

Tema A3 Mecánica Teórica: Biomecánica Deportiva.

“Análisis biomecánico de la técnica de pateo de despeje de dos jugadores de fútbol americano”

L. Morales*^a, A. Ortiz^a, V.H. Jacobo^a.

^a Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales. Facultad de Ingeniería, UNAM. Laboratorios de Ingeniería Mecánica “Ing. Alberto Camacho Sánchez”. Circuito interior, Anexo de Ingeniería, Ciudad Universitaria, 04510 México D.F. * Contacto: lazaroo@unam.mx

RESUMEN

Se presenta el análisis biomecánico de la técnica utilizada por dos pateadores del equipo de fútbol americano PUMAS CU. El análisis se realizó con video de alta velocidad, filmando eventos de “patada de despeje” en sesiones al aire libre y realizando un post proceso con software de seguimiento de patrones. En el trabajo se proporciona a detalle la metodología empleada para lograr calcular el ángulo de flexo extensión entre el fémur y la tibia de la extremidad que impacta el balón y la extremidad de apoyo, además de, presentar figuras que permiten identificar las diferencias entre un jugador experimentado y un novato.

Palabras Clave: Biomecánica, fútbol americano, técnica de pateo, estabilidad de rodilla, flexo extensión, pateador.

ABSTRACT

This paper presents the biomechanical analysis of the technique used by two placekickers of the football team PUMAS CU. The analysis was performed with high speed camera, filming events of "kickoff " in sessions outdoors and doing a post process with patterns tracking software. The work provides to detail the methodology used to calculate the angle of of the knee extension the limb that strikes the ball, in addition to producing figures that allow to identify the differences between an experienced player and a rookie.

Keywords : Biomechanics, Football, Kicking technique, Knee stability, Flexo-extension knee, placekicker.

1. Introducción.

Plenamente se ha demostrado que la ciencia aplicada al deporte es necesaria para mejorar el desempeño de atletas de alto rendimiento. En México existen algunos centros de desarrollo del deporte que se encargan de preparar tanto física como mentalmente a los próximos representantes del deporte [1-2]. En CNAR tiene un laboratorio de biomecánica en donde se realizan estudios de seguimiento tridimensional de articulaciones, pruebas de isocinética, etc. En el CIATEC se cuenta con equipo tecnológico y recursos humanos para el desarrolla calzado especializado para uso deportivo e impactar en el rendimiento del atleta, en la

clínica del deporte de la UNAM se lleva el seguimiento del rendimiento de los atletas de competencia.

Una oportunidad para la aplicación de la ciencia al deporte se presenta al realizar estudios de biomecánica. Ésta se define como la aplicación de las leyes de la mecánica en los sistemas orgánicos de los seres vivos y sus estructuras, cuyo objetivo es estudiar los efectos de las fuerzas. [3-5].

Existen diversas técnicas experimentales para capturar el gesto deportivo, el uso de cámaras de alta velocidad resulta ser una herramienta de la fotogrametría secuencial, ampliamente utilizada en la biomecánica, la cual permite identificar detalles de los movimientos y eventos que se presentan durante el desarrollo de una actividad. Apoyándose en el material gráfico obtenido con dicha

herramienta, se tiene la oportunidad de observar movimientos que suceden demasiado rápido para ser apreciados por el ojo humano [6-10], además auxilia en la caracterización de los movimientos y en la definición de etapas, así como, para correlacionar los efectos de las fuerzas aplicadas durante el proceso [4,9,10].

La técnica de patear con el empeine o "estilo del balompié" refiere a una patada donde el individuo impacta el ovoide con la parte dorsal o lateral del pie; en contraposición a un golpe de puntapié donde la persona golpea al ovoide con el primer dedo del pie, mientras éste es perpendicular a la tibia del jugador [11].

