

Frecuencia de zancada durante la carrera de resistencia en tapiz rodante y al aire libre Stride frequency patterns during both treadmill and outdoor running in endurance runners

Unai Miqueleiz, Miriam Cabello-Olmo, Roberto Aguado-Jimenez
Universidad Pública de Navarra (España)

Resumen. Los objetivos fueron i) estudiar la concordancia entre un reloj deportivo (Suunto Ambit2) y un sistema fotoeléctrico (Optogait) como instrumento referencia para medir la frecuencia de zancada (FZ) y la longitud de zancada (LZ); ii) observar las FZ y LZ durante la carrera al aire libre; y iii) analizar el efecto de la manipulación de la FZ en la economía de carrera monitorizada por un analizador de gases en función de las FZ encontradas en el análisis observacional. Ciento-sesenta corredores fueron analizados entre 8-14 km·h⁻¹. El dispositivo Suunto Ambit2 concordó con el sistema de referencia en la medición de la FZ y la LZ [$r=0.99$ (0.99-1.00); Error Típico de la Estimación=0.58 zancadas·min⁻¹ y 0.02m]. Los corredores mantuvieron una FZ constante [Coeficiente de Variación (CV)=2.4%] aun cuando hubo variaciones en la velocidad (CV=6.8%), y dependieron de la LZ (CV=6.5%) durante las carreras al aire libre. Por último, los corredores mantuvieron un bajo coste de carrera con su FZ autoseleccionada (media=81.3 zancadas·min⁻¹), aunque un incremento hasta el 12% podría ser beneficioso cuando la velocidad varía sin detrimento en el coste de carrera.

Palabras clave: Cadencia, Economía de Carrera, Velocidad, Exterior

Abstract. This study aimed i) to study the agreement between a sports watch (Suunto Ambit2) with a photoelectric device (Optogait) as a reference instrument on measuring stride frequencies (SF) and stride lengths (SL); ii) to observe the stride patterns during outdoor running; and iii) to analyse the effect of SF manipulations on running economy monitored by a gas analyser and based on the observational analysis. One hundred and sixty recreational runners were analysed at speeds between 8-14 km·h⁻¹. The Suunto Ambit2 agreed with the reference system [$r=0.99$ (0.99-1.00); Typical Error of the Estimate=0.58 strides·min⁻¹ and 0.02m]. Runners tended to maintain SF constant [Coefficient of Variation (CV)=2.4%] during variations in speed (CV=6.8%) while relied on SL (CV=6.5%) adjustments during outdoor running. Finally, runners seemed to maintain a low running cost with their auto-selected SF (average=81.3 strides·min⁻¹), but an increase of up to 12% could be benefit when speed changes, without running cost detriment.

Key words: Cadence, Running Economy, Velocity, Outdoor

Fecha recepción: 12-02-23. Fecha de aceptación: 13-05-24

Unai Miqueleiz

unaimiqueleiz@gmail.com

Introducción

La popularidad de la carrera ha aumentado en la última década debido a los beneficios en la salud y sociales (Lee et al., 2017). La economía de carrera, expresada como la demanda de energía para una velocidad determinada, es elemental en el desarrollo de la carrera (Alonso, 2003; Fletcher et al., 2009) y podría estar influida por el género, la experiencia del corredor, y por variables biomecánicas como la frecuencia de zancada (FZ), entre otras (de Ruiten et al., 2013; Fletcher et al., 2009). El entrenamiento para modificar la técnica de carrera como la modificación de la anchura de zancada, la longitud de zancada (LZ), o la manipulación de la FZ son estrategias sugeridas para mejorar la economía de carrera, provocando beneficios biomecánicos y reduciendo las lesiones relacionadas con el running (Barton et al., 2016; Soidán & Giráldez, 2003). La FZ se define como el número de zancadas por minuto (zancadas·minuto⁻¹), la LZ (m) se calcula mediante la fórmula “velocidad·SF⁻¹”, y por tanto la velocidad de carrera está determinada por el producto entre FZ y LZ (Van Oeveren et al., 2017).

