

# **TRABAJO FINAL**

**Sabunim Gustavo Balbis**

**Presentación Examen Maestro FETRA**

태권도

## **Aplicación del concepto de torque o momento en el entrenamiento de la fuerza en el Taekwondo ITF.**

Uno de los principios elementales del entrenamiento deportivo es el de especificidad, el cual nos habla de los criterios a tener en cuenta a la hora de seleccionar ejercicios basado en los requerimientos de cada especialidad deportiva, si bien la definición es amplia y hace referencia a todas las variables que influyen en un programa de entrenamiento de un deportista dado, (fisiológica, metabólica, biomecánica, etc.) nos centraremos en el análisis biomecánico tratando de analizar y comprender las necesidades de los deportes de combate en general.

Teniendo en cuenta esto, podemos destacar los siguientes puntos a tener en cuenta a la hora de seleccionar los ejercicios de fuerza a utilizar sin dejar de lado el periodo de entrenamiento en el que nos encontremos (general, específico, competitivo):

- Tipo de contracción muscular implicada
- Patrones de Movimiento utilizados
- Velocidad y aceleraciones de los segmentos y ángulos implicados en cada movimiento
- Momentos e impulso de fuerza
- Magnitud de la tensión generada
- Tasa de desarrollo de la fuerza
- Tiempo de aplicación de la fuerza
- Cadenas cinemáticas y grupos musculares implicados.

### **CONCEPTO DE FUERZA**

La mecánica define a la fuerza como toda acción de un cuerpo material sobre otro, al cual le causa cambios en su estado, de reposo o movimiento, pudiendo desplazarlo, detenerlo, modificar su velocidad o deformarlo. Según la segunda ley de Newton, la fuerza aplicada resulta del producto de la masa del objeto y la aceleración del mismo, teniendo un carácter vectorial determinado por el resultado de la sumatoria de las fuerzas implicadas.

Sin embargo como cualidad física, la fuerza se manifiesta como una capacidad funcional que se expresa por la acción conjunta del sistema nervioso y muscular para generar tensión, transmitir fuerzas de tracción sobre el sistema esquelético o aplicarla sobre otros cuerpos para poder realizar movimientos, oponerse, vencer o reaccionar ante las fuerzas externas (Siff y Verkhoshansky, 2000; Bosco, 2000).

### **TORQUE O MOMENTO**

En los movimientos rotatorios, la cantidad de fuerza aplicada no depende de la acción gravitacional sino del momento inercial, que es el equivalente angular de la inercia (masa) y representa la resistencia que un objeto ofrece al rotar alrededor de su eje. Cuando un cuerpo rígido rota alrededor de su eje debe considerarse, además de la masa, el radio de giro ya que estos dos factores determinan la resistencia del cuerpo a los cambios de movimiento rotatorio a través de un eje determinado (Gutierrez, 1998; Enoka, 2002). Teniendo en cuenta entonces, que la fuerza resultante se expresa por le

producto de la masa y la aceleración, en el caso de los movimientos rotatorios la fuerza será el producto de la masa inercial( $m_i$ ) y la aceleración tangencial( $a_\chi$ ) sufrida por cada partícula del cuerpo que rota por la acción de la fuerza aplicada ( $F_\chi$ ), siendo la aceleración tangencial el producto entre el radio del cuerpo ( $r_i$ ) y la aceleración angular del mismo( $\alpha_i$ ).

$$F_\chi = m_i \times r_i \times \alpha_i$$

$$F_\chi = m_i \times a_\chi$$

Si el momento de fuerza ( $\Gamma_i$ ) es determinado por el producto entre la fuerza aplicada ( $F_\chi$ ) y el radio de giro ( $r_i$ ), al multiplicar la  $m_i$  y la  $a_\chi$  por el radio ( $r_i$ ) se obtiene la siguiente formula para el momento de fuerza

