



Fotografía cortesía de iStock.com

Un análisis biomecánico de la patada descendente modificada de taekwondo

Luigi T. Bercades & Willy Pieter, Ph. D.

Resumen

El presente estudio es un análisis teórico sobre los aspectos cinéticos y cinemáticos de la patada descendente modificada de taekwondo. En la patada descendente tradicional o clásica se tiene totalmente rígida la pierna que golpea (muslo y pierna) tanto en la fase de ascenso como de descenso de la patada, especulándose que esta posición genera el suficiente momento angular como para aumentar el riesgo de sufrir algunos tipos de lesiones en la competición. El presente estudio presenta una versión alternativa de esta patada que disminuye el momento de inercia en el descenso de la pierna, reduce el posterior momento angular, y finalmente disminuye el impulso resultante sobre el objetivo. Teóricamente, esto reducirá las probabilidades de sufrir ciertos tipos de lesiones causadas por la patada.

Introducción

Aunque los practicantes de taekwondo normalmente cuentan con un amplio arsenal de patadas, algunos estudios biomecánicos se han centrado en las técnicas de la parte superior del cuerpo. Por ejemplo, Pieter et al. (1987) compararon el puñetazo directo hacia delante desde dos posiciones iniciales diferentes y sugirieron que es necesaria la investigación cuantitativa para tener un mejor entendimiento de esta técnica en particular. El puñetazo con la mano en posición inversa de taekwondo desde la posición adelantada fue estudiado en relación a su modelo de ejecución estándar así como en relación a su éxito y potencia (Stull & Barham, 1990a; 1990b).

No obstante, y como era de esperar, la mayoría de las investigaciones biomecánicas sobre taekwondo han tratado las patadas, las cuales pueden ser clasificadas en general en tres grupos: lineales, en giro y circulares. Las patadas lineales son las más simples en términos de análisis de eficiencia mecánica. Por ejemplo, Ahn (1985) investigó las variables cinéticas y cinemáticas de la patada frontal en látigo y de la patada frontal penetrante, así como los momentos musculares de fuerza mientras se ejecutaban.

Hwang (1987) analizó la patada frontal en látigo para: a) investigar los patrones de los pares de fuerzas musculares de la cadera, la rodilla y el tobillo; b) la secuencia de actividad de los grupos musculares dominantes;

c) los tipos de contracción muscular; y d) las amplitudes de los movimientos segmentarios en relación a los pares de fuerzas musculares efectivos aplicados. La patada frontal fue estudiada bajo dos condiciones: con y sin escudo de golpeo. Sørensen et al. (1996) investigaron la patada frontal alta y encontraron que la deceleración del muslo ocurría como resultado de los momentos de fuerza iniciados en la extremidad inferior en vez de ser consecuencia de una deceleración activa. La deceleración del muslo fue resultado directo de la aceleración de la parte inferior de la pierna.

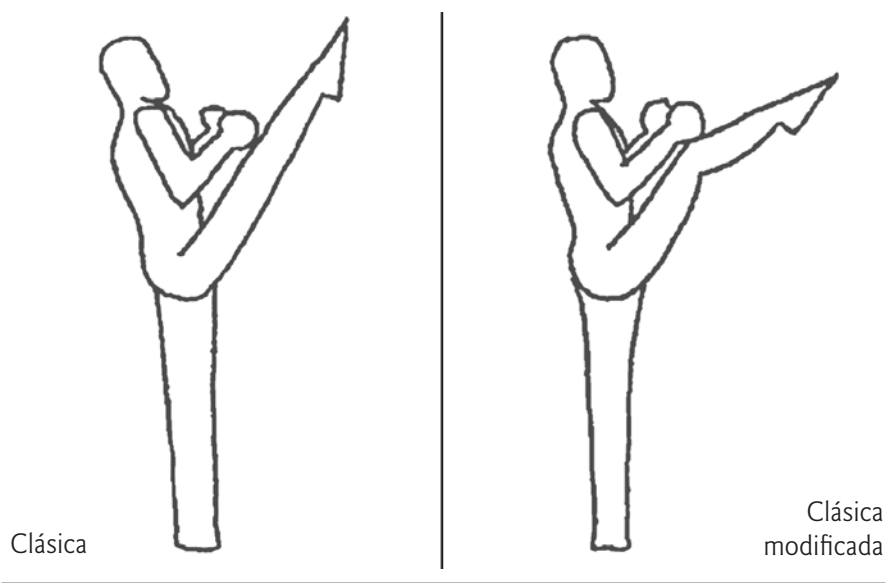
Los estudios de las patadas circulares y en giro han incluido la patada giratoria, la patada en gancho y la patada hacia atrás en giro. Por ejemplo, Hwang (1985) describió la patada en gancho con giro usando los modelos de sistema de un tronco y sistema de dos troncos. Basado en sus análisis, realizó recomendaciones para que los entrenadores ayuden a sus deportistas a mejorar la ejecución de la patada.

