



centro de  
investigación del  
deporte

Universidad Miguel Hernández de Elche

# DESCRIPCIÓN DEL EFECTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA CARGA PARA EL EJERCICIO DE SQUAT

TITULACIÓN: GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE  
CENTRO DE ESTUDIOS: UNIVERSIDAD MIGUEL HERNANDEZ DE ELCHE  
CURSO ACADÉMICO: 2018-2019  
ALUMNO: MIGUEL BRUGAROLAS NAVARRO  
TUTOR ACADEMICO: RAFAEL SABIDO SOLANA



## Í N D I C E

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
OBJETIVO TRABAJO FINAL DE GRADO	5
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>6</b>
PARTICIPANTES	6
PROTOCOLO 1RM	6
PROCEDIMIENTOS DE MEDIDAS	6
INSTRUMENTAL	7
Encoder lineal	7
Máquina Smith	7
Plataforma de fuerza	7
Análisis estadístico	7
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>8</b>

## INTRODUCCIÓN:

El entrenamiento de fuerza consiste en la aplicación de estímulos mantenidos en el tiempo de una magnitud lo suficientemente elevada como para alterar la homeostasis del cuerpo con el fin de producir adaptaciones musculoesqueléticas crónicas. El sistema musculoesquelético es un tejido maleable en el que varían la cantidad y tipo de proteínas en función de las distintas heterostasis a las que se haya visto sometido dicho tejido. El complejo proceso de adaptación inducida por el ejercicio implica a mecanismos de señalización específicos que inician la replicación de secuencias genéticas de ADN, permitiendo la posterior traducción del código genético en una serie de aminoácidos para crear nuevas proteínas (Coffey y Hawley, 2007).

En cuanto al entrenamiento de fuerza, no se puede entender como un ente aislado. Dentro de aquel, la literatura científica ha ido agrupando bajo distintos nombres (fuerza máxima, hipertrofia, potencia, fuerza resistencia...) a aquellos entrenamientos que persiguen unas adaptaciones determinadas. Sus consecuencias funcionales, están determinadas por el volumen, la intensidad, la frecuencia del entrenamiento y la vida media de las proteínas. Además, muchas características de las adaptaciones al entrenamiento son específicas del tipo de estímulo, como el modo de ejercicio (Izquierdo, Ibáñez, Häkkinen, Kraemer, Ruesta y Gorostiaga, 2004; Mahoney, Parise, Melov, Safdar y Tarnopolsky, 2005).

Si dentro de las variables de la carga de un entrenamiento se prioriza una alta intensidad debido a un elevado estrés mecánico, se estará potenciando la fuerza máxima. En cambio, si esa alta intensidad se produce como consecuencia de una velocidad de ejecución muy elevada, se estará trabajando la fuerza explosiva y la potencia. En estos dos casos, las mayores adaptaciones se producen por mejora de la vía neural. Sin embargo, si lo que se prioriza es un gran volumen, se estará incidiendo más en la fuerza resistencia, mientras que si buscamos un equilibrio entre estrés mecánico (moderadamente alto peso) y estrés metabólico (moderadamente altos volúmenes), se estarán produciendo adaptaciones hipertróficas a nivel estructural. (Badillo y Ayestarán, 2002; Badillo e Izquierdo, 2006).

Ya que en el deporte la inmensa mayoría de los movimientos determinantes son fruto de una alta producción de fuerza en un muy corto espacio de tiempo (un *JAB* en boxeo, un *lanzamiento* en balonmano, un *chut* en fútbol, un *cambio de dirección* en rugby, un salto en atletismo...), la habilidad de generar altos momentos de fuerza en cortos espacios de tiempo es una variable que está cobrando gran importancia en la investigación deportiva. Cronin, McNair y Marshall 2001 afirman: *“the power an athlete can exert often determines success”* (p. 59).

Para medir esta capacidad de generar fuerza se utiliza el Ratio de Desarrollo de la Fuerza (RFD) que mide cómo evoluciona la fuerza ejercida en función del tiempo. Aquel probablemente esté influido por la activación neural, el tipo de fibra y el tamaño del músculo (Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson y Dyhre-Poulsen, 2002).

