

Un repaso sobre las limitantes a la velocidad máxima

Los resultados de los atletas de elite de los últimos años revelan la importancia de la velocidad máxima, ya que los individuos con los mejores valores han conquistados las pruebas de 100m y 200m, incluso no siendo los mejores en lo que respecta a aceleración y resistencia a la velocidad. Este hecho hace evidente que la tarea principal del entrenamiento del velocista debe ser el mejoramiento de la velocidad máxima.

Para poder desarrollar lo mencionado anteriormente, primero se requiere hacer un repaso de la literatura y experiencia disponibles para poder revisar cuáles son las variables de mayor peso para la velocidad máxima y así ser capaz de diseñar el esquema de entrenamiento más apropiado.

Recorriendo la bibliografía, se encuentran numerosas menciones a que la velocidad máxima depende del producto: frecuencia x longitud de zancada. Siguiendo este modelo sencillo, mejorando cualquiera de las dos, se incrementa la velocidad final. Sin embargo, esta concepción adolece de un gran problema: confundir causas con efectos (o variables dependientes con independientes). O, dicho de otra manera, esta forma de ver la velocidad máxima desprecia la interrelación entre las dos variables. Como todos sabemos de la experiencia, la mejora de una es más que probable que acarree el empeoramiento de la otra. Esto a su vez puede llevar a estrategias de entrenamiento erradas. Es por eso, que se debe decir que frecuencia y largo de zancada, más que variables independientes y determinantes de la velocidad máxima, son variables dependientes de la técnica y de las capacidades de aplicación de fuerza principalmente.

Uno de los antecedentes cercanos que pretende desmitificar el modelo de frecuencia por largo de zancada está constituido por la publicación de Weyand 2000 (9). Allí muestra que prácticamente no hay correlación entre frecuencia (o velocidad de movimiento de las piernas en el aire) y velocidad final como otros modelos suponían, y sí la hay entre velocidad y máximas fuerzas aplicadas al suelo.

Ahora, si observamos al corredor en el momento de la velocidad máxima y vemos las resistencias a las que debe sobreponerse, probablemente nos llevemos algunas sorpresas. Las fuerzas pueden agruparse en verticales y en horizontales. La magnitud de las fuerzas verticales puede calcularse respecto al peso como la relación entre el tiempo de contacto y el tiempo de paso total (9):

$$\frac{F_{\text{prom}}}{F_p} = \frac{t_p}{t_c} \quad \text{Ecuación 1.}$$

F_{prom} Fuerza promedio aplicada al piso en el sentido vertical.

F_p Fuerza peso. Masa del individuo multiplicada por la gravedad.

t_c Tiempo durante el que el pie se encuentra en contacto con el suelo.

t_p Tiempo de paso. Es el tiempo que transcurre en el largo de un paso. Es igual al tiempo de contacto más el tiempo aéreo en el que se reposiciona la pierna (t_r).

Por ejemplo, considerando valores estándar de frecuencia y tiempo de contacto (4.5 pasos por segundo y 0.1 seg.) podemos calcular una fuerza media aplicada al piso en función del peso:

$$F_{prom} = \frac{t_p}{t_c} \cdot F_p = \frac{1seg}{4,5 \cdot 0,1seg} \cdot F_p = 2,2 \cdot F_p$$

Es decir que una persona con esa frecuencia y tiempo de contacto, pero que además tenga, por ejemplo, 70kg de masa, deberá aplicar en cada paso una fuerza vertical de 1509 N (154kgf; y esto es tan sólo la fuerza media; los valores pico superan 4 veces la fuerza peso (10)). Mientras, horizontalmente, en lo que respecta a las fuerzas externas, sólo se deberá superar la fuerza del viento, que alcanza valores mucho menores: utilizando la ecuación de Hill (1927), se obtienen valores cercanos a 25N (2.5 kgf) sobre corredores que superan los 10 metros por segundo con un área de 0.5 metros cuadrados.

