PubliCE, (PubliCE) 2002

Monograph

¿Cómo se Evalúa la Fuerza?

Coache's infoservice

Palabras Clave: evaluación de la fuerza, entrenamiento de la fuerza, medición de la fuerza, fuerza máxima

INTRODUCCION

Para poder comprender las mediciones de la fuerza y las características relacionadas a la fuerza, es necesario contar con las definiciones apropiadas:

Magnitudes Vectoriales y Escalares: los vectores tienen tanto una magnitud como una dirección, mientras que, mientras que las cantidades escalares solamente tienen magnitud. Por ejemplo, la fuerza es una cantidad vectorial, debido a que podemos aplicar una fuerza de una magnitud específica y en una dirección específica. La masa es una cantidad escalar ya que no tiene dirección.

Fuerza: la fuerza puede ser definida como cualquier acción que causa o tiende a causar una cambio en el movimiento de un objeto. La masa de un objeto describe la cantidad de materia contenida en el mismo. Una fuerza neta (la fuerza resultante de todas las fuerza que actúan sobre un objeto pueden ser sumadas) causa que un objeto se acelere, de acuerdo con la segunda ley de Newton, F = masa * aceleración.

La fuerza puede estar aplicada directa o indirectamente. Un ejemplo de la aplicación directa de la fuerza sería empujar o tirar mediante una acción muscular, un ejemplo de la aplicación indirecta de la fuerza podría ser la gravedad. La fuerza gravitatoria puede ser descripta por la ecuación:

$$F = G(m1m2)/r\text{-}2$$

donde: m1 and m2 son las masas de dos cuerpos que se atraen, r es la distancia entre las masas y G es la constante de gravedad

Por lo tanto la atracción gravitacional entre dos masas es proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. En la tierra, atracción entre la mayoría de los objetos es insignificante. Sin embargo, en el caso de la atracción entre la tierra y los objetos, las fuerzas de atracción son substanciales debido a la gran masa relativa de la tierra.

La fuerza de gravedad acelera una masa; esta aceleración es de aproximadamente 9.81m • s-2 al nivel del mar (con una resistencia del aire insignificante). El efecto real de la gravedad puede cambiar ligeramente en diferentes lugares del planeta. Cuando a la aceleración resultante de la fuerza de gravedad se le opone otra fuerza, por ejemplo la superficie terrestre, entonces la fuerza entre el objeto y la superficie es el “peso”. En este caso no hay aceleración debido a que la fuerza gravitacional está equilibrada por la fuerza de apoyo de la tierra.

Con frecuencia los términos mas y peso son utilizado incorrectamente. La masa de un objeto describe la cantidad de materia del objeto. La masa se mide comúnmente en kilogramos (kg). Como se afirmó previamente, el efecto de la gravedad sobre la masa es la aceleración, lo cual da como resultado el peso. Por lo tanto el peso es el producto de la masa por la gravedad. El peso se mide en Newtons (N) o en libras (lbs). Un Newton es la fuerza requerida para acelerar una masa de 1kg a 1m • s-1.
En los movimientos del entrenamiento con pesas es el peso de los objetos los que “proveen” la resistencia. Por lo tanto, la

utilización de la terminología tal como levantar un peso de “100 kilogramos” es incorrecta. En cambio deberíamos decir levantar una carga de 100kg de masa o de 981N o de 220lbs.

La fuerza de una acción muscular puede ser fácilmente descripta por la segunda ley de Newton:

Cuando se levanta una masa, como en los ejercicios para el entrenamiento de la fuerza, el efecto de la gravedad sobre la masa levantada puede ser también tenida en cuenta. Hay dos fuerzas que deben sumarse para determinar la fuerza total aplicada al mover un objeto. La primera es la fuerza de soporte la cual evita que la masa se acelere hacia la tierra. Esta primera fuerza es equivalente al peso de la masa. Para levantar el peso se debe aplicar una segunda fuerza. Para cambiar el movimiento o la velocidad de un objeto, se debe aplicar fuerza durante un período de tiempo dado. Cuanto mayor sea la mas, mayor será la fuerza requerida para cambiar su velocidad; cuanto mas corto es el tiempo de aplicación de la fuerza, mayor será la fuerza requerida. Esto está de acuerdo con la ecuación:

$$F = m (V2 – V1) / (t2 – t1)$$

Donde m es la masa del objeto, V1 es la velocidad del objeto en el tiempo 1 y V2 es la velocidad del objeto ene el tiempo 2.

