

Estudio piloto para el análisis cinemático del mortal estático en gimnastas principiantes y avanzados

Ana L. Domínguez^{1*}, Pedro A. Alba^{1&}, Nancy G. Ruiz^{1#}, J. Andrés Cázares^{1§}, A. Vega-Gonzales¹

¹ División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, León, Guanajuato, México

* dominguezoa2015@licifug.ugto.mx, & albadp2015@licifug.ugto.mx, # ruizpn2015@licifug.ugto.mx, § cazarespj2015@licifug.ugto.mx

Resumen— Muchas lesiones deportivas son atribuidas a la falta de técnica del atleta; esto se debe a una presión excesiva en ciertas articulaciones o músculos que pueden ocasionar un daño. Una de las principales lesiones en gimnastas principiantes son los esguinces de tendón calcáneo, fracturas de tibia o peroné por un aterrizaje incorrecto al realizar un mortal estático. Este trabajo muestra las principales diferencias entre un experto y un principiante al realizar un mortal estático mostrando una idea de cuáles podrían ser los factores que afectan la técnica adecuada del mismo. El análisis se desarrolló con videografía en plano sagital, se estudiaron las trayectorias y ángulos de diferentes segmentos importantes en el cuerpo humano y se encontraron diferencias significativas entre gimnastas expertos y principiantes que se atribuyen a una mala ejecución.

Palabras clave — Lesiones deportivas, Gimnasia, Biomecánica.

I. INTRODUCCIÓN

En la gimnasia olímpica casi todos los grupos musculares y articulaciones intervienen en la ejecución de acrobacias [1]. Esta práctica deportiva requiere de movimientos muy complejos con un alto grado de plasticidad, coordinación y precisión, combinados con fuerza. El salto mortal hacia atrás es un ejemplo claro de lo mencionado con anterioridad [2]. El salto mortal se divide en cuatro fases. En la primera fase, *preparación* (Figura 1-a), el gimnasta se pone en cuclillas, los hombros se extienden cuando los brazos bajan y retroceden para dar cuerda. En la segunda fase, *impulso* (Figura 1-b), el gimnasta se balancea, extendiendo los brazos hacia arriba y hacia atrás sobre su cabeza mientras salta del suelo. Empuja hacia arriba con las piernas usando la cadera, la rodilla y el tobillo para realizar un salto vertical máximo. Seguido de la fase de impulso, se efectúa la fase de *encogimiento y giro* (Figura 1-c), el gimnasta tira de las rodillas hacia el centro del cuerpo para iniciar la rotación. Lleva las rodillas a la altura máxima del salto. Los abdominales se contraen para tirar de las piernas y la pelvis sobre la parte superior. Por último se encuentra la fase de *contacto con el suelo o aterrizaje* (Figura 1-d) en esta fase es en la que usualmente se presenta caídas y se suelen observar frecuentes distensiones de los ligamentos de las rodillas y del tobillo [3]. Las lesiones más comunes en esta acrobacia son: Lesiones del ligamento cruzado anterior y posterior (ACL / PCL), tirón de ingle, lesión en el menisco,

músculo de la pantorrilla estirado o tenso, espinillas adoloridas, esguinces de tobillo, ruptura del tendón de Aquiles y Calcáneo, fractura de Tibia, fractura de Peroné e incluso lesiones en el cuello y espalda [4]. De esto radica la importancia del análisis de este ejercicio para determinar los factores que permiten una correcta ejecución.

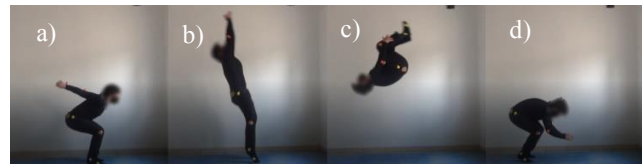


Figura 1: Fases del mortal estático

II. METODOLOGÍA

A. Participantes

Seis sujetos sanos, tres expertos y tres principiantes, fueron incluidos en el estudio: 5 mujeres con altura de 150 a 162 ± 0.4 cm y con peso de 47 a 63 ± 0.5 kg y un hombre con altura de 175 ± 0.4 cm y peso de 78 ± 0.5 kg. Los participantes (con edades entre 18 y 23 años) firmaron una carta de consentimiento informado donde se les aclaró: justificación del estudio, objetivo del estudio, beneficios del estudio, procedimientos del estudio, riesgos, aclaraciones, se les solicitó su firma y llenado de un cuestionario previo a la realización del estudio.