Wohlin (1989) estudió a deportistas de élite de taekwondo norteamericanos durante la ejecución de la patada en gancho con giro. El autor se interesó en la cinética y cinemática angular del cuerpo durante la patada. Además, analizó los movimientos rotacionales de la cabeza, hombros y caderas en relación unos con otros, la secuencia de la cinemática del muslo y la pierna, y la cinemática del pie mientras se aproximaba al objetivo.

La patada hacia atrás en giro, entre otras técnicas, fue investigada por Serina y Lieu (1991). Los autores informaron que las patadas en giro obtuvieron mayores velocidades que aquellas sin giro. En otras palabras, la patada hacia atrás en giro era más rápida que la patada lateral con un paso. Pieter y Pieter (1995) también encontraron que la patada hacia atrás en giro era más rápida que la patada lateral.

La parada giratoria, como ejemplo de una técnica rotacional, ha recibido atención por parte de varios investigadores. Por ejemplo, Boey y Xie (2005) registraron que la duración media de la parada giratoria era de 0.35 y 0.30 segundos para atletas de taekwondo de élite masculinos y femeninos de Singapur. Sin embargo, no se encontró ninguna relación entre las trayectorias más cortas y las velocidades pico más altas. Como se esperaba, Hong et al. (sin fecha) informaron de que la parada giratoria era más rápida cuando se iniciaba con la pierna adelantada que con la pierna atrasada. Sin embargo, la mayoría de las patadas en competición, tanto ofensiva como defensivamente, eran realizadas con la pierna atrasada (Luke et al., 2001).

Figura 1. Variaciones de la patada descendente – fase descendente



Otros investigadores se han interesado por la aceleración del centro de masas, los cambios angulares de los segmentos, así como los cambios en el impulso durante la parada giratoria (Lee et al., 2001), mientras que Abraham et al. (2001) obtuvieron que la parada giratoria era más rápida que la patada lateral, no existiendo diferencias de duración entre la patada giratoria y las patadas frontales.

Pocos estudios se han centrado en la patada descendente en el taekwondo. Por ejemplo, Sung (1987) encontró velocidades máximas del pie de 11.3 m/s y 10.4 m/s para las patadas con pierna retrasada (clásica) y en salto hacia delante respectivamente. No se midió la fuerza. La patada descendente con flexo-extensión tuvo un tiempo de ataque más rápido que la patada con la pierna estirada (0.37 vs. 0.42 segundos), y también alcanzó una mayor velocidad (5.55 vs. 4.70 m/s) (Tsai & Huang, 2006). Aunque Hong et al. (sin fecha) mostraron que las patadas de la pierna adelantada eran más rápidas, los practicantes de taekwondo de Taiwan prefirieron utilizar la patada descendente con la pierna retrasada en la competición (Chen et al., 2006).

Tsai et al. (2004) investigaron una modificación de la patada descendente en estudiantes masculinos y femeninos de instituto. La patada descendente modificada fue realizada con la pierna de atrás. En la fase de ascenso, la pierna estuvo doblada a la altura de la rodilla durante la flexión de cadera, mientras que se mantuvo recta en la fase de descenso. Los autores encontraron tiempos de reacción de 0.523 segundos y 0.493 segundos con tiempos de movimiento de 0.367 segundos y 0.392 segundos para los hombres y las mujeres respectivamente.

En un estudio longitudinal, Tsai et al. (2005) analizaron la patada descendente con la pierna adelantada en practicantes varones y adultos de taekwondo. El tiempo de reacción y el tiempo de movimiento contribuyeron en un 56% y 44% al tiempo de ejecución (tiempo de reacción más tiempo de movimiento), respectivamente. Tal y como se esperaba, la patada descendente con la pierna adelantada (0.750 segundos) registró un tiempo de ejecución más rápido que la versión con la pierna retrasada (0.886 segundos). Las fases de ascenso y descenso de la patada fueron las mismas que en la investigación previa.