$$\Gamma_i = m_i \times r_i^2 \times \alpha_i$$

A modo de ejemplo tomaremos el caso de una llave inglesa

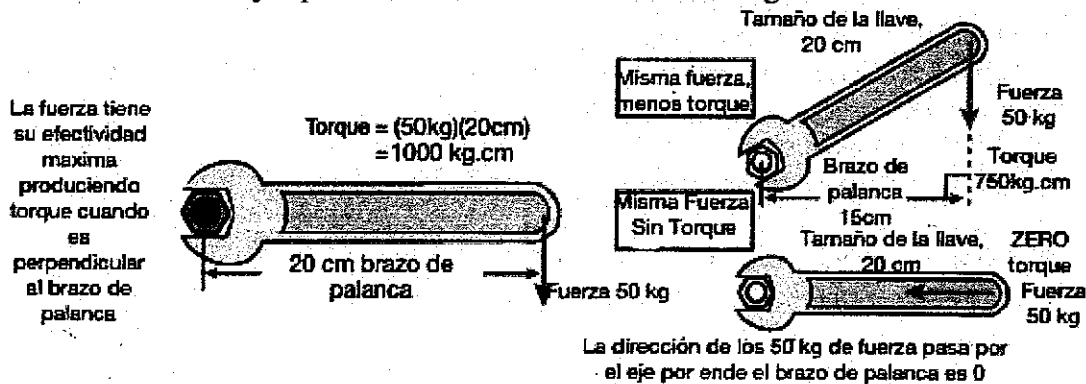


Fig. 1. Esquema de los diferentes momentos o torque producidos por una llave inglesa en función del vector de fuerza y el brazo de palanca.

Las 3 situaciones representadas en la Fig. 1 muestran como una misma fuerza puede provocar 2 torques o momentos diferentes en magnitud e inclusive anular el mismo. Si bien este principio se respeta en todos los ejercicios que podamos programar, cada musculo implicado en un movimiento y por ende ese movimiento, pueden desarrollar momentos diferentes en función de la biomecánica aplicada en el mismo.

Si analizamos los posibles escenarios para mejorar u optimizar el troque nos encontramos con 3 posibilidades.

- aumentar la masa inercial
- optimizar el radio de giro
- aumentar la aceleración angular.

## APLICACIÓN AL ENTRENAMIENTO

Sin adentrarnos en conceptos fisiológicos en cuanto al rendimiento deportivo, el aumento de la masa muscular trae aparejado un aumento en la fuerza muscular, aunque no siempre se traduce en aumento de la fuerza especifica deportiva. Tomando el ejemplo de la llave y haciendo un paralelo con la articulación de la cadera (eje) y el

glúteo (brazo de palanca), el aumento del tamaño muscular alargará la palanca aumentando el torque producido con una misma fuerza (fig. 2.).

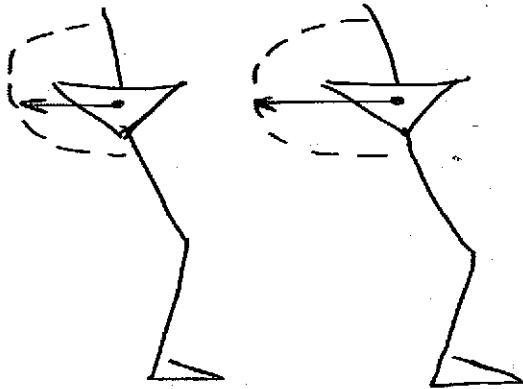


Fig. 2. esquema del concepto de torque o momento aplicado a la articulación de la cadera y glúteo

En el ejemplo de la llave inglesa vimos que en la perpendicular es donde se encuentra el radio de giro con la mayor ventaja para producir un mayor torque con la misma fuerza, en el caso que quisiéramos generar el mismo torque con un ángulo más abierto no quedaría otra opción que producir más fuerza. Esto se traduce en la denominada desventaja mecánica, punto del rango de movimiento en el cual se debe aplicar la mayor cantidad de fuerza para sostener un determinado torque el cual es limitante de los ejercicios isoinerciales (Frost y col. 2010) y por lo tanto no se aplica la misma cantidad de fuerza en todo el rango de movimiento.