B. Mediciones

Los sujetos fueron evaluados mediante un análisis cinemático usando videografía en el plano sagital. Se utilizó una cámara comercial (Sony-HDR-CX250, 60 fps) para las grabaciones. La cámara se colocó a cuatro metros de distancia y noventa centímetros de altura de los sujetos de prueba. Se les colocó a los sujetos once marcadores como se indica en la Figura 2 y se les solicitó realizar el mortal estático tres veces por participante. Para los tres ensayos, los participantes utilizaron ropa cómoda y ajustada. Se realizó la acrobacia de manera habitual.



- 1) Centro de masa del tórax.
- 2) Base de las costillas
- 3) Trocante mayor
- 4) Centro de masa del muslo
- 5) Epicóndilo lateral
- 6) Cabeza del Peroné
- 7) Centro de masa de la pierna
- 8) Maleolo lateral
- 9) Talón
- 10) 5to Metatarso
- 11) Punta del pie

Figura 2: Marcadores

C. Análisis cinemático

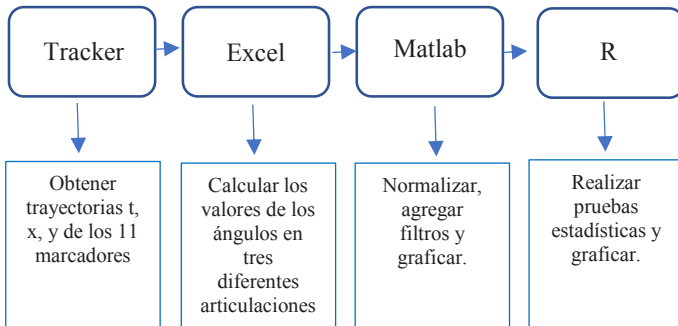
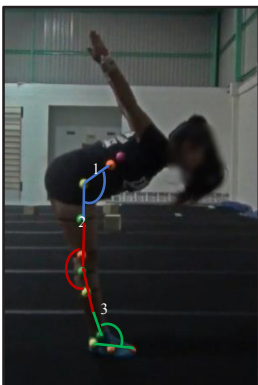


Figura 3: Pasos involucrados en el análisis cinemático.

Las trayectorias para los 11 marcadores se obtuvieron con el software Tracker. Se obtuvieron los ángulos de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo como se muestra en la Figura 4. Después los ángulos fueron filtrados con un filtro Butterworth pasa bajas de orden 20 con una frecuencia de corte de 40 Hz y se realizó una normalización temporal al 100% del ciclo del mortal (una vuelta).



- 1= Tronco
 - 2= Muslo
 - 3= Pierna
 - 4= Suela
- $\theta_{cadera} = \theta_{muslo} - \theta_{tronco}$
 - $\theta_{rodilla} = \theta_{muslo} - \theta_{pierna}$
 - $\theta_{tobillo} = \theta_{suela} - \theta_{pierna} - 90^\circ$

Figura 4: Cálculo de los ángulos

Se realizó una prueba Shapiro-Wilk para constatar la normalidad en los datos obtenidos de los ángulos de cadera, rodilla y tobillo en expertos y principiantes dividido en las cuatro fases del mortal estático. Posteriormente se realizó una prueba F de homocedasticidad para comprobar la igualdad de las varianzas en los mismos datos y por último una prueba “t” para comparar las medias de los ángulos en cada fase entre expertos y principiantes en caso de tratarse de muestras normales y de varianzas homogéneas, una prueba de Welch para muestras normales y de varianzas desiguales y al tratarse de al menos una de las dos muestras a contrastar no normalmente distribuida se procedió con una prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.

