

Determinación de parámetros cinemáticos de miembros superiores durante una tarea funcional en niños y adolescentes sanos

Dra. Erika García Olvera, **Dr. Demetrio Villanueva Ayala, *Dr. Juan Carlos Pérez Moreno, *Ing. Paulina Monserrat Valerio Acosta, ****Lic. María de la Luz Gómez Aguilar, *Dr. Alejandro Parodi Carbajal, *Dra. Nayeli Castañeda Pérez.*

RESUMEN

Objetivo: Determinar los parámetros cinemáticos en miembros superiores en niños y adolescentes sanos durante una tarea funcional. **Material y método:** Estudio descriptivo, observacional, transversal, prospectivo y comparativo entre dominancia. Se realizó muestreo no probabilístico con casos consecutivos de agosto a octubre de 2012 en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón Estado de México. Fue un análisis tridimensional del movimiento con un sistema optoelectrónico para captura de movimiento, con estadística descriptiva e inferencial. **Resultados:** Se obtuvieron los parámetros de flexión-extensión y abducción-aducción de hombro, flexión-extensión y velocidad angular de codo, la velocidad lineal de la mano, así como curvas de referencia del movimiento de miembro superior evidenciando diferencias para cada extremidad. **Conclusiones:** La determinación de los parámetros cinemáticos del miembro superior mediante análisis tridimensional es útil en la documentación y valoración tanto cuantitativa como cualitativa de una tarea funcional específica. Puede emplearse como una herramienta para la valoración de resultados de tratamientos de rehabilitación y para el diseño de estrategias de tratamiento ante diversas patologías ya que permite medir y graficar los grados de movimiento de cada articulación así como sus velocidades, logrando una mejor comprensión del movimiento del niño o adolescente.

ABSTRACT

Objective: To determine the kinematic parameters in the upper limbs in healthy children and teenagers during a functional task. **Material and Methods:** A descriptive, observational, cross-sectional, prospective and comparative dominance. A non-probabilistic sampling was performed with consecutive cases from August to October 2012 at the Children's Rehabilitation Center Telethon Estado de México. The three-dimensional motion analysis was run using a motion capture optoelectronic system of six cameras. **Results:** Parameters were obtained for shoulder flexion-extension and abduction-adduction, knee flexion-extension and angular velocity, hand linear velocity, besides reference curves of the upper limb motion demonstrating differences between each limb. The results were similar to previous reports developed. **Conclusions:** The determination of kinematic parameters of the upper limb using three-dimensional analysis is useful for documentation and both quantitative and qualitative assessment of a specific functional task. It can be used as a tool for the evaluation of the results of a rehabilitation treatment and to develop treatment strategies against a variety of diseases since it allows to measure and chart the motion degree at each joint and its speeds, achieving a better understanding of the movement of the child or the teenager.

Palabras clave: parámetros cinemáticos, miembros superiores

INTRODUCCIÓN

El movimiento del cuerpo humano surge de la interacción de tres factores: el individuo, la tarea y el medio ambiente; la capacidad del individuo de generar movimiento para satisfacer las demandas de una tarea específica en el entorno, determinará su capacidad funcional.^(1,2)

La extremidad superior tiene un papel importante en las actividades de la vida diaria como comer, beber, vestirse, asearse, escribir, así como en Las actividades recreativa y de ocio;⁽³⁾ para ello debemos considerar 3 componentes de la función normal del miembro torácico: el alcance, agarre y manipulación de objetos, los cuales consisten en mover el brazo desde su posición inicial a un lugar cerca del objeto, ajustar la postura de la mano cuando se acerca al objeto para tomarlo y finalmente la manipulación del objeto.^(1,2,4,5) Estos componentes son la base de la habilidad motora necesaria para realizar las actividades de la vida diaria.^(1,6)

El tiempo de ejecución del ciclo de alcance y agarre muestra una reducción progresiva con la

* Médico Especialista en Medicina de Rehabilitación. Centro de Rehabilitación Infantil Teletón Estado de México (CRIT EM)