La interacción entre el balón y el pie es determinante para lograr una correcta trayectoria del balón, así como, lograr una velocidad y alcance crucial para el juego [12]. Dicha técnica se considera común al rugby, al fútbol soccer, al americano, australiano, y al Gaélico. Existen algunos trabajos en la literatura sobre el estudio del golpeo con el pie en el fútbol asociación, pero existe muy poca información respecto al fútbol americano. En éste debido a la geometría del balón, se puede notar que la técnica tiene particularidades en este deporte [5]. Por otra parte, se han reportado diferencias en los patrones de movimiento de los segmentos del cuerpo para la técnica de pateo entre varones y mujeres [7].

Para poder optimar la técnica se han construido simuladores mecánicos para recrear la patada de despeje [13]. Es claro que, en todas las formas de fútbol, es ventajosa la capacidad de lograr una gran velocidad y distancia de alcance del balón por medio de una patada [5]. La técnica general de la patada consiste en la coordinación de múltiples segmentos en una secuencia de proximal a distal en una cadena cinemática [14].

En estudios previos [5-7,9,12] se ha tratado de comprender la técnica de la patada de despeje en el rugby para cuantificar y explicar la mecánica de las articulaciones de la pierna pateadora, reportándose que mientras que el movimiento del tobillo es despreciable, la rodilla se flexiona ampliamente antes de extenderse hasta el contacto de la pierna con el balón. Aunque estos patrones fueron similares a la patada del fútbol asociación, las magnitudes pico de la velocidad angular y el momento resultante parecen diferir de los de la patada del fútbol americano [15].

El objetivo del presente trabajo es analizar la biomecánica de la técnica de pateo de dos jugadores (P1, P2) del equipo de fútbol americano PUMAS CU, mediante técnicas de observación en 2D con cámara de alta velocidad y procesamiento de datos, esto con el fin identificar el gesto deportivo de tal forma que permita comprender la técnica de pateo en forma cuantitativa y registrar su desarrollo [8,9]. Concretamente se presenta el comportamiento del ángulo que se crea entre el fémur y la tibia de la extremidad inferior que impacta al balón y de la extremidad de apoyo durante el evento de pateo.

Se espera que el presente trabajo sirva de pauta para generar el registro del gesto motor de un deportista de

competencia y ampliar el desarrollo de la biomecánica en atletas de alto rendimiento en México, en particular en lo que se refiere al fútbol americano.

2. Método.

Durante el estudio se realizaron pruebas a dos pateadores (P1 y P2), de los cuales fue posible caracterizar su gesto motor de ambos atletas, fueron registradas cinco mediciones efectivas del evento "pateo de despeje" con las mismas condiciones establecidas. Ambos sujetos de estudio juegan la posición de pateadores de fútbol americano.

Los atletas presentaron características antropométricas semejantes, ambos catalogados como diestros. El jugador P1 al momento de realizar el estudio tiene una edad de 21 años y transcurría su cuarto año de participación con el equipo, él es catalogado como pateador experto (52 yd). Por otro lado, el atleta P2 tiene 19 años, tiene menor experiencia y es catalogado como novato.

El método que fue utilizado consistió en:

- *Toma del video de Alta Velocidad:* Durante esta etapa se filmó a dos jugadores especialistas en el evento de patada de despeje con un equipo de alta velocidad (400 fps) con una resolución de imagen 720 x 576 pixel, los fotogramas se utilizaron para obtener las foto coordenadas de las señalizaciones o marcadores pasivos, de tal forma que, con ayuda de las propiedades digitales de las imágenes se logró utilizar el contraste entre los marcadores pasivos colocados sobre el atleta. Esto se pudo lograr con mayor facilidad al utilizar un fondo oscuro, además de haber cuidado la elección del color de la ropa del atleta, *Fig. 1.*

