

**Revista Mexicana de
Medicina Física y Rehabilitación**

Volumen
Volume **17**

Número
Number **2**

Abril-Junio
April-June **2005**

Artículo:

**Estandarización de valores cinemáticos
en niños sanos**

Derechos reservados, Copyright © 2005:
Sociedad Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación, AC

**Otras secciones de
este sitio:**

- ☞ Índice de este número
- ☞ Más revistas
- ☞ Búsqueda

***Others sections in
this web site:***

- ☞ *Contents of this number*
- ☞ *More journals*
- ☞ *Search*



Medigraphic.com

Estandarización de valores cinemáticos en niños sanos

Dr. Jorge Villalobos López,* Dr. Alejandro Parodi Carvajal,**

Dr. Raúl Díaz González Santibáñez***

RESUMEN

La utilización de los sistemas computarizados se ha convertido en una herramienta valiosa, ya que ofrece una evaluación objetiva del patrón de locomoción del ser humano. **Objetivo:** Determinar los valores cinemáticos de la marcha de niños mexicanos sanos y realizar una base de datos que sirva como parámetro de comparación. **Material y métodos:** Estudio realizado en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón, tipo descriptivo, transversal y observacional; una muestra aleatoria de 30 niños sanos. El análisis tridimensional de la marcha fue con un equipo BTS® de seis cámaras, software GaitEliClinic® 2.9.2. **Resultados:** Se obtuvieron los parámetros temporales (tiempo de apoyo y oscilación, porcentaje de apoyo y oscilación, tiempo de zancada, cadencia) y de distancia (longitud de paso, velocidad, velocidad de balanceo, largo de zancada y base de sustentación). Los resultados fueron similares a otros trabajos reportados, se aporta además una descripción para cada lado, evidenciando diferencias para cada extremidad, se graficó la cinemática de las articulaciones en tres planos diferentes durante el ciclo de la marcha. **Conclusiones:** El análisis con el equipo de seis cámaras es útil en la documentación objetiva de la marcha. En patologías que afecten la marcha normal, este estudio orienta hacia un mejor tratamiento de rehabilitación, ortésico, con medicamentos o quirúrgico.

Palabras clave: Valores cinemáticos, marcha normal, marcha pediátrica, análisis de marcha.

ABSTRACT

*Computer analysis has become a valuable tool because it is a form of instrumented measurement and offers an objective evaluation of human locomotion patterns. **Objective:** To determine the kinematics parameters of gait in a selected population of healthy Mexican children and to collect the database that will be used as a comparison parameter. **Material and methods:** The study took place at the "Centro de Rehabilitación Infantil Teletón" in the State of Mexico. The study comprises a descriptive, transversal and observational analysis on 30 randomizes healthy pediatric subjects. The three-dimensional motion capture was acquired by means of a 6 infrared strobe camera system BTS® and GaitEliClinic® 2.9.2 motion & data analysis software. **Results:** The data collected corresponds to spatial-temporal parameters (time stance, swing time, stride time, cadence) and distance parameters (anterior step length, velocity, swing velocity, stride length, step width and mean velocity), as well as bilateral kinematics parameters such as lower limb angles in sagittal, transversal and coronal planes. **Conclusions:** The kinematic analysis of gait parameters with pediatric patients is quite useful when it comes to the quantitative and objective documentation of gait patterns and capacity. In diseases which affect the normal pattern of gait this evaluation also leads into better therapeutic strategies, such as physical therapy, orthotic devices indication and pharmacological or surgical treatments.*

Key words: Kinematic parameters, normal gait, pediatric gait, gait analysis.

INTRODUCCIÓN

* Subdirector Médico de Clínica. Centro de Rehabilitación Infantil Teletón, Oaxaca.

