

ANALISIS DE LA AMPLITUD Y FRECUENCIA DE PASO DE CARRERA A DIFERENTES VELOCIDADES EN DEPORTISTAS AMATEURS

Marco Romagnoli¹, José Vte. Sánchez-Alarcos Díaz-Pintado², Alessandro Arduini³

¹Dpto. de Fisiología, Facultad de Medicina. ²UIRFIDE. Dpto. de Educación Física y Deporte. ¹⁻²(Universidad de Valencia). ³Istituto di Esercizio Fisico, Salute e Attiva Sportiva. Università degli Studi di Milano

RESUMEN

La velocidad de la carrera se incrementa por el aumento de la frecuencia de paso, la longitud de la zancada o ambas a la vez. Sin embargo, al llegar a una velocidad determinada la longitud de la zancada se estanca, y la velocidad sigue incrementándose por medio de la frecuencia. Durante la carrera, la longitud, la frecuencia, el tiempo de contacto y de vuelo, varían según la velocidad, los parámetros antropométricos de los sujetos (talla, longitud de miembro inferior, nivel de fuerza) y la especialización o nivel de técnica que posean. El presente estudio analiza estos factores en sujetos deportistas amateurs y muestra: a) como el plateau de la longitud varía según la talla, independientemente de la velocidad, b) como el tiempo de contacto es menor en los sujetos de menor talla y c) una mayor correlación entre estos factores y la talla del sujeto, que entre la longitud de pierna.

Palabras clave: Velocidad, frecuencia de paso, amplitud de paso, tiempo de contacto.

INTRODUCCIÓN

La carrera esta influenciada por parámetros antropométricos, relacionados con aspectos biomecánicos, parámetros fisiológicos, vinculados al gasto de sustratos energéticos y con el desarrollo y aplicación de la fuerza. Estos aspectos, intrínsecos al sujeto, condicionan los movimientos de los distintos ejes corporales y por tanto la velocidad de desplazamiento. La carrera comprende dos fases: a) el apoyo desde que el pie toma contacto con el suelo hasta el final de la impulsión, estando esta fase determinada por factores como el tiempo de contacto y la fuerza aplicada; b) vuelo o suspensión, refiriéndose al momento donde no hay contacto con el suelo, determinando la amplitud de paso. La carrera en el ámbito atlético puede manifestarse generalmente de dos formas: el mantenimiento de la misma durante el mayor tiempo posible (carrera de fondo), o alcanzar la máxima velocidad (carrera de velocidad). Ambas tienen en común el intentar conseguir el mayor valor de velocidad medio, considerando los factores relacionados con el gasto energético que las caracteriza (Plyley et al, 1985). En este sentido, la velocidad va a depender de la longitud de paso (amplitud) y el número de veces que lo realicemos en un tiempo dado (frecuencia).

Por lo tanto, un aumento de la velocidad de carrera se puede conseguir: a) aumentando la amplitud del paso; b) aumentando la frecuencia; (Seagrave, 1996; Pascua, 1991); c) aumentando ambos parámetros a la vez (McArdle, 1998). Entre amplitud y frecuencia se da una relación hiperbólica, el aumento de velocidad se realiza sustancialmente por un aumento de la amplitud del paso y sólo a velocidades elevadas por un aumento de la frecuencia (Willians, 1985; Cavanagh et al, 1977; Dillman, 1975; Hogberg, 1952).

Pierón (en García Manso et al, 1998) habla de una alta correlación entre la frecuencia y la amplitud de paso con la velocidad. Por ello, para la consecución de la máxima velocidad, es necesario encontrar para cada atleta la frecuencia y la longitud de paso óptimas en función de sus características antropométricas. Estos parámetros amplitud y frecuencia determinan prototipos de velocistas: a) velocistas con elevada frecuencia que suelen coincidir con atletas de baja estatura, b) velocista con elevada amplitud de zancada que suelen coincidir con atletas altos y de miembros inferiores largos (García Manso et al, 1998). Teniendo en cuenta la influencia que los parámetros antropométricos de lo atletas, pueden ejercer sobre

la amplitud y la frecuencia, Hoffman (1964) en un estudio con atletas de alto nivel, encontró una alta correlación entre la máxima amplitud de paso y la estatura, y una correlación más alta entre la amplitud de paso y la longitud del miembro inferior. Resultando más importante, para la amplitud de zancada, la longitud del miembro inferior que la estatura del atleta.