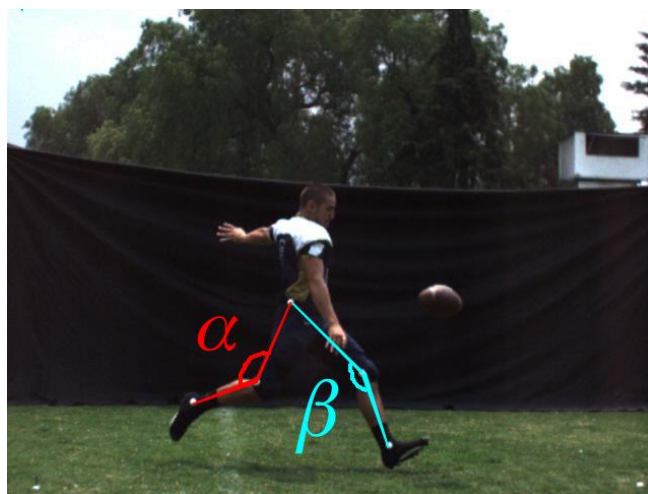


Figura 1. Identificación de vértices utilizados para la definición de vectores y los ángulos α , β . Se idealizó la posición de las articulaciones del atleta (tobillo, rodilla y cadera).

- *Elección del escenario de prueba:* También fueron cuidadas las condiciones ambientales durante la

prueba para que la captura de datos se realizara en forma eficiente, el control de la iluminación en la cámara se logró en analógica a pesar de ser pruebas al aire libre.

- **Definición de sistema de referencia en la imagen:** Debido a que el análisis de los datos se realizó en una etapa posterior, siempre se pudo encontrar las referencias sobre el cual se idealizó un sistema cartesiano base (vértices de **a**), los cuales fueron utilizados en la etapa de calibración; el origen se idealizó en el marcador que se identifica en la imagen en su costado inferior izquierdo.
- **Registro de condiciones de prueba:** Es importante señalar que fueron registradas las distancias (Fig. 2) entre los marcadores que conformaron el marco de referencia (*distancia "a"*) la posición de referencia de la cámara y (*distancia "b"*), información que fue utilizada en la calibración del sistema de captura de imágenes y la deformación por efectos ópticos relacionados con el lente de la cámara.



Figura 2. Distancias de Interés ($a=3.07[m]$ y $b=6.20[m]$)

- **Adquisición de Foto-coordenadas:** Con la información gráfica adquirida con la captura de cinco eventos de cada atleta, utilizando equipo video grabación de alta velocidad, se procedió a localizar los marcadores pasivos y calcular su posición para cada imagen respecto al marco de referencia, para realizar dicho seguimiento se utilizó Kinovea 0.8.25 y herramientas digitales capaces de dar seguimiento a figuras patrón o bien a un conjunto de píxeles con un valor de contraste de interés.

De esta etapa se obtuvo una lista de foto coordenadas de cada vértice y en cada uno de las imágenes, generando una tabla de datos de los

distintos puntos de interés en el tiempo, el cual se asocia con el intervalo deseado del video.

- **Procesamiento de Datos:** Se procedió a realizar una etapa de procesamiento de datos. Durante esta etapa, se agruparon las coordenadas obtenidas para posteriormente con el uso de Wolfram Mathematica® V.9 fue formulado un polinomio utilizando los valores experimentales, lo cual se logró obtener realizando una interpolación y con ello tener la oportunidad de definir una función respecto al tiempo, al obtener un polinomio se pudo derivar e integrar para obtener el bio parámetro buscado.

3. Resultados.

Se presenta en forma de grafica el comportamiento de la velocidad angular α y β de los atletas medidos, al realizar un procesamiento de los datos obtenido en forma experimental y aplicar una parametrización respecto al % de ciclo, lo permite obtener una curva representativa de los cinco eventos válidos Figs. 3-6.

En cada una de las gráficas que se presentan, se ha definido una etapa A que contiene el comportamiento de la preparación de la extremidad previa a la flexo-extensión, la etapa B contiene la duración y amplitud del ángulo de la rodilla que se presenta previo al impacto del balón, al finalizar la etapa B e inicio de la C se presenta el evento de impacto con el balón, la etapa C representa el comportamiento de la rodilla después del impacto finalmente la etapa D representa extensión total y el balanceo de la extremidad.