Debe observarse que (V2 – V1) / (t2 – t1) es la aceleración (a). por lo tanto la ecuación puede ser presentada como:

$$F = m \bullet a$$

Teniendo en cuenta tanto la fuerza (F) requerida para acelerar la masa y el peso (W) entonces la fuerza total (Ftot) puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$Ftot = W + F$$

Donde $F = m \bullet a$ y $W = m \bullet g$ donde g representa la aceleración gravitacional o

$$Ftot = m (a + g)$$

donde g representa la aceleración gravitacional (el evecto de la gravedad sobre la masa)

Por ejemplo, si se levanta verticalmente una masa de 100kg hasta una altura de 1.0m en 1s, podemos calcular la fuerza requerida durante el movimiento.

El peso (fuerza) de 100kg = 100kg x 9.81m.s- 2 = 981 newtons (N) o 220lbs.

La aceleración de la masa de 100kg = V2 - V1; V1 = 0m.s-1, V2 = 2m.s-1

V2 se calcula a partir de la ecuación V = 2d/t, donde d = desplazamiento final y

t = tiempo, por lo tanto la aceleración = (2m x s-1 - 0m x s-1)/1s = 2m.s- 2

Por lo tanto la Ftot vertical = 100kg x (2m x s-1 - 0 m x s-1)/1s = 200N + (100kg x 9.81) = 1181N o 265lbs

En las medidas comunes de la fuerza máxima, tales como 1RM, la Ftot no puede calcularse sin un equipamiento especializado tal como una plataforma de fuerza. Sin embargo la Ftot es proporcional al valor de 1RM (i.e., a mayor peso mayor la Ftot). Además, debido a que la aceleración de la masa es compensada por la desaceleración a medida que la barra completa el rango de movimiento, entonces la fuerza promedio a lo largo de todo el levantamiento es igual al peso de la barra. Por lo tanto, el peso de la masa proporciona una estimación razonable de la fuerza promedio aplicada.

Fuerza Máxima

La “fuerza” ha sido previamente definida como la habilidad de producir tensión. Como puede inferirse de la segunda ley de Newton, la fuerza puede ser asociada con la habilidad de acelerar un objeto, y por lo tanto, la aplicación de una fuerza le impondrá una velocidad a un objeto. De esta manera, la fuerza puede tener un gran impacto sobre varios tipos de actividades deportivas en las cuales se le debe impartir velocidad a un objeto.

Los niveles de fuerza máxima son frecuentemente asociados con el incremento en el rendimiento deportivo, un tema que será analizado en detalle posteriormente. Debido a esta asociación, las mediciones de la fuerza máxima, se utilizan frecuentemente para valorara las adaptaciones a los programas de entrenamiento de la fuerza asumiendo que la mejora de la fuerza se transferirá al rendimiento deportivo. Sin embargo, se deben satisfacer varios aspectos de la medición antes de que se pueda llevar a cabo una apropiada valoración de la fuerza.

Cualquier forma de evaluación del rendimiento deportivo debe ser confiable y válida. La validez interna tiene que ver con cuan bien el test mide en realidad la variable en cuestión, en este caso la fuerza. La validez externa se refiere a la habilidad de un test en particular de predecir los cambios en otra/s variable/s, por ejemplo ¿Podría una medición de la fuerza predecir otra medición de la fuerza?. La confiabilidad es una medida del grado de consistencia con la cual el test mide una determinada variable. La confiabilidad es una medida del grado de consistencia con la cual un test mide una variable. Antes de evaluar la fuerza (o cualquier otra variable), se deben establecer tanto la valide y la confiabilidad de los tests. Un método de mejorar la confiabilidad es el proceso de familiarización. La familiarización son varia sesiones de práctica llevadas a cabo previamente al comienzo de la evaluación. Durante el proceso de familiarización es muy importante estar seguro de que los atletas que van a ser evaluados entiendan todas las instrucciones y las lleven a cabo. Debido a que el proceso de familiarización no es un problema y a que se consideran los patrones de posición y de movimiento, la evaluación de la fuerza por lo general muestra un alto grado de validez interna y de confiabilidad.

