

Análisis de los factores que determinan la inestabilidad del sistema tori-uke en la técnica del uchi-mata en judo

G. RAMÓN-SUÁREZ¹ M. GUTIÉRREZ-DÁVILA²

¹Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

²Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada,

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue estudiar la inestabilidad del sistema tori-uke (atacante-defensor), al ejecutar Uchi Mata en condiciones de competición. Se emplearon dos cámaras de vídeo Panasonic S-VHS, 50 Hz, un sistema de referencia previamente calibrado y se siguieron los pasos y procedimientos del método fotogramétrico tridimensional. Se seleccionaron 12 parejas de judokas (seis del Campeonato Senior de Andalucía, Córdoba, 1999; seis del Campeonato Mundial Universitario de Judo, Málaga, 2000) que ejecutaron uchi mata y obtuvieron IPPON como resultado de su proyección. Los resultados muestran que todos los sujetos analizados incrementaron de manera progresiva el ángulo de inestabilidad, de modo que durante la fase de barrido y antes de que el defensor (uke) perdiese el contacto con el suelo, el ángulo fue mayor de 90°, haciendo que el sistema tori-uke fuese inestable. Se comprueba que existe una interrelación entre la flexión del tronco tanto de tori como de uke, las fuerzas de tracción de tori, producidas a través de los agarres, la disminución del tamaño de la base de sustentación y el ángulo de inestabilidad del sistema.

Palabras clave: Biomecánica, judo, uchi-mata

Summary

The aim of the present research was to study the unbalance of the system tori-uke (attacker - defender), on having executed Uchi Mata in conditions of competition. There were used two video cameras (Panasonic S-VHS, 50 Hz), a before calibrated system of reference, and there were followed the steps and procedures of the three-dimensional analysis methodology of video. Twelve pairs(couples) of judokas were selected (six of the Championship Senior of Andalucía (Córdoba, 1999); six of the World University Championship of Judo, (Malaga, 2000) that executed Uchi Mata and obtained IPPON as result of his technique. The results show that all the analyzed subjects increased on a progressive way the angle of unbalance, so that during the sweep phase and before the defender (uke) was losing the contact with the soil, the angle was upper 90 °, doing that the system tori-uke was unstable. There was demonstrated that exist an interrelation between the flexion of tori and uke trunk. The causes were: the grasps, the sustentation base size decrease, and system angle unbalance.

Introducción

Desde el punto de vista reglamentario, el judo se considera como un deporte de lucha, donde los oponentes (Tori y Uke) compiten a partir de un agarre previo, siendo su objetivo principal alcanzar una puntuación definitiva (ippon), lo que se consigue mediante un derribo del oponente (uke), por una inmovilización en el suelo del oponente o mediante una maniobra que haga desistir al oponente de seguir luchando.

Correspondencia:

Marcos Gutiérrez Dávila
Facultad de Ciencias de Actividad Física y del Deporte.
Universidad de Granada.
Ctra. Alfacar s/n 19071- Granada
Spain

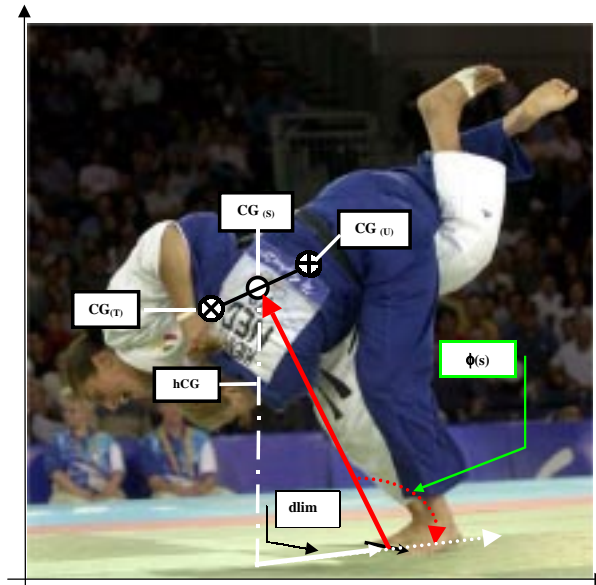


Figura 1. Representación esquemática de los factores que determinan el ángulo de inestabilidad del sistema tori-uke: la base de sustentación (en línea punteada), la altura del centro de gravedad (en línea raya-punto) y el ángulo de inestabilidad (en línea gruesa).

