

Valoraciones funcionales de la fuerza dinámica, de la fuerza explosiva y de la potencia anaeróbica láctica con los test de Bosco

Carmelo Bosco

Profesor del Departamento de Biología de la Actividad Física, Universidad de Jyväskylä (Finlandia). Asesor de la Federación Italiana de Atletismo.

Dirección: Scuola Nazionale di Atletica Leggera. Via Appia lato NA, 175. 04023 FORMIA - LT - ITALY. Telef. 0771 / 26 92 32

Una de las características peculiares del comportamiento mecánico del músculo esquelético es la relación inversa entre velocidad de acortamiento y la tensión desarrollada. En particular la velocidad de acortamiento es inversamente proporcional a la tensión producida, hasta llegar a ser igual a 0 en el caso de la contracción isométrica. Si por un lado los parámetros de fuerza y de velocidad son interdependientes, por otro los efectos del entrenamiento sobre éstas no están muy claros, a pesar de que los conocimientos sobre la mejora de la fuerza máxima son más profundos. La relación entre la fuerza máxima y los gradientes de fuerza (fuerza desarrollada durante un período de tiempo muy breve: 80-500 ms.) no ha sido estudiada a fondo; se puede decir lo mismo del papel que juega la fuerza durante la ejecución de un gesto rápido. A pesar de todo los programas de entrenamiento con vistas al desarrollo de la fuerza y de la velocidad, se utilizan de manera indiscriminada. La aplicación de los estímulos de entrenamiento resulta muy difícil cuando se tienen que definir las cantidades y las intensidades de las cargas de trabajo para provocar las adaptaciones homogéneas en el comportamiento mecánico del músculo con respecto a la relación fuerza-velocidad.

A menudo se utilizan cargas de trabajo que traen consigo el desarrollo de una cualidad en detrimento de otras; en general la modulación de las cargas se programan en función de la experiencia y el sentido común de los entrenadores. Sin duda los test funcionales (de campo) realizados repetidas

veces durante el ciclo anual de trabajo; dan indicadores acerca de las condiciones de los atletas. A pesar de todo una valoración del comportamiento mecánico del músculo, se puede realizar con dificultad a través un test de campo donde se dan muchos otros factores; por lo tanto son muchas las dificultades para analizar las cualidades.

Además, y hasta ahora, la literatura internacional no ha facilitado datos suficientemente seguros y aceptados de manera universal sobre los test funcionales de campo, que manifiesten las cualidades morfológicas y funcionales de los músculos. Con respecto a esto último, la relación hiperbólica entre fuerza y velocidad podría ser utilizada como control en el tiempo y en la planificación de los programas de entrenamiento, teniendo, de esta manera, la posibilidad de controlar durante el ciclo anual de entrenamiento si un atleta ha desarrollado en exceso una cualidad en detrimento de otras. Por tanto, llevando a cabo los tests de control repetidas veces, cada dos meses, el uso excesivo de estímulos allenati, dirigido a la mejora unidireccional de una cualidad, podría ser evitado.

La relación entre fuerza y velocidad ha sido comprobada tanto en músculos aislados, como en vivo. La mayoría de los estudios se han llevado a cabo manteniendo una velocidad constante. Sólo recientemente se ha hecho frente a este problema utilizando movimientos balísticos y en el que intervenían más articulaciones. El método introducido por Bosco y Komi (1979) consiste en medir la capacidad de realizado con los pies juntos, desde la

posición de parado, con un ángulo de 90° aproximadamente de la rodilla. Los saltos se van realizando con o sin cargas progresivas (soportando sobre los hombros desde 0 hasta el 150 y 200% del peso corporal), sobre una plataforma conectada a un reloj electrónico (ErgojumpR-Bosco System. Made By Globus, Codogné -TV- Italia). Este instrumento mide el tiempo de vuelo empleado por los sujetos durante el salto, y por lo tanto consiente, de manera automática, obtener el impulso vertical del centro de gravedad y el trabajo mecánico realizado.

Cuando se van aumentando las cargas, y por lo tanto se necesita ejercer más fuerza, la capacidad del salto disminuye. (La velocidad de acortamiento de los estensores de las piernas disminuye) (Figura 1).