La patada descendente: antecedentes y definición

La patada descendente es una patada de ataque que tiene como objetivo tanto la cabeza como los hombros. Es bastante similar al puntapié de fútbol americano y al *battement* de ballet, donde la pierna de ataque asciende hacia el tronco a una altura importante. La principal diferencia entre la patada descendente y otros movimientos de pateo es que la producción de fuerza en la fase de ascenso es secundaria respecto a la fase más importante de descenso, cuando el pie realmente transmitirá su fuerza al objetivo deseado. Esto hace que el gesto de la patada sea bastante único en los deportes, ya que son principalmente los flexores de la cadera y los extensores de la rodilla los que producen la fuerza, en el ascenso, en la mayoría de las patadas. Con la patada descendente, sin embargo, son los extensores de la cadera y los flexores de la rodilla los que producen la fuerza.

Como se citó más arriba, existen diversas variaciones de la patada descendente, pero este artículo sólo se ocupa de una pequeña modificación de la patada descendente clásica, que es la técnica que se enseña normalmente a los principiantes debido a su simplicidad. La versión modificada supondría la consecutiva extensión de los segmentos de la cadera y la flexión de la rodilla en la fase de descenso de la patada (véase figura 1) en vez de simplemente bajar la pierna extendida como se hace en la versión clásica de la patada. La patada descendente modificada se recomendaría para minimizar las lesiones en la competición y al mismo tiempo para marcar los puntos necesarios.



Patada descendente clásica ejecutada con la pierna estirada.



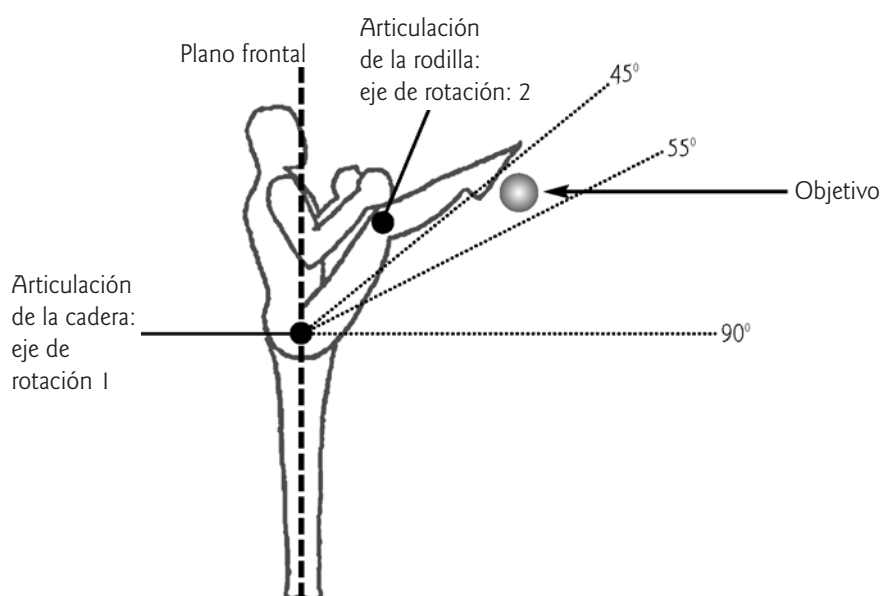
Una patada descendente con la rodilla doblada ayuda a reducir las lesiones durante la práctica individual así como en la competición.

Fotografías cortesía de Annellen & Alex Simpkins. Copyright de Radiant Dolphin Press (www.radiantdolphinpress.com).

Objetivos

Para un principiante de taekwondo, el principal objetivo sería transmitir tanta fuerza como sea posible al objetivo en el punto de contacto durante la fase de descenso de la patada. Se asume que el objetivo está entre 45° y 55° respecto al plano frontal del cuerpo desde el eje de la articulación de la cadera (véase figura 2). El eje de rotación cambia desde la articulación de la cadera en la fase de ascenso hasta la articulación de la rodilla hacia un cuarto y la mitad de la fase de descenso y volvería a cambiar a la articulación de la cadera para la fase final.

Figura 2: Posición del objetivo



Para los deportistas de élite, sin embargo, sería deseable la maximización de varios objetivos biomecánicos. Estos son:

1. Maximizar la velocidad angular (w) del muslo y la pierna en la fase de ascenso de la patada.
2. Aumentar el momento de inercia (I) de la pierna en el ascenso.
3. Aumentar el impulso angular (H) resultante de 1 y 2. Esto aumentará la velocidad de descenso del ángulo de la pierna en relación con el plano frontal del cuerpo.
4. Aumentar la distancia del punto de contacto (la planta del pie) respecto del objetivo marcado resultante del impulso angular (H) mencionado en 3, lo que a su vez afectará a la aceleración angular de la fase de descenso.
5. Maximizar la aceleración angular del muslo y trasladar de manera eficaz la fuerza a la pierna, mientras se cambia el eje de rotación a este

segmento. Esto maximizará la velocidad angular (w) en el descenso y al mismo tiempo, disminuirá la inercia (I), ya que la masa de la pierna es significativamente menor que la del muslo y la pierna combinadas. Se espera que esto provoque una patada más rápida y efectiva y, al mismo tiempo, reduzca el impulso resultante trasladado (J) al objetivo al chocar, el cual ha sido relacionado con lesiones graves como contusiones cerebrales (Smith & Hamill, 1986). A mayor impulso trasladado (J), mayores son las posibilidades de provocar contusiones cerebrales.

Secundariamente, a pesar de ser objetivos importantes, se incluyen los siguientes:

1. Rotación contralateral del pie de apoyo a 90° desde su posición inicial durante el ascenso. Esto proporcionará una base de apoyo más ancha y también facilitará una mayor movilidad para la rotación anterior de la pelvis en la fase final de la patada.

2. Extensión de la rodilla de apoyo. La posición de la pierna/rodilla de apoyo depende de la flexibilidad del ejecutante, la cual determina el ángulo de flexión de la pierna de apoyo. La patada está limitada en último lugar por el llamado estrés biomecánico de la unidad tendón-músculo y de los ligamentos (Zandbergen, sin fecha).

3. Tener una ligera flexión del tronco en la articulación de la cadera en el punto más alto del ascenso de la pierna, y cambiar a una ligera extensión al finalizar el descenso. Se ha encontrado que las patadas frontales realizadas con el tronco ligeramente extendido eran más rápidas que aquellas con el tronco recto o flexionado (Park, 1989). La maximización de la tensión a partir de las propiedades elásticas de los músculos extensores del tronco podría ser una explicación (McArdle et al., 2001). Otra ventaja que se atribuye a esta acción es que el tronco y la cabeza podrían estar más alejados del posible contraataque del oponente.

4. Mantener una posición del pie en flexión plantar durante toda la patada. Esto ofrecerá un mayor punto de contacto (la planta completa del pie) en comparación con la posición en flexión dorsal que sólo tendrá el talón para hacer contacto. La flexión plantar también dará un mayor alcance a la patada y de la misma manera disminuirá el riesgo de lesión al oponente (e.g., Koh & Watkinson, 2002), ya que la planta del pie es menos rígida que el talón.

Secuencia de movimiento

La habilidad puede ser dividida en cuatro partes: la fase preparatoria, el ascenso, el descenso y la fase final. Exactamente al igual que en otras habilidades deportivas, estas fases no están estrictamente separadas o incluso pueden no apreciarse, sino que son sucesos continuos que requieren una suave transición y discurso. Para el propósito del presente análisis, estas fases serán discutidas por separado, con el descenso como foco central del análisis, ya que el propósito de la patada es transmitir la mayor fuerza posible durante esta fase. Integraremos en el análisis los principios biomecánicos que son aplicables a la maximización de la técnica.