**Doctor en Bioingeniería. CRIT EM

***Ingeniero en Electrónica. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Estado de México

****Licenciada en Nutrición y Ciencia de los Alimentos. CRIT EM

edad, la cual es más evidente entre los 8 a 9 años y menos perceptible de los 16 a los 17 años.^(1,7)

Una disfunción en la extremidad superior puede limitar significativamente a la persona en su actividad y participación tanto en su entorno físico como social.^(3,8)

El estudio del desempeño de la extremidad superior por medio del análisis cinemático tridimensional en el laboratorio de movimiento se ha realizado previamente por otros autores y en comparación con el análisis de la marcha, se ha concluido que conlleva varias áreas de oportunidad. En primer lugar, no existe una única actividad funcional relevante en el miembro superior. Segundo, las actividades funcionales de la extremidad superior muestran una gran variación de ejecución en una población normal, en oposición con el patrón estereotipado de la marcha. Tercero, la extremidad superior y especialmente el complejo multiarticular del hombro, tiene tres grados de libertad, proporcionando un alto grado de flexibilidad. Esta flexibilidad también permite que una tarea particular, motora simple, se ejecute mediante diferentes posturas^(9,10,11,12,13). Cuarto, los movimientos de alcance y agarre varían de acuerdo a las características del objeto.⁽³⁾

Diversos estudios han mostrado que la cinemática de movimiento de las extremidades superiores es consistente, reproducible y se relaciona con la maduración motora del niño.⁽³⁾ De acuerdo al censo 2010 del INEGI, 5.1% de la población total tiene algún tipo de discapacidad, de los cuales el 58.3% tiene una discapacidad motriz,⁽¹⁴⁾ gran parte de ellos con limitaciones para realizar las actividades de la vida diaria, de ahí la importancia de realizar este estudio, además de que actualmente en México, no se cuenta con un protocolo establecido en el laboratorio de movimiento, que sea de nuestro conocimiento, que defina los cambios en los parámetros cinemáticos de la extremidad superior ante una tarea funcional en escolares y adolescentes con salud óptima.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó un estudio descriptivo, observacional, transversal, prospectivo y comparativo, en el Laboratorio de Movimiento del Centro de Rehabilitación Infantil Teletón Estado de México (CRIT EM), entre dominancia de extremidades superiores, en el periodo de agosto a octubre 2012. Se obtuvo una muestra de 19 niños y adolescentes sanos, familiares de pacientes del CRIT EM, por muestreo no probabilístico de casos consecutivos, con consentimiento informado de los padres y del Comité de Ética e Investigación del CRIT EM, asentimiento del niño, bajo los lineamientos de la

Declaración de Helsinki; participando 11 niños del sexo masculino y 8 del sexo femenino. La edad promedio fue de 11.4 años, mínima 6 años y máxima de 16.5 años. Los pacientes de este estudio se encontraban dentro de las percentilas 15 y 80 basado en las variable peso y talla de acuerdo a las tablas de crecimiento del National Center for Health Statistics⁽¹⁵⁾.