- $CG_{(T)}$ = Centro de gravedad de tori
- $CG_{(U)}$ = Centro de gravedad de uke
- $CG_{(S)}$ = Centro de gravedad sistema Tori-uke
- hCG = Altura del centro de gravedad
- $dlim$ = distancia al límite
- $\phi(s)$ = Angulo de inestabilidad

Tabla 1. Características generales de las parejas que conformaron la muestra.

Muestra		TORI		UKE	
Nº	Lugar	Masa (Kg)	Cinturón (color)	Masa (Kg)	Cinturón (color)
1	Córdoba	60.5	Negro	60.6	Negro
2	Málaga	72.8	Negro	72.8	Negro
3	Málaga	80.8	Negro	79.9	Negro
4	Córdoba	89.5	Negro	89.7	Negro
5	Córdoba	65.5	Negro	65.0	Negro
6	Córdoba	65.5	Negro	65.1	Negro
7	Córdoba	80.0	Negro	80.4	Negro
8	Málaga	96.3	Negro	99.1	Negro
9	Málaga	99.7	Negro	97.7	Negro
10	Málaga	65.9	Negro	65.2	Negro
11	Málaga	72.5	Negro	72.8	Negro
12	Córdoba	80.7	Negro	80.5	Negro

La técnica uchi-mata, en judo, tiene como objetivo derribar al adversario mediante un barrido con la pierna y/o con la cadera. Siguiendo a Kano (1988)¹, todos los movimientos de proyección comprenden tres fases: a) Kuzushi, orientada a conseguir que uke adopte una posición de desequilibrio b) Tsukuri, orientada a situar los segmentos de tori próximos a los de uke, para iniciar el barrido, y c) Kake, orientada a proyectar al oponente contra el suelo, tomando contacto con su espalda.

Aunque una fase tiene mucho que ver con lo que ocurre en la fases anteriores, podríamos resumir que el elemento esencial de la técnica uchi-mata es conseguir un desequilibrio del oponente, sin el cual el objetivo final de proyección resulta complejo. Por esta razón, este estudio centra su atención sobre el análisis de la inestabilidad del sistema tori-uke durante la realización de las fases que determinan la técnica uchi-mata.

La estabilidad de los sistemas biológicos es un término relacionado con un concepto relativo, es decir, dentro de una misma situación de equilibrio se puede tener mayor o menor estabilidad dependiendo del tamaño de la base de sustentación, la altura del centro de gravedad y la proyección del centro de gravedad sobre la base de sustentación. Cuando el sistema está sujeto a la aplicación de diferentes fuerzas externas, estos factores pueden variar ajustándose a dichas fuerzas, además de estar supeditado a la participación de ciertos procesos de feedback muscular que interactúan evitando que el sistema pueda perder estabilidad. (Gutiérrez, 1998²; Luttgens y Wells, 1982³; Watanabe y Avakian, 1968⁴).

Kano (1988)¹, establece que los elementos esenciales en una proyección se derivan de la combinación en la reducción de la base de sustentación y la proyección del centro de gravedad fuera de la base de sustentación, pues lo que hacen los atacantes es llevar el centro de gravedad del adversario hacia el borde de la base de sustentación o reducir su base de sustentación para que su estabilidad se vea disminuida y de ésta manera sea más fácil conseguir la proyección.

Para evaluar la estabilidad del sistema se ha utilizado una adaptación del concepto de ángulo de inestabilidad, descrito por Donskoi y Zatsiorsky (1985)⁵, definido como el ángulo comprendido entre dos vectores de posición (a y b), determinado el vector de posición a, por el centro de gravedad del sistema ($CG_{(s)}$) y el punto más cercano del límite de la bases de sustentación a la proyección del $CG_{(s)}$, y el vector de posición b, asociado a la base

de sustentación, tiene su origen en el punto anterior y su dirección es la misma de la proyección del vector a en la plano transversal (Figura 1). Se trata de un indicador de estabilidad del cuerpo humano, de manera que cuando es menor de 90° (caso en el cual el centro de gravedad está proyectado por dentro de la base de sustentación) se considera que el sistema está estable; pero, cuando es mayor de 90° (caso en el cual el centro de gravedad se proyecta por fuera de la base de sustentación), el sistema se considera inestable.