La mayoría de los estudios sobre los parámetros amplitud y frecuencia en la carrera se refieren a atletas de alto nivel, no habiendo muchos estudios sobre atletas amateur. Los corredores de nivel amateur desarrollan velocidades comprendidas entre 2,5 y 6 m/s, muy inferiores a los 9,5 m/s que puede llegar a alcanzar un atleta de élite. Un mejor conocimiento de cómo varían la amplitud del paso de carrera y la frecuencia, en otra población distinta a los atletas de alto nivel, la cual tiene unas características físicas diferentes, permitirá una mayor comprensión de todos los factores que condicionan la consecución de la máxima velocidad. El objetivo de este experimento ha sido investigar cómo, al variar la velocidad de carrera, se modifican los parámetros de la longitud y frecuencia del paso en una población de atletas amateur, teniendo en cuenta sus características antropométricas. Por cuánto concierne la frecuencia hemos indagado el papel específico del tiempo de contacto (TC) respecto al tiempo de vuelo (TV). Los datos de nuestro trabajo parten de una velocidad mínima de 5 m/s hasta 8,5 m/s.

METODOLOGIA

Sujetos: La muestra estaba compuesta por 15 sujetos varones (edad: $25,1 \pm 3,12$; peso: $71,5 \pm 9,56$; talla: $1,79 \pm 7,54$). Todos ellos practicaban deporte de manera amateur. La práctica deportiva que realizaban era de ($3,72 \pm 0,61$) horas semanales repartidas entre dos sesiones de entrenamiento más la competición.

Material: Para las medidas antropométricas se emplearon: báscula modelo Tefal-Sx (sensibilidad 100 gr.), tallímetro Detecto - D52, con un rango de medición entre 60 y 200 cm (sensibilidad de 0,5 cm), cinta métrica inextensible Holtain (sensibilidad 1mm). Para el registro de las variables cinéticas se utilizó una barrera de fotocélulas modelo "OptoJump" Microgate. Estaba compuesto de 15 pares de barras de fotocélulas ($100 * 4 * 3$ cm). Cada pareja de barras del OptoJump, registra y transmite los datos al sistema receptor. El OptoJump permite conocer en tiempo real la longitud de cada paso, los tiempos de vuelo y de contacto, la velocidad, la aceleración y el tiempo empleado en el recorrido; mostrando los datos de forma numérica y gráfica, con una precisión de 1/1000 seg. El OptoJump estaba conectado a un PC portátil compatible Pentium III/1.2Ghz. Para mostrar la velocidad a la que los sujetos tenían que entrar en la barrera de fotocélulas, se utilizó una bicicleta equipada con un velocímetro Polar X Trainer Plus.