Se tomaron en cuenta los siguientes criterios de inclusión: sin diagnóstico previo de enfermedad osteoarticular o neuromuscular, sin antecedentes de cirugías previas, que comprendieran y siguieran instrucciones de manera adecuada, sin medicación ni enfermedad aguda, los criterios de exclusión fueron los siguientes: déficit cognitivo, déficit visual no corregido, trastornos conductuales y antecedentes de factores de riesgo para daño neurológico. Previo a la captura, se realizó una evaluación clínica que incluyó medición con goniómetro de arcos de movilidad para hombro, codo, muñeca y dedos, maniobras para descartar contracturas de músculos pectoral mayor, pectoral menor y dorsal ancho, valoración de reflejos de estiramiento muscular bicipital, tricipital y estilorracial, examen clínico muscular y medición de los segmentos: acromion-epicóndilo y epicóndilo-cúbito. La captura del movimiento del miembro superior se realizó con un sistema optoelectrónico modelo Smart-D (BTS, Italia) de seis cámaras infrarrojas, frecuencia de muestreo de 140 Hz. El análisis de los datos se realizó con el software Smart Analyzer (BTS, Italia). El video convencional se obtuvo utilizando dos cámaras digitales (Axis 210A), con las cuales se registró una vista frontal y una vista lateral. Se desarrolló de manera específica para este proyecto un protocolo de colocación de marcadores reflejante. Mediante este protocolo se obtuvo un modelo biomecánico de cuatro segmentos corporales (antebrazo y brazo de manera bilateral). Los marcadores pasivos reflectantes se colocaron en las siguientes referencias anatómicas: a) borde anterior de clavícula derecha e izquierda, en su extremo esternal, b) acromion derecho e izquierdo, c) epicóndilo derecho e izquierdo, d) apófisis espinosa de 7ª vértebra cervical, e) apófisis espinosa de 10ª vértebra torácica. Se empleó un banco de altura regulable, sin respaldo que permitiera a los niños estar sentados con 90° de flexión de cadera y rodilla, se utilizó una mesa cuya altura permitiera al niño una postura inicial con flexión de codo a 85°-90°, colocando sus manos sobre la mesa con antebrazos en pronación. Colocamos un objeto (2 cm altura por 3 cm de diámetro) en frente del niño, sobre la mesa, a una distancia equivalente al 90% del máximo alcance de su extremidad superior, colocando una "X" sobre la mesa con cinta adhesiva como referencia (figura 1). A cada uno de los sujetos participantes se les dió instrucciones para realizar la actividad de alcanzar el

objeto, tomarlo, llevarlo hacia la boca, regresarlo a su sitio en la mesa y regresar la extremidad a la posición inicial. Iniciamos con el registro en sedestación y estático para obtener valores de referencia y continuamos con la toma de 3 registros de la actividad funcional; para su análisis utilizamos el último registro por considerarse el más fisiológico. Posteriormente se procedió al análisis de los datos capturados para obtener los parámetros cinemáticos del miembro superior durante el movimiento descrito.

Los parámetros que se obtuvieron fueron: a) flexión-extensión de hombro, abducción-aducción de hombro, flexión-extensión de codo, velocidad angular de codo y velocidad lineal de mano. Para su análisis, dividimos la tarea realizada en 4 fases: alcance del objeto, llevar el objeto a la boca, de la boca a la mesa y regresar a la posición inicial, posteriormente se realizó el cálculo correspondiente al porcentaje del ciclo para cada una de ellas, tomando en cuenta el promedio de ellos.

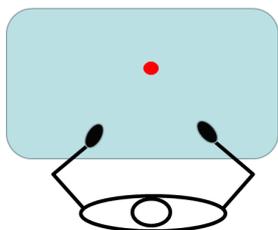


Figura 1. Postura inicial para la prueba de valoración de la cinemática en 3 dimensiones del miembro torácico.

El análisis estadístico descriptivo se realizó mediante el programa GraphPadPrism Versión 4.0, incluyó media, desviación estándar e intervalos de confianza (IC) del 95%.

Las diferencias entre miembro superior derecho e izquierdo (dominancia) fue analizado con una t de Student no pareada con un nivel alfa de 0.05.

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestra las características de la población estudiada y en el Cuadro 2 las características de las fases de la tarea funcional observada.

Cuadro 1. Población estudiada.

Edad (años)	Masculino	Femenino	Total
6 a 8	3	1	4
8.1 - 10	1	2	3
10.1 a 12	3	1	4
12.1 a 14	2	2	4
14.1 a 16	1	3	4
Total	10	9	19

En el Cuadro 3, se presenta el análisis descriptivo de los parámetros cinemáticos de los datos obtenidos.

En las figuras 1 a 3, se describe el movimiento articular, la línea gruesa representa la media y las

delgadas las desviaciones estándar. La articulación del hombro, en el plano coronal (Figura 1) presenta movimiento de aducción y abducción que oscilan entre los 2.1 y 9.5 grados, manteniéndose durante casi todo el ciclo en abducción, alcanzando su punto máximo en la fase de desplazamiento de la mano hasta el objeto y agarre del mismo y el punto mínimo en la posición de partida.