III. RESULTADOS

La Figura 5 representa la comparación de porcentaje promedio en cada fase con respecto a un ciclo completo del mortal estático entre gimnastas expertos y principiantes. En la Figura 6 podemos observar una gráfica con los ángulos promedios de rodilla, cadera y tobillo en un ciclo completo separado por fases; realizado por gimnastas expertos, en comparación, en a la Figura 7 que podemos observar la misma información pero obtenida por gimnastas principiantes. En las figuras 8, 9 y 10 se observa la comparación de los cambios angulares en articulaciones de cadera, rodilla y tobillo, respectivamente, entre gimnastas expertos y principiantes.



Figura 5: Porcentaje promedio en cada fase con respecto a un ciclo completo

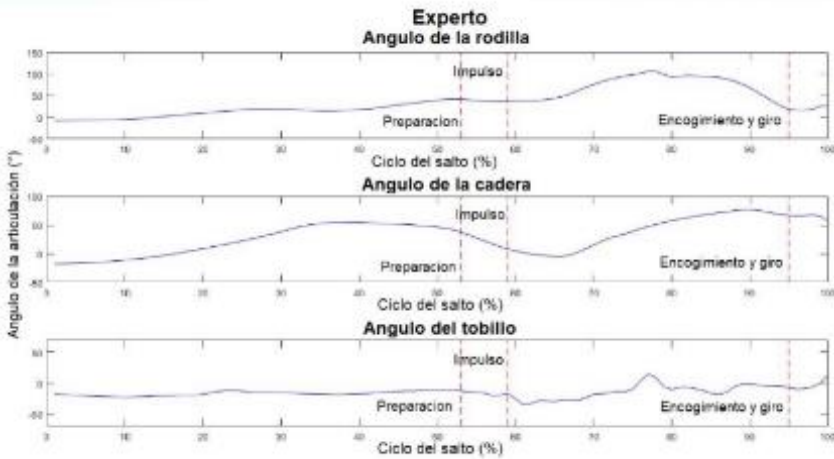


Figura 6: Ángulos promedio de rodilla, cadera y tobillo en un ciclo completo realizado por gimnastas expertos

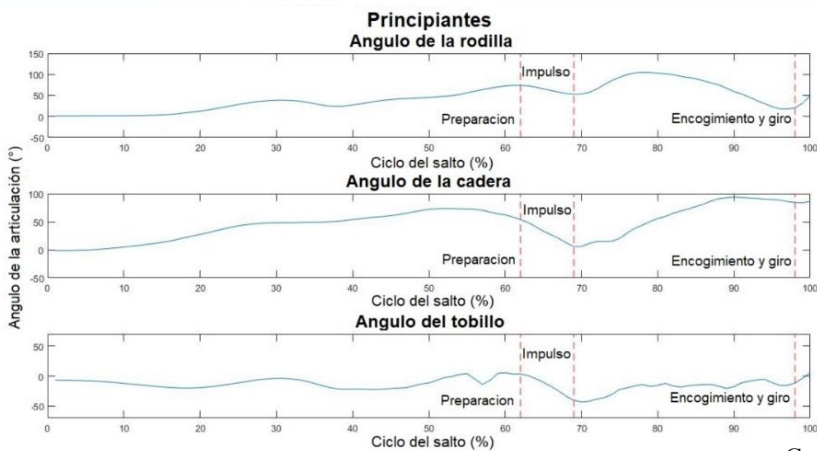


Figura 7: Ángulos promedio de rodilla, cadera y tobillo en un ciclo completo realizado por gimnastas principiantes

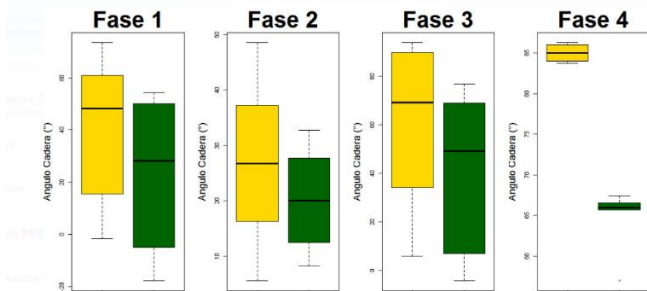


Figura 8: Comparación de los cambios angulares en la cadera entre principiantes (amarillo) y expertos (verde) en las fases que comprenden al mortal estático.