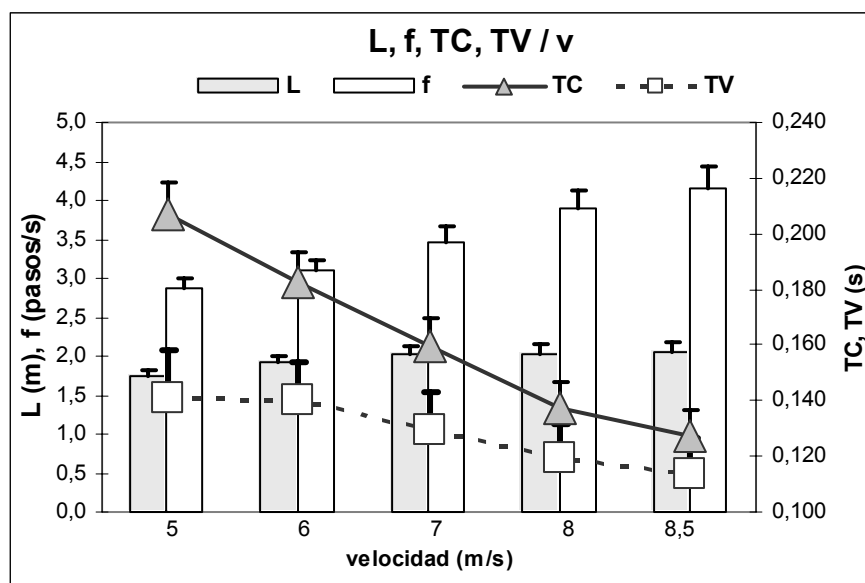
Método: Se colocó una barrera de fotocélulas de 15 pares de barras, posicionando una barra frente a la otra a un metro de distancia, por donde los sujetos pasaron corriendo a distintas velocidades. Se utilizó un ciclista como referencia para que los sujetos llegaran a las fotocélulas a la velocidad predefinida. Los sujetos se colocaban a treinta metros de distancia de la barrera de fotocélulas y esperaban a que el ciclista llegara a su posición para comenzar a correr. El sujeto pasaba la barrera en paralelo al ciclista, el cual mantenía la velocidad predefinida constante. Los sujetos realizaron para cada velocidad tres repeticiones. Se utilizaron para el análisis estadístico las variables registradas de los cuatro pasos consecutivos, del total registrados, que se acercaron a la velocidad predefinida y la mantuvieron constante. Ante la imposibilidad de que todos los sujetos mantuvieran la velocidad exacta a la predefinida se interpolaron los valores de los datos registrados (en estos cuatro pasos) a las velocidades: 5, 6, 7, 8 y 8,5 m/s, con el objetivo de poder realizar el análisis estadístico. Las variables cinemáticas registradas fueron: a) velocidad en m/s (v), velocidad predefinida a la cual el sujeto tenía que pasar la barrera de fotocélulas; b) tiempo de contacto (TC), tiempo que el pie está en contacto con el suelo; c) tiempo de vuelo (TV), tiempo que transcurre entre dos apoyos consecutivos; d) longitud del paso (L) distancia entre dos apoyos consecutivos y e) frecuencia (f), número de pasos que se dan en un segundo. Esta variable se calculó de forma indirecta sumando los valores del TC más TV, ($1s/TC+TV$). Las variables antropométricas: a) talla; b) peso; c) altura del trocánter (Tr), distancia desde el suelo hasta el trocánter de la pierna dominante. Se diferenciaron dos

grupos por talla (altos y bajos) y dos por Tr (trocanter alto –TrA - y trocanter bajo – TrB-). Los grupos se diferenciaron realizando la media de las diferentes alturas y agrupándolos, según superaban o no, la media.

Tratamiento estadístico: Se utilizó la Hoja de Cálculo Excel-XP, para el registro de los datos y la confección de los gráficos. Se realizó medias, desviación típica, anovas de medidas repetidas y análisis de correlación mediante el programa estadístico SPSS 10.0.

RESULTADOS

Se realizó un anova de medidas repetidas del total de sujetos entre las variables de L, f, TC y TV en cada velocidad (Gráfica 1) encontrando que el TC disminuye con el aumento de la velocidad ($p < 0.001$), mientras que el TV disminuye a partir de los 6 m/s ($p < 0.001$). La f aumenta en todas las velocidades ($p < 0.001$), mientras que se observa un plateau en la longitud, donde sólo se da diferencias en las velocidades inferiores a 7m/s ($p < 0.001$).



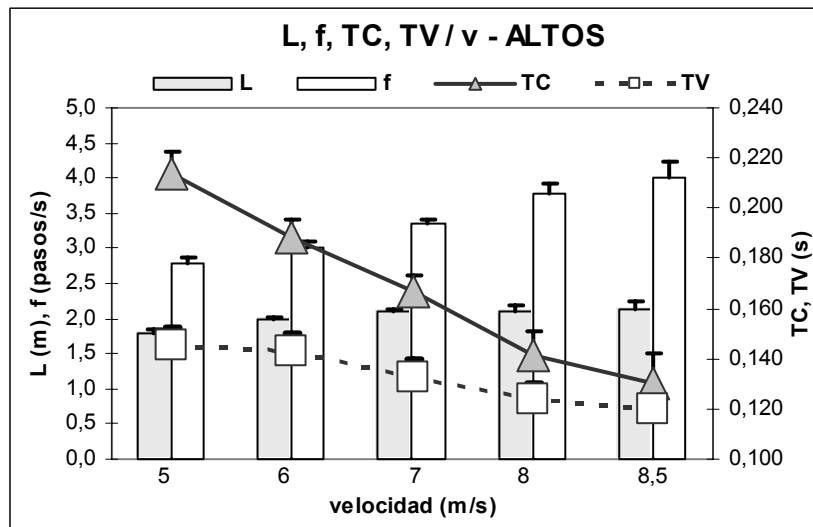
Gráfica 1: Comportamiento de las variables en todas las velocidades en los 15 sujetos.