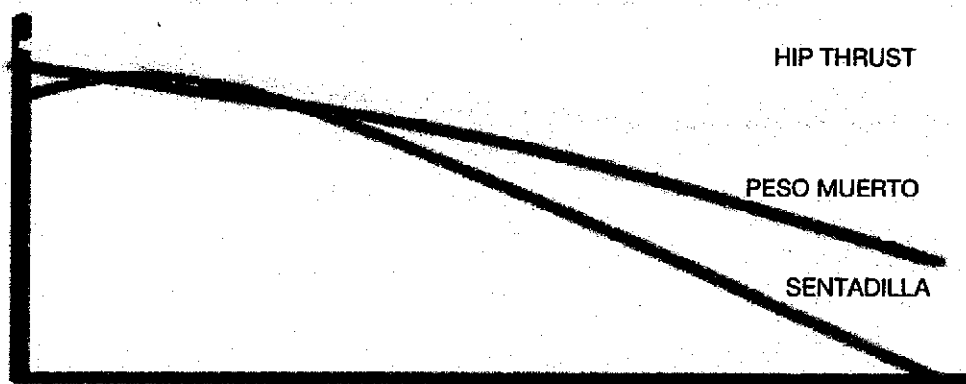


Fig. 3. Curva de momento/ángulo para 3 ejercicios de extensión de cadera (Hip Thrust/amarillo; Peso muerto/verde; Sentadilla/rojo) con 245 kg de carga.

En la figura 3 se puede observar que la línea amarilla (Hip Thrust) mantiene un mayor torque durante todo el recorrido del movimiento e inclusive aumentándolo en los últimos grados de extensión, caso contrario, la sentadilla paralela presenta un mayor torque mientras mayor es la flexión de la cadera. A modo de implicaciones prácticas, habría que analizar que tipo de torque presentan las acciones del deporte para poder así coincidir con la elección de ejercicios o bien qué medios podríamos utilizar para modificar dichas curvas.

Un ejercicio dado desarrolla la fuerza de un músculo en un punto específico de la curva de torque, que corresponde al punto en el que la curva de torque externo de ese

ejercicio más desafía la curva de torque interna de ese musculo. Si el deporte requiere fuerza y potencia en punto diferentes del rango de movimiento articular del ejercicio seleccionado para entrenar, el resultado será sub óptimo (Contreras y col, 2013).

## APLICACIONES PRÁCTICAS EN EL TAEKWONDO

Si bien el taekwondo es un Arte marcial, cada vez son más los practicantes enfocados en la faceta deportiva del mismo. Por tanto desde el punto de vista deportivo el taekwondo es un deporte de contacto donde se pueden utilizar tanto los puños como los pies. Según el reglamento las patadas al torso otorgan 2 puntos, las patadas al rostro 3 y los golpes de puños 1, siendo así que las patadas representan entre el 70 y el 80% de las acciones de un combate (Serina y Lieu, 1991) y dentro de las mismas, la patada circular es la mas utilizada (Kim, 2002; Zemper, 1994).

Las patadas y los golpes de puños en TKD son acciones Secuenciales ya que se trata de movimientos complejos con varios segmentos corporales (tronco, muslo, pierna, brazo, pie, mano), unidos por diferentes núcleos articulares. En esta secuencia los segmentos corporales implicados, adquieren una gran velocidad en su extremo distal (Gutierrez, 1999)

Joint		MT [N·m] Taekwondo n = 8
Elbow	F	57.5 ± 14.5
Joint	E	36.6 ± 8.6
Arm	F	50.5 ± 16.8
Joint	E	57.7 ± 18.3
Knee	F	115.1 ± 26.2
Joint	E	252.1 ± 73.8
Hip	F	98.5 ± 28.2
Joint	E	450.6 ± 142.1
Trunk	F	136.3 ± 35.8
	E	401.9 ± 136.0

Fig.4: Máximo torque generado en diferentes articulaciones en practicantes de TKD. Nótese el rol fundamental de los extensores de cadera. (Busko y cols., 2013)

Estas acciones explosivas demandan altos niveles de fuerza y velocidad (Topal y cols., 2011). Varios son los autores que investigaron los efectos del entrenamiento de TKD sobre los valores de fuerza y potencia (Casolino y cols., 2012; Fong y Ng, 2011; Balsom y cols., 1994; Baquet y cols., 2001), sin embargo no son muchos los artículos publicados en el sentido contrario. Dos trabajos relativamente recientes de Haddad y cols., 2009 y Topal y cols., 2011) sugieren hacer énfasis en sesiones de entrenamiento de la fuerza complementarias de manera de incrementar sus valores de fuerza, velocidad y potencia principalmente a través de la realización de ejercicios específicos desde el punto de vista biomecánico.