Aunque el análisis de estas condiciones de la estabilidad en judo son reconocidas por la literatura en situaciones simuladas, consideramos que, debido a variabilidad de las fuerzas que interactúan en el sistema tori-uke en situación real de competición, los resultados sobre la estabilidad y los factores que la determinan pueden ser significativamente diferentes. Por lo tanto, en el presente trabajo se estudia el ángulo de inestabilidad en una técnica específica del Judo, como es Uchi Mata, durante una situación real de competición, además de realizar un análisis sobre las diferentes causas que determinan su efecto.

Material y método

Se analizaron 12 parejas de judokas, seis del Campeonato Senior de Andalucía (Córdoba, 1999) y seis del Campeonato Mundial Universitario (Málaga, 2000) (Tabla 1). Los requisitos para ser seleccionados fueron: a) ser cinturón negro en cualquier rango de Dan, b) ejecutar Uchi Mata, c) obtener un Ippon como resultado de la proyección.

Para llevar a cabo el estudio se han utilizado técnicas fotogramétricas tridimensionales (3D), realizándose la filmación del gesto con dos cámaras de video a 50 imágenes por segundo y utilizando dos sistemas de referencia compuestos por cuatro cubos enlazados de 18 puntos, distribuidos en el espacio de competición. Después de obtener las coordenadas planas de los 42 puntos que determinaron los 28 segmentos del sistema de estudio, compuesto por los cuerpos de uke y tori, e interpolar dichas coordenadas a 100 Hz, mediante *spline* de quinto grado, se realizó la sincronización automática de las cámaras utilizando los algoritmos desarrollados por Gutiérrez y Martínez, (2000)⁶. La base teórica de esta sincronización reside en conocer el error que se produce en la reconstrucción de las coordenadas espaciales de un punto que está en movimiento, mediante los algoritmos DLT (Abdel Aziz & Karara, 1971)⁷, a partir de dos imágenes

planas que no son coincidentes en el tiempo. En el caso de que exista la coincidencia temporal busca- da entre las dos imágenes planas, también debería existir una coincidencia teórica entre su posterior proyección sobre el plano de digitalización y los puntos digitalizados previamente.

Resuelta la sincronización de las cámaras mediante el conocimiento de las dos imágenes, una de cada cámara, que son coincidentes en el tiempo, se realizó un ajuste de las coordenadas planas mediante *spline* de quinto grado (Wood & Jennings,

1979)⁸ y, finalmente, se obtuvieron las coordena- das espaciales con respecto a un sistema de refe- rencias inercial (R1) donde el eje Z es el vertical, el Y es el horizontal y X es perpendicular a los otros dos, utilizando para ello los algoritmos (DLT)⁷.

Para el cálculo de los centros de gravedad de tori, uke y del sistema, se utilizaron los parámetros inerciales desarrollados por Zatsiorsky y Seluyanov (1985)⁹ y adaptados por de Leva (1996)¹⁰ a un modelos de segmentos rígido normalizado. A partir de los cuales y siguiendo la metodología propuesta por Gutiérrez (1998)², se calculó el centro de gra- vedad de tori ($CG_{(T)}$), uke ($CG_{(U)}$) y del sistema ($CG_{(S)}$).

El ángulo de inestabilidad del sistema ($q_{(S)}$), se ha definido como un ángulo comprendido entre un vector de posición a, determinado por el centro de gravedad del sistema ($CG_{(S)}$) y el punto más cerca- no del límite de la bases de sustentación, a la proyección del $CG_{(S)}$, y el vector de posición b, asocio- do a la base de sustentación, con origen en el punto anterior y cuya dirección es la misma de la proyec- ción del vector a (Figura 1). Para su cálculo se ha seguido el siguiente método secuencial:

En primer lugar se determinó la altura del cen- tro de gravedad del sistema tori-uke ($h_{(CG_S)}$) a partir de evaluar su componente Z. En segundo lugar se calculó la mínima distancia comprendida entre la proyección del $CG_{(S)}$ en el suelo y el límite de la base de sustentación (d_{lim}) mediante la expresión E-1 y notaciones recogidas en la Figura 2, conside- rando que el vector a de la citada figura, estaba determinado por las coordenadas X-Y de la punta de pie derecho de tori (P1T) y del $CG_{(S)}$, y el vector b, cuando la base de sustentación del sistema esta- ba compuesta por cuatro apoyos (Figura 2,a), lo constituyó el vector posición de los pies que definen el límite de la base de sustentación, definidos por las coordenadas X-Y de P1T y la punta del pie derecho de uke (P10U), mientras que cuando esta- ba definida por tres apoyos, dicho vector b se defi- nía por las coordenadas X-Y de la punta del pie, tanto de tori como de uke (Figura 2,b).