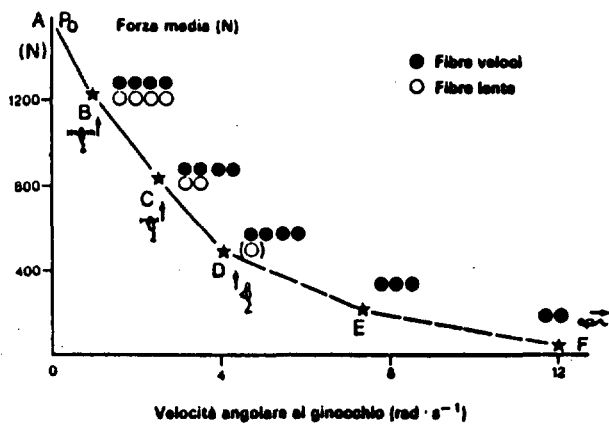


Fig. 1. Relación entre fuerza media y la velocidad angular a nivel de rodilla.

La relación entre la fuerza y la velocidad de los músculos estensores de la pierna se obtiene presentando la carga levantada en función de la velocidad angular de la rodilla que depende de la velocidad vertical (Vv).

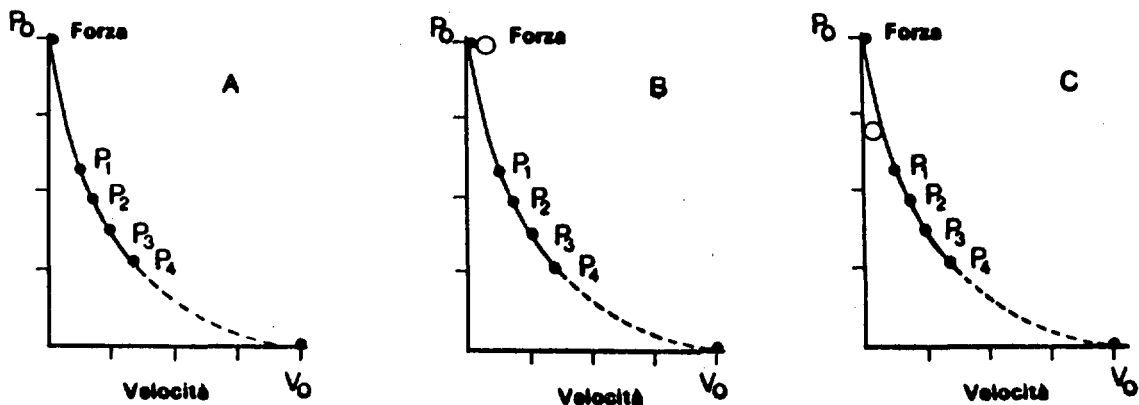


Fig. 2. Ejemplo de curva de la relación fuerza-velocidad. En el recuadro A la relación fuerza-velocidad ha sido trazada por la mejor curva que resulta de seis medidas sobre una plataforma dinamométrica que registra la fuerza estrínseca.

Esta, a su vez, está en función de la fuerza de gravedad $Vv = \sqrt{19,62 \times h}$ (fórmula 1).

La homogeneidad del entrenamiento en los músculos estensores de la pierna se puede controlar (figura 2). Si las cargas, y por lo tanto los estímulos de entrenamiento se emplean correctamente, es decir de manera uniforme, la relación entre fuerza y velocidad queda equilibrada. Esto significa que los distintos puntos que representan la trayectoria realizados durante la ejecución con cargas distintas, no se apartan mucho de la línea hipérbolica construida según el método de la curva de mejor rendimiento (best fitting curve) (figura 2a). Sin embargo, si los estímulos que se entrenan, no han sido equilibrados de manera correcta se podrían obtener relaciones distintas que indicarían la utili-

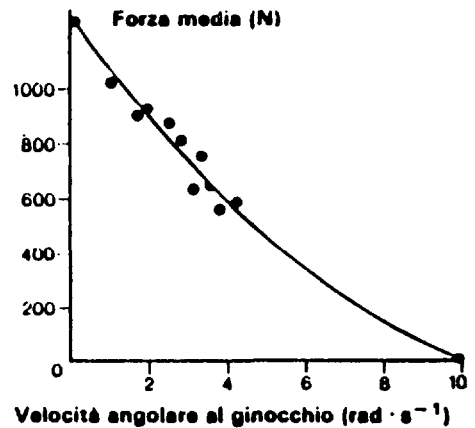


Fig. 3. Curva de la relación fuerza-velocidad de un saltador de altura (m. 2.30 record personal).