Fotografía cortesía de Dreamstime.com

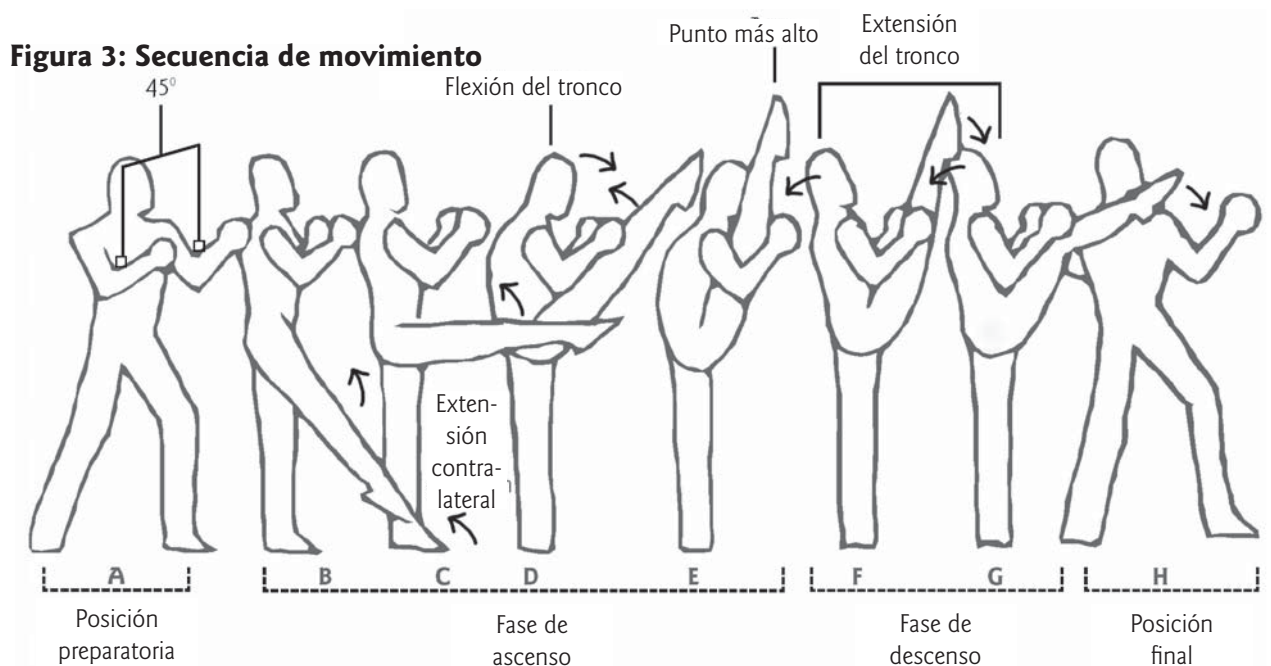
Preparación

Este estudio se basa en la suposición de que la habilidad será realizada en un entorno aislado (i.e., en un entrenamiento o pateando al aire, y no en un combate real). Así, la posición preparatoria es prácticamente estática. Las manos están cerradas en forma de puño con el objeto de estar listas para golpear y también para reducir las posibilidades de lesiones de los dedos (Pieter & Zemper, 1999; Zemper & Pieter, 1991). Los codos están doblados aproximadamente en 45° , proporcionando la máxima zona de protección contra los contraataques. Los brazos estarán listos para parar cualquier patada a la cabeza así como los codos para desviar los golpes al cuerpo. Se recomienda que la posición de los brazos se mantenga constante durante toda la patada para desarrollar el hábito de protegerse uno mismo. Esto resulta también útil en la enseñanza de otras patadas. La cabeza también debería estar flexionada hacia delante del cuerpo en un ángulo que está cerca de la mitad del rango de movimiento de la columna cervical en flexión frontal. La rotación de la cabeza estará en concordancia con la del resto del cuerpo. La posición de la cabeza fijará parcialmente la articulación en esa área, lo que posiblemente puede minimizar el trauma (Adrian & Cooper, 1995). Esto también proporciona una posición más “escondida” (i.e., menor área para convertirse en objetivo) detrás de los puños.

La posición preparatoria del cuerpo es con la parte anterior perpendicular al objetivo, con la pierna de apoyo lo más cerca posible del objetivo. Los brazos y la cabeza también se ajustarán a esta posición. Ambos pies están pegados al suelo y girados alrededor de 45° respecto al plano frontal. Resulta ventajoso tener el centro de gravedad (CDG) equilibrado en una base de apoyo firme (Adrian & Cooper, 1995); por tanto, el centro de gravedad se distribuye de manera regular sobre ambos pies. La anchura de separación de los pies no puede ser generalizada debido a las diferencias en la altura y longitud de las extremidades, pero el consejo de “tan ancho como la anchura de los hombros” es de gran utilidad en la práctica. Las rodillas están ligeramente flexionadas para facilitar la movilidad frontal, posterior y lateral (ver figura 3a).

Ascenso

Desde la fase preparatoria, el centro de gravedad se moverá horizontalmente hasta que el peso se traslade al pie izquierdo. La fase de ascenso debería comenzar en este momento. Las características dinámicas del movimiento de balanceo de la pierna son en gran medida dependientes de la velocidad angular inicial del muslo. Por consiguiente, la fuerza del flexor de la cadera afectará enormemente a la velocidad resultante. En este momento, toda la pierna debería ser considerada como un cuerpo rígido, i.e., los segmentos de la pierna pueden ser analizados como si estuviesen exentos de deformación. Todos los segmentos de la pierna permanecen a distancias fijas entre ellos (Ahn, 1985). Maximizar el ángulo posterior entre el muslo y la pierna, y el ángulo anterior entre el pie y la pierna, ayudará a incrementar la inercia (I) a costa de la velocidad angular (w). Esto aumentará posteriormente el impulso angular (H) de la pierna. Puesto que el impulso angular (H) es equivalente al producto de la inercia (I) y la velocidad angular (w), pueden producirse algunos efectos nocivos sobre la última. Sin embargo, para simplificar la técnica a los fines del presente estudio, se asume que parte de la velocidad angular (w) se perderá.