** Director Corporativo de Enseñanza e Investigación. Sistemas de Centros de Rehabilitación Infantil Teletón.

*** Director Médico del Centro de Rehabilitación Infantil Teletón, Coahuila.

El análisis de la marcha ha sido motivo de estudio desde los egipcios. Los griegos aportaron conocimientos de biomecánica y movimiento con descripciones tanto en animales como en seres humanos¹. En la era moderna diferentes investigadores se han dedicado a mejorar el análisis del movimiento.

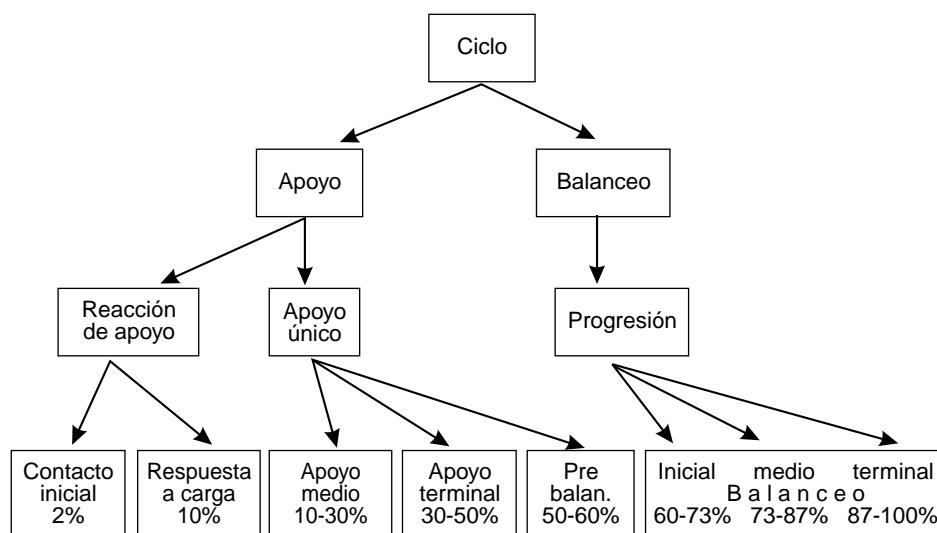


Figura 1. Ciclo de la marcha según Jacqueline Perry.

El Dr. Verne Inman estudió la biomecánica de las articulaciones y análisis de la marcha, autor de las determinantes de la marcha (determinantes de Inman)². El Dr. David Sutherland autor de los primeros laboratorios de análisis de movimiento y de la descripción de las dos fases del ciclo de la marcha³. La doctora Jacqueline Perry inició la electromiografía de superficie, autora de la descripción del ciclo de la marcha más utilizado actualmente (*Figura 1*), así como un extenso trabajo de análisis de la marcha en niños⁴.

Marcha es una secuencia de movimientos cuyo objetivo es la traslación del centro de gravedad, el cuerpo está en posición erguida, hay mínimo gasto de energía y siempre existe el contacto de un pie con el suelo.

Durante un ciclo de marcha o zancada cada pierna pasa por una fase de apoyo durante la cual el pie se encuentra en contacto con el suelo y por una fase de oscilación en la cual el pie se halla en el aire. La fase de apoyo comienza con el contacto inicial y finaliza con el despegue del antepié, la fase de oscilación transcurre desde el instante de despegue del antepié hasta el siguiente contacto con el suelo. Los mismos eventos suceden en la extremidad contralateral desplazado un 50% en el tiempo. La fase de apoyo constituye el 60% del ciclo y el 40% restante corresponde a la oscilación⁵.

La utilización de los sistemas computarizados se ha convertido en una herramienta valiosa, ya que ofrece una evaluación objetiva y exhaustiva del patrón de locomoción bipodal del ser humano esencial para entender los patrones de movimientos normales y anormales, así como la evaluación de los tratamientos⁶⁻⁹.

