

# Modelo de comportamiento del músculo sometido a progresivas solicitaciones

DE YZAGUIRRE, I; DOÑATE, M;  
GUTIÉRREZ, J.A

Centre Medicina de l'Esport  
de Barcelona  
Consell Català de l'Esport

CORRESPONDENCIA:  
Dr. Ignasi de Yzaguirre  
Centre de Medicina de l'Esport de Barcelona  
Passatge Permanyer, 3  
08009 Barcelona

APUNTS. MEDICINA DE L'ESPORT. 2002; 140: 13-17

**RESUMEN:** Nuestro estudio busca evaluar la respuesta muscular máxima a nivel del tren superior. Para ello hemos diseñado un nuevo test con una metodología simple y que no requiere un material complejo. Consiste en una serie de lanzamientos que varían entre 0,5 kg y 7,26 kg. El estudio incluye a 22 sujetos, 16 hombres y 6 mujeres de una edad media de  $16,78 \pm 1,67$  años.

Del análisis gráfico de los resultados se deduce un comportamiento muscular que se ajusta a dos rectas de regresión que no se han descrito hasta el momento y que aparecen en casi la totalidad de los sujetos del estudio (92%). El análisis estadístico obtiene dos rectas de regresión con un punto de intersección (PC) entre ambas. También se obtiene el punto de la máxima distancia teórica lenta (DL) y el punto de la máxima resistencia teórica rápida (FR). Así mismo, la repetición del test después de un intervalo de entrenamiento suficiente presenta diferencias que nos permiten analizar la repercusión y la asimilación de las cargas físicas.

En conclusión, nuestro test puede utilizarse como un sistema indirecto para evaluar la proporción de los dos tipos de fibras musculares, lentas y rápidas.

**PALABRAS CLAVE:** Test, fuerza, lanzamiento, fibras musculares

**SUMMARY:** Our study seeks to evaluate the muscular maximum response to level of the most top train. For it we have designed a new test with a simple methodology and that does not need a complex material. It consists of a series of throwing that change between (among) 0,5 kg and 7,26 kg. The study includes 22 subjects, 16 men and 6 women of a middle ages of  $16,78 \pm 1,67$  years. Of the graphical analysis of the results there is deduced a muscular behaviour that adjusts to two straight lines of regression that have not been described up to the moment and that they appear in almost the totality of the subjects of the study (92%). The statistical analysis obtains two straight lines of regression with a point of intersection (PC) between (among) both. Also there is obtained the point of the maximum theoretical slow distance (DL) and the point of the maximum theoretical rapid resistance (FR). Likewise, the repetition of the test after an interval of sufficient training presents differences that allow us to analyse the repercussion and the assimilation of the physical charges.

In conclusion, our test can be in use as an indirect system to evaluate the proportion of both types of muscular, slow and rapid fibres.

**KEY WORDS:** test, strength, shot put, muscular fibres

## INTRODUCCION

Desde un punto de vista funcional las fibras musculares pueden ser de respuesta rápida o lenta, aunque desde un punto de vista histológico la clasificación sea más compleja. Los diversos modelos matemáticos que expresan la relación de la fuerza utilizada (o la resistencia superada) con respecto a las prestaciones obtenidas<sup>(1,2,3,4,5,6,7)</sup>, muestran un comportamiento en forma de curva con un tránsito gradual y por tanto cuantitativo desde las resistencias más livianas hasta las más elevadas.

Por otra parte se han utilizado para la valoración inicial de deportistas diferentes tests que valoran las prestaciones a nivel de las extremidades superiores<sup>(8)</sup>. Entre estos últimos destaca la prueba de lanzamiento del balón medicinal.

El test del balón medicinal así como los basados en los saltos<sup>(9,10)</sup>, no dan una visión panorámica de evolución en la valoración muscular (diferentes resistencias, diferentes velocidades de ejecución, diferentes resultados), cosa que si se refleja en los nuevos tests más dinámicos de piernas<sup>(11,12)</sup>.