Cuando la velocidad es constante, estudios previos mostraron una relación en forma de “U” entre la FZ y la LZ con respecto al coste energético en la carrera de resistencia, expresado tanto como consumo de oxígeno (Cavanagh & Williams, 1982; de Ruiten et al., 2013) como frecuencia cardíaca (Amano et al., 2016; van Oeveren et al., 2017). Cuanto más cerca la FZ (o LZ) de la parte baja de la “U”, menor será el coste energético. Los corredores recreacionales parecen estar ligeramente alejados de este punto óptimo

(de Ruiten et al., 2013). Estudios previos han tratado de manipular la FZ entre un 5-10% sobre la FZ preferida (FZP), autoseleccionada por el corredor, para lograr una mejor economía de carrera (Amano et al., 2016; Heiderscheit et al., 2011). Sin embargo, estos estudios tienen la limitación de realizar los análisis en tapiz rodante a velocidad constante. Desde la recomendación tradicional de correr a 90 zancadas·min⁻¹ en carreras de larga distancia (Daniels, 2005), hasta la recomendación actual de correr a 83-85 zancadas·min⁻¹ (de Ruiten et al., 2013; van Oeveren et al., 2017), la sugerencia general de incrementar la FZ ha ido destinada a los corredores recreacionales, aquellos que no entrenan/compiten de forma sistemática, que corran habitualmente entre 8-14 km·h⁻¹, dado que en este rango de velocidades la FZ no parece cambiar significativamente (Mercer et al., 2008; Weyand et al., 2000). Sin embargo, en los extremos de la curva con forma de “U” que relaciona las variables de zancada y la economía de carrera, ésta última disminuye cuando la variación en la FZ es igual o superior al 20% de la FZP (Cavanagh & Williams, 1982; Hunter & Smith, 2007). La mayoría de los estudios han analizado la FZ y/o la LZ durante la carrera a velocidades constantes (Heiderscheit et al., 2011; Hobara et al., 2012). Como alternativa, la tecnología portátil como relojes deportivos permiten trasladar la investigación del laboratorio a entornos de entrenamiento (García et al., 2019; van Oeveren et al., 2019). Sólo un estudio, como precedente, ha estudiado la relación real entre la FZ y la velocidad durante la carrera en el entorno de entrenamiento, fuera del laboratorio (van Oeveren et al., 2019), teniendo en cuenta que el entorno

natural implica una velocidad de carrera que podría no ser constante. Este grupo de investigación estudió factores que explicaran las diferencias en la FZ entre individuos, a diferencia del presente estudio el cual trató de describir novedosamente las diferencias en los parámetros de zancada entre correr en un tapiz rodante o correr fuera al aire libre, y cómo el conocimiento obtenido en la modificación de la FZ para buscar una frecuencia óptima se podría trasladar recíprocamente fuera del laboratorio tras analizar carreras que habitualmente no son a velocidad constante. Por tanto, los objetivos de este estudio fueron i) analizar la concordancia de un reloj deportivo que mide la FZ y la LZ con respecto a un instrumento de referencia; ii) observar los parámetros de FZ y LZ durante carreras fuera del laboratorio en entornos naturales (velocidad no constante); y iii) analizar el efecto de la manipulación en la FZ en la economía de carrera.

Material y Métodos

Este estudio consistió en tres secciones separadas pero complementarias. Corredores recreacionales que corrieran habitualmente un mínimo de 2-3 días/semana durante el último año fueron analizados. Los corredores debían llevar su calzado propio de entrenamiento, y evitar entrenamiento intenso las 24h previas al análisis. El estudio fue aprobado por el Comité Institucional de Evaluación de Ética para los Estudios Clínicos (PI/012-20) en acuerdo con la Declaración de Helsinki. La primera sección trató de analizar la concordancia entre el instrumento usado a lo largo del estudio con respecto a un sistema de referencia: un reloj deportivo (Ambit2, Suunto Oy, Vantaa, Finland) fue confrontado con un sistema fotoeléctrico montado a lo largo del tapiz rodante (2m) como gold standard (OptoGait, Microgate, Bolzano, Italy) para medir la FZ y la LZ. La segunda sección trató de analizar los patrones de FZ durante la carrera en un entorno al aire libre. Los patrones de FZ fueron analizados con el reloj deportivo a través de la web de Suunto. La tercera sección trató de analizar el efecto de la manipulación en la FZ (manipulada mediante un metrónomo digital) en la economía de carrera, expresada como coste calórico (Fletcher et al., 2009; Shaw et al., 2014).