Finalmente, el cálculo del ángulo de inestabili- dad del sistema ($q_{(S)}$), se realizó mediante la funci- ón trigonométrica *tangente*, que relaciona la altura del centro de gravedad con la distancia límite a la base de sustentación (d_{lim}) considerando que cuando la proyección del $CG_{(S)}$ está fuera de la base de sustentación, el valor de $q_{(S)}$ corresponde a 90° más el complementario del ángulo determinado. La expresión E-4 precisa los cálculos empleados.

Para el cálculo de las trayectorias de los puntos

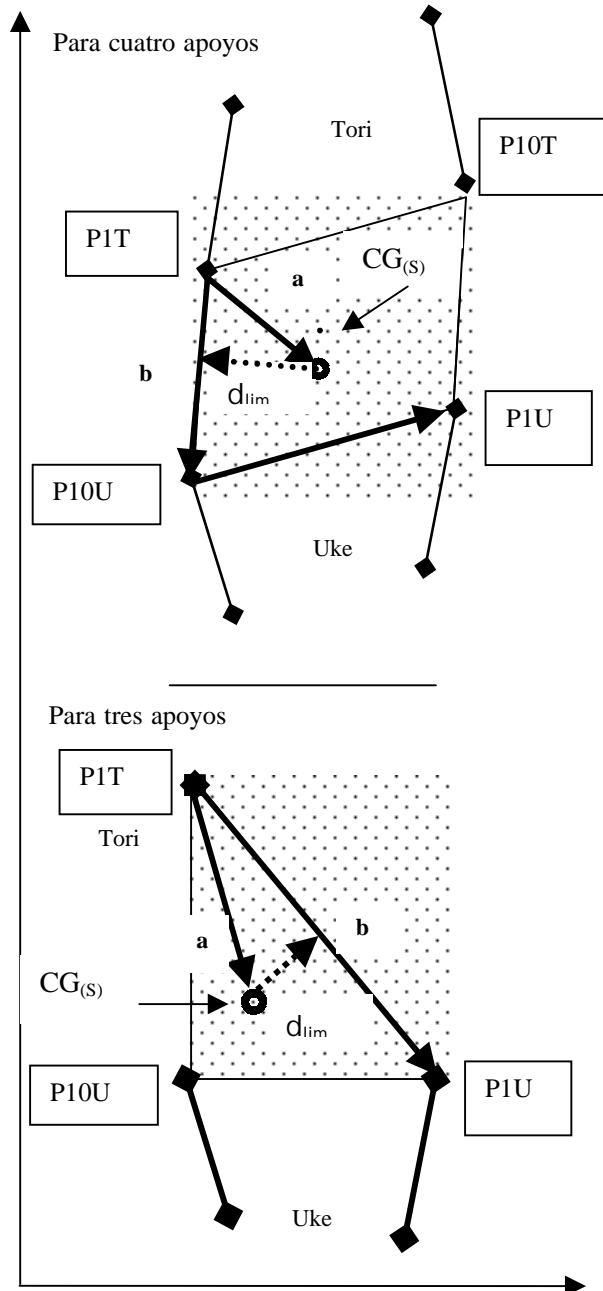


Figura 2. Esquema ilustrativo para el cálculo de la distancia desde el centro de gravedad de tori-uke (proyectado sobre el plano transversal) hasta el límite de proyección, representado en línea punteada (Tori = atacante; Uke= defensor).