Con nuestro test queremos llenar este vacío que existe en la valoración de las prestaciones máximas a nivel de las extremidades superiores. Entendemos que su utilización es universal, ya que el material necesario se encuentra muy sencillamente.

Para facilitar su utilización se ha analizado la variabilidad y precisión del método con resultados satisfactorios, quedando pendiente para el futuro precisar la sensibilidad del test desde un punto de vista longitudinal, en tanto que la validez para la valoración de multilanzamientos está fuera de cuestión puesto que es la base del test.

## MATERIAL Y METODO

### Sujetos

1. Para el estudio de la Variabilidad en dos días sucesivos, se estudia a 10 hombres y seis mujeres Atletas de Tecnificación y nivel superior, de la provincia de Barcelona y de raza blanca, en los que su disciplina atlética son los lanzamientos.
2. Para el estudio de Precisión de las observaciones, se estudia a 15 sujetos, 12 hombres y 3 mujeres.
3. Para el estudio general del test se han realizado 33 test a 22 sujetos, 16 hombres y 6 mujeres.

### Material

Se precisan pesos esféricos de 0,5 kg, 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, 5 kg, 6 kg y 7,26 kg. Una cinta métrica.

### Método

Para los estudios de variabilidad y de precisión los lanzadores realizan el siguiente protocolo, que es el mismo que se propone para la realización habitual del test.

1. Se realizan 3 lanzamientos con los pesos de 0,5, 1 y 2 kg.
2. Se realizan 2 lanzamientos con el resto de los pesos.
3. Se empezará con el peso más ligero y se finalizará con el más pesado.
4. Resulta práctico realizar un grupo de 4-6 personas con rotaciones en cada peso.
5. La técnica de lanzamiento no es la atlética, sino con los dos pies fijos en tierra y el peso en posición clásica, tal como se recoge en la fotografía nº 1.
6. Se mide cada lanzamiento con una cinta métrica.
7. Se recoge el mejor lanzamiento en cada peso.
8. Se tienen en cuenta, según criterios estadísticos, los lanzamientos "excepcionalmente buenos" ya que dificultan la interpretación de los resultados.

## RESULTADOS

1. Para la presentación del perfil fisiológico de los sujetos se realizan las medias y los desvíos estándar (Tabla I).
2. Para el análisis del test de multilanzamientos: Se ajustan dos rectas de regresión ( $y=a+bx$ ). La primera recta empezando por los resultados referidos a las resistencias más ligeras (0,5 kg) y la otra empezando con las más pesadas (7,26 kg) y se determina un punto crítico (PC), de intersección entre las dos. Se determina la resistencia extrema teórica (FL,FR) para cada recta así como la distancia máxima teórica por cada recta (DL,DR). También se determina el cociente entre las dos pendientes  $bL/bR$  (Figura I). Se presentan en la Tabla II los resultados numéricos de los  $n=22$  casos del presente estudio.

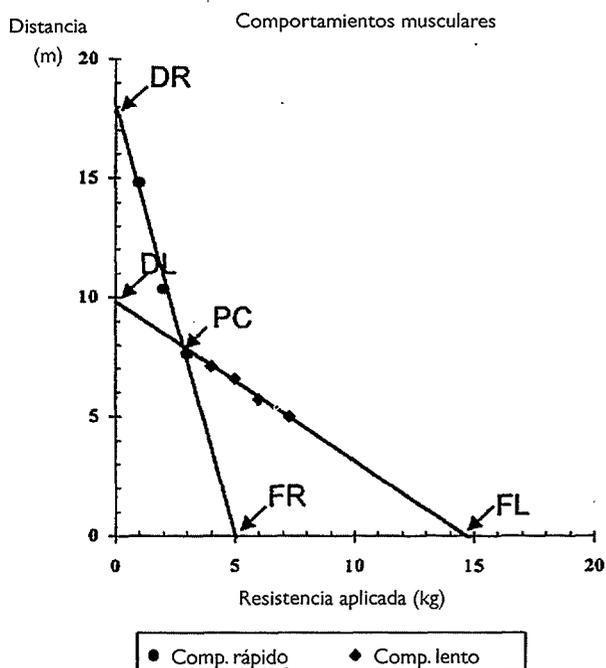
Foto I



**Tabla I** Perfil fisiológico para 16 hombres y 6 mujeres a los que se sometió al test y a los diferentes estudios de variabilidad y precisión.

