

CARACTERIZACIÓN DIGITAL DE LA BIOMECÁNICA DEL GESTO DE LA PATADA EN LA DISCIPLINA DE TAEKWONDO

A. Torres Ruiz^{1*}, J. M. Manrique Fernández^{2*} y S.C. Ardila Jiménez^{3**}

*Universidad Manuela Beltrán, Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica GIIB, Bogotá, Colombia.

** Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica GIIB, Bogotá, Colombia.
e-mail: andrea.torres@umb.edu.co

Resumen: En este artículo presentamos el caso de estudio de un deportista de alto rendimiento de la disciplina de taekwondo. Estudiamos cinco gestos de patadas conocidas como Yopcha Jirugi, Dolio Shagui, Goquen Chagui, Twimyo Dolyo Chagi y Dwicha Milgui/ Diwicha Jirugui, con técnicas digitales de captura. Por medio de esta investigación fue posible estudiar los datos cinemáticos del movimiento y la técnica realizada por el taekwondista. Para la captura de los gestos deportivos utilizamos el software Biomech® que registra los marcadores ubicados en el cuerpo del deportista; para diseñar el modelo biomecánico se utilizó el software Tracklab®; y para realizar el procesamiento de datos se utilizó el software SmartAnalyzer®. Luego obtuvimos una animación muy realista de la anatomía y los movimientos en 3D de los gestos. Diseñamos un protocolo para evaluar cuantitativamente el movimiento dentro de rangos de normalidad, con la finalidad de evaluar la técnica y los posibles errores que se pueden estar cometiendo y afectar el rendimiento y la salud del deportista. Encontramos que el deportista realiza una adecuada técnica pero puede potenciarla imprimiendo mayor velocidad en la patada y controlando sus movimientos articulares para evitar lesiones a futuro.

Palabras-clave: Biomecánica, Captura Digital, Cinemática, Movimiento, Taekwondo.

Abstract: In this paper we present the case study of a high performance athlete in Taekwondo. We studied five lower limb gestures or kicks known as Yopcha Jirugi, Dolio Shagui, Goquen Chagui, Twimyo Dolyo Chagi y Dwicha Milgui/ Diwicha Jirugui using a digital capture technique. This allowed us to calculate kinematic data of movement performed which describe accurately the technique of the movement performed by the athlete. Motion capture was made using the software Biomech® by placing markers on the body of the athlete. The designs of the biomechanical models were made using Tracklab® and data processing was performed with the use of SmartAnalyzer®. Finally, we produced a realistic simulation of the anatomy and movements in 3D. We used this protocol to quantitatively assess movement within the standardized range-of-motion values, highlight possible issues that may affect performance, and potentially health. We found that the athlete makes a suitable technique but can strengthen it by increasing the speed in the kick and controlling your joint movements to prevent future injuries.

Keywords: Biomechanics, Digital capture, Kinematics, Taekwondo.

Introducción

En la actualidad el Taekwondo es un arte marcial caracterizado por movimientos enfocados en los golpes con el pie, al cual le han realizado estudios biomecánicos en el análisis de gestos [1,2] para determinar factores como: la velocidad, la aceleración y los ángulos en las articulaciones, con el fin de optimizar el desempeño en los gestos del Taekwondo [3,4,5,6,7].

Este arte marcial se define como un estilo de combate con el fin o propósito de la autodefensa en los cuales son necesarios la concentración, el equilibrio, el control de la respiración y la velocidad [8,9, 10,11].

En la investigación, se caracterizaron las técnicas de ataque de miembro inferior (Gong Gyok Gi): patada que atraviesa lateralmente (Yopcha Jirugi); patada con giro (Bandae Chagi); “Hacha” o patada en pico (Goquen Chagui); combinación Jonap; y “Mula” o patada de empuje hacia atrás (Dwicha Milgui o Tuit Chagui). Para poder caracterizar cada uno de los gestos [12,5,6,7,10,11], se realizó la captura con el software Biomech®, se procesó la información para obtener la cinemática del gesto, evidenciar falencias, potenciar habilidades del deportista, mejorar la competitividad y evitar lesiones a futuro [13,14], con ayuda de los software TrackLab® y SmartAnalyzer®.

Materiales y métodos

Población – Se realizó la captura de los gestos deportivos en un taekwondista de alto nivel, que accedió al estudio aprobado por el comité de ética (actas No.11-2011-2013 y 05-02-2205-2014) en el Laboratorio de Biomecánica Digital BIOMED. La investigación es un estudio de caso con un único deportista para caracterizar sus gestos, aún no es una estandarización del mismo, por lo tanto queda como trabajo futuro realizar esta investigación con más deportistas para poder asegurar un patrón de los gestos.