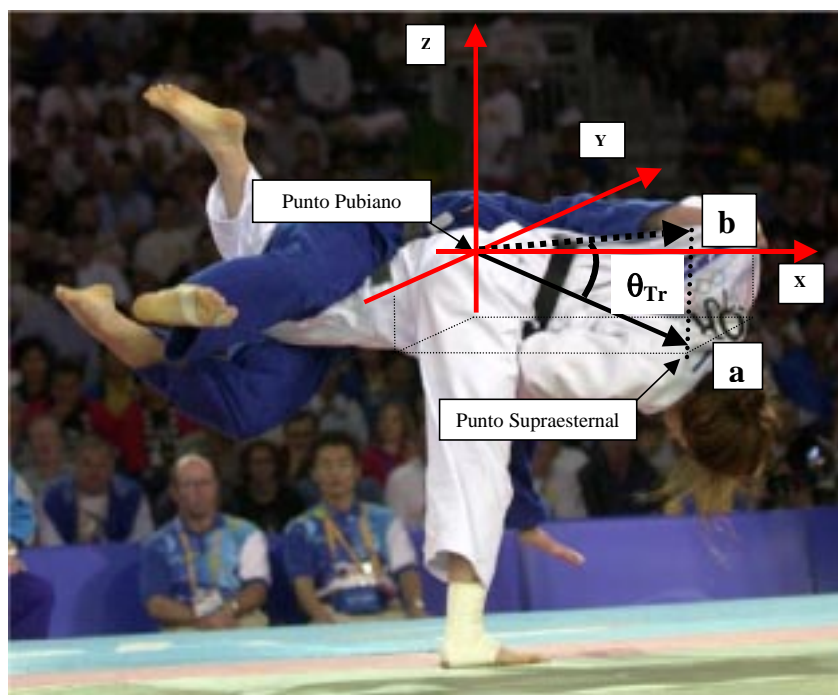


Figura 3. Esquema representativo de los parámetros para calcular el ángulo del tronco. (Donde **a** es el vector posición del tronco, cuyo punto distal es punto supraesternal y el punto proximal, el punto pubiano; **b** es su proyección sobre el plano transversal)

que definían al sistema, su utilizó la función splines de quinto grado de las posiciones espaciales con respecto al tiempo y su primera derivada para determinar su velocidad.

Con el propósito de determinar algunos factores explicativos de las causas que determinan los cambios producidos en el ángulo de inestabilidad, se ha calculado el ángulo del tronco del atacante con respecto a la línea horizontal (q_{Tr}). Para ello, el tronco de tori fue definido por el vector de posición cuyo punto proximal lo constituyeron las coordenadas (x,y,z) del punto pubiano y el distal por las coordenadas (x,y,z) del punto supraesternal. Definido dicho vector, el ángulo del tronco (q_{Tr}) se midió con respecto a la línea horizontal y fue calculado a partir del producto escalar del vector posición del tronco y su proyección en el plano transversal. En la Figura 3 se presentan las notaciones de dicho cálculo.

Con el propósito de comparar los resultados obtenidos y poder aplicar una estadística descriptiva, ha sido necesario ajustar los tiempos de ejecución en función del porcentaje del tiempo total, en lugar de hacerlo con los tiempos reales, ya que el tiempo fue diferente en cada gesto y fase, no correspondiendo las posiciones espaciales de los puntos que determinan el sistema al mismo tiempo en todos los gestos analizados. Para ello, se interpolaron los datos en función del tiempo total utilizando los algoritmos de splines de quinto grado, adaptados

para dicho propósito. Así, las tendencias centrales de los valores que se presentan están expresadas con respecto al porcentaje del tiempo total.

Resultados y discusión

En la Figura 4 se representa la tendencia central de los valores obtenidos en las doce muestras del ángulo de inestabilidad del sistema $q_{(s)}$ en cada una de las fases. En general se comprueba cómo el ángulo de inestabilidad se incrementó progresivamente desde la fase de aproximación hasta la fase de proyección, destacándose el hecho de que dicho ángulo siempre fue mayor de 90° al 70 % del tiempo total empleado en la fase de barrido. Lo que confirma el hecho de que cuando se realiza la técnica de uchi-mata en situación de competición, el sistema consigue el desequilibrio durante la fase de barrido y necesariamente debe estar desequilibrado al final de esta fase.

Otro aspecto que se deduce de la gráfica de la Figura 4, es que después de conseguir el desequilibrio del sistema, en ningún caso, el sistema volvió a ser estable, posiblemente porque todas las muestras seleccionadas consiguieron ippon. No podemos confirmar la posibilidad de volver a una situación estable del sistema después de haber conseguido la inestabilidad. Consideramos que este hecho debería confirmarse analizando las acciones de uchi-mata cuando no se consigue el ippon. Es importan-