Sección I: Concordancia entre instrumentos

Catorce corredores hombres fueron analizados en esta sección (32.3 ± 10.6 años; 58.1 ± 9.2 kg; 174.8 ± 7.7 cm). Después de realizar un calentamiento estandarizado de carrera en tapiz rodante a $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, los corredores realizaron un test incremental que consistió en tres bloques de 2-min corriendo a 8, 12 y $14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, separados por 1-min de descanso.

Sección II: Observación

Cien corredores hombres fueron analizados en sus entornos de entrenamiento (35.9 ± 6.3 años; 68.1 ± 7.2 kg;

177.1 ± 5.5 cm). Se buscaron corredores cuyo entrenamiento durara en torno a una hora (60 ± 0.3 min), que la velocidad promedio estuviera comprendida entre $8-14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ($10.1 \pm 0.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), una pendiente máxima del 3%, y sin paradas durante el entrenamiento. Además, la diferencia de los patrones de FZ y LZ entre la carrera a $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y $14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ fueron analizados. Estos valores analizados en exterior fueron extraídos de la media de esos parámetros de aquellos corredores que en algún momento de la carrera alcanzaron un mínimo de 5-min a dichas velocidades ($n=76$).

Sección III: Experimentación

Dieciséis corredores hombres fueron analizados en esta sección (24.8 ± 6.7 años; 70.6 ± 9.3 kg; 180.3 ± 8.9 cm). Los tests fueron desarrollados en dos días de dos semanas consecutivas. El primer día, la FZP fue establecida a partir del último minuto de los 5-min del calentamiento estandarizado ($10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Esta velocidad fue elegida para determinar la FZP dado que en la sección observacional la velocidad media de los corredores al aire libre fue la misma. A partir de la FZP y 3-min después del calentamiento, el primer día la FZ fue incrementada o disminuida 10 zancadas $\cdot\text{min}^{-1}$ ($FZP \pm 10$, de manera aleatoria) durante 5-min de carrera a la misma velocidad. El siguiente día, la otra modificación fue realizada. Esta manipulación absoluta en la FZ fue elegida debido al rango de FZs encontrado en la sección observacional entre $8-14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$: 83.4 zancadas $\cdot\text{min}^{-1}$ (rango: $73.2-93.8$; cambio relativo del 12%). Estas tres combinaciones fueron comparadas.

Análisis y procesamiento de los datos

La FZ (zancadas $\cdot\text{min}^{-1}$) y la LZ (m) a partir del reloj deportivo (1Hz) fueron obtenidos a través de la web de Suunto y analizando cada minuto de carrera de cada individuo (~ 7200 minutos analizados). La velocidad y el desnivel fueron obtenidos con precisión a través del sistema FusedSpeed TM (combinación del GPS y la aceleración de la muñeca), de acuerdo con el fabricante. La FZ y la LZ a partir del sistema Optogait (1000Hz) se obtuvieron a través del correspondiente software (Microgate, Bolzano, Italy) durante el último minuto de la carrera en tapiz rodante. La manipulación en la FZ fue realizada mediante el metrónomo digital (Real Rhythm Detector, Gismart, UK), como ya realizaran estudios previos (Hobara et al., 2007; Hunter & Smith, 2007; Snyder et al., 2012; Snyder and Farley, 2011). El consumo de oxígeno ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) fue medido a través de un sistema de analizador de gases (Vacumed Mini-CPX Ventura, California, USA) a partir del último minuto de cada estadio de la carrera. La economía de carrera fue medida por medio del estado estable del oxígeno a $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. El promedio del ratio de intercambio respiratorio (RER) del último minuto fue usado para calcular el equivalente calórico con consumo de oxígeno ($\text{kcal}/\text{l O}_2$) y éste, a su vez, fue usado para calcular el coste calórico ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) (Fletcher et al., 2009; Shaw et al., 2014). Los tests se realizaron en un tapiz rodante (HP Cosmos, Nußdorf, Germany) con una inclinación del 1% y en un laboratorio bajo

condiciones controladas (20°C; 28% de humedad relativa).