Son muchas las ventajas de incrementar el RFD. Entre ellas, se relacionó un mayor RFD con un menor riesgo de caídas tanto en deportistas como en no deportistas, aumentando la capacidad de equilibrarse rápidamente ante una desestabilización inesperada. (Aagaard y col., 2002). Del mismo modo, junto con la actividad física diaria que realiza una persona, la potencia en el tren inferior es el factor que más predice cómo se desenvuelven las personas mayores en su entorno, es decir, el grado de dependencia/autonomía que presentan (Basse, y col., 1992; Foldvari, y col., 2000). Las mejoras del RFD, además de implicar una mejor calidad de vida, se vinculan de manera positiva con el rendimiento deportivo. Se ha identificado un mayor RFD en el cuádriceps y o en los

isquiosurales con un menor riesgo de lesión de ligamento cruzado anterior (Jordan, Aagaard, y Herzog, 2015). Por último, la capacidad de los deportistas de generar altas potencias es un factor que determina en gran medida el rendimiento deportivo (Cronin y col., 2001).

Por tanto, todas estas ventajas hacen patente la importancia que tiene encontrar herramientas que ayuden a optimizar el RFD. Se ha investigado mucho sobre la pliometría o el levantamiento de cargas cercanas al 1RM con estos fines, pero apenas hay estudios sobre el levantamiento de cargas desconocidas a máxima velocidad con el fin de mejorar el RFD (Hernández-Davó, Solana, Marín, Sánchez y Ramón, 2015).

Autor	Sexo	Muestra	Ejercicios	Protocolo	Resultado
Marras y col., 1987	Hombres	N=12 P=79 E=26	Coger un objeto de masa variable que caía desde una altura.	El objeto pesaba entre 2 y 9 kg. ½ de las repeticiones tenían información del peso.	Se duplicaba la respuesta de la musculatura cuando la masa de la carga era inesperada.
Commissaris y col., 1997		N=25 P=73 E=22	Levantar una caja con peso desde el suelo con peso variable.	2 Se de 2, 3 o 4 R Levantaban pesos de 16 o 6 kg.	↑ Mayor pico de torque en zona lumbar con cargas desconocidas y ↑ velocidad de levantamiento.
Hernández-Davó y col., 2015		N=15	Empujar una barra de press banca con carga variable entre R lo más alto posible.	Familiarización + 1Día x 6Se x 6R (30/50/70% RM).	↑ RFD, Potencia y EMG (deltoides anterior) en los primeros instantes del movimiento.
Hernández-Davó y col. 2015		N=13		Familiarización + 1Día x 1Se x 6R (30 %RM) + 1Se x 6R (50 %RM) + 1Se x 6R (700 %RM) + 3Se x 6R (30/50/70% RM).	↑ rendimiento en parámetros relacionados con la explosividad.
Sabido y col. 2016		N=28 P=75 E=17	Frenar una barra de press banca con peso	Familiarización + 4S x 2D x 6Se x 6R (30/50/70%RM).	↑ Velocidad lanzamiento grupo experimental.
Hernández-Davó y col. 2016		N=28 P=75 E=17	desconocido y lanzarla lo más alto posible.	Familiarización + 4S x 2D x 6Se x 6R (30/50/70%RM).	↑ del rendimiento en acciones pliométricas.

LEYENDA: N: número de participantes; P: peso (kg); E: edad (años); S: semana; D: día; Se: serie; R: repeticiones; RM: repetición máxima (kg).

Como conclusión de los estudios expuestos en la tabla anterior podemos decir que -tras lanzar diferentes objetos en dos situaciones (informándoles de la masa del objeto lanzado y privándoles de esta información) sobre una caja que sostenían los sujetos- la respuesta muscular provocada por aquellos de masa desconocida fue equivalente a un lanzamiento de carga conocida, pero con el doble de peso (Marras, Rangarajulu y Lavender, 1987). Se siguió investigando en esta línea y se observó que cuando se realizaba un prejuicio erróneo del peso, éste se levantaba a mayor velocidad (Commisaris y Toussaint, 1997).

