi realizada análise da marcha através do sistema *Peak Motus* versão 7.0 com duas câmeras de vídeo SVHS com taxa de aquisição de 60 Hz. Para reconstrução tridimensional dos movimentos, foi utilizado o método *Direct Linear Transformation* (DLT). **Resultados:** Após a intervenção, todas as crianças apresentaram diferenças menores entre o comprimento dos passos do dimídio plégico e não-plégico ( $p=0,009$ ). Observou-se o aumento no comprimento do ciclo em quatro crianças. Duas crianças tiveram aumento da cadência, velocidade e tempo de apoio simples do dimídio plégico. **Conclusões:** Foi verificada a melhoria da simetria da marcha relacionada ao comprimento do passo antes e após a intervenção, embora o aumento nas variáveis espaço-temporais não tenha ocorrido da mesma maneira para todas as crianças. Apesar das dificuldades em se obterem amostras maiores e mais homogêneas em estudos desse tipo, os dados sugerem a necessidade de identificação e maior controle das variáveis intervenientes no tratamento e na marcha de crianças portadoras de paralisia cerebral.

**Palavras-chave:** eletroestimulação; paralisia cerebral; hemiplegia; criança; marcha.

### ABSTRACT

#### **Spatiotemporal gait variables of children with cerebral palsy undergoing electrostimulation in the anterior tibial muscle**

**Objective:** This study had the objective of describing spatiotemporal gait variables of four to five-year-old children with spastic hemiplegic cerebral palsy, before and after sessions of electrostimulation of the anterior tibial muscle on the paralyzed side. **Method:** Five children underwent 12 sessions of electrostimulation (three times a week). To collect biomechanical data, the gait was analyzed using the *Peak Motus* system, version 7.0, with two S-VHS video cameras with an acquisition rate of 60 Hz. Three-dimensional reconstruction of the movements was performed using the *direct linear transformation* (DLT) method. **Results:** Following the intervention, all the children presented smaller differences in step length between the paralyzed and non-paralyzed sides ( $p=0.009$ ). Four children presented increased cycle amplitude. Two children presented increased cadence, speed and single support time on the paralyzed side. Thus, it was found that there was an improvement in gait symmetry in relation to the step lengths seen before and after the intervention, although the increase in the spatiotemporal variables did not occur in the same way for all the children. **Conclusion:** Despite the difficulties in defining larger and more homogeneous samples for studies of this type, the present data suggest the need for identification of and greater control over the variables that affect gait and its treatment among children with cerebral palsy.

**Key words:** electrostimulation; cerebral palsy; hemiplegia; children; gait.

## INTRODUÇÃO

A paralisia cerebral (PC), definida como uma encefalopatia crônica não progressiva da infância, é uma desordem do movimento e da postura, provocada por uma lesão do cérebro imaturo<sup>1</sup>. A hemiplegia se caracteriza por déficit motor e espasticidade unilateral, atingindo os membros superior e inferior contralaterais ao hemisfério cerebral afetado. A criança hemiplégica movimenta-se utilizando preferencialmente o hemicorpo normal e apresenta déficit no alinhamento corporal, dificultando a transferência de peso sobre o lado afetado<sup>2,3</sup>. O desequilíbrio do tônus muscular prejudica o desenvolvimento motor, resultando em encurtamento da musculatura espástica e fraqueza da musculatura não espástica antagonista<sup>4,5</sup>.

A eletroestimulação neuromuscular é uma técnica terapêutica que tem como finalidade produzir contrações musculares. Muitos estudos sobre eletroestimulação têm sido conduzidos com adultos, demonstrando a efetividade no tratamento da atrofia por desuso, bem como na manutenção da amplitude de movimento e reeducação muscular<sup>5,6,7,8,9</sup>. A razão neurofisiológica para a efetividade da estimulação elétrica sobre o antagonista do músculo espástico parece residir no princípio da inibição recíproca, ou seja, ao estimular um grupo de flexores, ocorre redução imediata do tônus dos extensores. A partir dessa redução, podem-se obter movimentos voluntários que estavam inibidos. A repetição desses movimentos gera, por mecanismo de retroalimentação, novos padrões motores no sistema nervoso central (SNC), que podem ser utilizados com objetivos funcionais<sup>2</sup>.