Entonces, se puede pensar en la velocidad máxima como una función donde dos resistencias son determinantes: las horizontales y las verticales, pero donde estas últimas tienen un peso mucho mayor. Podemos analizar algunas cuestiones para confirmar esta última afirmación. Ahora, para ver el peso de cada una de estas resistencias, podemos alterarlas y ver cómo resulta sobre la velocidad máxima. Por ejemplo, si variamos la velocidad del viento entre 2 metros por segundo y -2 metros por segundo, para un atleta que corre aproximadamente a 10 metros por segundo (considerando que la fuerza realizada por el viento es proporcional al cuadrado de la velocidad) se obtiene:

$$F_2 \cdot (v_1)^2 = F_1 \cdot (v_2)^2$$

$$F_2 = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 \cdot F_1 = \left(\frac{12}{8}\right)^2 \cdot F_1 = 2,25 \cdot F_1$$

F₂ Fuerza realizada por el viento con 2 metros por segundo en contra.

F₁ Fuerza realizada por el viento con 2 metros por segundo a favor.

v Velocidad del viento respecto al individuo.

Resulta entonces que la fuerza provocada por el viento aumenta a más del doble. Sin embargo, correlaciones simples (6) muestran que el efecto del aumento de la fuerza en más de dos veces se traduce en tan sólo un empeoramiento de la marca de 100 metros (asumiendo una base de 10.0 seg, varía desde 9.89 hasta 10.14seg) de 2.5%. Es decir, una variación de la fuerza horizontal externa en un 225%, se tradujo en un empeoramiento de la marca de 100 metros en menos de un 3%, lo que confirma la poca importancia de las fuerzas horizontales.

Por otro lado, Verkoshansky, en experimentos donde alivianaba a los atletas (es decir, donde disminuía las fuerzas verticales) obtenía resultados muy significativos en el tiempo final de la carrera de 100. Con variaciones del peso menores al 20% y por lo tanto de las fuerzas verticales disminuidas en magnitudes iguales (por ser proporcionales al peso), los atletas alcanzaban marcas cercanas a los 8 segundos en los 100 metros, lo que representa mejoras de más del 20%.

Los hechos remarcados en los párrafos anteriores reflejan que la mayor limitante a la velocidad máxima está en la aplicación correcta de las fuerzas verticales (evitando el frenado) y mucho menos en las horizontales. Weyand (2010), muestra los mismos resultados en su análisis de las limitantes a la velocidad máxima (8), donde las fuerzas horizontales sólo constituyen entre un 2 y un 3% de la fuerza total aplicada. En el mismo estudio, de acuerdo con la ecuación 1, enuncia que la fuerza vertical media necesaria para

mantener una determinada velocidad será menor si el tiempo de reposicionamiento de la pierna es menor (en el límite, con un tiempo de recobro nulo, tendríamos una rueda y la fuerza vertical a enfrentar sería constantemente la fuerza peso). Entonces, correr a máxima velocidad se trata principalmente de aplicar impulsos verticales mientras se reposicionan las piernas a la máxima velocidad posible.

Sin embargo, uno de los problemas si se piensa a la aplicación de fuerzas verticales como la limitante más importante, es también el hecho de que a medida de que se pueda aumentar la capacidad de aplicar más fuerza, habrá también menos tiempo para aplicarla, lo que realmente genera una barrera para el progreso en la velocidad (8). Entonces, sintetizando, la velocidad máxima depende principalmente de la capacidad de aplicar fuerza verticalmente y en marcos de tiempo muy bajos.

Siguiendo las consideraciones anteriores, se pueden sacar significativas conclusiones para revisar los esquemas de entrenamiento con miras a modificar la velocidad máxima de los corredores:

-Hacer de la ejecución técnica una prioridad (siguiendo el modelo más avanzado enseñado por la IAAF). Aplicar la fuerza del modo óptimo permite aprovechar al máximo nuestras capacidades neuromusculares. Un claro ejemplo lo constituye el hecho de que realizar un rápido reposicionamiento de los miembros depende más de un buen gesto técnico que minimice el momento de inercia de la pierna al ser recobrada, que de la capacidad muscular de los flexores de la cadera (8).

-Considerar en la planificación el agotamiento del sistema nervioso. Si esto no se hace, es posible que se trabaje la preparación especial de la fuerza o los trabajos específicos sin la capacidad de realizar esfuerzos máximos (o al menos de muy alta intensidad) y por lo tanto sin posibilidad de alterar las fibras más rápidas (por el principio del tamaño) que son las más importantes a la hora de correr.