El papel de los miembros inferiores es fundamental incluso en el boxeo, donde se ha reportado que los boxeadores más experimentados utilizan un 22,1% más la contribución del tren inferior que los más novatos (38,6% vs 16,5%), lo cual está relacionado con la fuerza del golpe (Lenetsky y col., 2013). Filimonov y col. Incluso dividió la muestra según estilo de pelea (knockeadores, velocistas y contra golpeadores) encontrando la mayor contribución de miembros inferiores en el grupo de knockeadores. Por otro lado la articulación de la cadera interviene no sólo en las patadas sino también en los desplazamientos y en los golpes con las manos (Lenetsky y col., 2013).

Si bien la cinética y cinemática de cada acción tiene un patrón único podemos concluir que los desplazamientos horizontales como así también la fuerza aplicada horizontalmente contra el piso cumplen un rol fundamental como así también la participación de la extensión de la cadera en dichas acciones (Lenetsky y col., 2013; Chang y col., 2013; Gorski y col, 2014).

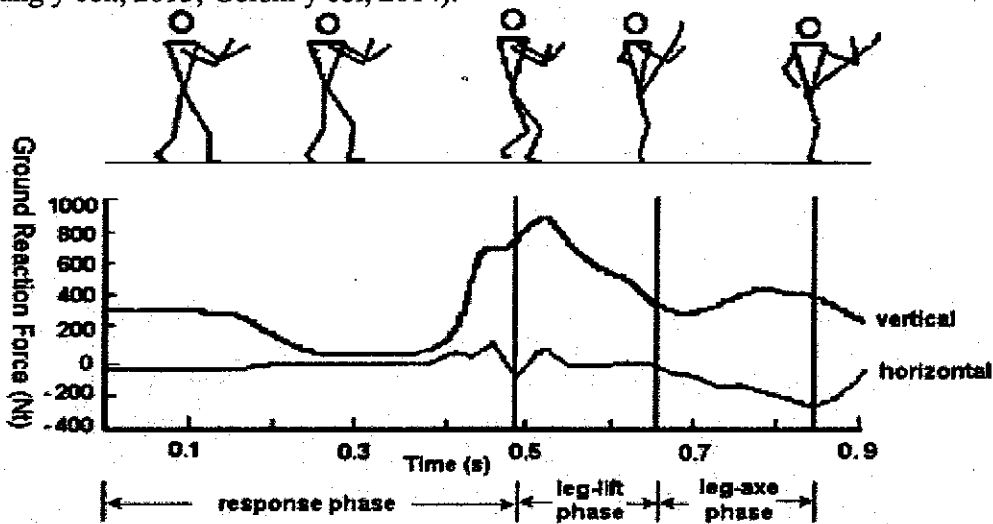


Fig.5 : Fuerza de reacción contra el piso en una patada descendente (Tsai y Hung, 2000). Incluso en patadas predominantemente verticales las fuerzas horizontales son importantes.

Analizando una de las técnicas más características del Taekwon-do, la cual se destaca por ser una de las patadas que mayor poder genera, el Yop Chagui o patada de costado o lateral se puede notar la gran contribución de los músculos de la cadera, principalmente los extensores de la misma (Gluteo) tanto en la pierna que golpea como la de apoyo ya que en una gran proporción de acciones la técnica se realiza con una aproximación al contrincante que requiere de un desplazamiento horizontal y por ende una extensión de la cadera en ambos miembros.

En esta patada, la extensión de la cadera se realiza principalmente en el plano antero-posterior y en contra de un vector de fuerza horizontal buscando impactar con la cadera totalmente extendida, dándole un mayor recorrido a la pierna de manera que alcance su aceleración máxima y por ende su fuerza máxima en el momento del impacto.