Essa técnica tem sido empregada, também, como uma forma de tratamento para melhorar a marcha em crianças com PC. No entanto, os estudos encontrados investigando os efeitos da eletroestimulação na marcha de crianças geralmente têm utilizado uma pequena amostra de crianças com uma ampla faixa etária<sup>8,10,11,12,13</sup>. Muitas vezes, apesar dos sujeitos receberem o mesmo diagnóstico clínico, apresentam nível de comprometimento motor e histórico clínico distintos. Essa heterogeneidade tem tornado difíceis as generalizações<sup>12</sup>, e resultados contraditórios têm sido encontrados<sup>13</sup>.

Os parâmetros mais utilizados para verificar a efetividade da eletroestimulação na melhoria da marcha da criança têm sido as curvas provenientes da cinemática angular e da dinâmica. Contudo, diversos autores têm demonstrado que os parâmetros espaço-temporais trazem informações importantes sobre a marcha em crianças portadoras de PC<sup>13,14</sup>. Esses parâmetros são facilmente calculáveis a partir da videografia, sem a necessidade de determinação de centros articulares como no cálculo de ângulos e momentos articulares.

O objetivo deste estudo foi descrever as variáveis espaço-temporais da marcha em um grupo de crianças na faixa etária de 4 a 5 anos de idade, portadoras de PC do tipo hemiplegia

espástica, que tiveram a lesão causada por complicações ocorridas anteriormente à aquisição da marcha independente, antes e após 12 sessões de eletroestimulação no músculo tibial anterior associadas a tratamento convencional.

## METODOLOGIA

A amostra foi selecionada entre os pacientes atendidos no Setor de Neuropediatria da Clínica Escola da Universidade Católica de Brasília, com o diagnóstico clínico de paralisia cerebral do tipo hemiplegia espástica. Todos os sujeitos apresentaram marcha independente. Foram excluídas do estudo as crianças que haviam feito uso, nos últimos seis meses, de algum medicamento para reduzir a espasticidade e as que não conseguiram completar o protocolo experimental proposto devido ao déficit cognitivo. Das dez crianças selecionadas, duas não foram autorizadas pelos pais a participarem do estudo e três abandonaram a pesquisa. Participaram do estudo, portanto, cinco crianças (três meninas e dois meninos), com idade entre 4 e 5 anos, que tiveram seu grau de espasticidade avaliados utilizando-se a Escala de Ashworth<sup>15</sup> (Tabela 1). Este estudo teve aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Católica de Brasília nº 114/2005 e os responsáveis pelas crianças assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

Cada criança foi submetida a uma análise da marcha dois dias antes e dois dias após a intervenção de 12 semanas no Laboratório de Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília. Para registro das imagens, foi utilizado o sistema *Peak Motus* versão 7.0, com duas câmeras de vídeo com taxa de aquisição de 60 Hz. Para reconstrução tridimensional dos movimentos, foi utilizado o método *Direct Linear Transformation* (DLT) e, para suavizar os dados, o filtro *Butterworth* com frequência de corte de 5 Hz. Os marcadores reflexivos foram colocados bilateralmente na região do trocânter maior do fêmur, face lateral da linha articular do joelho, maléolo lateral, inserção do tendão calcâneo e acima da cabeça do 2º metatarso. Para o cálculo dos parâmetros espaço-temporais descritos neste estudo, foram utilizadas somente as marcas colocadas nos calcâneos direito e esquerdo. Foram filmadas quatro tentativas para cada criança, com a marcha em velocidade auto-selecionada, em um percurso de 10 metros. Apenas uma tentativa foi selecionada para análise, pois nem todas as crianças possuíam todas as tentativas válidas, tendo sido esta considerada representativa das demais. Esse procedimento é comumente utilizado na análise da marcha, no entanto, não possibilita verificar a variabilidade intra-sujeito<sup>16</sup>. Os parâmetros da marcha selecionados para análise foram os seguintes: comprimento do passo, comprimento do ciclo, velocidade, cadência, tempo de apoio simples, tempo total de apoio e tempo total do ciclo. A determinação dos eventos da marcha para o cálculo desses parâmetros foi realizada de acordo com a literatura<sup>17</sup>. O tempo de apoio simples e o tempo total de