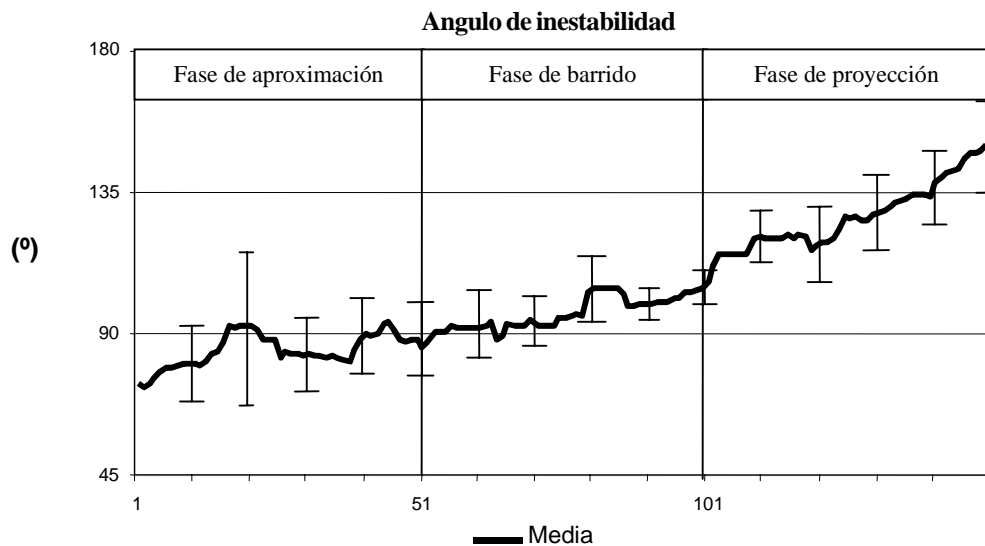


Figura 4. Variación media del grupo en lo referente al ángulo de inestabilidad del sistema tori-uke durante las tres fases de movimiento. La líneas verticales representan la desviación estándar.

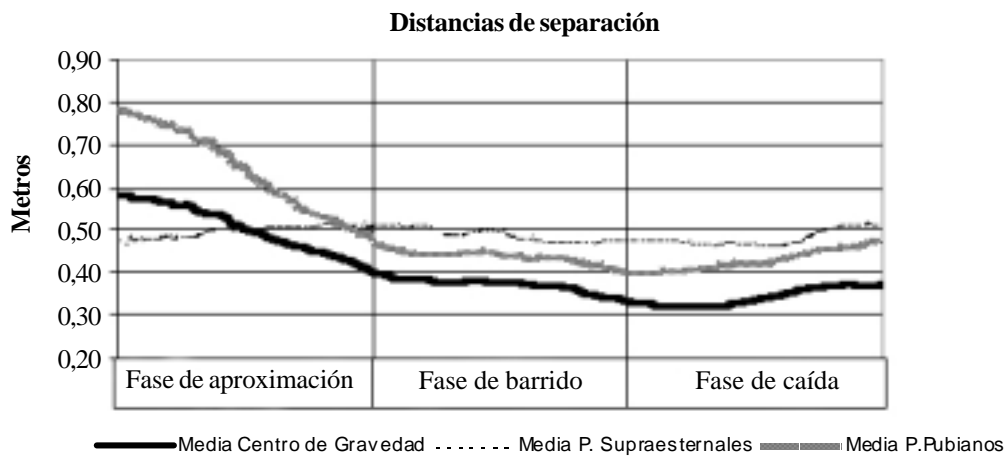


Figura 5. Variación media de las distancias de separación de tori-uke entre los centros de gravedad, de los puntos supraesternales y los puntos pubianos.