Cuadro 2. Fases del ciclo del movimiento de alcance

Fase	Tarea	Derecho% (DE%)	Izquierdo% (DE%)	t de Student IC 95%
1	Desplazamiento de la mano hasta el objeto y agarre	26.8 (5.12)	26.1 (4.62)	NS (p 0.64)
2	Transporte del objeto a la boca	23.8 (3.41)	23.5 (2.40)	NS (p0.78)
3	Transporte del objeto a la mesa	25.0 (4.09)	27.0 (4.35)	NS (p 0.18)
4	Desplazamiento de la mano a la posición inicial	24.4 (5.18)	23.4 (4.44)	NS (p 0.54)

DE = Desviación estándar

En el plano sagital (Figura 2), el hombro se flexiona y realiza un movimiento hacia la extensión, sin embargo, es importante recalcar que durante todo el ciclo el hombro permanece en flexión en un arco de 0 a 46° alcanzando el pico máximo en la fase uno y mínimo al comenzar el movimiento y al término del mismo.

Al iniciar el movimiento, el codo se encuentra a 100° de flexión (Figura 3) continuando en flexión durante todo el ciclo, siendo máxima en la fase 3 alcanzando 135°. Cabe mencionar que la velocidad angular de codo (Figura 4) presenta un pico máximo para el miembro torácico dominante al momento de regresar a la posición inicial, mientras que para el miembro no dominante, el pico máximo se encuentra al momento de desplazar la mano hacia el objeto.

En cuanto a la velocidad lineal de mano dominante se observa una uniformidad en las fases de transporte, mientras que la velocidad lineal de la mano izquierda presenta dos picos máximos importantes en la misma fase.

DISCUSIÓN

El presente estudio provee un análisis cinemático tridimensional detallado de una tarea funcional. Esta tarea incluye 3 movimientos principales: alcanzar, agarrar y transportar el objeto. El movimiento estudiado, permitió ser dividido en 4 fases, cuyo análisis permitió investigar de manera separada los parámetros cinemáticos en cada fase.

Los resultados obtenidos en cuanto al arco de movimiento para flexo-extensión de hombro, codo y para la velocidad lineal de mano, así como las figuras para la cinemática de hombro y codo son

Cuadro 3. Análisis descriptivo de parámetros cinemáticos

Parámetros	FASE 1		FASE 2		FASE 3		FASE 4		t de Student IC 95% p
	Arco (°) (min-max)		Arco (°) (min-max)		Arco (°) (min-max)		Arco (°) (min-max)		
	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	
Hombro flexión-extensión	46 (0-46.0)	46.1 (0-46.1)	3.6 (43.1-46.7)	5.4 (40.3-45.7)	1.4 (46-47.4)	6.6 (40.1-46.7)	41.3 (4.6-45.9)	42.7 (3.1-45.8)	NS (p 0.67)
Hombro abducción-aducción	9.5 (0-9.5)	8.8 (0-8.8)	4.5 (7.7-12.2)	2.9 (7.7-10.6)	4.7 (7.3-12.0)	2.1 (7.7-9.8)	4.4 (6.0-10.46)	3.6 (6.0-9.6)	NS (p 0.58)
Codo flexión-extensión	39.8 (62.1-101.9)	42 (61.9-103.9)	66.9 (66.5-133.4)	70 (67.7-137.7)	72.6 (58.3-130.9)	73.6 (62.1-135.7)	45.5 (59.0-104.5)	32.2 (68.8-101.0)	NS (p 0.06)
Parámetros	Arco (°) (min-max)		Arco (°) (min-max)		Arco (°) (min-max)		Arco (°) (min-max)		
	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	Izq	
Velocidad angular codo deg/seg	125.24 (-30.17 a 95.07)	127.8 (-32.6 a 95.2)	133.5 (-116.8 a 16.7)	126 (-120.9 a 5.1)	110.9 (8.2 a 119.1)	120.9 (2.4 a 123.3)	152 (-125 a 27.1)	108.8 (-103.7 a 5.1)	NS (p 0.84)
Velocidad lineal mano m/seg	0.5 (0-0.5)	0.42 (-0.1-0.42)	0.01 (-0.06-0.05)	0.8 (-.74 a -0.1)	1.1 (-0.5 a 0.6)	0.82 (-0.3 a 7.9)	0.17 (-0.09 a 0.08)	0.62 (-.56 a 0.6)	NS (1.0)