**Tabela 1.** Caracterização dos sujeitos.

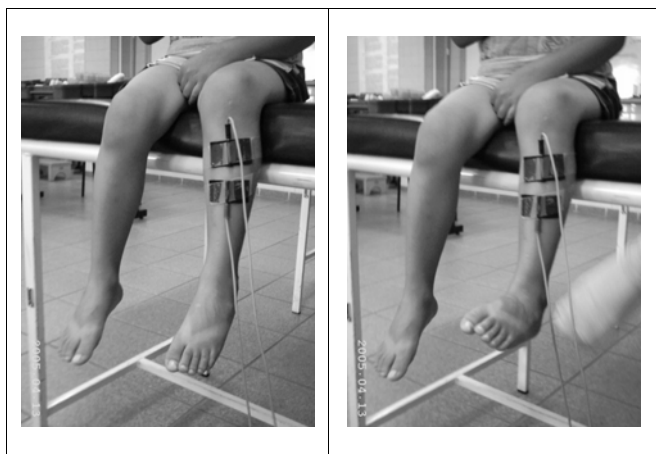
Sujeito	Idade (anos)	Sexo	Causa da PC	Lado plégico	Grau de espasticidade*
1	5	F	Hipoxia	Esquerdo	1
2	4	M	AVC**	Esquerdo	2
3	5	F	Problema no parto	Esquerdo	1
4	5	F	Parto prematuro	Esquerdo	3
5	4	M	Parto prematuro	Esquerdo	3

\*Escala de Ashworth<sup>15</sup>; \*\* Acidente Vascular Cerebral.

apoio foram calculados em relação ao tempo total do ciclo. A simetria dos passos foi calculada pela diferença entre o comprimento do passo não-plégico e o comprimento do passo plégico.

Após a primeira análise da marcha, foi iniciado o programa de tratamento com 12 sessões de eletroestimulação no músculo tibial anterior do dimídio plégico, como uma terapia adicional às sessões de fisioterapia convencional. Para a eletroestimulação, foi utilizado o aparelho FES VIF DUAL 995 Quark com uma corrente bifásica, simétrica, com frequência de pulso de 40 Hz e largura de pulso de 250  $\mu$ s. A relação ON - OFF dos ciclos de estimulação foi de 1/2 (TON= 6 segundos e TOFF= 12 segundos). A intensidade da corrente foi determinada para cada paciente de acordo com a amplitude do movimento, observada visualmente, e a tolerância da criança<sup>12,13</sup>.

A eletroestimulação foi realizada com as crianças sentadas na maca, com o pé relaxado, em sessões de 25 minutos, três vezes por semana (em dias alternados), durante quatro semanas. Os eletrodos de silicone com dimensões 2X4 foram posicionados um no ponto motor do músculo tibial anterior da perna plégica e o outro dois centímetros abaixo (Figura 1). Não foi solicitado às crianças fazerem a dorsiflexão durante a passagem da corrente, pois nem todas conseguiam realizar o movimento voluntariamente, o que tornaria os dados inconsistentes.

**Figura 1.** Eletroestimulação funcional e posicionamento dos eletrodos.

Para verificar se houve diferença estatisticamente significativa para as variáveis espaço-temporais antes e após a intervenção, foi utilizado o teste não-paramétrico Mann-Whitney U Test, sendo adotado um nível de significância  $p < 0,01$ .

## RESULTADOS

Após a eletroestimulação, foi observada uma melhora na simetria do comprimento do passo em todos os sujeitos, representada pela simetria da marcha ( $p = 0,009$ ). Nas demais variáveis, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa (Tabela 2). No entanto, foi observado aumento no comprimento do ciclo da marcha para 4 das 5 crianças da amostra.

Quando analisados os resultados individualmente, os sujeitos 3 e 4 apresentaram os melhores resultados com aumento na velocidade, cadência e comprimento do passo (Tabela 2), sendo observado, também, aumento do tempo de apoio simples do membro plégico e diminuição do tempo total do ciclo (Tabela 3).

A maior simetria da marcha ocorreu por várias estratégias: aumento no comprimento do passo do lado plégico (Sujeitos 1 e 2), e /ou diminuição do passo do membro contralateral (Sujeitos 1 e 5). Para o sujeito 3, ocorreu o aumento do passo de ambos os lados, ocorrendo, então, também aumento da velocidade. Houve, também, aumento de velocidade para o sujeito 4, que apresentou maior comprimento do passo no membro não-plégico.