zación de cargas de trabajo máximo de manera excesiva, y poca utilización de aquellas cargas dirigidas a la fuerza explosiva (figura 2b y 2c). Si las relaciones que se muestran en la figura 2 han sido calculadas teóricamente, en la figura 3 y 4 quedan reflejados unos valores experimentales que se ob-

Los círculos representan datos experimentales, los círculos vacíos es un valor hipotético (es una curva teórica: portando los valores de fuerza y velocidad se representan en unidades arbitrarias). En los recuadros B y C, la relación fuerza-velocidad es la misma de la condición A.

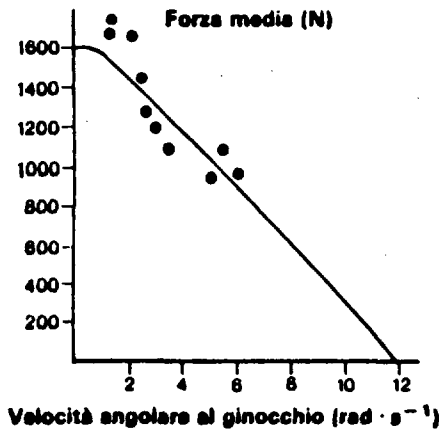


Fig.4. Curva de la relación fuerza-velocidad de un saltador de altura (1.93 m. record personal)

tuvieron de dos saltadores de altura. La figura 3 muestra una trayectoria homogénea y bien equilibrada, mientras la figura 4 indica poca uniformidad y homogeneidad del comportamiento mecánico de las piernas. Esto nos sugiere que el atleta ha realizado cargas máximas en exceso, y ha abandonado los ejercicios dirigidos hacia la fuerza explosiva.

La relación entre la fuerza y la velocidad, además de facilitar información útil de los efectos provocados por el entrenamiento sobre los grupos musculares, y por lo tanto sobre la homogeneidad

de los estímulos Allenanti, nos da la posibilidad de poder discriminar e individualizar las características morfológicas y funcionales de los atletas responsables de las diferentes actividades deportivas.

En la figura 5 se presentan los valores de seis grupos de atletas (Nacional Italiana Junior de Atletismo). En esta figura se manifiesta como la relación entre Fuerza y Velocidad de cada grupo examinado, toma unas características muy propias que reflejan, tanto el tipo de trabajo dinámico realizado por las piernas durante la actividad muscular requerida en la competición, como también la adaptación a los estímulos provocados por el entrenamiento. En efecto, la velocidad de acortamiento de los extensores de las piernas aumenta de manera progresiva cuando se pasa de la marcha a la velocidad pura (100 m.). Esto se puede comprobar en la figura 5 donde la velocidad de acortamiento de los músculos de las piernas (elevación desde el centro de gravedad $h = Vv^2 \times 2s^{-1}$) (fórmula 1), es más alta en los velocistas que en los fondistas. Lo mismo se pone de manifiesto para la fuerza dinámica máxima.

Otra observación interesante nos la facilita la figura 6. La relación entre la fuerza y la velocidad y la potencia mecánica muscular, es sensible, además de a los estímulos de adaptación provocados por el entrenamiento, a la estructura morfológica de los músculos implicados (porcentaje de fibras