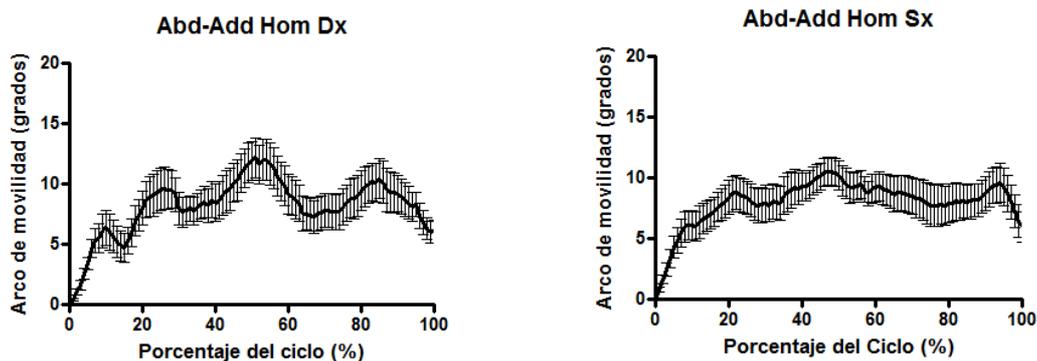


Figura 1. Movilidad del hombro en el plano coronal. Fuente: Base de datos LAM-CRITEM/2012

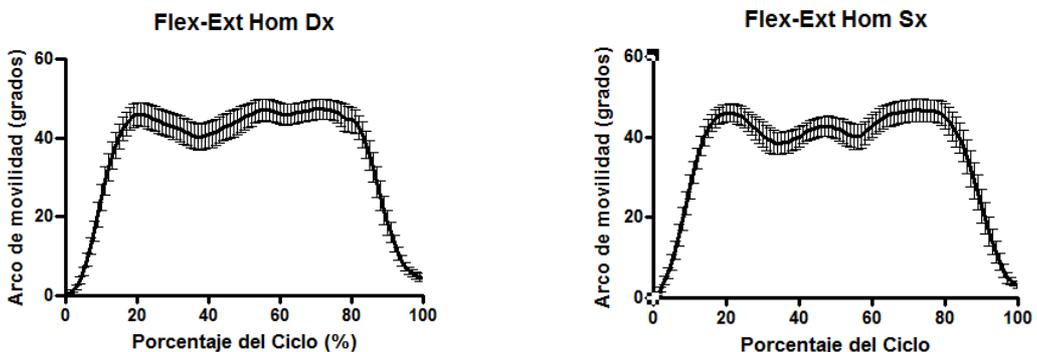


Figura 2. Movilidad articular del hombro en el plano sagital. Fuente: Base de datos LAM-CRITEM/2012

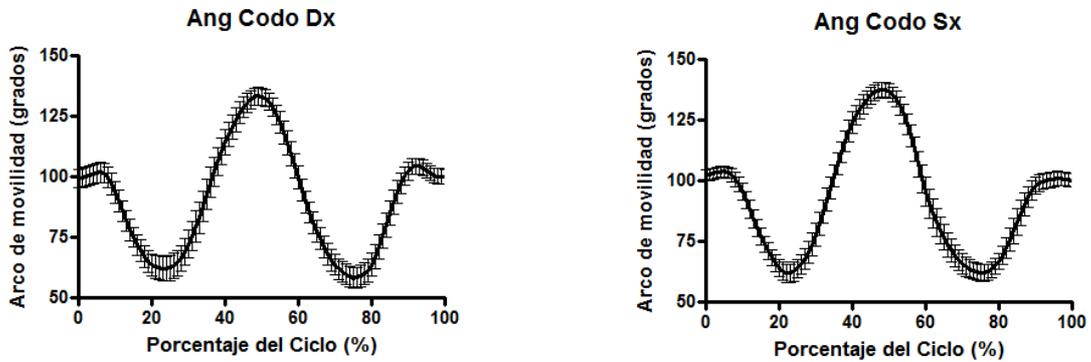


Figura 3. Movilidad articular del Codo en el plano sagital. Fuente: Base de datos LAM-CRITEM/2012