Equipos y software utilizados – Se utilizaron seis cámaras optoelectrónicas (infrarrojas) y dos cámaras de video convencional para capturar los movimientos en tiempo real. El laboratorio consta de un área que contiene una pista que mide 4m de largo por 1,20m de ancho, un

área de consulta clínica y un centro de control en donde se procesa la información. Adicional a esto, cuenta con diferentes software para el procesamiento y análisis de datos, como son el Biomech®, el Tracklab® y el SmartAnalyzer [15,3].

El software Biomech® se encarga de realizar la conversión de la información del movimiento realizado por los marcadores ubicados en el cuerpo del Taekwondista; el software Tracklab®, permite hacer la reconstrucción tridimensional de los marcadores para visualizarlos en un ambiente gráfico y a su vez, crear un archivo para usarlo en el software SmartAnalyzer®, también permite observar la información de la posición, velocidad y aceleración de cada uno de los marcadores; y el software SmartAnalyzer®, a partir del archivo creado en el software Tracklab®, permite realizar análisis biomecánicos, cálculos por medio de operadores matemáticos y visualizar de manera gráfica los resultados de las operaciones [15,3].

Set de marcadores diseñado para Taekwondo – Se diseñó un set de 21 marcadores para la disciplina del Taekwondo, como se observa en la figura 1 en diferentes vistas (anterior, posterior y lateral) [4].

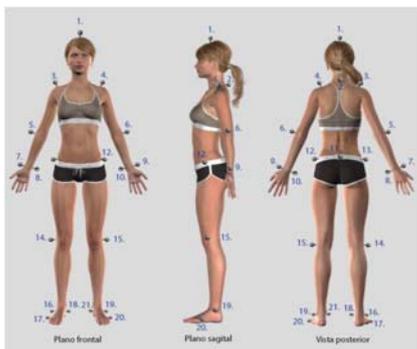


Figura 1: Set de marcadores para el deportista de Taekwondo [4].

Captura y procesamiento de datos – Con el software Biomech®, se realizó la conversión de la información del movimiento capturado de los marcadores en el espacio y en el tiempo. Con el software Tracklab®, se procedió a la construcción de la secuencia de los datos en 3D y se creó un modelo biomecánico de la captura al cual se le asignaron los nombres de los marcadores (archivo .dbt) para generar finalmente el archivo .ric, como se aprecia en la figura 2, que es con el que se trabajó para obtener la cinemática del gesto deportivo [15,3,4]. Con el archivo .ric, se inicia la creación del protocolo biomecánico en el software SmartAnalyzer®, para lo cual hay que realizar interpolaciones, filtrados, creación de escalares, vectores, operaciones matemáticas, ángulos, entre otros, para obtener los datos cuantitativos del movimiento. En el software SmartAnalyzer®, se calcularon los ángulos en los diferentes planos biomecánicos (sagital, frontal y transversal) [16,17,18,19], para ello fue necesario crear vectores, escalares, secuencias y hacer uso de operadores matemáticos, también se obtuvieron

los datos de posición, velocidad y aceleración de cada uno de los marcadores.

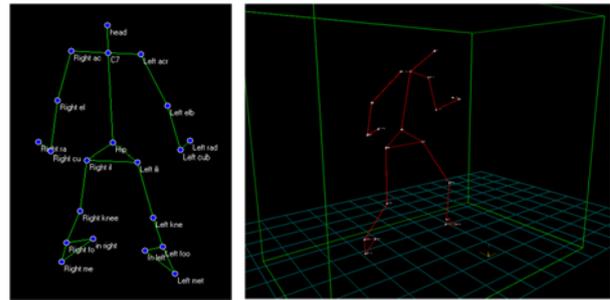


Figura 2: Generación del archivo .RIC [4].

En la figura 3 se aprecia el ángulo del codo derecho después de interpolar, filtrar y aplicar operadores matemáticos para obtener el dato real del ángulo de flexo-extensión del codo a lo largo de la captura. En este caso se muestra el cálculo en el tiempo 0.180seg.