Sobre la mitad de la fase de ascenso, debería existir una rotación contralateral del fémur izquierdo dentro de la cavidad de la cadera. Esto permitirá mayor movilidad a la pelvis para la rotación anterior. La rotación anterior de la pelvis permitirá posteriormente que el fémur derecho esté parcialmente libre de las restricciones impuestas por el acetábulo, aumentando su rango de movimiento (ver figura 3c). Se supone que los *battements* en ballet son realizados sin esta rotación pélvica, lo que exige mayor flexibilidad en los tejidos conectivos de los alrededores y en los músculos antagonistas (Rasch, 1989). Para nuestros propósitos, sin embargo, la utilidad es la prioridad frente a la apariencia estética.

Otra ventaja de la rotación del fémur –y consecuentemente del pie– es ensanchar la base de apoyo. Ya que la orientación del cuerpo cambia desde su parte anterior a su parte lateral, el correspondiente cambio del pie de apoyo ayudaría a mejorar la posición del centro de gravedad.

Se ha planteado la hipótesis de que el pre-estiramiento de los músculos antes de la contracción daría como resultado una mayor fuerza en comparación con músculos no pre-estirados (Powell, 1989). Es en este contexto donde los autores recomiendan una ligera flexión del tronco para “encontrar” la pierna en el punto más alto del ascenso. La flexión del tronco puede provocar un estiramiento adicional de los extensores de la cadera y podría aportar una fuerza añadida (figuras 3d y 3e). Se tiene que tomar la precaución de no flexionar el tronco en exceso así como de no reducir la distancia entre el pie y el objetivo. La flexibilidad de los extensores de la cadera y los flexores de la rodilla es un factor que afectará enormemente tanto a la altura máxima alcanzada como al grado de flexión del tronco.

Descenso

La contracción de los extensores de la cadera debería comenzar inmediatamente en el punto más alto del ascenso. La pierna permanecerá como un cuerpo rígido hasta que haya descendido 20°. En este momento, deja de ser un cuerpo rígido, cuando el eje de rotación cambia momentáneamente de la articulación de la cadera a la de la rodilla. Esto consecuentemente reducirá la inercia (I) y aumentará la velocidad angular (w) en el punto de contacto. Esta es la fase que difiere de la patada descendente clásica, donde la inercia (I) se incrementa enormemente a favor de la velocidad angular (w). Si el impulso angular (H) permanece constante en ambas patadas, la fuerza trasladada al objetivo por la patada descendente modificada al chocar sería importante, pero no tan grande como cuando se compara con la fuerza generada por la versión clásica de la patada. Con esta versión modificada, se reduce la inercia (I) para intentar reducir la fuerza transferida al objetivo en el impacto.

Para lograr la velocidad angular óptima (w) en el segmento distal (la pierna y el pie, siendo un cuerpo rígido) tiene que haber una secuenciación de los pares de fuerzas desde el segmento proximal (muslo) a la pierna y al pie. Para producir la máxima velocidad distal a tiempo, cada nuevo par de fuerzas debería ser aplicado en el momento en que la fuerza anterior ha realizado su mayor contribución (Ahn, 1985). En este caso, la suma del par de fuerzas producida por los flexores de la rodilla debería sumarse en el momento donde el par de fuerzas del extensor de la cadera está en su máximo. Sería importante enfatizar que la fuerza debería ser aplicada por los flexores de la rodilla y por los extensores de la cadera. Esto contrasta con lo que sucede en los principiantes, que normalmente dejan “caer” la pierna desde el punto más alto del descenso, dependiendo entonces la fuerza del golpe solamente de la inercia (I) y de la fuerza de gravedad (G).

La optimización del impulso angular (H) del pie al impactar

requiere la transferencia efectiva de los pares de fuerza iniciales a través de las articulaciones de la cadera y la rodilla por medio de la deceleración de los segmentos proximales. Este es el mecanismo por el cual el impulso del cuerpo se transfiere al objeto golpeado (Ahn, 1985). En otras palabras, la transferencia eficaz del impulso requiere de la suma del par de fuerzas del flexor de la rodilla en el momento en que hay una deceleración de los extensores de la cadera, lo que producirá una transferencia de la mayor cantidad de impulso angular (H) al objetivo. Aunque esto es lo deseable en los casos normales, el objetivo de esta habilidad es maximizar el impulso angular (H), incrementando la velocidad angular y restando importancia a las fuerzas inerciales. Puesto que el impulso (J) es una función de la fuerza (F) y del tiempo, y dado que la fuerza es constante, una reducción del tiempo reducirá el impulso resultante transmitido al objetivo y las posibilidades de sufrir una contusión cerebral (Lissner et al., 1960; Smith & Hamill, 1986).