En la gráfica de la Fig. 3 se puede observar el comportamiento el ciclo del ángulo alfa (α) que se produce durante la flexoextensión de la extremidad que tuvo contacto directo con el balón, con respecto al ciclo del evento de pateo del primer sujeto de estudio, el cual fue catalogado como experto. Cabe destacar que el valor mínimo es de 63° , así como el valor máximo es de 179° , una primera etapa de preparación que tiene una duración del 35% del ciclo (A), una siguiente fase de flexo extensión que presenta una duración de 15% del ciclo (B), el impacto del pie con el balón se presenta aproximadamente al 50% del ciclo, el efecto de la inercia sobre la rodilla en un lapso de 10% del ciclo (C) y finalmente una etapa de extensión máxima de la articulación el restante 40% del ciclo de pateo

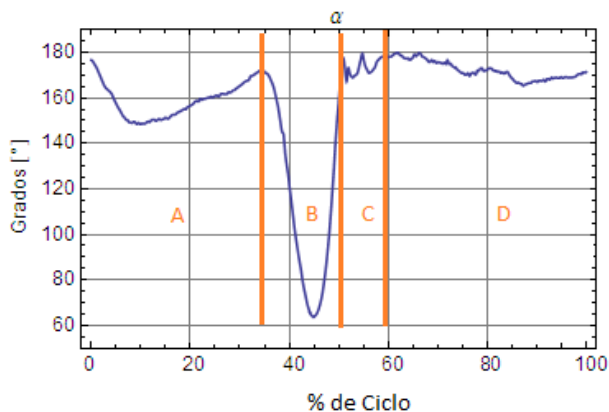


Figura 3. Comportamiento del ángulo entre el fémur y la tibia de la pierna derecha (α) del primer pateador.

Otro resultado se puede observar en la gráfica de la Fig. 4, en donde es posible correlacionar las etapas del pateo y el comportamiento del ángulo beta (β) que se produce en la extremidad de apoyo con el terreno del primer sujeto de estudio, catalogado como experto. En la Fig. 4 se identifica que el ángulo mínimo es de 111.65° y que el valor máximo se tiene una magnitud de 169.64° , también se puede apreciar una mayor amplitud del ángulo en la pierna de apoyo durante la preparación de la patada 115° (A) y una estabilidad durante la etapa de extensión máxima 167° (D).

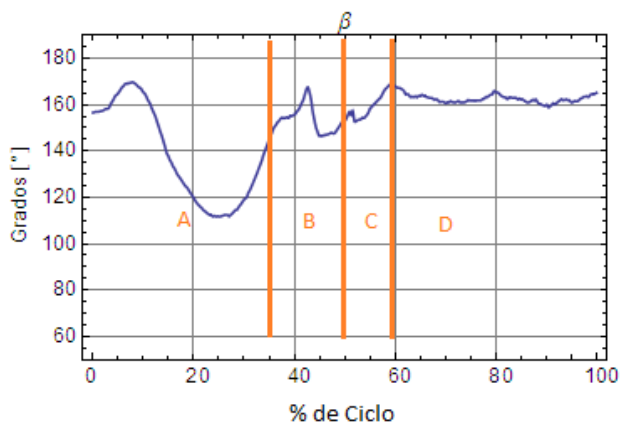


Figura 4. Comportamiento del ángulo entre el fémur y la tibia de la pierna izquierda (β) del primer pateador.

Continuando con la presentación de resultados, en la Fig. 5 se puede observar el comportamiento del ángulo alpha (α) que se produce en la extremidad que tuvo contacto directo con el balón, con respecto al ciclo del evento de pateo, en el caso del segundo sujeto de estudio que fue catalogado como en capacitación. Se aprecia que el ángulo mínimo es de 70.44° y que el valor máximo se tiene una magnitud de 179.99° , la primera etapa de preparación que tiene una duración del 25% del ciclo (A), una siguiente fase de flexo extensión que presenta una duración de 27% del ciclo (B), el impacto del pie con el balón se presenta

aproximadamente al 47% del ciclo, el efecto de la inercia sobre la rodilla en un lapso de 18% del ciclo (C) y finalmente una etapa de extensión máxima de la articulación el restante 35% del ciclo de pateo