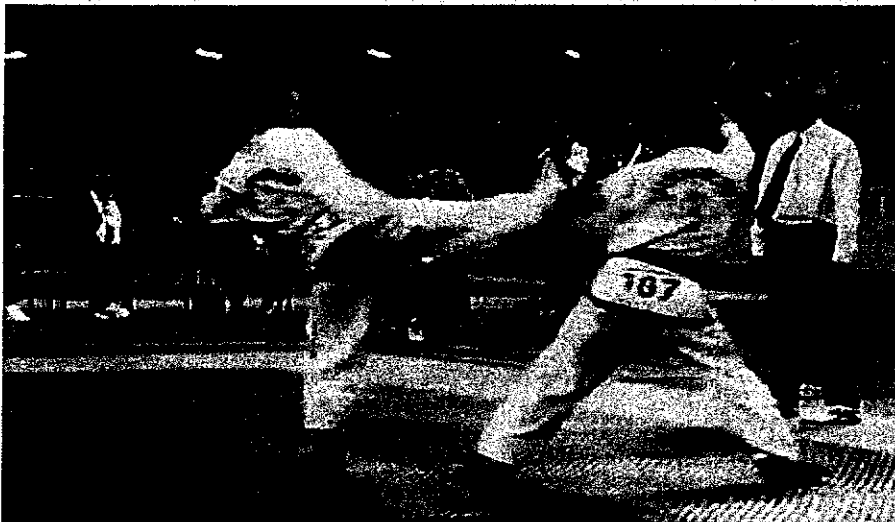


Fig. 6 : aplicación de la patada lateral en una competencia de Sparring en Taekwon-do ITF

No solo en el tren inferior es importante tener en cuenta la articulación de la cadera. Cheraghi y col. Analizaron la cinética del golpe recto de boxeo describiendo la biomecánica tanto del brazo como del miembro inferior (cadera, rodilla y tobillo).

Variable	Mean±SD	min to max
FistXDisplacement (m)	0.655±0.07	0.516 to 0.766
FistMaxV (m/s)	7.8±1.5	6.1 to 9.4
Fist Duration (s)	0.310±0.06	0.212 to 0.404
ElbowMaxV (m/s)	6.7±1.5	4.3 to 8.5
ShoulderMaxV (m/s)	3.1±0.6	2.1 to 3.8
HipXDisplacement (m)	0.278±0.06	0.196 to 0.348
HipMaxV (m/s)	1.6±0.2	1.1 to 1.8
FistYDisplacement (m)	0.125±0.06	0.019 to 0.179
FistZDisplacement (m)	0.056±0.05	-0.018 to 0.144
SelectiveDistance (m)	0.496±0.08	0.387 to 0.648

**TABLA 1:** Variables cinemáticas seleccionadas desde la posición de partida hasta el momento de impacto. Max: máximo; V: Velocidad; Dirección Antero-posterior; Y: dirección Vertical; Z: Dirección medial-lateral; Selective Distance: Distancia perpendicular entre el pie delantero y el objetivo. (Cheraghi y col., 2014)

Variable	Mean±SD	min to max
<b>Shoulder</b>		
OnsetAngle (°)	20±4	14 to 28
ImpactAngle (°)	86±5	81 to 93
MaxAngle (°)	90±5	84 to 100
MaxAngleTime (s)	0.002±0.01	0.020 to 0.008
<b>Hip</b>		
OnsetAngle (°)	203±3	200 to 209
MinAngle (°)	195±6	188 to 205
ImpactAngle (°)	196±7	188 to 208
MaxωAngle (°)	209±4	203 to 217
Maxω (°/s)	103±50	50 to 185
MaxωTime (s)	0.148±0.04	0.220 to -0.084
MaxAngle (°)	211±4	205 to 219
MaxAngleTime (s)	0.109±0.03	0.148 to -0.060
EccAngleDisplacement (°)	9±4	4 to 15
ConDuration (s)	0.153±0.12	0.084 to 0.448
ConAngleDisplacement (°)	17±5	10 to 27

**TABLA 2:** Cinemática Angular del hombro y la cadera desde la posición de partida hasta el momento de impacto. Min: Mínimo; Max: Máximo; ω: Velocidad Angular; Ecc: fase excéntrica; Con: fase concéntrica. (Cheraghi y col., 2014)