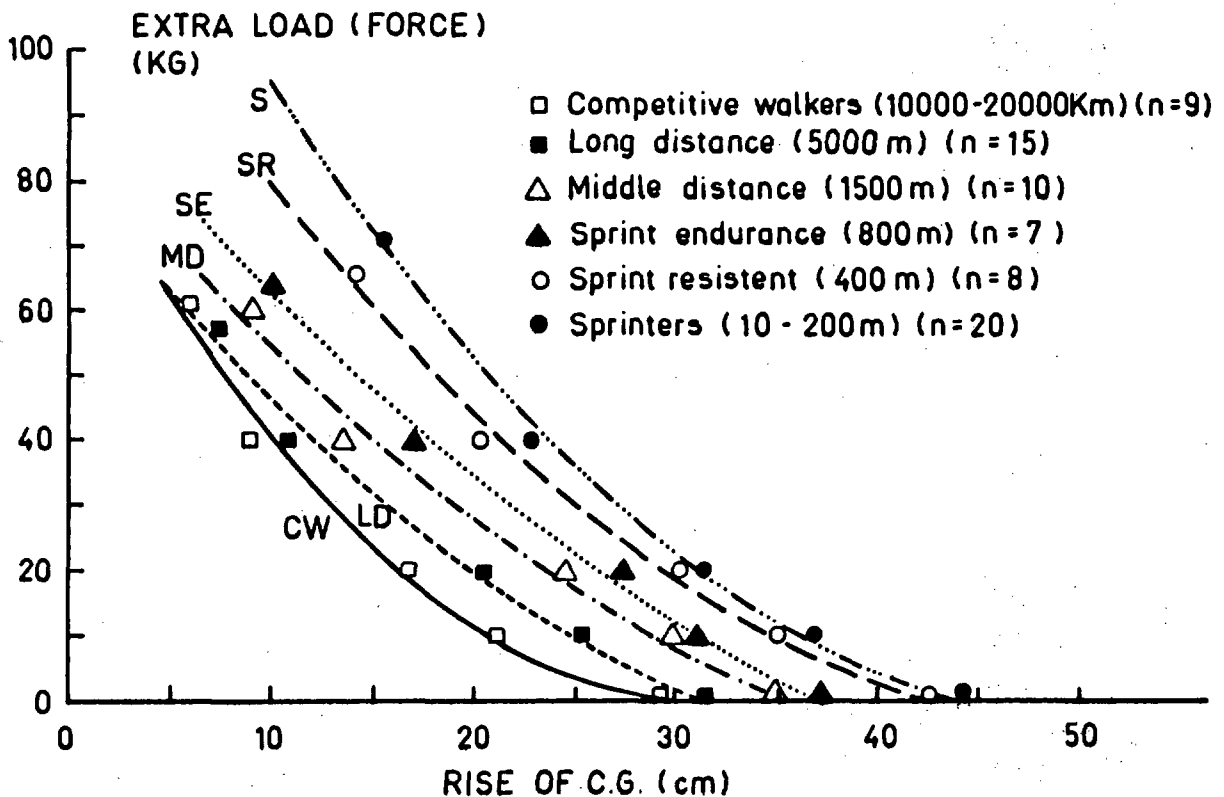


Fig.5. Relación entre la carga levantada (Fuerza) y la altura conseguida (velocidad del impulso):
 $h = Vv^2 \times 2g^{-1}$ = velocidad vertical $g = 9.81 \text{ mxs}^{-2}$.

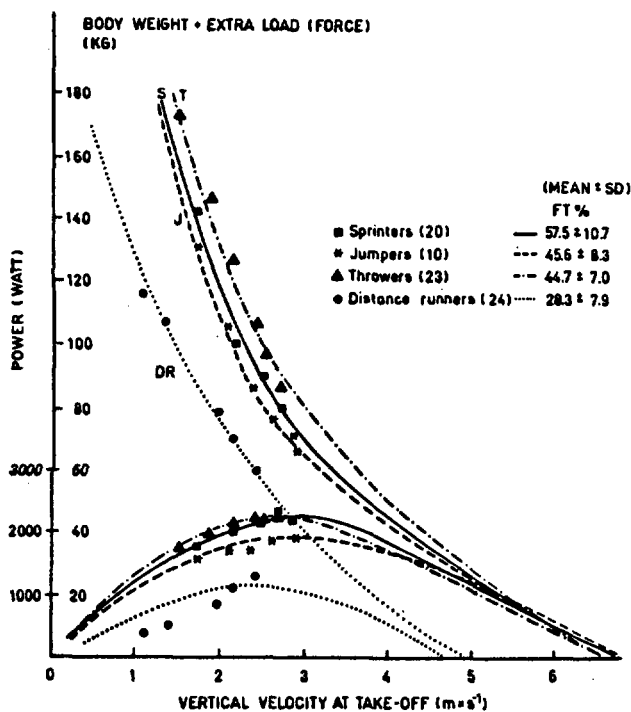


Fig. 6. Relación entre la carga levantada (Fuerza), la potencia y la velocidad vertical al impulso para cuatro grupos de atletas.