El objetivo de este trabajo es determinar los valores cinemáticos de la marcha de niños mexicanos sanos y realizar una base de datos que sirva como parámetro de comparación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT) Estado de México en el área del Laboratorio de Movimiento. Es un estudio descriptivo, transversal y observacional. Se obtuvo una muestra aleatoria de 30 niños con el consentimiento informado de los padres, autorización del Comité Local de Investigación y bajo los lineamientos de la Declaración de Helsinki de 1975 enmendada en 1983. Se incluyeron niños entre 7 y 11 años de edad, mexicanos por nacimiento, con peso dentro de las percentiles 10-90 según tablas de Ramos Galván¹⁰ sin ninguna patología osteoarticular o neuromuscular.

El análisis de la marcha se realizó con un equipo BTS® Italia, con seis cámaras infrarrojas, frecuencia de muestreo de 100 Hz, Software GaitEliClinic® 2.9.2, dos cámaras digitales Pentax® para grabación en tiempo real y software Matrox PC-VCR®. Primero se hizo una historia clínica a cada niño, obteniendo: edad, antecedentes personales patológicos, estatura, peso, escolaridad, medidas de pelvis, cadera, rodilla, tobillo; después se colocaron 20 marcadores reflejantes de luz infrarroja según protocolo de Davis¹¹. Iniciamos con una toma de pie y estático para obtener los valores de referencia, después cuatro tomas en movimiento, analizándose la última por considerarse la más fisiológica. De esta forma obtuvimos los datos cinemáticos de

cada articulación, los parámetros temporales (tiempo de apoyo, tiempo de oscilación, porcentaje de apoyo, porcentaje de oscilación, tiempo de zancada y cadencia), y los de distancia (longitud de paso, velocidad, velocidad de balanceo, largo de zancada y base de sustentación).

Se hizo un análisis estadístico descriptivo de valores de tendencia central y de dispersión por medio de la desviación estándar, así como una prueba t de Student con el programa SPSS 12 comparando el lado derecho con el lado izquierdo.

Cuadro 1. Edad.

Edad	Sexo		
	Masculino	Femenino	Total
7 años	4	2	6
8 años	1	1	2
9 años	5	6	11
10 años	4	5	9
11 años	1	1	2
	Total	30	

Cuadro 2. Escolaridad.

Escolaridad primaria	Masculino	Femenino	Total
2do	4	2	6
3er	1	2	3
4to	7	5	12
5to	2	6	8
6to	1	0	1
	Total	30	

Fuente: Base de datos JVL/2004

Cuadro 3. Análisis descriptivo de los parámetros de la marcha.

	Promedio		Promedio ± 2 desviaciones estándar = Valor de normalidad		t de Student
	Valor mínimo – máximo		Derecho	Izquierdo	
Parámetros temporales	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	p*
Tiempo de apoyo (mseg)	610 520 a 760	569 430 a 690	$610 \pm 2 \times 66.1 =$ 478-742	$569 \pm 2 \times 61.4 =$ 446-691	< 0.05
Tiempo de oscilación (mseg)	451 340 a 520	448 370 a 540	$451 \pm 2 \times 41.9 =$ 367-535	$448 \pm 2 \times 47.9 =$ 352-544	NS
Porcentaje de apoyo (%)	57 52 a 61	55.8 49 a 63	$57.4 \pm 2 \times 1.9 =$ 53-61	$55.8 \pm 2 \times 2.7 =$ 50-61	< 0.05
Porcentaje de oscilación (%)	42 39 a 48	44.1 38 a 51	$42.53 \pm 2 \times 1.9 =$ 38-46	$44.1 \pm 2 \times 2.7 =$ 38-49	< 0.05
Tiempo de zancada (mseg)	1,061 870 a 1260	1,017 850 a 1220	$1061 \pm 2 \times 100.8 =$ 860-1263	$1071 \pm 2 \times 94.5 =$ 828-1206	NS
Cadencia (pasos x min)	116 97 a 140		$116 \pm 10.5 =$ 95-137		—
Parámetros de distancia	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	p*
Longitud de paso (mm)	527.6 363 a 689	542.4 334 a 642	$527.6 \pm 2 \times 68.7 =$ 390-665	$542.4 \pm 2 \times 74.9 =$ 392-692	NS
Velocidad (m/seg)	1 0.72 a 1.3	1 0.69 a 1.4	$1.02 \pm 2 \times 0.14 =$ 0.74-1.3	$1.06 \pm 2 \times 0.15 =$ 0.76-1.36	NS
Velocidad de balanceo (m/seg)	2.4 1.7 a 3	2.4 1.62 a 3.2	$2.4 \pm 2 \times 0.34 =$ 1.7-3.08	$2.41 \pm 2 \times 0.36 =$ 1.69-3.1	NS
Largo de zancada (mm)	1,075 813 a 1284	1,072 714 a 1297	$1075 \pm 2 \times 115.3 =$ 844-1306	$1072 \pm 2 \times 122.5 =$ 827-1317	NS
Base de sustentación (mm)		116.8		40-193	—