Como conclusiones principales encontraron que la contribución del tren inferior, sustentando el estudio de Filimonov, es fundamental para generar fuerza en el golpe, que el cambio del peso en dirección postero-anterior es generado por el movimiento de la cadera (28cm de desplazamiento) y que la articulación de la cadera tanto en el inicio del golpe como al final se mueve en ángulos amplios (188-208 grados), teniendo un desplazamiento medio de 26 grados (excéntrico-concéntrico) y en el momento del impacto de puño se da a los 196 grados de extensión de cadera (valor medio). El

movimiento de piernas genera momento en la cadena cinemática del golpe desarrollando una velocidad mayor en el puño, por todo esto el autor concluye el rol indispensable de un entrenamiento específico del tren inferior.

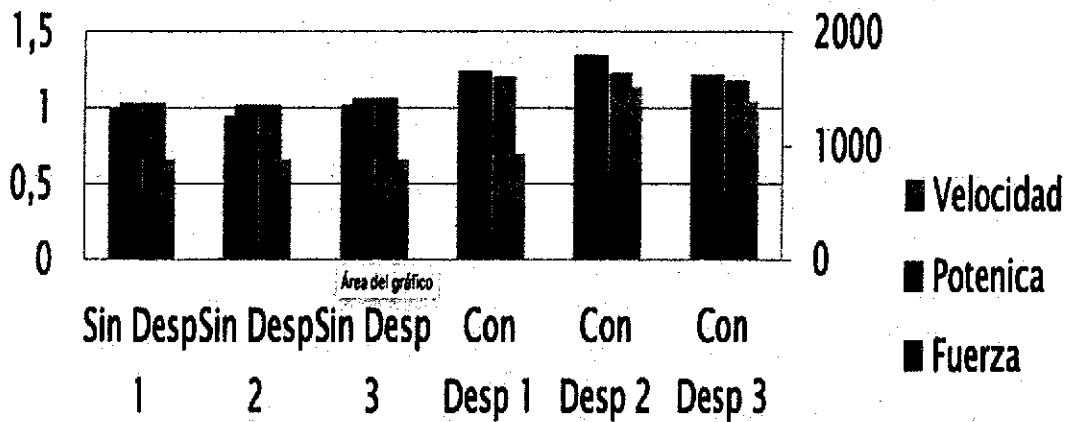


Fig.7 :Valores de Fuerza, velocidad y potencia de 3 patadas circulares con y sin Desplazamiento (Carbone, 2014, datos no publicados.). El desplazamiento del centro de masas eleva las variables cinéticas de las patadas.

Por todo lo mencionado hasta aquí si el deporte requiere acciones como desplazamientos horizontales veloces, como es el caso del Taekwon-do ITF se debería manipular la selección de ejercicios para adaptar la curva de torque interno a la curva de torque externa de dicha actividad. Tales acciones (desplazamientos horizontales explosivos) requieren altos niveles de potencia y fuerza en la extensión de cadera pero en los ángulos mas abiertos, inclusive entre los 180 grados y más (hiperextensión), por lo tanto si sólo se utiliza la sentadilla, la cual desarrolla la fuerza en los ángulos mas altos de flexión, produciría un desarrollo sub óptimo de la fuerza en el rango de movimiento requerido por el deporte. El uso de bandas elásticas o cadenas podría ser una forma de manipular el ejercicio para modificar el torque externo (Frost y col. 2010) o bien la elección de ejercicios con un torque externo en los ángulos específicos como el Hip Thrust podría ser otra opción posiblemente mas recomendable teniendo en cuenta la influencia de los diferentes vectores de fuerza sobre la especificidad del entrenamiento (Contreras, 2012).