rápidas presentes en el M. Vasto lateral). Por esta razón los sujetos rápidos presentan la relación entre fuerza y velocidad desplazada hacia la derecha, es decir son más fuertes y más rápidos que los sujetos lentos. A pesar de todo precisa tenerse presente que recientemente Bosco y col. (1987) han puesto de manifiesto que el comportamiento funcional de los músculos de las piernas, es decir la capacidad de manifestar tanto la fuerza máxima como la fuerza explosiva, están influenciadas principalmente por el tipo de entrenamiento desarrollado y en forma algo más modesta por el porcentaje de fibras rápidas.

Investigaciones realizadas en torno a las condiciones físicas generales, consideradas básicas para la condición motora, se efectúan continuamente por parte de los fisiólogos del deporte. El estudio de las capacidades de rendimiento, o sea, poder transformar energía bioquímica en trabajo mecánico, ha sido considerado durante muchos años como el único método útil para medir tanto la máxima potencia aeróbica (VO₂ max) como la capacidad funcional del sistema cardiocirculatorio de un sujeto (cicloergómetro, cinta ergométrica, Harvard step-test, IRI test, test de Cooper, etc.).

El estudio para el cálculo de la máxima potencia explosiva de los músculos, ha recibido sin embargo poquísima atención (test de Margaria, test de Wingate, test de Bosco) a pesar de ser un indicador de una actividad muscular de gran importancia para el desarrollo de muchas actividades deportivas. Pese a todo, tanto el test de Margaria tanto el de Wingate no dan la posibilidad de valorar una de

las características fundamentales que posee el músculo esquelético, es decir la propiedad viscoelástica.

Esta es de extrema importancia para el desarrollo de la potencia muscular. Por lo tanto estos dos tests facilitan únicamente indicadores de los procesos bioenergéticos implicados durante un periodo de tiempo muy corto.

A la luz de estas consideraciones ha nacido la necesidad de desarrollar un nuevo método de valoración que permita recavar información no sólo de los procesos bioenergéticos, sino también de la característica viscoelástica de los músculos extensores de la pierna. Este método consiste en realizar una serie de saltos durante un periodo breve de tiempo (15-60 s.) y registrar el tiempo de vuelo con el Ergojump. Durante la realización del test se deberían evitar los desplazamientos laterales y anteroposteriores del tórax, además de no utilizar los brazos, de esta manera se intenta producir trabajo mecánico sólo en los músculos de las piernas. El Ergojump está constituido de manera que suma los tiempos de vuelo de cada salto, por lo que es posible calcular la media de estos últimos. Conociendo la media y el número de saltos efectuados, se puede determinar automáticamente el trabajo mecánico ejecutado y la potencia muscular desarrollada con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{9,81^2 \times t_v \times t_t}{4 \times ns \times (t_t - t_v)}$$

en el que t_v es el tiempo de vuelo, t_t es el tiempo de trabajo total y ns es el número de saltos.

A este respecto es interesante hacer notar como la potencia muscular tiene correlación con el porcentaje de fibras rápidas presentes en los músculos extensores de las piernas (figura 7). Además la

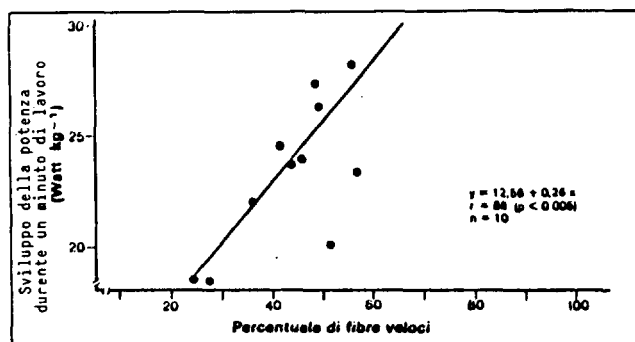


Fig. 7. Relación entre la potencia media durante quince segundos de salto continuo y el porcentaje de fibras rápidas (músculo vasto-lateral).