En dos estudios consecutivos en los que replicaba el ejercicio de press banca, pero añadiendo la variante de la incertidumbre en la magnitud de la carga (es decir, los sujetos desconocían a priori el peso a movilizar) se determinó que el uso de cargas desconocidas conllevó, en los primeros instantes del movimiento, un mayor RFD y una mayor potencia durante los levantamientos, además de una mayor activación muscular en el deltoides anterior (Hernández-Davó, Solana, Marín, Sánchez, y Ramón, 2015; Hernández-Davó, Sabido, Moya-Ramón, y Blazeovich, 2015). En concordancia con los datos anteriores se publica por primera vez en la literatura científica el uso de cargas desconocidas como método de entrenamiento, reportándose ganancias significativas en la velocidad del lanzamiento respecto a cargas conocidas (Sabido, Hernández-Davó, Botella y Moya, 2016) De este modo queda de relieve que el entrenamiento con incertidumbre podría ser una herramienta útil para mejorar la fuerza explosiva, además de postularse como una estrategia efectiva para la mejora del rendimiento en acciones pliométricas (Hernández-Davó, Sabido, Behm y Blazeovich, 2016).

Un posible error de las metodologías utilizadas anteriormente (en los últimos 4 estudios) pudo ser el uso del encoder lineal (T-force) para calcular el RFD. Aquel sólo calcula fuerzas cuando hay movimiento; sin embargo, antes de iniciar éste, se generan fuerzas cuyo estudio es muy interesante, pues son las que se producen en los primeros milisegundos tras el estímulo.

### **OBJETIVO TRABAJO FINAL DE GRADO.**

El objetivo de este TFG es comparar si en una situación de incertidumbre en la que se desconoce el peso a levantar, se genera un mayor RFD que en una situación en la que es conocida la intensidad del ejercicio de *squat* (sentadilla). Esto se ha analizado en ejercicios como el press banca usando un encoder lineal, pero no se tiene constancia de trabajos sobre el ejercicio de la sentadilla ni con el uso de plataformas de fuerza. La inclusión de esta última es de gran importancia ya que, a diferencia del encoder lineal, permite registrar momentos de fuerza aun cuando no ha comenzado a producirse el movimiento.

## METODOLOGÍA

Enfoque experimental del problema.

### PARTICIPANTES

La muestra del estudio estuvo compuesta por 13 participantes (10 hombres de  $28 \pm 6$  años,  $172,0 \pm 2,8$  cm. de altura,  $76,4 \pm 6,8$  kg de peso y  $117,5 \pm 23$  kg de RM y 3 mujeres de  $23 \pm 4$  años,  $162,7 \pm 11,5$  cm. de altura,  $56,8 \pm 8,3$  kg de peso y  $91 \pm 4,5$  kg de RM) todos ellos estudiantes universitarios físicamente activos

### PROTOCOLO 1RM

Tras una activación general compuesto por 5' de carrera continua y una activación específica (sentadillas con autocargas, saltos y 2 series de 10 repeticiones con el 50% del RM en el que la velocidad iba aumentando progresivamente hasta la última repetición donde la fase concéntrica se realizó a máxima velocidad), el RM de los sujetos se calculó realizando repeticiones a máxima velocidad utilizando un encoder lineal. La ejecución empezaba con los sujetos sentados sobre un asiento regulable, las rodillas a  $90^\circ$  medidas con un goniómetro, la espalda en posición neutra y los pies a la anchura de los hombros. Desde esta posición se les pedía a los sujetos que empujasen hacia arriba a la mayor velocidad posible. La medición concluía cuando la carga movilizaba superaba el 80% de la estimación del RM. La media ( $\pm$ SD) del peso alcanzada por los sujetos fue  $117,5 (\pm 23)$  kg en varones y  $91,0 (\pm 4,6)$  kg en mujeres. Todas las ejecuciones fueron observadas por los investigadores para asegurar que la técnica fuese la correcta.