Análisis estadístico

El análisis descriptivo fue reportado como media ± desviación estándar (SD). Se realizó un análisis de normalidad y de homogeneidad de varianzas usando los tests de Shapiro-Wilk y de Levene. La concordancia fue analizada usando los gráficos Bland-Altman con el 95% de límite de concordancia (LoA; diferencia media de los dos métodos ±1.96 SD), el coeficiente de correlación de Pearson (r) y el 95% de intervalo de confianza (CI), y el error típico de la estimación (TEE; la magnitud del error relativo al sistema OptoGait). El test de la t de Student se realizó para detectar la existencia de sesgo sistemático entre instrumentos, así como para analizar diferencias en la manipulación de la FZ en la sección experimental. El criterio para interpretar el nivel de correlación fue >0.90, *casi perfecto* (Hopkins et al., 2009). El tamaño del efecto (d) se calculó mediante la diferencia entre las medidas y dividido por la SD, y cuyos umbrales se inter-

pretaron como *trivial* (<0.20), *pequeño* (0.20-0.59), *moderado* (0.60-1.19), *grande* (1.2-1.99) y *muy grande* (≥2.0) (Cohen, 1962). El coeficiente de variación (CV) se calculó mediante la fórmula (SD/media)*100. La significancia se estableció con una $p < 0.05$. El análisis estadístico se realizó mediante el software SPSS versión 20.0 (SPSS Inc. Chicago, USA).

Resultados

Sección I: Concordancia entre instrumentos

La correlación de Pearson mostró una correlación *casi perfecta* entre el sistema OptoGait y el Suunto Ambit2 en la medición de la FZ: 0.99 (0.99-1.00), $p < 0.001$; Error Típico de la Estimación = 0.58 zancadas·min⁻¹, y de la LZ: 0.99 (0.99-1.00), $p < 0.001$; Error típico de la estimación = 0.02m. No fue encontrado sesgo sistemático con respecto al reloj deportivo en ninguna variable (diferencia media: -0.04 zancadas·min⁻¹ y -0.03m, respectivamente, $p > 0.05$) (Figura 1).