Os sujeitos 1 e 2 apresentaram aumento do comprimento do passo do membro plégico, porém tiveram diminuição da cadência. O sujeito 1 apresentou diminuição da velocidade, mas manteve o mesmo tempo de apoio simples para o membro plégico. O sujeito 2, ao contrário, manteve a mesma velocidade, apresentando diminuição do tempo de apoio simples do dimídio plégico.

O sujeito 5 apresentou valores menores em todas as variáveis analisadas, possivelmente explicados pelo aumento no tempo total do ciclo, o que demonstra uma velocidade mais lenta na tentativa analisada após a intervenção. No entanto, a simetria de sua marcha, após a intervenção, também obteve melhora.

**Tabela 2.** Variáveis espaço-temporais da marcha antes e após o tratamento.

Nº Sujeito	Tentativa	Comp. do passo não-plégico (m)	Comp. do passo plégico (m)	Simetria passo (m)	Comp. do ciclo (m)	Velocidade (m/s)	Cadência (passos/min)
1	antes	0,429	0,383	0,046	0,812	1,037	153,20
	depois	0,405	0,422	0,017	0,827	0,871	126,32
2	antes	0,337	0,276	0,061	0,613	0,817	160,00
	depois	0,337	0,353	0,016	0,690	0,828	144,01
3	antes	0,347	0,261	0,086	0,608	0,553	109,09
	depois	0,393	0,359	0,034	0,752	0,820	130,92
4	antes	0,305	0,356	0,051	0,661	0,559	101,41
	depois	0,364	0,338	0,026	0,702	0,669	114,29
5	antes	0,348	0,404	0,056	0,752	0,981	156,54
	depois	0,249	0,285	0,036	0,534	0,593	133,33
		<b>p= 0,83</b>	<b>p= 0,83</b>	<b>p= 0,009</b>	<b>p= 0,67</b>	<b>p= 1,0</b>	<b>p= 0,60</b>

**Tabela 3.** Variáveis temporais relativas e absolutas da marcha antes e após o tratamento.

Nº Sujeito	Tentativa	Apoio simples dimídio plégico (%)	Apoio simples dimídio não-plégico (%)	Tempo total apoio dimídio plégico (%)	Tempo total do ciclo (s)
1	antes	36,17	42,59	57,44	0,783
	depois	36,84	36,87	63,15	0,950
2	antes	35,55	40,04	59,97	0,750
	depois	31,99	40,03	59,98	0,833
3	antes	33,33	33,36	66,65	1,100
	depois	34,54	41,85	58,17	0,917
4	antes	35,21	35,24	64,78	0,767
	depois	39,68	36,53	63,48	0,900
5	antes	32,61	43,52	56,51	1,183
	depois	31,48	38,92	61,10	1,050
		<b>p= 0,91</b>	<b>p= 0,75</b>	<b>p= 0,75</b>	<b>p= 0,60</b>

## DISCUSSÃO

Alguns autores<sup>18</sup> consideram que não existe um método absoluto para avaliação da marcha de pacientes hemiplégicos, no entanto, o grau de recuperação motora corresponderia à melhoria nas variáveis espaço-temporais. O aumento da eficiência na marcha está relacionado ao aumento da velocidade e observaram que crianças diplégicas utilizam como principal estratégia, para aumentar a velocidade, o aumento na cadência<sup>13</sup>. Neste estudo, as crianças que tiveram aumento na velocidade também aumentaram a cadência.

Crianças saudáveis apresentam parâmetros espaço-temporais maiores quando comparadas com crianças com PC. Crianças com PC apresentam menor comprimento de passo quando comparadas com crianças saudáveis<sup>13,19</sup>. Para crianças saudáveis, na faixa etária de 4 anos de idade, os valores médios encontrados para o comprimento do ciclo, cadência e velocidade foram de 0,78 m, 152 passos/min e 0,99 m/s respectivamente<sup>20</sup>. Neste estudo, o comprimento do ciclo aumentou em 4 dos 5 sujeitos analisados após a intervenção, aproximando-se dos valores encontrados para crianças saudáveis da mesma faixa etária.