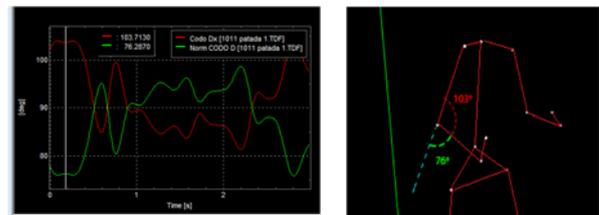


Figura 3: Ángulo del codo derecho

Con la información que se obtuvo en cada una de las articulaciones, se generó un reporte para cada gesto o patada estudiada con la información cuantitativa de la biomecánica del movimiento (cinemática) en cada uno de los eventos (listo para patear, patada, recuperación) y en cada uno de los planos biomecánicos (sagital, frontal y transversal) [16,17,18].



Figura 4: Animación 3D realizada del Taekwondo con la captura realizada

A partir de los datos de captura, se desarrollaron videos en 3D. Para esto, se exportaron los datos de captura a un archivo .C3D con el software Autodesk® MotionBuilder®, se definió un set de marcadores a partir de los datos de captura con extensión .C3D, para que un “actor” simulara los movimientos registrados y se visualizaran en el software Autodesk® 3ds Max®, como se observa en la figura 4.

Resultados

Se obtuvieron y analizaron datos de posición, velocidad y aceleración de los 21 marcadores [16,17,18,19] ubicados en el cuerpo del deportista en cada uno de los ejes (x,y,z); y los ángulos articulares de movimiento en los diferentes planos biomecánicos (sagital, frontal y transversal) de las articulaciones que actúan de forma significativa en el gesto. Sin embargo, se explicarán en este artículo los datos que se obtuvieron en los marcadores de los pies (metatarso y tobillo); y los ángulos realizados por algunas de las articulaciones, para caracterizar el gesto realizado por el deportista en términos cinemáticos.

Posiciones – En el eje (x) se describieron progresiones y regresiones; en el eje (y), ascensos y descensos; y en el eje (z), movimientos laterales.

Para influir en el rendimiento y evitar lesiones, se debe tener una buena ejecución y control del equilibrio y para ello la posición del pie de apoyo no debe variar mucho con respecto a la posición inicial en el momento del impacto [8,9,20,21]. En esta caracterización, el marcador ubicado en el metatarso fue el punto de referencia para averiguar qué tanto se había movido el pie de apoyo durante la ejecución de la técnica en los ejes (x,z); y el marcador ubicado en el tobillo fue el punto de referencia para averiguar qué tanto se había movido en el eje (y) el pie de apoyo. En la figura 5 se aprecia la posición de estos marcadores en la ejecución de la patada con giro y se observa que el pie derecho alcanza una altura de 1,2m al momento del impacto. Antes del despegue del pie que patea, la cadera debe rotar para imprimir una mayor potencia, por lo tanto el pie de apoyo (marcador del metatarso izquierdo) experimenta un movimiento lateral (0,14m) y una pequeña elevación (0,007m) sin perder el contacto con el suelo para generar estabilidad en la realización del gesto, por lo tanto es posible observar en el deportista que realiza una correcta ejecución, lo cual va a influir en disminuir el riesgo de lesión al tener un adecuado control del equilibrio.

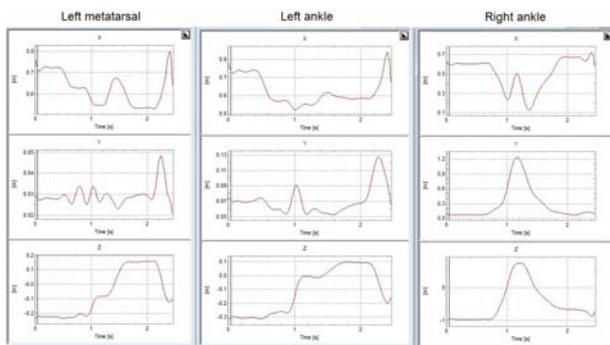


Fig. 5 Cambio de posición en el pie de apoyo (izquierdo) y el pie que patea (derecho) en la patada con giro. Eje (x) relaciona el tiempo [s] y el eje (y) la posición [m]. Fila 1: posición eje (x); fila 2: posición eje (y); fila 3: posición eje (z). Columna 1: metatarso izquierdo; columna 2: tobillo izquierdo; columna 3; tobillo derecho.