NS = No significativo

Significancia p* < 0.05

Fuente: Base de datos JVL/2004

RESULTADOS

Participaron 30 niños de escuelas cercanas al CRIT, 15 del sexo masculino y 15 del femenino. La edad promedio fue de 9 años, mínima 7 años y máxima 12 años (*Cuadro 1*). Todos cursaban escolaridad primaria, la moda 4to año (*Cuadro 2*). El promedio del peso fue de 32.6 kilogramos, moda de 41 kilogramos, valor máximo 51 kg y mínimo 22 kg. La talla promedio fue de 1.33 metros, moda de 1.32 metros, valor máximo 1.49 cm y mínimo 1.18 cm. Se tomaron en cuenta las variables de peso y talla para poder compararlos con las tablas de crecimiento del National Center for Health Statistics¹², curvas y tablas de crecimiento de Madrid¹³ y tablas de crecimiento de Iran¹⁴, encontrando que los pacientes de este estudio no salían de las percentilas 10 y 90 de ninguna tabla.

En el *cuadro 3* se resume el análisis descriptivo de los parámetros temporales y de distancia de los datos obtenidos, cabe mencionar que se tomaron en cuenta dos desviaciones estándar asegurando así una distribución de variables normal dentro de la campana de Gauss cuyo punto máximo coincide con la media, el resultado de esta operación lo llamamos valor de normalidad. En esta misma tabla se muestra la comparación de los valores obte-

nidos en cada extremidad mediante una t de Student para determinar diferencias significativas entre ambos lados encontrando una $p^* < 0.05$ en el parámetro de tiempo de apoyo, porcentaje de apoyo y porcentaje de oscilación (*Cuadro 3*).

En las figuras siguientes se describe la movilidad articular en tres diferentes planos, el coronal, sagital y transversal, la línea vertical divide el ciclo de la marcha en la fase de apoyo y la fase de oscilación. La línea gruesa re-

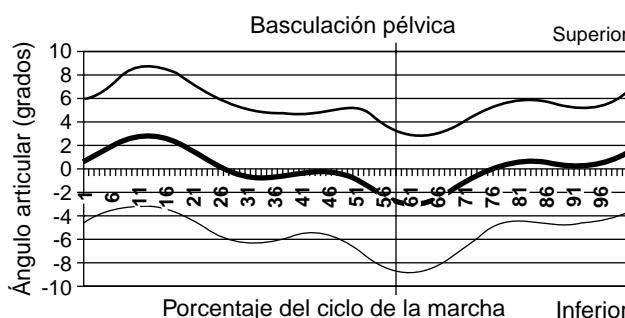


Figura 2. Movilidad articular de la pelvis en el plano coronal.
Fuente: Base de datos JVL/2004