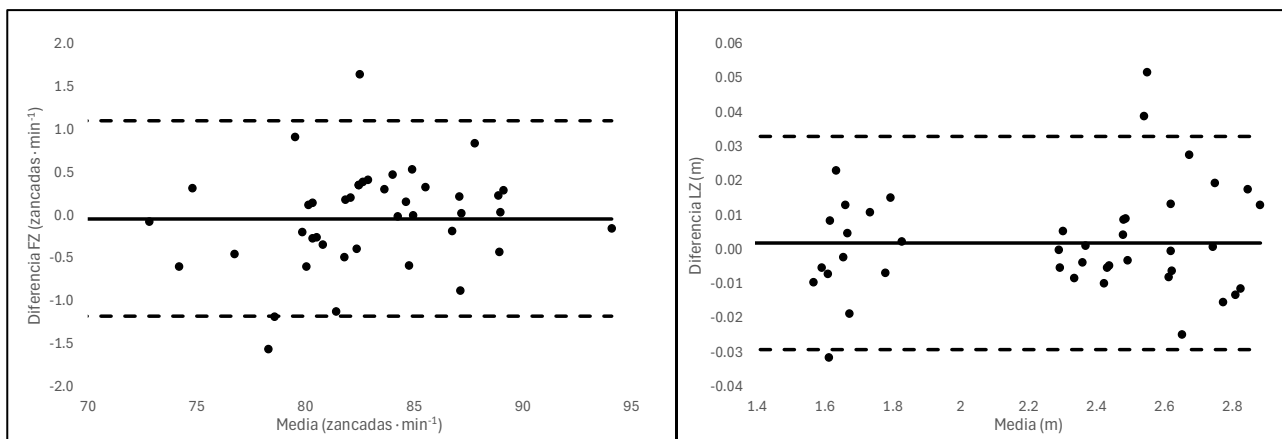


Figura 1. Gráfico Bland-Altman comparando las diferencias entre el sistema OptoGait y el reloj deportivo en frecuencia de zancada (FZ, izquierda) y longitud de zancada (LZ, derecha). Las líneas negras representan el sesgo medio de las medidas entre instrumentos. Las líneas punteadas representan los límites de concordancia al 95%.

Sección II: Observación

Los corredores tendieron a depender de su LZ pero no de su FZ cuando la velocidad incrementó corriendo al aire libre. El aumento en la FZ fue del 5% ($p < 0.01$; $d = 0.92$; *moderado*) y en la LZ del 32% ($p < 0.001$; $d = 5.85$; *muy grande*) (Tabla 1).

Tabla 1

Media ± desviación estándar (SD) e intervalo de confianza (CI) de los patrones de frecuencia de zancada (FZ) y longitud de zancada (LZ) entre 8 y 14 km·h⁻¹ corriendo al aire libre.

	FZ 8 km·h ⁻¹	FZ 14 km·h ⁻¹	Δ_{8-14} (%)	LZ 8 km·h ⁻¹	LZ 14 km·h ⁻¹	Δ_{8-14} (%)
Media ± SD	80.8 ± 3.4	85.0 ± 5.5	4.9	1.87 ± 0.09	2.74 ± 0.19	31.8
95% CI	(80.6-81.0)	(84.4-85.7)		(1.86-1.87)	(2.72-2.76)	

Cuando las variaciones individuales en velocidad, FZ, y LZ durante la carrera en exterior se expresaron en porcentajes (CV%) durante los 60 minutos de carrera, los corredores tendieron a mantener estable la FZ (CV medio: 2.4%;

rango 0.8%-4.8%) pero ajustaron la LZ [6.5% (2.7%-17.0%)] para adaptarse a las velocidades no constantes [6.8% (2.3%-18.8%)].

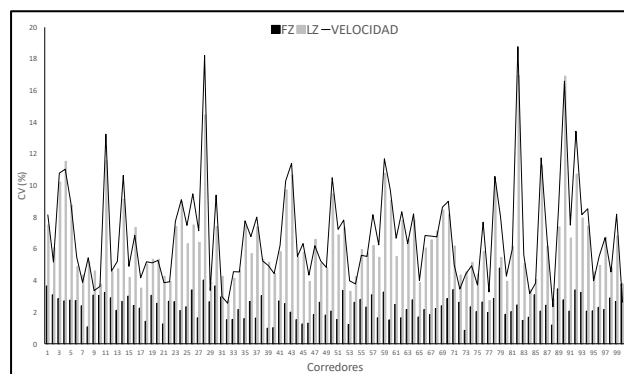


Figura 2. Variabilidad individual (CV%) en la velocidad, la frecuencia de zancada (SF) y la longitud de zancada (SL) durante los 60 minutos de carrera. Cada barra vertical indica un corredor (n=100).

Sección III: Experimentación

El promedio de la FZP encontrado fue de 81.3 ± 3.8 zancadas \cdot min^{-1} . La manipulación absoluta de 10 zancadas \cdot min^{-1} correspondió a un cambio relativo del $12.3 \pm 0.5\%$. Una menor FZ (FZP-10) significativamente mostró un aumento en el coste calórico (1.19 ± 0.14 vs. 1.38 ± 0.13 kcal \cdot $\text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$; $p < 0.001$; $d = 1.41$; *grande*). Al contrario, no hubo diferencias significativas entre correr con la FZP y mayores FZ (FZP+10) (1.19 ± 0.14 vs. 1.22 ± 0.14 kcal \cdot $\text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$; $p = 0.19$; $d = 0.21$; *pequeño*). Comparando ambas manipulaciones, FZP+10 significativamente mostró un menor coste de carrera que FZP-10 ($p < 0.001$; $d = 1.18$; *moderado*) (Figura 3).