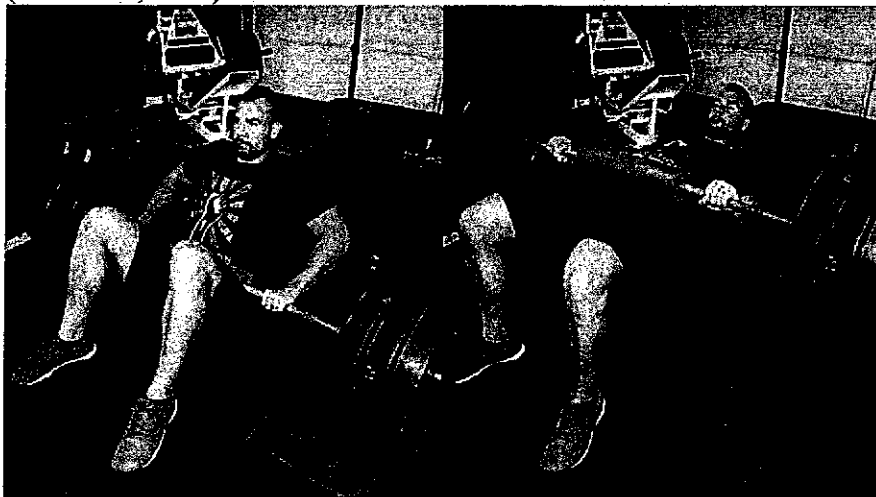


Fig. 8: Posicion inicial y final del ejercicio Hip Thrust



## Referencias:

- Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The Journal of Physiology*. 2001;534(Pt. 2):613-623.
- Balsom PD, Ekblom B, Sjödln B (1994) Enhanced oxygen availability during high intensity intermittent exercise decreases anaerobic metabolite concentrations in blood. *Acta Physiol Scand* 150: 455-456.
- Balsom PD, Ekblom B, Söerlund K, Sjödln B, Hultman E (1993) Creatine supplementation and dynamic high-intensity intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 3: 143-149.
- Beardsley C, Contreras B. The Increasing Role of the Hip Extensor Musculature With Heavier Compound Lower-Body Movements and More Explosive Sport Actions. *Strength Cond J*. 2014; 36(2): 49-55.
- Bird S, Barrington-Higgs B. Exploring the deadlift. *Strength Cond J*. 2010;32(2):46-51.
- Bolgia LA, Uhl TL. Electromyographic analysis of hip rehabilitation exercises in a group of healthy subjects. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2005; 35: 487-494
- Bosco, C. La fuerza Muscular Aspectos metodológicos. Inde, Barcelona. 2000.
- Boudreau SN, Dwyer MK, Mattacola CG, Lattermann C, Uhl TL, McKeon JM. Hip-muscle activation during the lunge, single-leg squat, and step-up-and-over exercises. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2009; 18: 91-103
- Cahalan, TD, Johnson, ME, Liu, S, Chao, EYS. Quantitative Measurements of Hip Strength in Different Age Groups. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1989; 246: 136-145.
- Casolino E, Lupo C, Cortis C, Chiodo S, Minganti C, et al. (2012) Technical and tactical analysis of youth taekwondo performance. *Journal of strength and conditioning research* 26: 1489-1495.
- Chang JH, Chang YT, Huang CF. A biomechanical assessment of fajin mechanisms in martial arts. *Arch Budo* 2014; 10: 217-225.
- Cheragui M, Alinejad HA, Arshi AR, Shirzad E. Kinematics of Straight Right Punch in Boxing. *Ann Appl Sport Sci*. 2014; 2(2): 39:50.
- Contreras BM, Cronin JB, Schoenfeld BJ, Nates RJ, Sonmez GT. Are All Hip Extension Exercises Created Equal? *Strength Cond J*. 2013;35(2):17-22.
- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med*. 2011;41(1):17-38.
- Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*. 2011;41(2):125-146.
- da Silva Junior RA, Larivière C, Arsenault AB, Nadeau S, Plamondon A. Effect of pelvic stabilization and hip position on trunk extensor activity during back extension exercises on a Roman chair. *J Rehabil Med*, 2009; 41(3):136-42.
- da Silva Junior RA, Larivière C, Arsenault AB, Nadeau S, Plamondon A. Pelvic stabilization and semisitting position increase the specificity of back exercises. *Med Sci Sports Exerc*, 2009; 41(2):435-43.