Velocidad y aceleración – Estudios en deportistas de alto rendimiento muestran velocidades máximas entre 6,6m/s y 8,8m/s en hombres para patadas frontales, patadas con giro (bandae chagi) y la patada (jonap) [8,9,20,21]. Los datos comparativos que se obtuvieron en este estudio se muestran en la tabla 1, en la cual se pueden apreciar que los datos máximos de velocidad para el deportista oscilaron entre 6,46m/s y 8,55m/s, siendo muy cercanos a los valores mencionados, pero evidentemente el deportista debe incrementar la velocidad entre 0,14m/s y 0,25m/s para lograr mayor competitividad, sin presentar riesgos de lesión. Debido a esto, cabe hacer una revisión de la velocidad y la aceleración respecto a los movimientos angulares que ayudan en la técnica para imprimir mayor velocidad y a su vez adaptar el cuerpo biomecánicamente para evitar lesiones, con el fin de determinar cuáles son los factores que ayudan a que se presenten velocidades altas y aumenten su rendimiento.

Tabla 1: Velocidades y aceleraciones entre las patadas con giro y jonap; velocidades máximas de las 5 patadas

Evento	Patada con giro (máx.)	Patada jonap (máx.)	Eje
Inicio a fin del gesto	2,8 m/s	3,54 m/s	X
Inicio a fin del gesto	5,5 m/s	5,18 m/s	Y
Inicio a fin del gesto	6,46 m/s	8,55 m/s	Z
Evento	Patada con giro (máx.)	Patada jonap (máx.)	Eje
Inicio a fin del gesto	53,2 m/s ²	78,12m/s ²	X
Inicio a fin del gesto	40,86 m/s ²	41,86 m/s ²	Y
Inicio a fin del gesto	33,5 m/s ²	8,55 m/s ²	Z
Velocidad máxima de Inicio a fin del gesto			
Eje	X	Y	Z
Patada lateral	1,97m/s	4,85s m/s	4,75m/s
Patada giro	2,82m/s	5,59s m/s	6,46m/s
Patada pico	0,54m/s	4,92 m/s	4,28m/s
Patada jonap	3,58m/s	5,18s m/s	8,55m/s
Patada hacia atrás	2m/s	5,4 m/s	6m/s

El jonap alcanza mayor velocidad en los ejes (x,z), mientras que en el eje (y) es un poco mayor la de la patada con giro. También se observa que la aceleración es mucho mayor en el jonap en los ejes (x,z), mientras que en la patada con giro es ligeramente mayor en el eje (y). En el caso de la velocidad y la aceleración, éstas ascienden durante la ejecución si la cadera realiza rotaciones que lleguen a los valores máximos de amplitud. Es decir, que si la cadera rota más, hay mayor velocidad y aceleración.

Ángulos – Se calcularon los ángulos y se compararon con los ángulos normales referenciados encontrados en la literatura [16,17,18]. Los resultados arrojaron los datos que se visualizan en la tabla 3. Los valores que se exceden de los rangos de normalidad, no superan más de siete grados por encima del valor estándar. Este pequeño incremento se puede asociar a la adaptación de que sufren los tendones y ligamentos cuando se les aplica frecuentemente esfuerzos de tensión, sin embargo, lo ideal es poder desarrollar una correcta técnica dentro de los rangos fisiológicos para evitar una lesión.

Tabla 3: Rangos máximos de ángulos vs ángulos realizados por el deportista.

Ángulos (°)	Valores máximos estándar	Valores máximos obtenidos
Hip flexion*	145	148
Hip extension	20 – 30	5
Hip abduction	45-50	30
Hip adduction*	45	49
Hip internal rotation*	40	43
Hip external rotation*	70	76
Knee flexion	135 – 170	117
Foot extension	42 – 52	19
Foot flexion	15 – 30	7
Shoulder flexion	180	100
Shoulder abduction	180	71
Shoulder adduction*	30 – 45	48
Elbow flexion	145 – 160	112
Torso flexion (thoracolumbar)	105	74
Torso obliquity (cervical + dorsal + lumbar)	75 – 85	75
Torso rotation (cervical + dorsal + lumbar)	90	59

* Valores registrados por encima del rango normal

Conclusiones

Esta investigación permitió mostrar resultados cuantitativos de la cinemática del gesto: velocidades, aceleraciones, posiciones y ángulos de cada uno de los gestos realizados por el taekwondista.

Se obtuvo un protocolo para poder caracterizar el gesto del taekwondista y entregar parámetros de la biomecánica de los movimientos, con el fin de optimizar su potencial y desempeño [17,18]. Este protocolo puede ser usado en cualquier taekwondista.