capacidad que un sujeto manifiesta resistiendo un trabajo máximo y continuado depende de la calidad de fibras lentas que posee (figura 8). Por lo tanto, los sujetos que disponen de un porcentaje

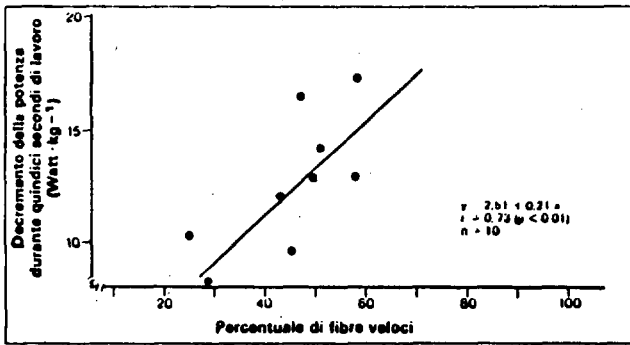


Fig. 8. Relación entre decremento de la potencia muscular durante 60 segundos de saltos continuos y el porcentaje de fibras rápidas (músculo vasto-lateral).

muy alto de fibras lentas en los estensores de la pierna se ven favorecidos disminuyendo muy lentamente su potencia muscular explosiva durante los esfuerzos intensos y prolongados, viceversa, atletas rápidos se cansan con mayor rapidez que los atletas lentos. Sin duda estas consideraciones parecen bastante lógicas y aparentemente con escaso interés científico, en realidad las informaciones que podemos recoger con estas valoraciones son mucho más válidas de cuanto nos podamos imaginar. En primer lugar se tiene la posibilidad de poder estimar el porcentaje de fibras lentas y y rápidas que posee un atleta sin tener que recurrir al método cruento de extracción por medio de biopsia muscular. La estimación del tipo de fibras presentes en un sujeto es sin duda de mucha ayuda para

la programación del tipo de entrenamiento más adecuado para la estructura morfológica del sujeto examinado. Además nos podemos dar cuenta del estado de eficiencia física en el que se encuentra el atleta con respecto a la capacidad de resistencia a un esfuerzo máximo adquirido durante un periodo de tiempo no muy largo (15-60 s.).

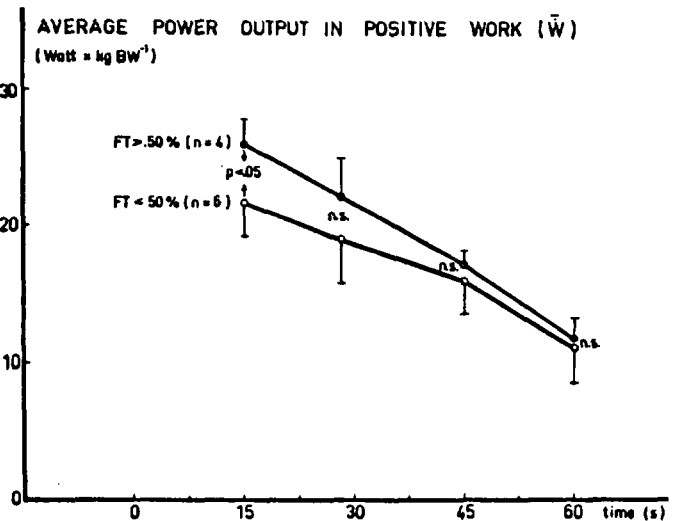


Fig. 9. Variaciones de la potencia muscular en función del tiempo (60s) de dos grupos de atletas, uno rápido (FT 50%) y uno lento (FT 50%).