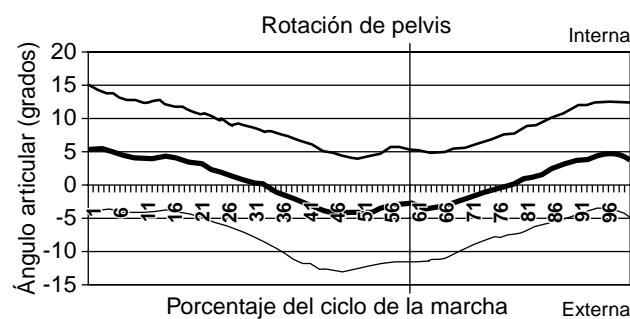


Figura 4. Movilidad articular de la pelvis en el plano transversal.
Fuente: Base de datos JVL/2004

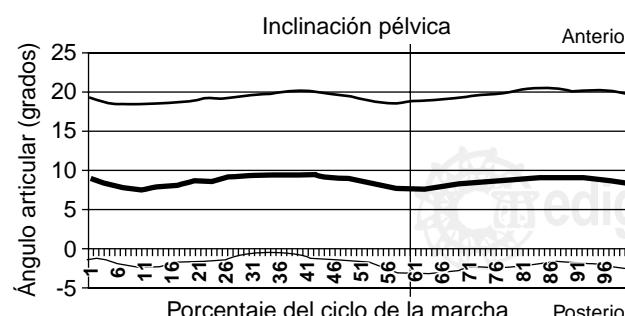


Figura 3. Movilidad articular de la pelvis en el plano sagital.
Fuente: Base de datos JVL/2004

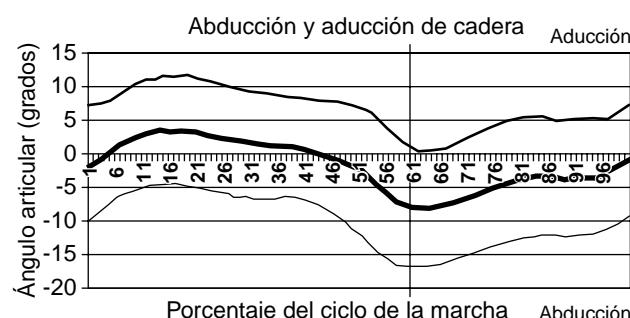


Figura 5. Movilidad articular de la cadera en el plano coronal.
Fuente: Base de datos JVL/2004

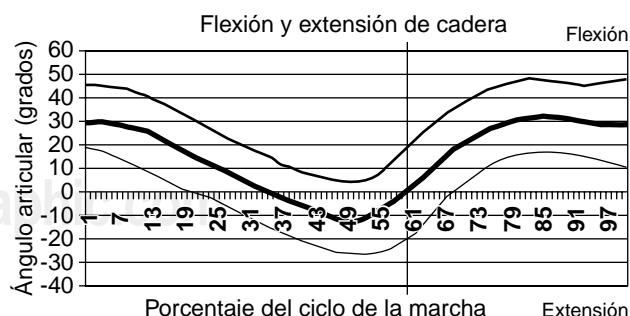


Figura 6. Movilidad articular de la cadera en el plano sagital.
Fuente: Base de datos JVL/2004

presenta la media y las paralelas 2 desviaciones estándar, los datos graficados se obtuvieron del promedio de ambas extremidades.

En el plano coronal la pelvis oscila superior e inferiormente en un rango de 9° a -8° durante el ciclo, el promedio se mantiene cerca de los 0°, el punto máximo de basculación superior se presenta en el inicio del apoyo medio y el punto de máximo de basculación inferior lo encontramos en el balanceo inicial (*Figura 2*).

En el plano sagital la inclinación pélvica anterior y posterior oscila en un rango de 20° a -3°, el promedio se mantiene cerca de los 10° de inclinación anterior, el punto máximo de inclinación anterior se presenta en el apoyo terminal y el máximo de inclinación posterior en el balanceo inicial (*Figura 3*).

En el plano transversal la rotación de la pelvis se puede dividir en tres partes; el inicio que corresponde al contacto inicial donde hay hasta 15° de rotación interna, la media que corresponde al apoyo terminal donde hay hasta 14° de rotación externa y la final que corresponde al balanceo donde la pelvis rota internamente de forma progresiva hasta alcanzar la rotación con la que inicia el ciclo (*Figura 4*).