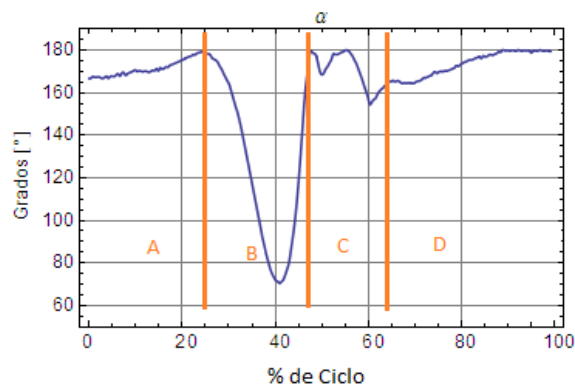


Figura 5. Comportamiento del ángulo entre el fémur y la tibia de la pierna derecha (α) del segundo pateador.

En la Fig. 6, se puede observar el comportamiento de la extremidad de apoyo y el comportamiento del ángulo beta (β) durante el ciclo de golpeo, en donde se registró un ángulo mínimo es de 110.13° y un ángulo con el valor máximo de flexo extensión de 164.11° , para éste caso se identifica que el ángulo en la pierna de apoyo durante la preparación de la patada 110° (A), existe una mayor movilidad en la rodilla y se puede apreciar en los valores medidos en la etapa de golpeo del balón (B) y la estabilidad de la extremidad se logra hasta pasar el 80% del ciclo (D).

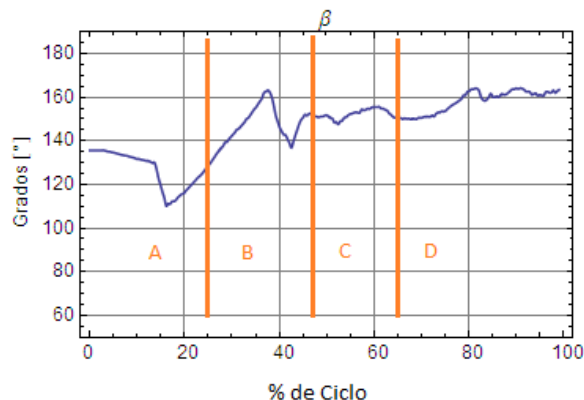


Figura 6. Magnitud en grados del ángulo entre el fémur y la tibia de la pierna izquierda (β) del segundo pateador.

4. Discusión.

Al realizar una comparación entre los atletas P1 vs P2, en donde se considera como referencia el comportamiento del pateador P1, debido a que es el que ha registrado mayor consistencia en la distancia de golpeo (52 yd), se puede apreciar que existe una diferencia entre los ángulos mínimos alfa (α) de $7,44^\circ$. En donde se puede identificar la mayor

diferencia es en la duración de las etapas del golpeo, para la etapa de preparación el deportista de mayor experiencia tiene una duración de 10% mayor, la fase de flexo extensión la realiza más rápido 10%, el contacto con el balón lo realiza primero el atleta novato y el pateador experto muestra una mayor estabilidad en la rodilla después del contacto con el balón y mantiene un ángulo con la extremidad extendida el subsecuente 40%.

Al realizar el contraste del comportamiento de la flexo extensión entre las extremidades de apoyo de los atletas, es posible aseverar que en la etapa de preparación del pateo (A) en magnitud no se aprecian cambios significativos. Sin embargo, en el comportamiento y control del cambio si es posible identificar diferencias importantes, en la etapa de extensión máxima (B) el atleta experto presenta una duración 10% menor y logra una estabilidad durante el 40% del ciclo, algo que el atleta en capacitación no ha logrado, teniendo una duración aproximada de 20% únicamente (únicamente la mitad del ciclo D).

5. Conclusión.

Del presente trabajo se pueden concluir que se logró obtener el gesto biomecánico de las extremidades de los jugadores y que existe una diferencia significativa entre la técnica de pateo aplicada por ambos sujetos de estudio, al generar la curva característica del evento fue posible definir etapas de la evolución de los movimientos.

Por otro lado, la técnica experimental implementada para la medición del evento de pateo brindó buenos resultados y se demostró que es posible realizar mediciones en el hábitat del deportista en condiciones de iluminación natural.