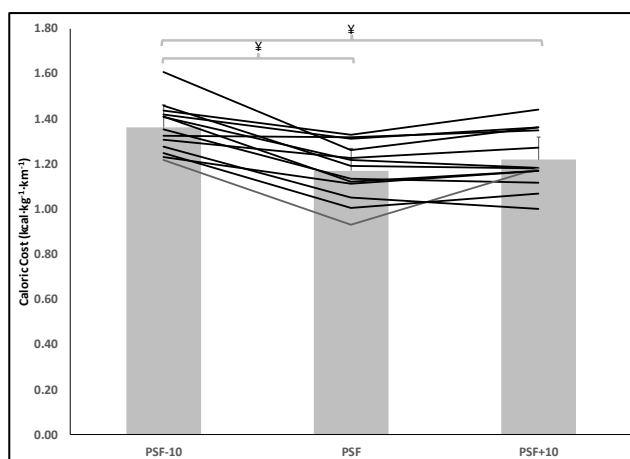


Figura 3. Media \pm desviación estándar (SD) del coste calórico comparando la frecuencia de zancada preferida (FZP) y las modificaciones FZP-10 y FZP+10. Cada línea negra corresponde con los valores de cada corredor. Diferencias significativas: ¥ $p < 0.001$

Discusión

Los resultados principales de este estudio fueron que i) el reloj deportivo (Suunto Ambit2) mostró concordancia con respecto al sistema de referencia para medir parámetros de zancada; ii) los corredores mantuvieron un patrón de FZ similar ($\text{CV} < 7.1\%$) durante la carrera en exterior a velocidades comprendidas entre $8-14$ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, mientras que la LZ varió (CV hasta un 45%) para ajustarse a las velocidades no constantes de la carrera; y iii) para una velocidad determinada, los corredores pueden con seguridad mantener o incrementar, pero no disminuir (equivalente a aumentar la LZ), 10 zancadas \cdot min^{-1} ($\sim 12\%$) su FZP sin incrementar el coste calórico, siendo recomendable que en carreras comprendidas entre $8-14$ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, el corredor se ajustara a la velocidad dependiendo de la FZ y no de la LZ.

Una alta concordancia fue obtenida entre el reloj deportivo, instrumento utilizado a lo largo del estudio, y el sistema de referencia, con errores de estimación menores al 1% . Resultados similares fueron encontrados en previos estudios comparando patrones de zancada entre relojes deportivos (Adams et al., 2016) con respecto a sistemas de referencia como cámaras de alta velocidad. Con respecto al análisis observacional, los corredores ajustaron sus patrones

de zancada a pesar de los cambios en la velocidad manteniendo una FZ similar, pero modificando la LZ corriendo tanto en tapiz rodante como al aire libre. Debe ser advertido que unas condiciones climatológicas extremas corriendo en exterior podrían provocar una variabilidad en la velocidad media de carrera de hasta 1.4 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ (Witte & Wilson, 2004). Por ello, en este estudio se examinaron carreras cuya velocidad media tuviera una desviación estándar máxima de ± 0.4 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ como en anteriores estudios (van Oeveren et al., 2019), disponiendo de un gran número de carreras lo más homogéneas posibles. Los corredores podrían preferentemente elegir entre modificar la FZ o la LZ para modificar la velocidad (Patoz et al., 2020). Sin embargo, en este estudio se encontró una dependencia de la LZ, manteniendo la FZ constante tanto en tapiz ($\text{CV} < 7.1\%$) como en exterior ($\text{CV} < 5\%$) a las velocidades analizadas en este estudio ($8-14$ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) (Tabla 1 y Figura 2). Resultados similares fueron encontrados en estudios previos, en los que existiría una dependencia de la LZ a velocidades bajas, siendo la FZ clave para alcanzar velocidades superiores (Brughelli et al., 2011; Cavanagh & Kram, 1989; Nummela et al., 2007). Sin embargo, ninguno de esos estudios se realizó en exterior. Este estudio realizó de manera novedosa un análisis de los patrones de zancada tanto durante velocidades constantes como no-constantes, lo cual ofrece un conocimiento realista de aquello que estudiado en laboratorio puede ser transferido al exterior, lugar de entrenamiento más habitual que un tapiz rodante.