Como se ha apuntado, el pie y la pierna serán considerados como un cuerpo rígido. Además, se debería intentar una ligera extensión del tronco para evitar más fácilmente cualquier contraataque “perdido” y para ayudar a la activación de las propiedades elásticas de los extensores de la cadera.

Terminación

Después del contacto del pie con el objetivo, tiene que existir una deceleración del muslo por la contracción de los flexores de la cadera. El apoyo del pie será otra vez a la anchura de los hombros en frente del pie de apoyo, retomando la posición preparatoria.

Conclusión

Aunque el análisis biomecánico de las técnicas deportivas tiene entre sus objetivos el optimizar las distintas habilidades implicadas en los deportes de contacto como el taekwondo, también se debería tener cuidado para minimizar la aparición de lesiones. La patada descendente de taekwondo podría ser realizada para producir el máximo impulso al chocar, pero esto no sería recomendable en términos de seguridad para la persona golpeada (e.g., Beis et al., 2001; Koh & Watkinson, 2002). El realizar la patada descendente según la versión modificada tal y como se ha descrito en este estudio, podría ser un camino para combinar la ejecución óptima de la habilidad en relación con los principios biomecánicos y para minimizar la aparición de una lesión como resultado de la patada. Deben llevarse a cabo más estudios para cuantificar las diferencias entre dos o más versiones de la patada descendente y para determinar la mejor manera de realizar esta habilidad (e.g., Tsai & Huang, 2006), teniendo además en mente la antecitada discusión sobre la integración de los principios biomecánicos con las consideraciones de prevención de lesiones.



Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Janet Dufek, de la Universidad de Oregon, por la chispa de inspiración y a Vernier Umali por la ayuda técnica.



Patada descendente utilizada durante una competición.

Fotografía cortesía de Mohsen Kazemi.

Bibliografía

- Adrian, M. J., & Cooper, J. M. (1995). *Biomechanics of human movement*. Madison, WI: WCB Brown & Benchmark.
- Ahn, B. H. (1985). *Kinematic and kinetic analysis of taekwondo kicking motions*. Unpublished Master's Thesis, Purdue University.
- Beis, K., Tsaklis, P., Pieter, W., & Abatzides, G. (2001). Taekwondo competition injuries in Greek young and adult athletes. *European Journal of Sports Traumatology and Related Research*, 23(3): 130-136.
- Boey, L. W. & Xie, W. (2005). *Experimental investigation of turning kick performance of Singapore national taekwondo players*. Comunicación presentada en el XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports, Beijing, China, 22-27 de agosto.
- Chen, C. W., Chin, Y. F., & Shiang, T. Y. (2006). *A study of the upper attacks score and breaking rules using new taekwondo competition regulations*. [On-line]. <http://www.ceps.com.tw/ec/ecjnlarticleView.aspx?jnlcattype=0&jnlptype=0&jnltype=0&jnliid=357&issueiid=2346&atliid=20239> Abstract de: *Journal of Physical Education in Higher Education*. (Acceso 2 de octubre de 2006, desde el China Electronic Periodical Service).
- Hong, Y., Kam, L. H., & Luk, T. C. (sin fecha). *Biomechanical analysis of Taekwondo kicking technique, performance and training effects. Final Report*. Hong Kong: Hong Kong Sports Development Board.
- Hwang, I. S. (1987). Analysis of the kicking leg in taekwondo. En J. Terauds, B. Gowitzke and L. Holt (Eds.), *Biomechanics in sports III & IV*. Proceedings of ISBS, Del Mar, CA: Academic Publishers.
- Hwang, I. S. (1985). Biomechanical analysis of dwihuryo-chagi in taekwondo. En *A Collection of Research Papers in the 1st World Taekwondo Seminar* (pp. 67-79). Seoul: Kukkiwon.
- Koh, J. O., & Watkinson, E. J. (2002). Video analysis of blows to the head and face at the 1999 World Taekwondo Championships. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(3): 348-353.
- Lee, S. H., Jung, C. J., Sin, S. H., & Lee, D. W. (2001). An analysis of the angular momentum of dolyeo chagi in taekwondo. *International Journal of Applied Sport Science*, 13(1): 18-32.
- Lissner, H. R., Lebow, M., & Evans, F. G. (1960). Experimental studies on the relation between acceleration and intracranial pressure changes in man. *Surgery, Gynecology and Obstetrics*, 111(3): 329 - 338.
- Luk, T. C., Hong, Y., & Chu, D. P. K. (2001). Analysis of strategy used in taekwondo competition. En Blackwell, J. R. (Ed.), *Proceedings of poster sessions, XIX International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 166-169). San Francisco, CA: Exercise and Sport Science Department, University of San Francisco.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). *Exercise physiology – Energy, nutrition, and human performance*. Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins.
- Park, Y. J. (1989). *The biomechanical analysis of taekwondo front kicks*. Unpublished Ph.D. Dissertation, University of Minnesota.
- Pieter, F., Pieter, W., & Heijmans, J. (1987). Movement analysis of taekwondo techniques. *Asian Journal of Physical Education*, 10(3): 45-58.
- Pieter, F., & Pieter, W. (1995). Speed and force of selected taekwondo techniques. *Biology of Sport*, 12(4): 257-266.
- Pieter, W., & Zemper, E. D. (1999). *Injuries in adult American taekwondo athletes*. Fifth IOC World Congress on Sport Sciences, Sydney,