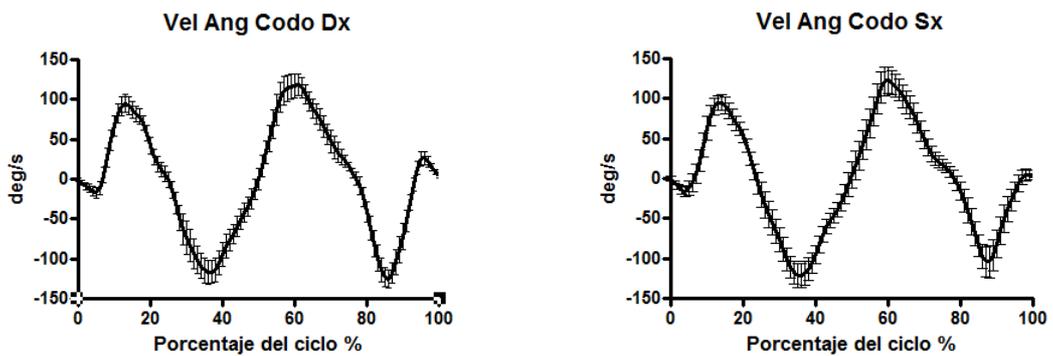


Figura 4. Velocidad angular de Codo. Fuente: Base de datos LAM-CRITEM/2012

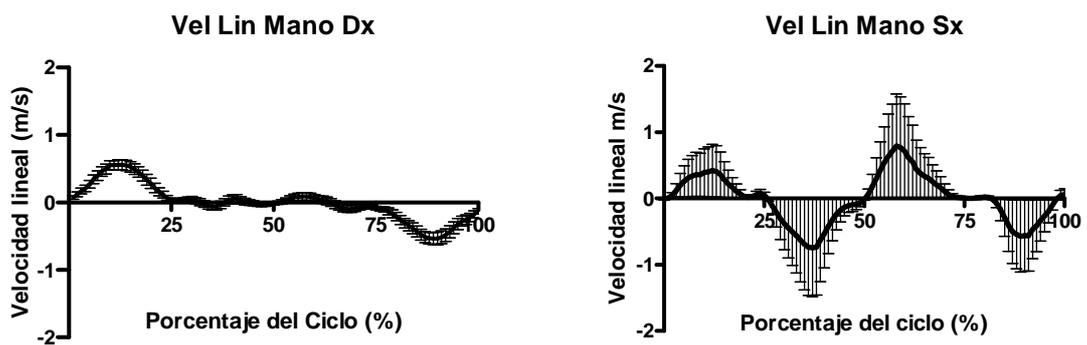


Figura 5. Velocidad Lineal de Mano. Fuente: Base de datos LAM-CRITEM/2012

similares a los presentados por Butler y cols, ^(8,15) encontrando una mayor velocidad lineal en las fases de transporte y un arco de movimiento de flexión máxima de hombro de 40-50 grados en la primera fase.

De igual manera, coincidimos con la descripción realizada por Murphy y colaboradores⁽³⁾ de los arcos de movimiento de flexión-extensión y abducción-aducción para hombro y flexo-extensión de codo, así como con las figuras que representan dicho

movimiento, incluyendo la descripción gráfica del comportamiento de la velocidad lineal de mano.

Las diferencias interlado de los parámetros evaluados no son estadísticamente significativas, lo cual nos dice que esta actividad funcional puede no requerir un exhaustivo entrenamiento para su realización con el miembro no dominante.

La gran similitud de los arcos en la velocidad angular de codo nos orienta a pensar que esta actividad funcional puede ser llevada a cabo de manera efectiva independientemente de la dominancia, requiriendo solo entrenamiento para precisar el movimiento.