Con el propósito de incrementar la validez de una medición, también pueden incluirse varios factores relacionados a la especificidad mecánica. Estos factores incluyen:

1. Tipo de acción muscular involucrada (i.e., isométrica, concéntrica, excéntrica, pliométrica)
2. Consideraciones acerca de los patrones de movimiento o de posiciones
3. Consideraciones acerca del tiempo de ejecución: la tasa de desarrollo de la fuerza.

Un examen de estos factores ayudará a entender como es un apropiado entrenamiento de la fuerza:

1. Acción muscular

- La evaluación isométrica a sido utilizada en estudios científicos y como test de campo en los últimos 50 años. La confiabilidad y la validez interna son generalmente excelentes debido a que las consideraciones acerca de la posición son muy apropiadas. Sin embargo, la validez externa de las evaluaciones isométricas es cuestionable (Wilson y Murphy 1996). Esta baja validez externa resulta de factores neurales, mecánicos y metodológicos, los cuales pueden reducir u obviar la utilidad de las mediciones isométricas para valorar movimientos dinámicos. Por lo tanto las mediciones isométricas tienen solo un valor limitado en la valoración de las alteraciones del rendimiento deportivo.
- Las evaluaciones solamente concéntricas pueden ser utilizadas por numerosas razones. Por ejemplo: las acciones musculares concéntricas las cuales comienzan sin contramovimiento, pueden ser utilizadas para asistir en la valoración del aparato contractil, independientemente de la utilización de la energía elástica o del reflejo miotático de estiramiento. En individuos relativamente desentrenados o frágiles los cuales pueden tener dificultades para controlar la porción excéntrica de un ejercicio, la evaluación concéntrica puede permitir un grado de control experimental que de otra manera no sería posible.
- Las evaluaciones solamente excéntricas pueden ser también una medida importante por varias razones. Por ejemplo: la fuerza máxima aplicada durante los movimientos excéntricos son generalmente mayores que las fuerzas máximas aplicadas tanto en movimientos isométricos como concéntricos. La diferencia entre las fuerzas excéntricas, isométricas o concéntricas pueden ser vistas como un déficit, el cual puede estar relacionado al tipo de entrenamiento que el atleta está llevando a cabo (Gohner 1994). Los grandes déficits pueden indicar que el tipo de programa de entrenamiento empleado no es el adecuado. Muchos deportes requieren que se alcancen altas fuerzas excéntricas en ciertos elementos del rendimiento deportivo. El levantamiento de pesas, por ejemplo, requiere que se generen picos muy altos de fuerza excéntrica durante las fases descendentes del envión. La imposibilidad de generar altas fuerza podría comprometer la fase correspondiente de movimiento concéntrico. La evaluación de la fuerza excéntrica podría mostrar problemas en la generación de la fuerza durante la fase descendente del movimiento.
- La evaluación pliométrica es probablemente la forma mas común de evaluación de la fuerza. Comúnmente la fuerza se mide tanto en el laboratorio como en el campo a través de movimientos pliométricos tales como el salto desde sentadillas. Este tipo de evaluación tiene la ventaja de incluir el ciclo de estiramiento acortamiento el cual es característico de muchos deportes. Probablemente los test de una repetición máxima (1RM) sean la forma mas común de evaluación de la fuerza. El valor de 1RM es una medida razonable de la fuerza máxima dinámica debido a que es directamente proporcional a la fuerza requerida para superar una carga dada. Este tipo de test de 1RM es el que la mayoría de los entrenadores y atletas utilizan para evaluar sus programas de entrenamiento de la fuerza.

2. La especificidad de los patrones de movimiento son aspectos de la evaluación de la fuerza que frecuentemente se omiten. Existe un alto grado tanto de especificidad tanto intra como inter muscular para una tarea dada. Esto significa que durante un movimiento hay unidades motoras específicas que son activadas dentro de un músculo en una secuencia específica de tiempo y con patrones específicos de activación muscular agonista, antagonista y sinergista. Estos patrones pueden ser alterados por pequeños cambios en el patrón de movimiento y probablemente por cambios en la velocidad de ejecución (Stone et al., 2000; Zajac and Gordon 1989). Por lo tanto, mediante la selección del procedimiento de evaluación

el cual tendrá una gran similitud con el rendimiento deportivo específico se pueden realizar grandes inferencias.