Fue posible evidenciar que el taekwondista desarrolla una adecuada técnica, sin embargo, debe imprimir mayor velocidad en la patada y controlar mínimamente sus movimientos articulares para evitar lesiones a futuro [14] y mejorar el rendimiento [17,18].

Los archivos obtenidos se pudieron exportar a software de diseño 3D para construir animaciones realistas de los gestos.

Referencias

[1] Gustavo R.S. (2003) Qué es la biomecánica. Introducción al curso de Biomecánica Deportiva. Archivo pdf en línea, 2 de junio, <http://viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/ac09-intro.pdf> (15 de mayo de 2013). www.virf.udea.edu.co

[2] James G. HA. (1993) The Biomechanics of Sports Techniques. 4ª edición. Prentice Hall. Editorial Benjamin Cummings, pp 544.

[3] Andrea T.R. (2007) Análisis biomecánico de la esgrima mediante sistemas optoelectrónicos de análisis de movimiento. Estudio de caso: deportista de alto rendimiento. Revista de Ingeniería Biomédica, Vol.2, 30-39.

[4] Jorge M. H. (2013) Caracterización digital de biomecánica de los gestos para la disciplina del Taekwondo. Universidad Manuela Beltrán.

[5] Vieten M., Scholz M., Kilani H., y Kohloeffel M. (2007) Reaction time in taekwondo. Brazil, Proceedings of XXV International Symposium on Biomechanics in Sports, Ouro Preto, pp 293-296.

[6] Yoon D. (1986) Kinematic analysis of series motion of Taekwondo apchagi and dohyochagi. PhD Thesis. University of Sungkuenkwan.

[7] Balias X., Angulo R., y Kinzler S. (1993) Biomecánica: Cinemática y Dinámica de las 5 Técnicas más frecuentes en competición en taekwondo. Revista/Libros C.O.E.: Taekwondo. Editor: COE, Madrid. Cap. 4, pp 39-46.

[8] Choi Hong Hi. (1996) Taekwondo. Primera edición en castellano. Publicado por International Taekwondo Federation. Argentina, pp 15, 747.

[9] Pedro G.E. (2004) Taekwondo, teoría y metodología de la preparación competitiva. México, D, F. Confederación Deportiva Mexicana, pp 236.

[10] Salvatore C., Tessitore A., Ammendolia A., Costis C., Lupo C., y Capranica L. (2007) Nacional analysis of olympic taekwondo competitions. 12th congreso anual de ECSSF, Finlandia, Jyväskylä.

[11] Park Y. J. (2000) A biomechanical analysis of taekwondo front-kicks. University Microfilms International. Hong Kong (1990). Editorial SDB Research Report .

[12] The Ohio state university. Advanced computing center for the arts and design. Motion capture lab system and data, noviembre de 2012, <http://accad.osu.edu/researchmain/research/motion_capture_lab/system_data.html> (15 de mayo de 2013). www.accad.osu.edu

[13] Kapandi A.I. (2001) Fisiología articular. Miembro inferior. 5ª edición, España, Editorial Médica Panamericana, pp 280, 351, 400.

[14] Miralles R. (2001) Valoración del daño corporal en el aparato locomotor: marcha normal y patológica. Barcelona: Elsevier, pp 20.

[15] BTS Elite. (2007) Solución integral multifactorial para el análisis clínico del movimiento. BTS Bioengineering, Italia. <Disponible en <http://www.btsbioengineering.com/products/integrated-solutions/bts-sportlab/>> (mayo de 2013).

[16] Margareta N, Franquel V.H. (2004) Biomecánica básica del sistema músculo-esquelético. Ed: 3. Madrid. Mc Graw Hill International, pp 85.

[17] Zheng N., Barrentine S. W. (2000) Biomechanics and motion analysis applied to sports. Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America, Vol. 11 N° 2, pp 309-322.

[18] Ozkaya N. (1999) Fundamentals of Biomechanics. 2da Ed. Springer-Verlag.

[19] Tsai Y.J., GU G.H., Lee, C.J., Huang C.F., y Tsai C.L. (2005) The biomechanical analysis of the Taekwondo front-leg axe-kick. Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports, Beijing, China, pp 437-440.

[20] Tsai Y.J. (1999) Biomechanics analysis of taekwondo axe kick. Tesis de Maestría. Taiwan. National Taiwan Normal University.

[21] Maria Coral F. P. (2009) Estudio sobre parámetros mecánicos y distancia de golpeo de bandal chagui de Taekwondo. Trabajo de grado doctoral Editado por Universidad de Valencia, España.