En la figura 9 se presentan los valores de la potencia anaeróbica aláctica (15 s.) y láctica (60 s.) en dos grupos de atletas uno rápido (FT 50%) y

Deportes de equipo	SJ (cm)	CMJ (cm)	Saltos pliométricos caída desde 40 m (cm)	Bosco test 15 s. de saltos continuos (wat × kg ⁻¹)	Fuerza isométrica máxima (N × kg ⁻¹)	Tiempo empleado para desarrollar el 50% de la F.I.M. (ms)
Basket Juniors						
Nac. Italiana	(16) 39.8	42.2	40.8	46.3	27.4	209
Balonmano						
Nac. Italiana	(19) 37.4	37.7	37.1	41.1	23.8	194
Hockey						
Nac. Italiana	(13) 38.2	42.0	36.4	42.9	24.0	249
Fútbol Profesionales						
Nac. Italiana	(23) 38.4	41.8	37.6	41.5	26.5	211
Fútbol Profesionales						
Nac. Italiana	(18) 36.4	41.8	36.7	—	26.8	—
Voleibol						
Nac. Italiana	(14) 42.0	45.4	42.0	—	32.0	—
Voleibol						
Nac. Soviética	(14) 43.3	49.4	42.4	—	55.4	—
Baseball						
Nac. Finlandesa	(12) 36.1	40.6	27.3	—	—	—

Tabla 1: Capacidad de fuerza explosiva (SJ), Fuerza explosiva elástica (CMJ), Fuerza reactiva (saltos pliométricos), potencia anaeróbica (Bosco test), Fuerza isométrica máxima y tiempo para conseguir el 50% de la Fuerza isométrica máxima + Da Dal Monte, Faina y col., ++ De Bosco, +++ De Viitasalo.

otro lento (FT 50%). La potencia muscular medida durante los primeros 15 s. de trabajo es más alta en los sujetos rápidos en comparación a los más lentos. Por otro lado como el trabajo se alarga hasta los 60 s. la potencia obtenida en los dos grupos es similar indicando que los sujetos rápidos se agotan antes que los sujetos lentos y al final el trabajo muscular de los dos grupos deben desarrollar su potencia muscular sobre todo con prevalencia con la contribución de las fibras lentas.

La capacidad de fuerza explosiva (misión del sistema nervioso) y la capacidad de reclutamiento, y las de las bionergéticas (velocidad de escisión del ATP y del creatinfosfato) potencia anaeróbica alactácida (15 s. de saltos Boscos test) juegan un

papel esencial en un partido de basket, balonmano, etc. Por tanto los controles periódicos de estos parámetros se convierten en indispensables para valorar los aspectos del entrenamiento durante todo un año. En la tabla 1 quedan reflejados los valores de algunos parámetros relativos a la fuerza explosiva (SJ), fuerza explosiva elástica (CMJ), potencia anaeróbica alactácida, Bosco test W 15 s., fuerza isométrica máxima relativa al peso corporal, capacidad de reclutamiento muscular (tiempo empleado para desarrollar el 50% de la fuerza isométrica máxima) de algunos grupos de atletas de nivel internacional que participan en deportes de grupo o individuales (tabla 2).

Deportes individuales	SJ (cm)	CMJ (cm)	Saltos pliométricos caída desde 40 cm (cm)	Bosco test 15 s. de saltos continuos (wat × kg ⁻¹)	Fuerza isométrica máxima (F.I.M) (N × kg ⁻¹)	Tiempo empleado para desarrollar el 50% de la F.I.M. (ms)
Tenis						
Nac. Italiana	36.4	39.1	36.0	24.0	49.5	211
Esgrima						
Nac. Italiana	41.6	44.4	40.5	26.5	45.8	215
Esquí Slalom						
Nac. Italiana	45.1	49.7	44.2	30.9	—	—
Esquí Descenso						
Nac. Italiana	44.8	49.7	46.0	29.1	—	—
Patinaje sobre hielo						
Nac. Italiana	36.0	44.8	—	27.5	—	—
Lucha greco-romana						
Nac. Finlandesa	31.1	37.7	—	21.9	—	—
Esquí Náutico						
Nac. Italiana	22.0	28.0	32	23.0	—	—
Esquí de Fondo						
Nac. Italiana	23.0	29.0	—	23.5	—	—
Salto Trampolín						
Nac. Finlandesa	27.0	37.0	33	27.0	—	—

Tabla 2: Capacidad de fuerza explosiva (SJ), Fuerza explosiva elástica (CMJ), Fuerza reactiva (saltos pliométricos), potencia anaeróbica (Bosco test), Fuerza isométrica máxima y tiempo para conseguir el 50% de la Fuerza isométrica máxima.