Parámetros	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (cm)
<b>Hombres</b>			
Media	17.25	78.1	177.7
Desviación estándar	1.58	8.96	5.08
<b>Mujeres</b>			
Media	16.10	62.7	164.0
Desviación estándar	1.70	4.93	4.04
<b>Total</b>			
Media	16.78	71.9	171.5
Desviación estándar	1.67	10.7	8.42

**Figura 1** Valores de las distancias obtenidas con los 7 pesos utilizados, así como las dos rectas de regresión con sus ordenadas respectivas y abscisas en el origen y el punto de intersección "PC" entre ellas.



DR: distancia máxima teórica rápida  
 DL: distancia máxima teórica lenta  
 FR: resistencia extrema teórica rápida  
 FL: resistencia extrema teórica lenta  
 PC: punto crítico

3. Se presentan los resultados relativos al estudio de la variabilidad y la precisión en la Tabla III con resultados recogidos en dos días diferentes y el mismo día.

**Tabla II** Valores numéricos que definen las rectas de regresión de los 22 sujetos sometidos al test.

Línea de regresión correspondiente a las resistencias ligeras (de 0.5 kg hasta 2-3 kg)		Media	Desviación estándar
Coefficiente de correlación	r:	-0.998	0.00
Pendiente	b:	-3.44	1.27
Ordenadas en el origen	DR	23.05	3.89
Abscisas en el origen	FR	7.37	2.14
Línea de regresión correspondiente a las resistencias pesadas (de 2-3 kg hasta 7.26 kg)		Media	Desviación estándar
Coefficiente de correlación	r:	-0.996	0.00
Pendiente	b:	-0.95	0.17
Ordenada en el origen	DL	15.61	2.64
Abscisas en el origen	FL	16.71	2.86
Cociente entre las dos pendientes	bR/bL	-2.49	1.14

**Tabla III** Coeficiente de variación y precisión del test en dos estudios diferentes, uno con 10 sujetos y en dos días sucesivos, el otro con 15 sujetos efectuado el mismo día con un solo peso de 4 kg y un intervalo de 5 minutos entre cada repetición.

	Día 1	Día 2	Global	Un día
Sujetos	10	10	10	15
Pesos	7	7	7	1
Repeticiones	3	3	3	5
Coef. Variación	2.5	2.6	3.74	2.05
Precisión	97.5	97.4	96.26	97.9
Desviación estándar	0.7	1.05	1.09	1.29

## DISCUSION

### a) Análisis general del test

1. El 92% de los tests realizados muestran claramente sucesiones de puntos, ajustables a dos rectas.
2. En los casos que no se ve claramente, es debido, según concluimos, a poca motivación o a ejecución no correcta del test.
3. Creemos destacable la resistencia correspondiente al punto crítico ( $X:3,39 \pm 0,8$  kg para  $n=22$ ). La distancia máxima extrapolada "DL" que correspondería a la distancia obtenida con una resistencia virtual de 0 kg. ( $X:23,05 \pm 3,89$  m para  $n=22$ ), así como el peso máximo extrapolado "FR" ( $X:16,74 \pm 2,86$  para  $n=22$ ).
4. En los sujetos en los que hemos repetido el test después de un intervalo suficiente de entrenamiento, vemos diferencias que nos permiten analizar el impacto y asimilación de las cargas físicas impuestas. Este extremo es del máximo interés y merece ser estudiado específicamente.
5. Creemos que los modelos matemáticos propuestos por los diversos autores hasta el momento no se ajustan suficientemente a la realidad y que el modelo de las dos rectas es más ajustado y discriminativo para definir el trabajo muscular progresivo y máximo.
6. Así mismo creemos que los dos comportamientos se explican en función de la existencia de dos tipos de funcionalismo muscular (a pesar de que histológicamente la clasificación sea más compleja).