Con respecto a la sección experimental, los corredores mostraron similares FZP (83 zancadas \cdot min^{-1}) que otros corredores a velocidades similares (de Ruiten et al., 2020; dos Santos et al., 2016; Lenhart et al., 2014). Desde una perspectiva general, los corredores podrían incrementar su FZP hasta cierto punto en el cual, el coste de carrera no incrementara significativamente (Mercer et al., 2008), pero con los beneficios biomecánicos que parecen ir asociados (dos Santos et al., 2016; Heiderscheit et al., 2011; Lenhart et al., 2014). Estos cambios positivos parecen estar asociados a menores lesiones relacionadas con la carrera (Cheung & Davis, 2011; Noehren et al., 2011). En esta sección, se optó por una manipulación absoluta de la FZ como en estudios previos (Lieberman et al., 2015; Quinn et al., 2019; van Oeveren et al., 2017), pero realizando un análisis traslacional, forzando al corredor a modificar su FZP con FZs observadas en corredores de este estudio durante carreras en exterior. Esta manipulación absoluta (± 10 zancadas \cdot min^{-1}) correspondió a un promedio del 12% de cambio relativo. Aunque la mayoría de los estudios han usado modificaciones relativas de la FZ, considerando las $81-83$ zancadas \cdot min^{-1} de FZP encontradas en los apartados y experimental y observacional, respectivamente, un cambio del 12% significaría un cambio a unas 90 zancadas \cdot min^{-1} tradicionalmente recomendadas (Daniels, 2005). Sin embargo, un estudio previo mostró que la FZ óptima a estas velocidades estaría próxima a 83 zancadas \cdot min^{-1} para corredores recreacionales (van Oeveren et al., 2017), FZ que coincide con la encontrada en los corredores de este estudio. Esto podría significar que

no sólo los corredores experimentados corren con una FZP próxima a la óptima (de Ruiters et al., 2013), sino que los corredores recreacionales también parecen auto-ajustar sus FZP a las más óptimas (Hunter et al., 2017; Moore et al., 2019; Schubert et al., 2014). Además, podría también significar que lo concluido en estudios realizados en tapiz rodante podría no ser transferido a carreras en exterior, dado que se asume que la velocidad en exterior es constante, cuando la mayoría de las veces no lo es (debido a desniveles, fatiga...). Sin embargo, a raíz de los resultados obtenidos en este estudio, una estrategia para mejorar la economía de carrera a velocidades comprendidas entre 8-14 km·h⁻¹ podría ser solapar los cambios en la velocidad con cambios en la FZ (y no en la LZ), al menos hasta un 12% de aumento, lo cual equivaldría hasta cinco veces la variación en la FZ encontrada en los corredores en exterior.

Entre las limitaciones del estudio encontramos: (i) Los corredores eran recreacionales, (ii) hombres, y (iii) las velocidades analizadas comprendieron de 8 a 14 km·h⁻¹. Por tanto, debe tomarse precaución al extrapolar estos resultados a muestras y velocidades diferentes. Además, (iv) no se estandarizó el calzado deportivo ni los terrenos en las carreras al aire libre. Sería interesante en el futuro replicar este estudio en unas condiciones al aire libre más controladas y a velocidades superiores que las seleccionadas en este estudio, dado que 14 km·h⁻¹ (ritmo de 4.17 min.km-1) podría ser una velocidad habitual de rodaje en corredores más experimentados, pero por debajo de ritmos de competición (Santos-Concejero et al., 2013).