Neste estudo, após a intervenção, todas as crianças apresentaram valores menores na diferença entre os comprimentos do passo do dimídio plégico e não-plégico, demonstrando maior simetria da marcha. Muitas vezes, esse fato ocorreu devido ao aumento do comprimento do passo do lado plégico (Sujeitos 1 e 2), demonstrando maior capacidade de sustentação e equilíbrio<sup>3,21</sup>, ou diminuição do passo do membro contralateral. A simetria dos passos parece ser um indicador importante da eficiência da marcha, juntamente com o tempo de apoio simples<sup>3,21</sup>. Neste estudo, duas crianças tiveram resultados consistentes com aumento da cadência, velocidade, comprimento do passo e tempo de apoio simples do dimídio plégico e diminuição do tempo absoluto do ciclo.

Um dos parâmetros mais importantes na marcha, relacionado com o equilíbrio, é o tempo de apoio simples<sup>21</sup>. Crianças hemiplégicas mostram tendência a utilizar mais o membro não-plégico durante a fase de apoio na marcha<sup>22</sup>. O aumento no tempo de apoio simples do dimídio plégico demonstra a capacidade de sustentação por mais tempo do peso do corpo no membro plégico, mostrando os benefícios de um programa adicional de fortalecimento muscular para essas crianças<sup>23</sup>. O aumento dessa variável temporal está de acordo com as afirmações de alguns autores<sup>5,6</sup> de que, utilizando-se eletroestimulação com intensidade sublimiar motora, observa-se aumento da consciência na extremidade envolvida, melhorando, desse modo, a função. A eletroestimulação também promove um *feedback* cutâneo e aumento da propriocepção, melhorando assim o equilíbrio<sup>8</sup>.

Neste estudo, a relação entre as variáveis nem sempre apresentou a mesma tendência para todas as crianças. Porém, um fato importante foi a diferença estatisticamente significativa para a simetria da marcha, o que sugere maior eficiência do movimento<sup>12</sup>. Esse aumento na simetria pode significar que a eletroestimulação, juntamente com a terapia convencional, possibilitou às crianças uma melhor coordenação dos movimentos. No entanto, não se tem como separar efeitos da eletroestimulação e efeitos causados pelo tratamento convencional ao qual as crianças estavam sendo submetidas.

Verificou-se dificuldade em se compararem crianças hemiplégicas, pois, apesar de todas apresentarem apenas um dimídio afetado, o comprometimento da área cortical pode ocorrer de forma distinta, justificando a variedade de padrões assumidos. Outros autores<sup>24</sup> também encontraram dificuldades em seu estudo para criar um sistema de classificação satisfatório e separar as crianças em um grupo homogêneo. No presente estudo, tentou-se restringir a faixa etária da amostra de forma a diminuir o número de variáveis intervenientes e, com isso, ter mais confiança nas inferências.

## CONCLUSÕES

Os resultados mostram que houve melhoria na simetria da marcha após o tratamento de 12 sessões de eletroesti-

mulação do músculo tibial anterior, associado ao tratamento convencional. Essa melhoria na simetria foi obtida através de diferentes estratégias de aumento do comprimento do passo do membro plégico e/ou diminuição do passo do membro não-plégico. Duas crianças obtiveram aumento de cadência e velocidade, e uma manteve a mesma velocidade e aumentou a cadência. Embora aumento de velocidade e cadência na marcha sejam resultados esperados após um tratamento, a simetria parece ser fator importante.

Outro fator importante foi que o comprimento do ciclo aumentou em 4 dos 5 sujeitos analisados, após a intervenção, aproximando-se dos valores encontrados para crianças saudáveis da mesma faixa etária.

Esses dados podem servir para futuras comparações na avaliação de diferentes formas de intervenção relacionadas à marcha de crianças com PC.