- Delp, S.L., Hess, W.E., Hungerford, D.S., Jones, L.C. Variation of hip rotation moment arms with hip flexion. *Journal of Biomechanics*. 1999; 32, 493-501.
- Ekstrom RA, Donatelli RA, Carp KC. Electromyographic analysis of core trunk, hip, and thigh muscles during 9 Physiotherapy rehabilitation exercises. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 2007; 37: 754-762
- Enoka, R. M. *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics. 2002
- Filmonov VI, Koptsev KN, Husyanov ZM, Nazarov S. Boxing: Means of increasing strength of the punch. *Strength & Conditioning Journal*. 1985;7(6):65-6.
- Fong SS, Ng SS (2013) Can Taekwondo footwear affect postural stability in young adults? *J Am Podiatr Med Assoc* 103: 291-296.
- Frost, D. M., Cronin, J., & Newton, R. U. A biomechanical evaluation of resistance fundamental concepts for training and sports performance. *Sports Medicine*. 2010; 40(4), 303-326.
- Górski M et al. Modelling and analysis of lower limb joint loads during the Naeryo chagi technique in taekwondo. *Biomedical Human Kinetics*, 2014; 6, 121-127.
- Gutiérrez, D., M. *Biomecánica Deportiva, Síntesis, Madrid*. 1999.
- Haddad M, Chaouachi A, Moalla W, Babault N, Messaoud T, et al. (2009) Effect of pliometric exercises during high-intensity interval training in young taekwondo athletes. *International conference of sport "the high level sport" Tunisia*.
- Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech*. 2005;21(1):31-43.
- Krause DA, Jacobs RS, Pilger KE, Sather BR, Sibunka SP, Hollman JH. Electromyographic analysis of the gluteus medius in five weight-bearing exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009; 23: 2689-2694
- Lee, C.L. & Huang, C. Biomechanical analysis of back kicks attack movement in Taekwondo. *XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports*. 2006; 2, 803-806.
- Lee, C.L. & Huang, C. Kinematic analysis in Taekwondo power breaking motion in 360° jump back kick. *XXIX International Symposium on Biomechanics in Sports*. 2010; 1:811-814.
- Lenetsky S, Harris N, Brughelli M. Assessment and contributors of punching forces in combat sports athletes: Implications for strength and conditioning. *Strength Cond J*. 2013;35(2):1-7
- Pontaga, I. Hip and knee flexors and extensors balance in dependence on the velocity of movements. *Byology of Sport*, 2004; 2 (3): 261-272.
- Schilling BK, Falvo MJ, Chiu LZ. Force-velocity, impulse-momentum relationships: Implications for efficacy of purposefully slow resistance training. *J Sports Sci Med*. 2008;7:299-304.
- Serina, E. R., & Lieu, D. K. (1991). Thoracic injury potential of basic competition taekwondo kicks. *Journal of biomechanics*, 24(10), 951-960.
- Siff, M. C. and Verkhoshansky, Y. *Superentrenamiento*. Paidotribo, Barcelona. 2000.
- Sung, R.J. Mechanical analysis of the basic Taekwondo kicks. *Journal of Taekwondo*. 1987; 61, 106-15.
- Topal V, Ramazanoglu N, Semih Y, Camliguney AF, Kaya F (2011) The effect of resistance training with elastic bands on strike force at taekwondo. *American International Journal of Contemporary Research* 1: 140-144.

Verkhoshansky, Y. V. Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo. Paidotribo, Barcelona. 2002.

Ward SR, Winters TM, Blemker SS. The architectural design of the gluteal muscle group: Implications for movement and rehabilitation. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2012; 40: 95-102

Worrell W et al. Influence of Joint Position on Electromyographic and Torque Generation During Maximal Voluntary Isometric Contractions of the Hamstrings and Gluteus Maximus Muscles. *Teddy I. J Orthop Sports Phys Ther*. 2001;31(12):730-74.

Zemper, E. D., & Pieter, W. (1994). Cerebral concussions in taekwondo athletes. *Enf. Hoerner (Ed.), Head and neck injuries in sports (p.116-126)*. Atlanta: ASTM internacional.

<http://www.nasca.com/Education/Articles/Force-Vector-Training/>