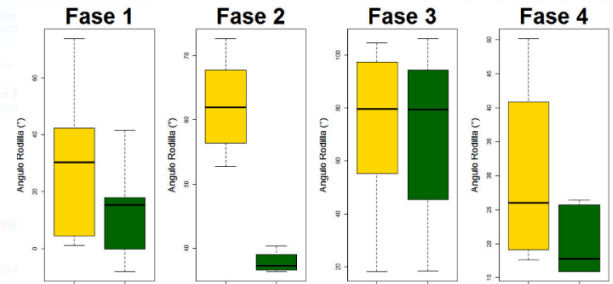


Figura 9: Comparación de los cambios angulares en la rodilla entre principiantes (amarillo) y expertos (verde) en las fases que comprenden al mortal estático.

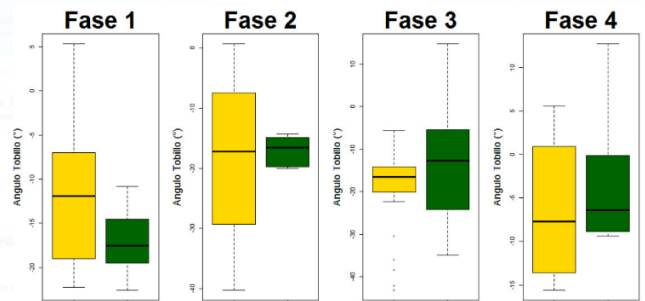


Figura 10: Comparación de los cambios angulares en el tobillo entre principiantes (amarillo) y expertos (verde) en las fases que comprenden al mortal estático.

IV. DISCUSIÓN

Con base en las gráficas circulares se puede apreciar que la duración de las fases entre ambos grupos, expertos y principiantes, difiere siendo en los principiantes la fase de preparación más prolongada que la de los expertos; esto se traduce a que los principiantes tienen un mayor títubeo al momento de iniciar el ciclo. Por otro lado, la fase de encogimiento y giro en el caso de los expertos es más prolongada por lo que logran efectuar un giro completo y asegurar un aterrizaje adecuado, mientras que los principiantes lo hacen de manera precipitada ya que no logran la altura suficiente para realizar un buen giro y tener un óptimo aterrizaje. Por otro lado, en las gráficas de ángulos se puede decir que en la fase I los expertos tienen una flexión de rodillas y cadera menor que los principiantes ya que los expertos no se inclinan tanto y lo hacen con la espalda recta por lo que su salto es vertical y alcanzan una mayor altura. Durante la fase de impulso podemos observar como todas las articulaciones comienzan a extenderse, cabe destacar que los principiantes extienden más las articulaciones ocasionando que en la siguiente fase tengan que realizar el encogimiento

más rápido que los expertos. En la tercera fase, el ángulo de flexión de la rodilla incrementa hasta un máximo y, posteriormente decrece, en los principiantes decrece más rápido debido a que no alcanzan una altura óptima y tienen que aterrizar más rápido que los expertos. Por último, en la fase de aterrizaje el ángulo del tobillo en los expertos es menor que el de los principiantes debido a que estos no logran terminar la fase anterior correctamente y realizan un aterrizaje precipitado por lo que caen con las puntas de los pies. En la primera fase del mortal estático se encontró suficiente evidencia estadística realizando una prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para decir que el rango medio del cambio angular de las tres articulaciones de principiantes y expertos es diferente con un valor $p < 0.05$. En la segunda fase se observaron diferencias significativas en la media del cambio angular en la rodilla. Mediante una prueba de Welch se obtuvo un valor $p < 0.05$. En la tercera fase del mortal, se presentan diferencias en el rango medio del cambio angular de la cadera y el tobillo con un valor $p < 0.05$. En la última fase se determinó que la cadera se presentan diferencias en el rango medio del cambio angular con un valor $p < 0.05$.