La cadera en el plano coronal presenta movimientos de aducción y abducción que oscilan entre los 11° a -16° el punto máximo de aducción se presenta durante el apoyo medio y el punto máximo de abducción lo presenta durante el balanceo inicial (*Figura 5*).

En el plano sagital la cadera se flexiona y extiende en un rango de 45° a -29° durante el ciclo, se inicia con una flexión de 45°, el punto máximo de extensión se presenta al final de la fase de apoyo y posteriormente se flexiona de manera progresiva hasta alcanzar la posición con la que inicia el ciclo (*Figura 6*).

En el plano transversal la rotación interna y externa de cadera oscila entre 21° a -29° el promedio se mantiene cerca de los 0°, el punto máximo de rotación interna se presenta en el apoyo terminal y el punto máximo de rotación externa se presenta en el balanceo terminal (*Figura 7*).

En el plano sagital el movimiento de extensión y flexión de la rodilla oscila entre 0° a 77°, al contacto inicial se encuentra hasta 25° de flexión y durante la respuesta a carga se presenta un primer pico de flexión que alcanza hasta 35° de flexión, posteriormente durante el apoyo medio se presenta el punto máximo de extensión que alcanza hasta los -10° y durante el balanceo inicial se pre-

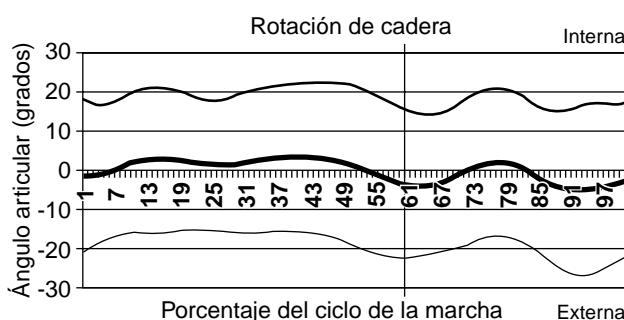


Figura 7. Movilidad articular de la cadera en el plano transversal.
Fuente: Base de datos JVL/2004

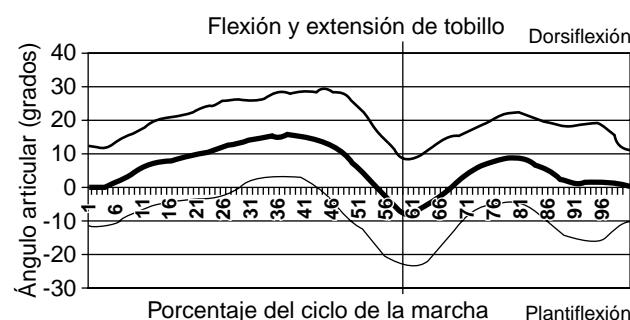


Figura 9. Movilidad articular del tobillo en el plano sagital.
Fuente: Base de datos JVL/2004

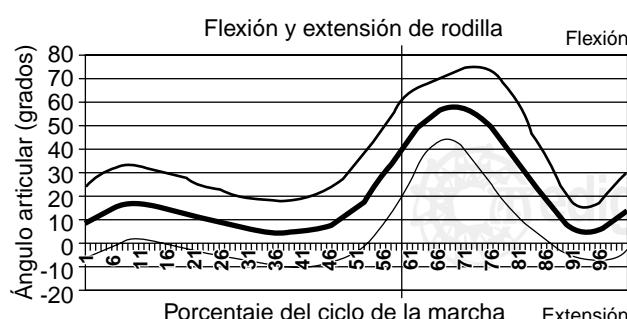


Figura 8. Movilidad articular de rodilla en el plano sagital.
Fuente: Base de datos JVL/2004