Se realizó un análisis de correlaciones entre las variables de estudio (en todas las velocidades), la talla de los sujetos y la Tr (distancia entre el trocanter y el suelo) para ver cual de las dos variables tenía mayor relación con los datos obtenidos. Este análisis mostró que la altura correlacionaba mejor, por lo que, a partir de ahí se estimó centrar el estudio atendiendo a la talla de los sujetos.

Tabla 1: Correlaciones entre la talla y Tr con las TC,TV, f,L en todas las velocidades.
Nivel de significación: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, y *** $p < 0.001$

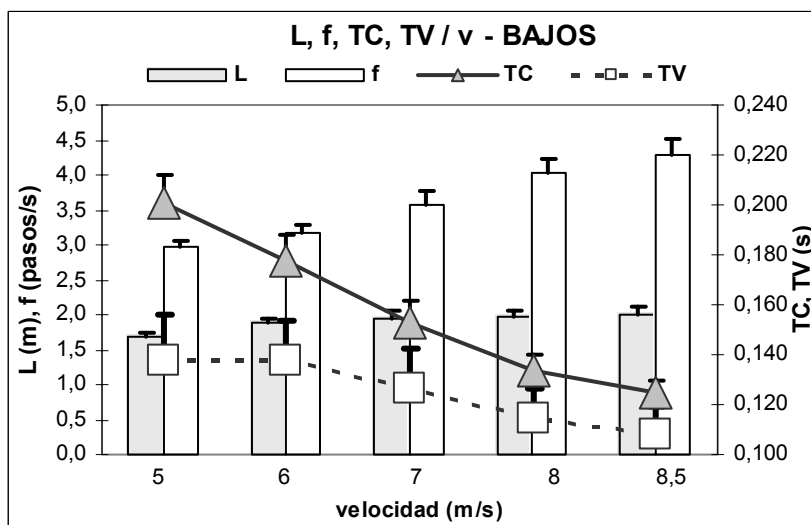
		TC 5	TC 6	TC 7	TC 8	TC 8,5	TV 5	TV 6	TV 7	TV 8	TV 8,5
TALL	R ²	0,491	0,617	0,680	0,649	0,689	0,344	0,055	0,151	0,365	0,466
	Sig.	,032*	,007**	,003**	,004**	,002**	,105	,423	,295	,091	,040*
Tr	R ²	0,547	0,572	0,673	0,694	0,649	0,129	-0,041	-0,019	0,044	0,108
	Sig.	,017*	,013*	,003**	,002**	,004**	,323	,442	,474	,438	,350
		L 5	L 6	L 7	L 8	L 8,5	f 5	f 6	f 7	f 8	f 8,5
TALL	R ²	0,766	0,586	0,612	0,757	0,772	-0,771	-0,586	-0,605	-0,742	-0,791
	Sig.	0***	,011*	,008**	,001**	0***	0***	,011*	,008**	,001**	0***
Tr	R ²	0,568	0,437	0,438	0,474	0,467	-0,574	-0,424	-0,428	-0,484	-0,480
	Sig.	0,014*	0,052	0,051	0,037*	0,040*	0,013*	0,058	0,056	0,034*	0,035*