Os resultados sugerem a necessidade de amostras maiores e mais homogêneas em relação à idade e ao grau de comprometimento, bem como a necessidade de se diferenciarem os efeitos devido ao tratamento convencional e à eletroestimulação, com grupo experimental e controle.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bobath K. Uma base neurofisiológica para o tratamento da paralisia cerebral. 2ª ed. São Paulo: Manole; 1984.
2. Lianza S. Estimulação elétrica funcional – FES e reabilitação. São Paulo: Atheneu; 2003.
3. Chagas EF, Tavares MCGCF. A simetria e transferência de peso do hemiplégico: relação dessa condição com o desempenho de suas atividades funcionais. Rev Fisiot Univ São Paulo. 2001;8(1):40-50.
4. Abel E, Gormley Jr. Treatment of neuromuscular and musculoskeletal problems in cerebral palsy. Pediatric Rehabil. 2001;4(1):5-16.
5. Pape KE, Kirsh SE, Galil A, Boulton JE, While MA, Chipman M. Neuromuscular approach to the motor deficits of cerebral palsy: a pilot study. J Pediatr Orthop. 1993;13(5):628-33.
6. Maenpaa H, Jaakkola R, Sandstrom M, Airi T, Wendt LV. Electrostimulation at sensory level improves function of the upper extremities in children with cerebral palsy: a pilot study. Dev Med Child Neurol. 2004;46:84-90.
7. Hazlewood ME, Brown JK, Salter PM. The use of therapeutic electrical stimulation in the treatment of hemiplegic cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. 1994;36:661-73.
8. Staub AL, Rotta NT, Mahmud MA, Svirski AS, Santos AC, Fonteles VR, et al. Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular em pacientes com paralisia cerebral do tipo espástica. Fisioter Bras. 2005;6(1):6-9.
9. Park ES, Park CL, Lee HJ, Cho SY. The effect electrical stimulation on the trunk control in young children with spastic diplegic cerebral palsy. J Korean Med Sci. 2001;16:347-50.
10. Fowler EG, Ho TW, Nwigwe AI, Dorey FJ. The effect of quadriceps femoris muscle strengthening exercises on spasticity in children with cerebral palsy. Phys Ther. 2001;81(6):1215-23.

11. Sommerfelt K, Abelestad T, Berg K, Saetesdal I. Therapeutic electrical stimulation in cerebral palsy: a randomized, controlled, crossover trial. *Dev Med Child Neurol.* 2001;43(9):609-13.
12. Carmick J. Clinical use of neuromuscular electrical stimulation for children with cerebral palsy, part 2: upper extremity. *Phys Ther.* 1993;73(8):514-27.
13. Abel MF, Damiano DL. Strategies for increasing walking speed in diplegic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 1996;16(6):753-8.
14. Pierce SR, Orlin MN, Lauer RT, Johnston TE, Smith BT, McCarthy JJ. Comparison of percutaneous and surface functional electrical stimulation during gait in a child with hemiplegic cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2004;83(10):798-805.
15. Lima CL, Fonseca LF. *Paralisia cerebral: neurologia, ortopedia, reabilitação.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2004.
16. Ounpuu S, Gage JR, Davis RB. Three-dimensional lower extremity joint kinetics in normal pediatric gait. *J Pediatr Orthop.* 1991;11:341-9.
17. Vaughan CL, Davis BL, O'Connor JC. *Dynamics of human gait.* Champaign: Human Kinetics Publishers; 1992.
18. Morita S, Yamamoto H, Furuya K. Gait analysis of hemiplegic patients by measurement of ground reaction force. *Scand J Rehabil Med.* 1995;27:37-42.
19. Holt KG, Fonseca ST, Lafiandra ME. The dynamics of gait in children with spastic hemiplegic cerebral palsy: Theoretical and clinical implications. *Hum Mov Sci.* 2000;19:375-405.
20. Sutherland DH, Olshen RA, Biden EN, Wyatt MP. *The development of mature walking.* Oxford: Mac Keith; 1988.
21. Zatsiorsky VM, Werner SL, Kaimin MA. Basic kinematic of walking. Step length and step frequency. A review. *J Sports Med Phys Fitness.* 1994;34(2):109-34.
22. Yokochi K, Yokochi M, Kodama K. Motor function of infants with spastic hemiplegia. *Brain Dev.* 1995;17:42-8.
23. McBurney H, Taylor NF, Dodd KJ, Graham HK. A qualitative analysis of the benefits of strength training for young people with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2003;45:658-63.
24. O'Byrne JM, Jenkinson A. Quantitative analysis and classification of gait patterns in cerebral palsy using a three-dimensional motion analyzer. *J Child Neurol.* 1998;13:101-8.