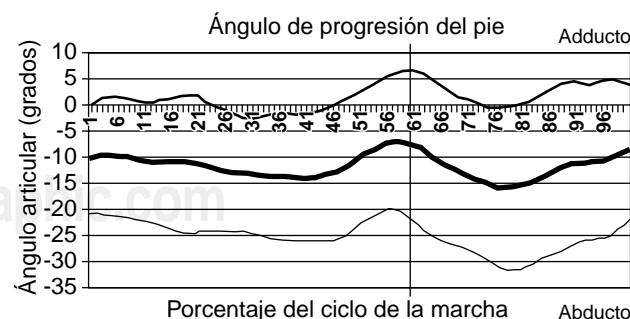


Figura 10. Movilidad articular del tobillo en el plano transversal.
Fuente: Base de datos JVL/2004

senta el punto máximo de flexión que alcanza hasta los 77°, finalmente en el balanceo terminal se presenta el segundo pico de extensión que alcanza hasta los 5° de extensión (*Figura 8*).

En el plano sagital la dorsiflexión y plantiflexión del tobillo puede ser dividido en tres partes, la primera corresponde a una dorsiflexión progresiva que alcanza el punto máximo de hasta 29° durante el apoyo terminal, el segundo corresponde a la plantiflexión progresiva que se realiza en el apoyo terminal y el prebalanceo alcanzando hasta -24° y por último nuevamente dorsiflexión progresiva durante el balanceo hasta alcanzar los valores con los que inicia el ciclo (*Figura 9*).

En el plano transversal el ángulo de progresión del pie oscila cerca de los 10° en promedio de abducción de antepié, se observa un punto máximo de aducción en el prebalanceo y parte del balanceo inicial alcanzando hasta 6° (*Figura 10*).

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación fueron similares a otros reportados. Pérez-Orive y cols.¹⁵ describen parámetros temporales muy similares a los nuestros, sin embargo al hacer un análisis detallado de cada extremidad pudimos encontrar diferencias en los parámetros de distancia. La edad en que se considera una marcha madura es a partir de los siete años, sin embargo estos autores al igual que nosotros encontramos que al comparar los resultados con una población adulta¹⁶ los parámetros cinemáticos fueron menores en los niños a excepción de los ángulos de cadera y rodilla, los cuales fueron mayores. Nosotros además encontramos que los parámetros temporales fueron similares a excepción del tiempo de oscilación que en el niño fue más corto.

Sutherland¹⁷ en su descripción de los parámetros temporales y espaciales difiere de nuestro estudio en el largo de zancada, largo de paso y velocidad, los cuales están discretamente más altos en su estudio, sin embargo el resto de los parámetros son similares a nuestros resultados.

Tomando en cuenta que la talla y el peso de los niños estudiados fueron similares con niños europeos y asiáticos, se hizo una comparación con los valores de referencia de la computadora que proviene de niños italianos encontrando aumento del tiempo de apoyo y duración de zancada del lado derecho, mayor porcentaje de balanceo y largo de zancada del lado izquierdo; el resto de los parámetros son similares. Comparando las gráficas de cinemática se observó menor rotación de la pelvis, menor abducción y rotación de cadera y menor plantiflexión de tobillo durante todo el ciclo, sin embargo durante la progresión del paso se observa mayor abducto de antepié durante todo el ciclo.

CONCLUSIÓN

Los valores cinemáticos de la marcha en niños con el equipo de seis cámaras nos permite un análisis más detallado de cada uno de los parámetros cinemáticos de la marcha y la graficación de los grados de movimiento de cada articulación para comprender el movimiento normal del niño y facilitar la comparación con otras poblaciones.

El análisis cinemático de la marcha en niños es útil en la documentación objetiva de la capacidad del caminar, lo que orienta hacia un mejor tratamiento rehabilitatorio, ortésico, con medicamento o quirúrgico.

Es necesario un programa educativo en escuelas primarias de postura y detección de problemas osteomusculares para los niños y de la manera correcta de caminar ya que esto puede prevenir algunas patologías que se presentan durante la adolescencia o la vida adulta.