Evaluaciones con movimientos multiarticulares versus movimientos monoarticulares: mientras que las evaluaciones con movimientos monoarticulares que se utilizan frecuentemente en algunos tipos de investigación, donde se requiere un alto grado de control, la evaluación con movimientos multiarticulares son mas apropiadas para el entrenamiento atlético y para la rehabilitación. La necesidad de la valoración de la fuerza con movimientos multiarticulares (y de otras características de la fuerza) se relaciona con el hecho de que la mayoría de las actividades deportivas son por naturaleza multiarticulares.

Evaluación Isométrica: el pico en la fuerza isométrica cambia en función del ángulo articular, por lo tanto es crucial la selección de una ángulo apropiado (i.e. posición) para la evaluación, el cual debe ser específico para un deporte en particular. Alguna evidencia indica que el ángulo más apropiado para la evaluación isométrica máxima es probablemente el ángulo articular al cual se desarrollan los picos de fuerza (Murphy et al 1995). Este ángulo permitirá la mejor inferencia acerca de la actividad dinámica.

Magnitud de las Ganancias en la Fuerza Máxima: la literatura científica indica claramente que la magnitud de las ganancias en la fuerza como resultado de un programa específico de entrenamiento depende de la similitud de los ejercicios utilizados en la evaluación y los ejercicios utilizados en el entrenamiento (Stone et al 2000). Por ejemplo, si uno entrena utilizando sentadillas, entonces las mediciones de 1RM en sentadilla reflejarán mas probablemente las adaptaciones al entrenamiento en al fuerza máxima en comparación con la utilización de extensiones de rodillas como test. Nuevamente esto se relaciona con el concepto de especificidad de los patrones de movimiento.

Una consideración muy importante es que la fuerza máxima puede no ser solo el único factor o la mejor característica a evaluar. Para mejorar la validez externa, se deben considerar otras características relacionadas con la fuerza. Una de las mas importantes es la tasa de desarrollo de la fuerza.

3. Consideraciones acerca del Tiempo – la Tasa de Desarrollo de la Fuerza para muchos deportes (quizás para la mayoría) puede ser mas importante que la producción de fuerza máxima: por lo tanto la tasa de desarrollo de la fuerza es un aspecto importante a considerar en la evaluación. La tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) es el cambio en la fuerza / el cambio en el tiempo. La RFD es una función de la tasa de incremento en la activación muscular por el sistema nervioso (Komi and Vitasalo 1976, Sale 1992). La medición de la RFD requiere de equipamiento especial; comúnmente se utiliza un plataforma de fuerza para medir la RFD en los movimientos atléticos. Por ejemplo, un atleta podría realizar sentadillas isométricas o saltos dinámicos en una plataforma de fuerza y se pueden genera a partir de esto curvas de fuerza/tiempo (Figuras 1a y 1b)



Figura 1a.*La curva de fuerza isométrica – tiempo describe una curva característica de fuerza isométrica en función del tiempo. La fuerza generada en los primeros 30 ms ha sido llamada "fuerza inicial" y se relaciona con la RFD inicial (IRFD) (Schmidtbliecher 1992). La RFD pico (PRFD) ha sido llamada "fuerza explosiva" (Schmidtbliecher 1992; Stone 1993). El pico de fuerza (PF) es la máxima fuerza que puede ser producida bajo estas condiciones de medición. Aparentemente (Schmidtbliecher 1992) se requiere de una alta IRFD para tener un rendimiento óptimo en el deporte en el cual se mueven cargas ligeras con mucha velocidad, e.g., boxeo. La PRFD o la "fuerza explosiva" se vuelve mas importante a medida que se incrementa la carga (i.e., tiros al aro en basquetbol) y a medida que la carga se vuelve mas pesada entonces el rendimiento es predominado por la fuerza máxima (i.e., levantamiento de*

potencia).