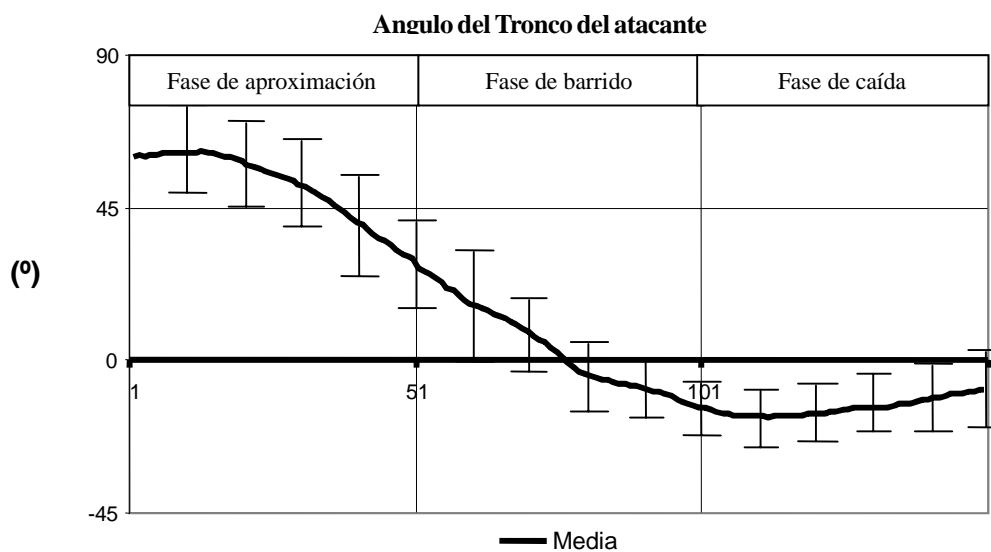


Figura 6. Variación media del ángulo del tronco de los atacantes (toris) durante las tres fases del movimiento. La barras verticales son los valores de la desviación estándar.

te destacar el hecho de que no sólo se requiere desequilibrar al adversario, como lo propone Kano (1988)¹ sino que el sistema compuesto por el atacante y el defensor se desequilibra, como lo indican Watanabe y Avakian (1968)⁴ y los presentes resultados.

Es necesario tener en cuenta que la inestabilidad conseguida en la fase de barrido es la consecuencia de ciertos factores muy relacionados con la dinámica de los movimientos que realiza, tanto tori como uke, anteriores a la consecución de la inestabilidad del sistema y, especialmente, con las posiciones que adopta tori, tanto en la fase anterior como durante la primera mitad de la fase de barrido.

Con respecto a la dinámica de movimientos relativos entre tori y uke, se han evaluado tres distancias de separación entre tori y uke, a lo largo de la realización del gesto: a) distancia entre los centros de gravedad, b) distancia entre los puntos supraesternales y c) distancia de separación entre los puntos pubianos. En la Figura 5 se presenta el comportamiento medio de dichas distancias de separación, donde se comprueba como durante la fase Kuzushi o aproximación existe una rápida aproximación de los puntos pubianos, manteniéndose la distancia entre los puntos supraesternales. Este hecho produce una reducción en la base de sustentación, además de un incremento en los momentos de fuerzas desestabilizadores que actúan contra uke, entendiéndose que la reducción de la distancia de los puntos pubianos se realiza a expensas de aproximar tori su cadera hacia la cadera de uke, como expresa Charlot (2002)¹¹.

Consideramos que tori aprovecha su agarre y la resistencia del oponente hacia la tracción de tori para facilitar la rápida aproximación de su cadera, lo que se manifiesta con una tendencia hacia la separación de los puntos supraesternales durante la fase de aproximación (Figura 5) y ayudado, posiblemente, por el reflejo miotático que produce un retroceso del tronco en uke ante la tracción que provoca tori a través de su agarre.

Este hecho se confirma analizando las trayectorias de las manos, donde se ha encontrado que la mano que agarró la solapa del adversario describió una trayectoria en el plano sagital de tendencia curvilínea de manera que generó un momento angular tipo mortal adelante en los adversarios. Por su parte, la mano que agarró la manga, describió una trayectoria también curvilínea sobre el plano transversal que produjo un momento angular tipo mortal tirabuzón sobre los adversarios.

Con respecto a las posiciones que adopta tori, en la Figura 6 se representa el desplazamiento angular del tronco con respecto a la horizontal. Como se puede apreciar, dicho ángulo tiene una clara tendencia a reducir su valor durante las fases de aproximación y barrido, consiguiéndose un valor medio inferior a los 0° al 60% del tiempo empleado en la fase de aproximación, es decir, el tronco se flexiona adoptando una posición por debajo de la horizontal a mitad de la fase de barrido. Realizando una regresión lineal sobre los valores obtenidos por el ángulo de inestabilidad y el ángulo del tronco con respecto a la horizontal, durante las fases de aproximación y barrido, se ha obtenido un valor de $r = -0.87$, se comprueba como existe una relación entre dichos factores con un nivel de significación de $p < 0.05$. Posiblemente debido al elevado porcentaje de masa relativa del tronco de tori con respecto al sistema que produce un cambio significativo en la posición del $CG_{(s)}$ al flexionarse hacia fuera de la base de sustentación.