-Considerando que la variable principal para provocar adaptaciones neuromusculares es la tensión a la que se somete un músculo (8), en el gimnasio se recomienda realizar trabajos a una pierna, de modo de no sufrir inhibición bilateral o déficit bilateral (10). Normalmente este fenómeno hace que incluso en esfuerzos máximos no se exponga a la musculatura en cuestión a las máximas tensiones posibles.

-Si la limitante es el tiempo en el que debe aplicarse la fuerza y no la magnitud de la fuerza en sí, y sobre todo la fuerza en sentido vertical, el entrenamiento del que mejores efectos puede esperarse es el de la pliometría, principalmente del salto en profundidad. Observando la bibliografía del creador de este método, se ve que puede jugarse con las diferentes variables (peso y altura desde la que se cae) para buscar aumentar la fuerza aplicada y disminuir los tiempos de aplicación, de modo de asemejarlos a los que se pretende en competencia, o de incluso mejorarlos.

-Otro hecho a remarcar, es que es imprescindible realizar una descarga (o tapering) en la etapa competitiva con el objetivo de reconvertir las fibras ft2a al tipo ft2b, con el objetivo de expresar las fuerzas en menores tiempos, incluso si eso significa una caída en la fuerza máxima a poder aplicar. Está demostrado que la baja del volumen de entrenamiento genera reconversión de las fibras desde el tipo ft2a al ft2b (que tiene mayor velocidad de contracción) mientras que el aumento del volumen genera exactamente el efecto opuesto (1,5).

-Es necesario apuntar a entrenamientos que generen el incremento del número de sarcómeros en serie en los músculos principales, ya que esta mejora significa aumento en la velocidad de contracción absoluta y por lo tanto en la capacidad de aplicar las mismas fuerzas más rápido. Para eso deben utilizarse métodos

donde se realicen esfuerzos excéntricos máximos más allá del ángulo óptimo de contracción (2). Un experimento demostró que entre dos grupos de velocistas, uno de un nivel alto y otro de nivel intermedio (alrededor de los 10.5 seg en los 100m y otro, de los 11.5 seg), la única diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos se hallaba en la cantidad de sarcómeros en serie (el largo de la fibra) y no en la composición de las fibras (4).

-La última consideración puede ser la más importante y es en lo que respecta al entrenar la velocidad máxima de modo asistido. Si se considera la experiencia con los lanzadores, donde el óptimo hallado para entrenar está constituido por un gran volumen de lanzamientos donde el peso del implemento es menor al del implemento de competición (y por eso la velocidad de ejecución es mayor), se debería esperar algo similar a la hora de correr asistido. Lo primero que debe decirse es que la bibliografía da poco soporte a este tipo de entrenamiento y su uso parece brindar resultados ambiguos. Sin embargo, si tomamos en cuenta las consideraciones hechas en este artículo, parece obvia la ausencia de resultados positivos. Si la resistencia a la velocidad máxima está dada principalmente por la aplicación de fuerzas verticales, el hecho de aumentar la velocidad por medio de un elástico sólo disminuirá el tiempo disponible para aplicar la fuerza, en vez de disminuir las fuerzas a aplicar. También se puede analizar la posibilidad de correr en bajada. Para eso debe replantearse la ecuación 1 y llegar a la siguiente:

$$\frac{F_{prom}}{F_p} = \frac{t_p}{t_c} - \frac{2 \cdot L_c \cdot \tan \alpha}{t_c^2 \cdot g} \quad \text{Ecuación 2.}$$

F_{prom} Fuerza promedio aplicada al piso en el sentido vertical.

F_p Fuerza peso. Masa del individuo multiplicada por la gravedad.

t_c Tiempo durante el que el pie se encuentra en contacto con el suelo.

t_p Tiempo de paso. Es el tiempo que transcurre en el largo de un paso. Es igual al tiempo de contacto más el tiempo aéreo en el que se reposiciona la pierna (t_r).

L_c Longitud de contacto. Distancia que viaja el centro de masas mientras el pie permanece en contacto con el suelo.