REFERENCIAS

1. <http://www.univie.ac.at/cga/history/ancients.html>
2. Inman VT, Ralston HJ, Todd F. The major determinants in normal and pathological gait. *Am J Bone Joint Surg* 1953; 35A: 543-58.
3. Sutherland D, Olshen R et al. The development of mature walking. *J Bone Joint Surg Am* 1980; 62: 336-53.
4. Perry J. Gait Analysis. *Normal and Pathological Function*. Slack Inc. Thorofare New Jersey USA. 1992; 1: 9-16.
5. Sánchez J, Prat J, Hoyos J et al. *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*. Instituto de Biomecánica de Valencia. 1999; 2: 30-121.
6. Chester VL, Biden EN, Tingley M. Gait analysis. *Biomed Instrum Technol* 2005; 39(1): 64-74.
7. Jonson D, Damiano D, Abel M. The evolution of Gait in Childhood and Adolescent Cerebral Palsy. *J Pediatr Orthop* 1997; 17(3): 392-396.
8. Schneck C. *Normal and abnormal gait. Ninth Annual Review Course in Physical Medicine and Rehabilitation*. West Orange NJ. 1997; 1: 4-9.
9. Simon SR. Quantification of human motion: gait analysis-benefits and limitations to its application to clinical problems. *J Biomech* 2004; 37(12): 1869-80.
10. Ramos G. Somatometría pediátrica en niños de la ciudad de México. *Archivos de Investigación Médica* 1975; No. 6 supl. 1.
11. Germán A, Rey F et al. Análisis de la marcha mediante el protocolo ELICLINIC. *El Peu* 2001; 21(2):58-70.
12. Ogden CL, Kuczamarski RJ et al. Center for Disease Control and Prevention 2000 Growth Charts for the United States: Improvement to the 1977 National Center for Health Statistics Version. *Pediatrics* 2002; 109: 45-60.
13. Hernández M, Castellet J et al. *Curvas y tablas de crecimiento. Instituto de Investigación sobre Crecimiento y Desarrollo*. Fundación Faustino Orbegozo. Madrid, Ed. Garsi, 1988.
14. Ayatollahi SMT, Carpenter R. Growth of school children of Southern Iran in relation to the NCHS standard. *Ann Hum Biol* 1991; 18(6): 515-22.
15. Pérez OJ, Pichardo A, Chávez D. Estudio de patrones cinemáticos de marcha normal pediátrica. Estandarización de marcha normal en población pediátrica mexicana. *Rev Mex Med Fis Rehabil* 1996; 8(3): 51-57.

16. Pichardo A, Pérez J, Chávez D. Desarrollo de un estándar de marcha normal en hombres adultos. *Rev Mex Med Fis Rehabil* 1997; 9(3): 70-77.
17. Sutherland DH. *Gait disorders in childhood and adolescence*. Baltimore: Williams and Wilkins; 1984; 1: 1-10.
18. Tingley M, Wilson C et al. An Index to quantify normality of gait in young children. *Gait Posture* 2002; 16: 149-158.
19. MacWilliams BA, Cowley M, Nicholson DE. Foot Kinematics and Kinetics during adolescent gait. *Gait Posture* 2003; 14: 12-18.
20. Ounpuu S, Gage JR, Davis RB. Three – dimensional lower extremity joint kinematics in normal pediatric gait. *J Pediatr Orthop* 1991; 11: 341-349.
21. Oberg T, Karsznia A. Joint angle parameters in gait reference data for normal subjects, 10-79 years of age. *J Rehabil Res Dev* 1994; 31: 199-213.

Domicilio para correspondencia:
Dr. Jorge Villalobos López
Calzada de la República No. 607,
Colonia Centro, C.P. 68000,
Oaxaca de Juárez Oaxaca.
Teléfono (01 951) 51 504 66.
E-mail: jorge_md2000@yahoo.com.mx