-
- Australia, 31 Octubre -5 Noviembre.
- Powell, S. W. (1989). *A cinematographical analysis and force measure of three styles of the karate back punch and side kick*. Unpublished Ph.D. Dissertation, Texas A & M University.
- Rasch, P. J. (1989). *Kinesiology and applied anatomy*, 7th edición. Malvern, PA: Lea & Febiger.
- Serina, E. R., & Lieu, D. K. (1991). Thoracic injury potential of basic competition taekwondo kicks. *Journal of Biomechanics*, 24(10): 951-960.
- Smith, P. K., & Hamill, J. (1986). The effect of punching glove type and skill level on force transfer. *Journal of Human Movement Studies*, 12(3): 153 - 161.
- Sørensen, H., Zacho, M., Simonsen, E. B., Dyhre-Poulsen, P., & Klausen, K. (1996). Dynamics of the martial arts high front kick. *Journal of Sports Sciences*, 14(6): 483 - 495.
- Stull, R. A., & Barham, J. N. (1990a). An analysis of movement patterns utilized by different styles in the karate reverse punch in front stance. En E. Kreighbaum and A. McNeill (Eds.), *Biomechanics in Sports VI. Proceedings of the 6th International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 233-243). Bozeman, MT: International Society of Biomechanics in Sports and Department of Health and Human Development, Montana State University.
- Stull, R. A., & Barham, J. N. (1990b). An analysis of work and power produced by different styles in the karate reverse punch in front stance. En E. Kreighbaum and A. McNeill (Eds.), *Biomechanics in Sports VI. Proceedings of the 6th International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 225-231). Bozeman, MT: International Society of Biomechanics in Sports and Department of Health and Human Development, Montana State University.
- Sung, T. Y. (1987). A biomechanical analysis of selected taekwondo kicks. *The Journal of Taekwondo*, 61: 106-115.
- Tsai, Y. J., Gu, G. H., Lee, C. J., Huang, C. F., & Tsai, C. L. (2005). *The biomechanical analysis of the taekwondo front-leg axe-kick* [sic]. Comunicación presentada en el XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports, Beijing, China, 22-27 de agosto.
- Tsai, Y. J., & Huang, C. F. (2006). *Kinematic analysis of the taekwondo flex-stretching and straight axe-kick*. <http://www.ceps.com.tw/ec/ecjnlarticleView.aspx?atliid=79044&issu eiid=7090&jnliid=363> Abstract de: *Journal of Physical Education in Higher Education*. (Acceso 2 de octubre de 2006, desde el China Electronic Periodical Service).
- Tsai, Y. J., Lee, S. P., & Huang, C. F. (2004). *The biomechanical analysis of taekwondo axe-kick in senior high school athletic* [sic]. Comunicación presentada en el XXII International Symposium of Biomechanics in Sports, University of Ottawa, Ontario, Canada, 9-12 de agosto.
- Wohlin, S. (1989). *A biomechanical description of the taekwondo turning hook kick*. Unpublished Master's Thesis, Montana State University.
- Zandbergen, A. (no date). *Taekwondo Blessures en Fysiotherapie*, Unpublished Thesis, Twentse Akademie voor Fysiotherapie, Enschede.
- Zemper, E. D., & Pieter, W. (1991). *A two-year prospective study of taekwondo injuries at national competitions*. Comunicación presentada en el *International Congress and Exposition on Sports Medicine and Human Performance*, Vancouver, BC, Canada, 16-20 de abril.