α Ángulo conformado entre el piso y la horizontal. Se lo considera positivo hacia abajo.

g Valor de la aceleración de la gravedad.

Comparando a la ecuación 2 con la 1, para mismos valores de tiempo de contacto y de reposición, la fuerza necesaria a aplicar verticalmente para alcanzar una misma velocidad horizontal es menor. Sin embargo, si observamos la aplicación vertical de la fuerza tenemos:

En el caso normal:

$$V_0 = \frac{g \cdot t_r}{2}$$

En bajada puede demostrarse que varía del siguiente modo:

$$V_0 = \frac{g \cdot t_r}{2} - \frac{L_c \cdot \tan \alpha}{t_c}$$

- V_0** Velocidad vertical de despegue (considerada igual y de sentido opuesto a la velocidad vertical de impacto en la caída).
- t_r** Tiempo de reposición.
- g** Valor de la aceleración de la gravedad.
- L_c** Longitud de contacto. Distancia que viaja el centro de masas mientras el pie permanece en contacto con el suelo.
- α** Ángulo conformado entre el piso y la horizontal. Se lo considera positivo hacia abajo.

Es decir, para igual tiempo de reposición, si la carrera es en bajada, disminuye la velocidad de despegue necesaria para un mismo valor de velocidad horizontal. Es por eso que no existe analogía directa entre este método y el de cargas livianas tan exitoso que han usado los lanzadores, ya que no se disminuye la carga principal para que el movimiento se ejecute más rápido, sino que se alteran las relaciones entre la carga y el resultado que ésta tiene sobre la máxima velocidad.

Debido a lo dicho anteriormente, se evidencia que para que este tipo de método funcione, la asistencia deberá ser en el sentido vertical (correr colgado, alivianado) y no como se lo concibe normalmente. Es probable que en caso de aplicar correctamente este método, y correr a mayores velocidades a las máximas o mucho más tiempo cerca de las máximas (por pesar menos o su equivalente), se impriman patrones de reclutamiento intermuscular más rápidos y que de forma análoga a lo que sucede con los lanzadores, se obtenga una mejora en la velocidad máxima. Lamentablemente diseñar equipamiento para correr a alta velocidad alivianado (quitando peso del cuerpo) es constructivamente complicado y con la infraestructura disponible en Argentina es muy difícil. Es por eso que sería importante aunar esfuerzos con el fin de disponer de los medios que permitan aplicar este tipo de métodos de entrenamiento que pueden provocar resultados de otro nivel.

Referencias:

1. Andersen, J. L.; Aagaard, P.; (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve*. 23(7):1095-104.
2. [Brockett C.L.](#); [Morgan, D.L.](#); [Proske U.](#) (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length, *Medicine and Science in sports and exercise*, 33 (5), 783 – 790.
3. Hill, A.V.; (1927). The air resistance to a runner. *Proc. R. Soc. B* 102, 380 – 385.
4. Kumagai, [Kenya](#); [Takashi, Abe](#); Brechue; [William F.](#) (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 88 (3), 811 – 816.

5. Liu, Y; Schlumberger, A.; Wirth, K.; et al. (2003). Different effects on human skeletal myosin heavy chain isoform expression: strength vs. combination training. *Journal of Applied Physiology*, 94, 2282 – 2289.
6. Mureika, J.R. (2001) A Realistic Quasi-physical Model of the 100 Metre Dash. *Canadian Journal of Physics*, 79 (4), 697-713.
7. Souto Maior, Alex; Alves, Antonio. (2003). A contribuição dos fatores neurais em fases iniciais do treinamento de força muscular: uma revisão bibliográfica. *Motriz*, 9 (3), 161 – 168.
8. Weyand P.G; Sandell, R. F.; Prime, Danille N. L.; et al. (2010). The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology*, 108, 950 – 961.
9. Weyand P.G; Sternlight D.B; Bellizzi M.J.; et al. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89 (5), 1991 - 1999.
10. Weyand PG; Bundle, Matthew W. (2009). Counterpoint: Artificial limbs do make artificially fast running speeds possible. *Journal of Applied Physiology*, 108, 1011 – 1012.