V. CONCLUSIÓN

Existen diferencias significativas entre la duración de las fases de los expertos y los principiantes, siendo más evidentes en las fases de preparación y encogimiento y giro. También es posible observar que existen variaciones en los ángulos, ya que los principiantes extienden o flexionan las articulaciones más que los expertos. En la preparación el ángulo de la cadera de expertos se flexiona continuamente hasta llegar a una meseta justo antes de iniciar la fase de impulso la cual no se presenta en los gimnastas principiantes ya que estos flexionan más las rodillas evitando una posición recta con la espalda y por consecuencia el salto vertical no es recto sino inclinado. En la fase de encogimiento es mayor el ángulo de la rodilla y persiste hasta terminar la acrobacia a contrario de los principiantes que extienden el cuerpo antes de tiempo.

Una escasa altura en mortal es la principal consecuencia de lesiones ya que los principiantes no consiguen terminar la rotación a tiempo y aterrizan con una colocación inadecuada en los tobillos. Un salto vertical totalmente recto y una flexión correcta de las rodillas alcanzará una altura adecuada y podrán evitarse las lesiones.

Para futuros estudios se incrementará el número de participantes y se compararan los resultados obtenidos con los siguientes ya que no se encontró literatura en la cual guiarnos.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a Rodrigo Gil por proporcionar el espacio en el gimnasio “Supreme- All Stars” así como a sus alumnos por participar anónimamente en la investigación. Se agradece el apoyo del proyecto UG-DAIP CIIC 319/2018.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ahonen, J. (2001). *Kinesiología y anatomía aplicada a la actividad física* (Color). Barcelona. Editorial Paidotribo.
- [2] Mina Pichtikova “Back Tuck – Biomechanics” (2014) Sitio web: <https://butlersbacktuck.weebly.com/analysis.html>
- [3] H. Król and M. Klyszcz-Morciniec. Kinetic and kinematic characteristics as the basis for evaluating take-off in backward acrobatic jumps. 24, 01 2017.
- [4] E. J. Bradshaw and P. A. Hume. Biomechanical approaches to identify and quantify injury mechanisms and risk factors in women’s artistic gymnastics. *Sports Biomech*, 11(3):324–41, Sep 2012.
- [5] H. Król, M. Klyszcz Morciniec, and G. Sobota. Complex analysis of movement in the evaluation of the backward somersault performance, 09 2014.
- [6] Mkaouer, B., Jemni, M., Amara, S., Chaabène, H., Padulo, J., & Tabka, Z. (2014). Effect of three technical arms swings on the elevation of the center of mass during a standing back somersault. *Journal of Human Kinetics*, 40(1), 37–48. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0005>
- [7] O. Turki, A. Chaouachi, E. J. Drinkwater, M. Chtara, K. Chamari, M. Amri, and D. G. Behm. Ten minutes of dynamic stretching is sufficient to potentiate vertical jump performance characteristics. *J Strength Cond Res*, 25(9):2453–63, Sep 2011.
- [8] Issn, L. (2011). *Science of Gymnastics*. Science, 3.
- [9] H. Król, A. Golas, and G. Sobota. Complex analysis of movement in evaluation of flat bench press performance. *Acta Bioeng Biomech*, 12(2):93–8, 2010.
- [10] H. Król and W. Mynarski. Effect of increased load on vertical jump mechanical characteristics in acrobats. *Acta Bioeng Biomech*, 12(4):33–7, 2010.
- [11] Marinšek, M. (2010). Basic Landing Characteristics and Their Application in Artistic Gymnastics. *Science of Gymnastics Journal*, 2(2), 59–67. Retrieved from <https://goo.gl/M9K74Y>
- [12] C. Huang and G.-S. Hsu. Biomechanical analysis of gymnastic back handspring, 07 2009.
- [13] C. D. Davlin, W. A. Sands, and B. B. Shultz. The role of vision in control of orientation in a back tuck somersault. *Motor Control*, 5(4):337–46, Oct 2001.
- [14] Saragiotto BT, Di Pierro C, Lopes AD. Risk factors and injury prevention in elite athletes: a descriptive study of the opinions of physical therapists, doctors and trainer. *Braz J Phys Ther*. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552012005000147>