### b) Resultados referentes a la variabilidad

Consideramos que el grado de precisión obtenida es bueno (96,26% en dos días sucesivos y 97,9% en un mismo

día). Es razonable que en días sucesivos disminuya la precisión; esto es debido a la propia variabilidad biológica. La precisión dependerá del cuidado en la ejecución del test, aunque siempre habrá buenos y malos lanzamientos que pueden dificultar el análisis matemático de los datos.

## CONCLUSIONES

1. Con nuestro test se discrimina de manera muy sencilla y claramente, dos comportamientos musculares matemáticamente diferentes y ajustables a dos rectas y que indican un cambio cualitativo y no gradual en el comportamiento muscular.
2. Se detecta un punto crítico 'Pc' de intersección ambas rectas y unos puntos de intersección de ambas, en los ejes "x" e "y", así como una relación bR/bL entre las pendientes de las mismas, que pueden ser de gran utilidad para estandarizar y controlar las prestaciones máximas a nivel de la extremidad superior, comprender sus características individuales y observar sus modificaciones en el tiempo.
3. El test presentado es de máxima utilidad, por su sencillez, grado de precisión y mínimas necesidades estructurales para el control y seguimiento de las actividades físicas en las que el protagonismo principal recae en las prestaciones musculares máximas del tren superior.

## AGRADECIMIENTOS

A los señores Salvador Primo y Luis Rojano, entrenadores de atletismo, por la colaboración que nos han prestado para la realización del presente estudio.

## Bibliografía

1. FENN WO, MARSH BS. Muscular force at different speeds of shortening. *J Physiol* (London) 1935;85:277-297
2. HILL AV. The heat of shortening and the dynamic constant of muscle. *Proc Roy Soc B* 1938;126:136-195
3. AUBERT X. Structure et Physiologie du muscle strié I - Le mécanisme contractile *in vivo*: aspects mécaniques et thermiques. *J Physiol* (Paris) 1956; 48:105-153
4. THORSTENSSON A, GRIMBY G, KARLSSON J. Force-velocity relation fibre composition in human knee extensor muscles. *J Appl Physiol* 1976;40:12-16
5. THORSTENSSON A, KARLSSON J. Fatigability and fibre composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 1976;98:318-322
6. HOLLMANN W, HETTINGER T. Sportmedizin Arbeits-und Trainingsgrundlagen. *Schattauer-Verlag* 1980, Stuttgart
7. BOSCO C. L'effetto del pre-stiramento sul comportamento del muscolo scheletrico e considerazioni fisiologiche sulla forza esplosiva. *Atleticastudi* 1985;16:7-113
8. VANDEWALLE H, PÉRES G, MONOD H. Relation force-vitesse lors d'exercices cycliques réalisés avec les membres supérieurs. *Motricité humaine* 1983;2:22-25
9. SCHEIFF A, GERARD M. Evolution et comparaison de deux tests de la de tente verticale chez les étudiants en éducation physique. *Revue de l'Education Physique* 1983;23:17-23
10. VIVES J, BROTONS D, GUTIÉRREZ JA. Estudio de la correlación del salto vertical con los perímetros y la dinamometría de las extremidades inferiores. *Apunts de Medicina de l'Esport* 1986; 89:155-163
11. BOSCO C, TARKKA I, KOMI PV. Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch shortening cycle exercise. *Int J Sports Med* 1982;3:137-140
12. JAMES C, SACCO P, HURLEY MV, JONES DA. An evaluation of different protocols for measuring the force-velocity relationship of the human quadriceps. *Europ J Appl Physiol* 1994; 68:41-47
13. BOSCO C, TIHANYI J, KOMI PV, FEKETE G, APOR P. Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol Scan* 1982; 116:343-349
14. BOSCO C, ITO A, KOMI PV, LUHTANEN P, RAHKILA P. Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiol Scan* 1982; 114:543-550
15. HILL AV. The effect of load on the heat of shortening of muscle. *Proc Roy Soc B* 1964;159:297-318