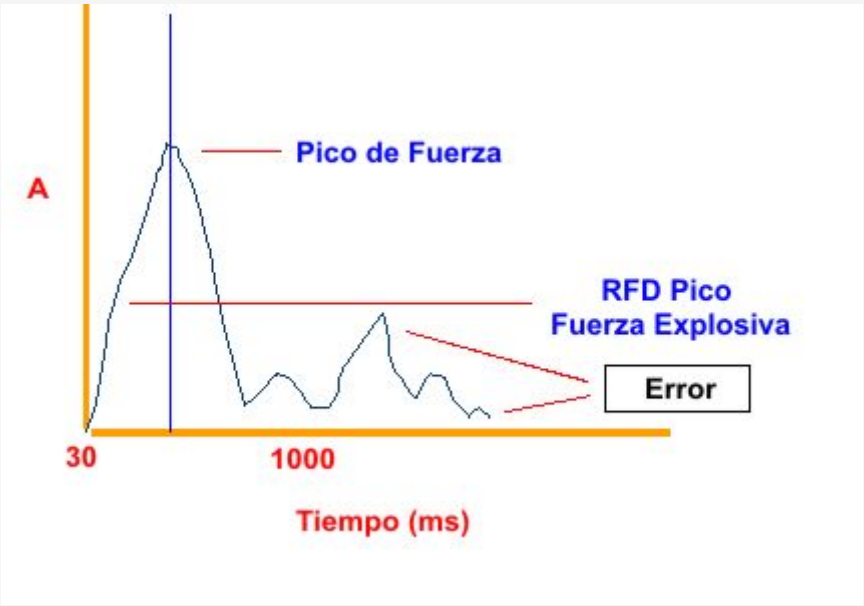


Figura 2b. *La curva de fuerza dinámica – tiempo, describe la curva de fuerza dinámica concéntrica tiempo. Al igual que con la curva fuerza isométrica – tiempo, la fuerza inicial, la fuerza explosiva y el pico de fuerza pueden ser descriptos en forma dinámica. Debería señalarse que el pico de fuerza decrece a medida que la carga se incrementa. Aunque no todos los estudios concuerdan (Muller 1987), la evidencia indica que durante los ejercicios dinámicos la PF y la PRFD están inversamente relacionadas, particularmente en ejercicios que involucran una gran masa muscular (Haff et al 1997). Por lo tanto (al menos hasta un punto) las carga mas liviana producen una mayor PRFD que las cargas pesadas.*

RESUMEN

La fuerza es la habilidad de producir tensión. La medición apropiada de la fuerza requiere del entendimiento de varios factores los que incluyen:

1. La fuerza y sus características
2. La especificidad mecánica: incluyendo el tipo de acciones musculares, y las consideraciones acerca de los patrones de movimiento y de posición.
3. Curvas de fuerza tiempo y tasa de desarrollo de la fuerza
4. Confiabilidad

La consideración de estos factores puede mejorar la validez interna y externa de la medición.

REFERENCIAS

1. Gohner, U (1994). Experimental results on force eccentric strength gains. *International Journal of Sports Medicine15(suppl):S43-49*
2. Haff, G.G., Stone, M.H., O Bryant, H.S., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R. and Han, Ki- Hoon (1997). Force-Time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research, 11: 269-272*
3. Komi, P.V. and Vitasalo, J.H (1976). signal characteristics of EMG at different levels of muscle tension. *Acta Physiologica Scandinavica 96:267-276*
4. Muller, K. Statische und Dynnamiche Muskelkraft. Deutsch, Frankfort/M. Thun (1992). Cited in Schmidtbleicher, D. Training for power events. *Strength and Power in Sport London, Blackwell Scientific, pp. 381-395*

5. Murphy, A.J., Wilson, G.J., Pryor, J.F. et al (1995). Isometric assessment of muscular functions: the effect of joint angle. *Journal of Applied Biomechanics 11:205-215*
6. Sale, D.G (1992). Neural Adaptations to strength training. *In (P.V. Komi ed.) Strength and Power in Sport London, Blackwell Scientific, pp. 249-265*
7. Schmidtbleicher, D (1992). Training for power events. *Strength and Power in Sport London, Blackwell Scientific, pp. 381-395*
8. Stone, M.H (1993). Position/policy statement and literature review for the National Strength and Conditioning Association on "Explosive Exercise". *National Strength and Conditioning Association Journal, 15(4):7-15*
9. Stone, M.H. Collins, D., Plisk, S., Haff, G. and Stone M.E (2000). Training principles: Evaluation of modes and methods of resistance training. *Strength and Conditioning 22(3): 65-76*
10. Wilson, G.J. and Murphy, A.J (1996). the use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Medicine 22(1): 19-37*
11. Zajac, F.E. and Gordon, M.E (1989). Determining muscle s force and action in multi-articular movement. *Exercise and Sports Science Reviews 17:187-230*