Los valores sobre la correlación de entre los datos pone de manifiesto la importancia que tiene la flexión del tronco en la consecución de la inestabilidad del sistema durante la ejecución del uchimata, entendiéndose que dicha flexión debe alcanzar un valor por debajo de la horizontal hacia la mitad de la fase de barrido, siguiendo incrementándose dicha flexión durante esta fase hasta conseguir -30° . Debemos indicar que si dicha flexión no está acompañada de una rotación sobre alrededor del eje longitudinal del tronco, tori tiene el riesgo de producirse alguna lesión durante la caída a nivel cervical, ya que su primer contacto con el suelo lo realizaría con la cabeza.

Otro aspecto muy importante con respecto al movimiento del tronco del atacante es que no solamente el atacante logra flexionar su tronco sino que además, a través de sus agarres, logra que el adversario también flexione su tronco, como se desprende del análisis de la figura 5, en la cual se evidencia que durante las fase de barrido y de proyección, las distancias medias de separación entre los puntos supraesternales y pubianos se mantienen en una distancia similar que sólo puede ser explicada si el adversario acompaña en su movimiento a tori. Por lo tanto, la mayor parte de la masa del sistema tori-uke se desplaza hacia el límite de la base de sustentación, haciendo que el ángulo de inestabilidad se incremente continuamente hasta sobre pasar los 90° , momento a partir del cual el sistema se torna inestable e inevitablemente caerá.

Conclusiones

1. En todos los casos el ángulo de inestabilidad del sistema tori-uke fue mayor de 90° antes de que se produjese la proyección de los sujetos, concretamente, al 70% del tiempo total de la fase de barrido.

2. El movimiento de aproximación de la cadera de tori sobre la de uke, durante la fase de aproximación, es un factor que, además de reducir la base de sustentación del sistema, condiciona el incremento posterior del ángulo de inestabilidad durante la fase de barrido.

3. La tracción rápida de los brazos al iniciarse la fase de aproximación es un factor que facilita la aproximación de la cadera de tori hacia la de uke, ayudado, posiblemente, por el reflejo miotático que produce dicha tracción en uke en sentido contrario.

4. El incremento del ángulo de inestabilidad es una consecuencia de la acción conjunta de los momentos angulares producidos por los agarres y es además uno de los prerrequisitos mecánicos para que el éxito de la proyección.

5. El tronco se flexionó hasta quedar por debajo de la línea horizontal hacia la mitad de la fase de barrido. Esta acción de flexión contribuyó a desplazar el centro de gravedad del sistema atacante-defensor hacia el límite de la base de sustentación y por tanto, a incrementar el ángulo de inestabilidad.

6. Se confirma que la flexión del tronco por debajo de la horizontal, durante la fase de barrido y proyección, constituye un factor de eficacia en la ejecución del uchi-mata.

Bibliografía

1. **Kano, J.**, *Judo Kodokan*. Eyras S.A.: Madrid; 1988.
2. **Gutiérrez, M.**, *Biomecánica Deportiva: Bases para el Análisis. Síntesis*: Madrid; 1988 (128-130).
3. **Luttgens, K. y Wells, K.**, *Kinesiología : Bases científicas del movimiento humano*. Saunders College Publications; 1982.
4. **Watanabe, I., y Avakian, L.**, *The secrets of Judo*. Charles Tuttle Company: Tokyo; 1968.
5. **Donskoi, D. y Zatsiorski, V.**, *Manual de Biomecánica de los ejercicios físicos*. Pueblo y Educación: La Habana. 1988.
6. **Gutiérrez, M. y Martínez, J.A.**, Método matemático para la sincronización de las cámaras mediante la utilización de los algoritmos DLT. *Biomecánica*, 1999; Vol. VII, 13: 65-72.
7. **Abdel-Aziz, Y.I. y Karara, H.M.** Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *ASP/UI Symp. Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois*. Falls Church, V.A.: American Society of Photogrammetry, 1971. 1-18.
8. **Wood, J.A. Y Jennings, L.S.** On the use of splines functions for data smoothing. *Journal of biomechanics*. 1979 12, 477-479.
9. **Zatsiorsky, V.M. Y Seluyanov, V.**, Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regressions equations. En Winter, D. et al., *Biomechanics IX-B*, Human Kinetics Publishers, Champaign: Illinois; 1985 (233-239).
10. **de Leva, P.** Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 1996, 29, 9:1223-1230.
11. **Charlot, E.** Le système d'attaque de Keiji Suzuki. *Judo (Paris)*, 2002, Mars-avril: 52-54.