Encontramos además que los arcos de movimiento de hombro necesarios para realizar la tarea funcional descrita son de pequeña amplitud, siendo menores de 50 ° para la flexión de hombro y de 10° para la abducción del mismo, sin embargo, el arco de movimiento requerido en la articulación del codo para llevar esta función puede ser hasta de 70 grados de flexión, para cumplir el objetivo de llevar un objeto a la boca, lo cual recalca la importancia de esta articulación en esta actividad funcional.

En el presente estudio no se incluyeron las rotaciones en la articulación del hombro ni los arcos de movimiento de las muñecas.

CONCLUSIONES

La determinación de los parámetros cinemáticos del miembro superior mediante análisis tridimensional es útil en la documentación y valoración tanto cuantitativa como cualitativa de una tarea funcional específica.

Puede emplearse como una herramienta para la valoración de resultados de tratamientos de rehabilitación y para el diseño de estrategias de tratamiento, facilitando de esta manera la comparación con otras poblaciones.

Puede utilizarse además para elucidar las estrategias motoras para realizar una tarea.

Los rangos de movimiento para hombro y codo para los movimientos estudiados fueron constantes en la totalidad de la población independientemente de la edad y la dominancia.

Proponemos ampliar la cantidad de movimientos evaluados y el repertorio de actividades de la vida diaria analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cano-de-la-Cuerda R, et al. Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorrehabilitación. Neurología. 2012; 10:1-10.
2. Shwmmway CA, Woollacott HM. Motor Control. Translating research into clinical practice. 3a ed. Lippincott Williams and Wilkins. 2007. 447-471.
3. Murphy AM, Sunnerhagen KS, JohnelsB, Willén C. Three-dimensional kinematic motion analysis of a daily activity drinking from a glass: a pilot study. JNeuroEng Rehab. 2006; 18 (3): 1-11.
4. Villanueva AD, Pichardo EA, Perez-Moreno JC. Kinematic upper limb assessment of children with hemiparetic cerebral palsy during a reaching functional task. The TRAMA Project. Training in Motion Analysis. ISBN 2010.
5. Andeletal CJ, et al. Complete 3D kinematics of upper extremity functional tasks. Gait & Posture. 2008; 27:120-127
6. Jaspers E, Desloovere K, et al. Review of quantitative measurements of upper limb movements in hemiplegic cerebral palsy. Gait and Posture. 2009; 30: 395-404.
7. Coluccini M, Maini SE, MarelloniCh, Sgandurra G, Cioni G. Kinematic characterization of functional reach to grasp in normal and in motor disabled children. Gait and Posture. 2007; 25: 493-501.
8. Wesdock K, Masiello G, Rasnake B, Blair S, Sharps Ch. Validation of a clinically useful kinematic model for upper limb motion analysis in hemiplegic cerebral palsy and brachial plexus palsy. Gait and Posture. 2006; 24S: S239-S241.
9. Butler EE, Ladd AL, et al. Three dimensional kinematics of the upper limb during a Reach and Grasp Cycle for children. Gait and Posture. 2010; 32: 72-77
10. Verrel J, Bekkering H, Steenbergen B. Eye-hand coordination during manual object transport with the affected and less affected hand in adolescents with hemiparetic cerebral palsy. Exp Brain Res. 2008; 187:107-116.
11. Villalobos LJ, Parodi CA, González SDR. Estandarización de valores cinemáticos en niños sanos. RevMexMed Fis Rehabil. 2005; 17(2): 47-53.
12. Molina RF, Rivas MF, et al. Análisis del movimiento de la extremidad superior hemiparética en pacientes con accidente cerebrovascular: estudio piloto. Neurología. 2011; 1-5
13. Jaspers E, FeysH, Bruyninckx H, Harlaar J, Molenaers G. Upper limb kinematics: Development and reliability of a clinical protocol for children. Gait and Posture. 2011; 33: 279-285.
14. <http://www.inegi.org.mx>.
15. Kontaxis A, Cuti AG, Jhonson GR, Veeger JEH. A framework for the definition of standardized protocols for measuring upper-extremity kinematics. ClinBiomech. 2009; 24:246-253.