### PROCEDIMIENTO DE MEDIDAS.

La primera parte de la sesión fue la activación que consistía en una parte general de 5' carrera continua y una parte específica compuesta por 10 sentadillas con autocarga, 10 *squat jumps* y 2 series de 10 repeticiones con el 50% del RM en el que la velocidad va aumentando progresivamente entre levantamiento hasta la última repetición donde la fase concéntrica se realiza a máxima velocidad. Tras ello, los sujetos realizaron 6 series de 6 repeticiones concéntricas de *squat* (sentadilla) ejecutadas a máxima velocidad usando una multipower (máquina Smith). Las repeticiones se realizan cada 15'' controladas con un metrónomo. En este periodo los investigadores cambiaron el peso a levantar y les recordaron a los sujetos que tenían que intentar levantar la barra lo más rápido posible.

A los sujetos se les obligaba a mirar hacia el frente y llevar un antifaz que les impidiese obtener información visual del peso a levantar. Además, durante esta parte del estudio, se escuchaba música a alto volumen tanto para aumentar la motivación de los participantes como para evitar que a partir del sonido que realizaban las pesas al ser cambiadas, los sujetos crearan posibles preíndices que les diesen cierta información sobre la carga a movilizar en el próximo levantamiento.

En 3 de las 6 series, los sujetos desconocían la carga a levantar mientras que en las otras 3 se les informaba del % de RM que iban a mover.

		SERIES					
		1	2	3	4	5	6
REPETICIONES	1	70 % RM	50 % RM	70 % RM	30 % RM	70 % RM	70 % RM
	2	50 % RM	30 % RM	70 % RM	50 % RM	30 % RM	30 % RM
	3	50 % RM	30 % RM	50 % RM	70 % RM	50 % RM	70 % RM
	4	70 % RM	50 % RM	30 % RM	30 % RM	50 % RM	50 % RM
	5	30 % RM	70 % RM	30 % RM	70 % RM	70 % RM	50 % RM
	6	30 % RM	70 % RM	50 % RM	50 % RM	30 % RM	30 % RM

Durante las medidas, los sujetos 1,3,5,7,9,11 y 13, en las series impares (rojas), no tenían información sobre el % de RM, sin embargo, en las series pares (amarillas) antes de realizar cada repetición se le informaba del % de RM a movilizar. En los sujetos 2,4,6,8,10,12 y 14 ocurrió al contrario: se contrabalanceó el orden de series conocidas y desconocidas entre sujetos, para que el entrenamiento no empezará siempre por un tipo de serie u otra.

El porcentaje de peso que se levantaba en cada repetición se aleatorizó, debiendo haber siempre 2 repeticiones de cada porcentaje de RM en cada serie.

## INSTRUMENTAL

### Encoder

Para calcular el RM de los sujetos se utilizó el encoder lineal T-FORCE, un transductor lineal de gran precisión y fiabilidad que realiza una medición directa de la velocidad de desplazamiento de las cargas, con una frecuencia de 1000 Hz en la recogida de información, es decir 1 dato cada ms.

### Máquina Smith

La máquina Smith estaba compuesta por un rack sólido que sujetaba y estabilizaba una barra. Sobre esta máquina se ejecutaban sentadillas partiendo de una posición de flexión de rodillas de 90° y una flexión de cadera. La barra con el peso pertinente a cada sujeto era situada a una cota determinada dependiendo de las necesidades de cada participante, haciéndola coincidir con la altura del trapecio medio.

### Plataforma de fuerza

Todas las repeticiones fueron ejecutadas sobre 2 plataformas de fuerza Kistler (9281 B) configuradas para registrar datos simultáneamente. Se realizaba una medición de la masa del sujeto antes de evaluarlo. Además, al iniciar cada serie se restablecía el peso que ésta registraba a 0 con el banco regulable dentro para evitar interferencias. Los datos fueron recogidos con una frecuencia de 1000Hz. De los datos registrados por la plataforma se exportaron los valores de fuerza en Z de cada una de las plataformas para su posterior análisis.