Otro aspecto importante es el hecho de que se generó información cuantitativa, la cual sienta las bases para comparar el gesto deportivo con futuros ensayos y auxiliar en la evaluación de la técnica con valores objetivos. Se reconoce que un estudio en 3D aportaría información adicional, sin embargo, para tal efecto se requiere de todo un sistema que en éste momento queda fuera del alcance de los autores.

6 Agradecimientos

Proyecto PAPIIT IA105115, Arturo Vega y David Pineda estudiantes en servicio social, FI-UNAM

7. Bibliografía

- [1] Redacción El Universal. Ciencia del deporte para fomentar alto rendimiento. El Universal. 7 de agosto de 2012; Suplemento Ciencia. Disponible en: <http://archivo.eluniversal.com.mx/articulos/72633.html>
- [2] Ortega A, Palacios JL. Hacia la Biomecánica 30 años de Investigación en el CIATEC, Evolución de CIATEC. Ciencia y Desarrollo, El Conocimiento a tu Alcance. Consejo Nacional para la Ciencia y la

Tecnología (CONACyT). México, 2006; Agosto. Disponible en: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/198/Articulos/Hacialabiomecanica/Hacialabiomecanica02.htm>

- [3] Ortega A, Palacios JL. Hacia la Biomecánica 30 años de Investigación en el CIATEC, ¿Qué es biomecánica? Ciencia y Desarrollo, El Conocimiento a tu Alcance. Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACyT). México, 2006; Agosto. Disponible en: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/198/Articulos/Hacialabiomecanica/Hacialabiomecanica01.htm>
- [4] Gutiérrez Dávila M. Biomecánica Deportiva, Bases para el Análisis. 1a Edición. Barcelona. Editorial Síntesis: 1998. P. 20, 29, 30.
- [5] Young WB, Rath DA. Enhancing foot velocity in football kicking: the role of strength training. J Strength Cond Res. 2011; 25(2): 561–566.
- [6] Andersen et al. "Biomechanical Differences Between Toe and Instep Kicking - Influence of Contact Area on the Coefficient of Restitution." Football Science. 2008; Vol. 5: 45-50.
- [7] Barfield WR, Kirkendall DT, Yu B. Kinematic Instep Kicking differences between elite female and male soccer players. Journal of Sports Science and Medicine. 2002; 1, 72-79.
- [8] Kellis E, Katis A. Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. Journal of Sports Science and Medicine. 2007; 6, 154-165.
- [9] Kapidžić A, Huremović T, Biberovic A. Kinematic Analysis of the Instep Kick in Youth Soccer Players. Journal of Human Kinetics volume 42/2014, p. 81-90.
- [10] Martínez F, Gómez F, Romero E. Análisis de Vídeo para Estimación del Movimiento Humano: Una Revisión. Revista Med. 2009; 17(1): 953-106.
- [11] Pfeifer, Chase M. Biomechanical Investigation of Elite Place-Kicking [Tesis Doctoral]. U of Nebraska-Lincoln. 2015. Disponible en: <http://digitalcommons.unl.edu/mechengdiss/93/>
- [12] Coventry E, Ball K, Parrington L, Aughey R, McKenna M. Kinematic effects of a short-term fatigue protocol on punt-kicking performance. Journal of Sports Sciences, 2015; 33 (15): 1596–1605. DOI: 10.1080/02640414.2014.1003582.
- [13] Minnaar N, van den Heever DJ. A kicking simulator to investigate the foot-ball interaction during a rugby place kick. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2015; 6724-7. doi: 10.1109/EMBC.2015.7319936. Citado en PMID: 26737836.
- [14] Dörge HC, Andersen B, Sørensen H, Simonsen EB, Aagaard H, Dyhre-Poulsen P, Klausen K. EMG activity of the iliopsoas muscle and leg kinetics during the soccer place kick. Scand J Med Sci Sports 1999; 9: 195-200.
- [15] Atack A, Trewartha G, Bezodis N. A biomechanical analysis of the kicking leg during a rugby place kick. 32 International Conference of Biomechanics in Sports. 2014; 296-299. Disponible en: <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/viewFile/5992/5473>