Para ver si la altura de los sujetos modificaban los parámetros de comportamiento de las variables de estudio, se dividió el total de sujetos en dos grupos, según su talla (altos y bajos). La media de los altos era $1,85 \pm 0,063$ m, y los bajos $1,74 \pm 0,030$ m. Los sujetos altos mostraban en el TC diferencias en todas las velocidades entre 5 y 8 m/s ($p < 0,01$) mientras que a máxima velocidad (8,5 m/s) la diferencia era significativa a $p < 0,05$. El TV se comporta de manera desigual, no encontrándose diferencias entre las velocidades 5 - 6 m/s y 7 - 8 m/s, mientras que si se dan estas diferencias entre 6 - 7 m/s y 8 - 8,5 m/s ($p < 0,05$). La f muestra diferencias entre todas las velocidades ($p < 0,01$). La L muestra diferencia a las velocidades más bajas 5-6 y 6 -7 m/s ($p < 0,01$), encontrándose un plateau a partir de 7 m/s, en donde a partir de esta velocidad la longitud no aumenta significativamente (Gráfica 2).



Gráfica 2: Comportamiento de las variables en todas las velocidades en sujetos altos.

Los bajos presentaban diferencias en todas las velocidades en el TC, con una significación en las diferencias de $p < 0,001$ entre las velocidades inferiores a 8 m/s y un $p < 0,01$ entre 8 - 8,5 m/s. El TV no mostró diferencias significativas entre las velocidades 5 -6 m/s y 8 - 8,5 m/s, dándose estas diferencias entre 6 -7 y 7 - 8 m/s ($p < 0,01$). La diferencia de f es significativa entre todas las velocidades ($p < 0,01$). La L presenta un plateau a 6 m/s, es decir entre 5 - 6 m/s se da una diferencia significativa de $p < 0,01$, y es a partir de esta velocidad donde no se dan diferencias significativas (Gráfica 3).



Gráfica 3: Comportamiento de las variables en todas las velocidades en sujetos bajos.

Las diferencias que muestran los resultados entre los altos y los bajos reflejan que en todas las velocidades, los bajos tienen un TC menor, mientras que el TV se comporta de manera diferente, siendo mayor en los altos. Los bajos tienen una media de f mayor que los altos en las velocidades medidas. En la L se sitúa el plateau a una velocidad diferente entre los grupos, estableciéndose a 6 m/s para los bajos y 7 m/s para los altos. La tabla 2 refleja una mayor correlación de f y L con los sujetos de menor talla, encontrándose relaciones significativas en todas las velocidades menos en 8 m/s, aunque presenta un nivel muy próximo a la significatividad, ocurriendo lo mismo con la frecuencia.

Tabla 2: Correlaciones entre la talla de altos y bajos, f y L en todas las velocidades.
Nivel de significación: *p<0.05, **p<0.01, y ***p<0.001

TALLA ALTOS N= 7										
	L 5	L 6	L 7	L 8	L 8,5	f 5	f 6	f 7	f 8	f 8,5
R ²	0,408	-0,157	-0,083	0,674	0,752	-0,459	0,172	0,123	-0,630	-0,742
p<	0,182	0,368	0,430	0,048*	0,025*	0,150	0,356	0,396	0,065	0,028*

TALLA BAJOS N= 8										
	L 5	L 6	L 7	L 8	L 8,5	f 5	f 6	f 7	f 8	f 8,5
R ²	0,857	0,685	0,656	0,601	0,805	-0,863	-0,695	-0,678	-0,597	-0,709
p<	0,003**	0,030*	0,039*	0,057	0,008**	0,003**	0,028*	0,032*	0,059	0,024*

DISCUSION

Una vez analizados los resultados se observa que hay una relación directa entre el aumento de la velocidad y el aumento de la longitud de paso y la frecuencia, llegando a una determinada velocidad donde la longitud de paso ya no aumenta, mientras se sigue dando un aumento de ésta por medio del incremento de la frecuencia, coincidiendo esto con diversos estudios (Cavangh & Kram, 1985; Dillman, 1975; Hogberg, 1952).

Sin embargo, a diferencia de lo manifestado por Cavangh & Kram (1985) que indican que este plateau (no incremento) de la longitud de paso se produce a la velocidad de 6 m/s con una amplitud de 1,90 m, en el presente estudio encontramos, que si bien esto es cierto para unos determinados sujetos, los que hemos denominado bajos, no lo es para el grupo de los sujetos altos. En estos, la velocidad donde se manifiesta el plateau de la longitud de paso es de 7m/s con una amplitud de 2,1 m. Estos resultados indican que este plateau está muy condicionado por la talla de los sujetos y que, en consonancia con lo manifestado por Pieron (en García Manso et al, 1998), es necesario para la consecución del desarrollo de la máxima velocidad tener en cuenta las características antropométricas, del sujeto.