### Análisis estadístico.

Para analizar los resultados se utilizó la aplicación de hojas de cálculo de Microsoft Office. Se analizaron los datos extraídos de las plataformas de fuerza y se calculó el tamaño del efecto.

## BIBLIOGRAFÍA

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., y Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology*, 93(4), 1318-1326. doi: 10.1152/jappphysiol.00283.2002.

Badillo, J. J. G., & Ayestarán, E. G. (2002). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo. *Inde*. (Vol. 302).

Badillo, J. J. G., y Izquierdo, M. R. (2006). La carga de entrenamiento y el rendimiento en fuerza y potencia muscular. 1-19.

Bassey, E. J., Fiatarone, M. A., O'neill, E. F., Kelly, M., Evans, W. J., & Lipsitz, L. A. (1992). Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clinical science*, 82(3), 321-327. doi: 10.1042/cs0820321.

Coffey, V. G., & Hawley, J. A. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports medicine*, 37(9), 737-763. doi: 10.2165/00007256-200737090-00001.

Commissaris, D. A., & Toussaint, H. M. (1997). Load knowledge affects low-back loading and control of balance in lifting tasks. *Ergonomics*, 40(5), 559-575. doi: 10.1080/001401397188035.

Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Developing explosive power: a comparison of technique and training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(1), 59-70. doi: 10.1016/S1440-2440(01)80008-6.

Foldvari, M., Clark, M., Laviolette, L. C., Bernstein, M. A., Kaliton, D., Castaneda, C., ... & Singh, M. A. F. (2000). Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(4), M192-M199. doi: 10.1093/gerona/55.4.M192.

Hernández-Davó, J. L., Sabido, R., Behm, D. G., & Blazevich, A. J. (2017). Effects of resistance training using known vs unknown loads on eccentric-phase adaptations and concentric velocity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(2), 407-417. doi: 10.1371/journal.pone.0157648.

Hernández-Davó, J. H., Sabido, R. S., Marín, J. S., Sánchez, M., & Ramón, M. M. (2015). Unknown loads affect force production capacity in early phases of bench press throws. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(2), 1-2.

Hernández-Davó, J. L., Sabido, R., Moya-Ramón, M., & Blazevich, A. J. (2015). Load knowledge reduces rapid force production and muscle activation during maximal-effort concentric lifts. *European journal of applied physiology*, 115(12), 2571-2581. doi: 10.1007/s00421-015-3276-8.

Izquierdo, M., Ibáñez, J., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., Ruesta, M., & Gorostiaga, E. M. (2004). Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road cyclists. *Journal of sports sciences*, 22(5), 465-478. Doi: 10.1080/02640410410001675342.

Jordan, M. J., Aagaard, P., & Herzog, W. (2015). Rapid hamstrings/quadriceps strength in ACL-reconstructed elite alpine ski racers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(1), 109-119. doi: 10.1249/MSS.0000000000000375.

Mahoney, D. J., Parise, G., Melov, S., Safdar, A., & Tarnopolsky, M. A. (2005). Analysis of global mRNA expression in human skeletal muscle during recovery from endurance exercise. *The FASEB journal*, 19(11), 1498-1500. doi: 10.1096/fj.04-3149 fje.

Marras, W. S., Rangarajulu, S. L., & Lavender, S. A. (1987). Trunk loading and expectation. *Ergonomics*, 30(3), 551-562. doi: 10.1080/00140138708969744.

Petrella, J. K., Miller, L. S., & Cress, M. E. (2004). Leg extensor power, cognition, and functional performance in independent and marginally dependent older adults. *Age and ageing*, 33(4), 342-348. doi: 10.1093/ageing/afh055.

Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., Botella, J., & Moya, M. (2016). Effects of 4-week training intervention with unknown loads on power output performance and throwing velocity in junior team handball players. *PLoS one*, 11(6), e0157648. doi: 10.1371/journal.pone.0157648.