Los resultados muestran que en los sujetos bajos, la frecuencia es mayor en todas las velocidades, no llegando a un plateau en las analizadas en este estudio. La frecuencia está más condicionada por la duración del tiempo de contacto que el tiempo de vuelo, ya que al aumentar ésta, la disminución que se da en el tiempo de contacto al aumentar la velocidad es mayor que la del tiempo de vuelo. La duración del tiempo de contacto, puede estar determinada por aspectos de la técnica de carrera y/o factores antropométricos. El hecho de que los sujetos de estudio, no practican el atletismo, por lo tanto no trabajan específicamente la técnica de carrera, induce a pensar que la disminución del tiempo de contacto viene determinada por características antropométricas, como el peso corporal. Un menor peso corporal conlleva que, a igual nivel de fuerza desarrollada, sea necesario menor tiempo de aplicación de la misma. Esto se traduce durante la carrera en un menor tiempo de contacto. Por tanto, el aumento de la fuerza es un factor importante para el aumento de la velocidad.

Hoffman (1964), encontró con atletas de alto nivel una alta correlación entre amplitud de paso y la talla del sujeto, y una correlación más alta entre amplitud y la longitud del miembro inferior. En nuestro estudio con sujetos amateur, hemos encontrado una alta correlación entre amplitud de paso y la talla, mientras que la amplitud y la longitud del miembro inferior mostraban una correlación muy baja. Indicando que el factor de la longitud del miembro

inferior puede estar más condicionado por factores como la especialización o la técnica de carrera que por la talla.

En conclusión un aspecto que hay que tener en cuenta a la hora de desarrollar la máxima velocidad, en sujetos amateurs, hay que tener en cuenta que según su talla llegará a un plateau de longitud de paso diferente. Independientemente de la talla, los sujetos amateurs no muestran un plateau de frecuencia en velocidades entre 5 y 8,5 m/s. El tiempo de contacto es menor en los sujetos bajos en todas las velocidades analizadas en este estudio. Sería interesante plantear estudios donde las velocidades estudiadas fueran más elevadas y con sujetos cuyas estaturas estuvieran más diferenciadas, con el objetivo de observar el comportamiento de los mismos parámetros aquí estudiados.

BIBLIOGRAFÍA

Cavanagh, P. R. & Kram, R. (1985) The efficiency of human movement: a statement of the problem. *Med. Sci. Sport Exerc.* 17: 304-308.

Cavanagh, P.R., Pollock, M.L. & Landa, J. (1977) Biomechanical comparison of elite and good distance runners. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 301:328-345.

Dillman, C.J. (1975) Kinematic analysis of running. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 3:193-218.

García Manso, J.M.; Navarro Valdivielso, M.; Ruiz Caballero, J.A. & Martín Acero, R. (1998) *La velocidad*. Gymnos. Madrid.

Hoffman, K.(1964) Stature, leg length, and stride frequency. *Track Technique* 48: 1522-1524.

Hogberg, P. (1952) How do stride length and stride frequency influence the energy-output during running. *Arbeitsphysiologie* 14:437-441.

McArdle, W. D; Katch, F. I. & Katch, V. L. (1998) *Fisiologia Applicata allo Sport. Aspetti energetico, nutrizionale e performance*. C. E. A. Milano.

Pascua, M. (1991) *Carreras de velocidad*. Atletismo 1. Carreras y marcha. COE. Madrid.

Plyley, M. J., Thudus, P.M. & Pierrynowsky, M.R. (1985) The effect of stride frequency variation on oxygen uptake during downhill running. *Can. J. Appl. Sport Sci.* 10: 25p.

Seagrave, L. (1996) *La velocidad desde el punto de vista de un entrenador americano*. En *Desarrollo de la velocidad*. Congreso EACA 1996. Cuadernos de Atletismo. RFEA. Madrid.

Williams, K.R. (1985) Biomechanics of running. *Exerc Sport Sci. Rev* 13: 389-441.