Conclusiones

En conclusión, la FZ (y no la LZ) debería ganar relevancia durante la carrera a velocidades comprendidas entre 8-14 km·h⁻¹. con independencia de que la velocidad sea constante o variable en corriendo en exterior. En promedio, un incremento del 12% en la FZ parece ser beneficioso en término de economía de carrera, considerando que los corredores recreacionales ya parecen correr con una FZ cerca de la considerada óptima en la literatura, y que un corredor de la muestra de este estudio durante su entrenamiento de 60-min parece modificar su velocidad de media cerca de un 7% y hasta un 18.8%, lo cual supone una modificación mucho mayor que la máxima encontrada en su FZ (~5%). Como aplicación práctica, sería interesante indicar a los corredores recreacionales que entrenen a las velocidades comprendidas en este estudio, que obtengan durante un entrenamiento determinado su FZ habitual para cada velocidad (8-14 km·h⁻¹). De esta manera, una recomendación práctica será correr a dichas velocidades a la FZ habitual de 14 km·h⁻¹. Esto supondrá una mayor dependencia de la FZ cuando se modifique la velocidad de carrera, una FZ estable, una menor dependencia de la LZ, y por tanto un coste energético menor. Finalmente, la medición de la FZ y la LZ es válida cuando se use un reloj deportivo como el utilizado en el estudio (Suunto Ambit2).

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Adams, D., Pozzi, F., Carroll, A., Rombach, A., & Zeni Jr, J. (2016). Validity and reliability of a commercial fitness watch for measuring running dynamics. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 46(6), 471-476.
- Alonso, D. (2003). La aplicación de los ritmos de carrera en el entrenamiento de la prueba de maratón para la mejora del rendimiento mediante la utilización de las reservas lipolíticas. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 3(9), 1.
- Amano, T., Ishitobi, M., Ogura, Y., Inoue, Y., Koga, S., Nishiyasu, T., & Kondo, N. (2016). Effect of stride frequency on thermoregulatory responses during endurance running in distance runners. *Journal of thermal biology*, 61, 61-66
- Barton, C. J., Bonanno, D. R., Carr, J., Neal, B. S., Malliaras, P., Franklyn-Miller, A., & Menz, H. B. (2016). Running re-training to treat lower limb injuries: a mixed-methods study of current evidence synthesised with expert opinion. *British journal of sports medicine*, 50(9), 513-526.
- Brughelli, M., Cronin, J., & Chaouachi, A. (2011). Effects of running velocity on running kinetics and kinematics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(4), 933-939.
- Cavanagh, P. R., & Kram, R. (1989). Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and added mass effects. *Med Sci Sports Exerc*, 21(4), 467-79.
- Cavanagh, P. R., & Williams, K. R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(1), 30-35.
- Cheung, R. T., & Davis, I. S. (2011). Landing pattern modification to improve patellofemoral pain in runners: a case series. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 41(12), 914-919.
- Cohen, J. (1962). The statistical power of abnormal-social psychological research: a review. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65(3), 145.
- Daniels J. Daniels' Running Formula (2013). 3rd ed. Hanlon T, Marty C, Wolpert T, MacDonald P, editors. Mesa, Arizona: Human Kinetics Publishers, Inc; 320 p.
- De Ruiters, C. J., Verdijk, P. W., Werker, W., Zuidema, M. J., & de Haan, A. (2013). Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners. *European journal of sport science*, 14(3), 251-258.
- De Ruiters, C. J., Van Daal, S., & Van Dieën, J. H. (2020). Individual optimal step frequency during outdoor running. *European journal of sport science*, 20(2), 182-190.
- Dos Santos, A. F., Nakagawa, T. H., Nakashima, G. Y., Maciel, C. D., & Serrão, F. (2016). The effects of forefoot striking, increasing step rate, and forward trunk lean running on trunk and lower limb kinematics and comfort. *International journal of sports medicine*, 37(5), 369-373.
- Fletcher, J. R., Esau, S. P., & MacIntosh, B. R. (2009). Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1918-1922.
- García de Dionisio, S. F., Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., Rojas-Valverde, D., & Pino-Ortega, J. (2020). Slope influence on the trail runner's physical load: a case

- study. *Revista internacional de medicina y ciencias de la actividad física y del deporte*, 20(80), 641-658.
- Heiderscheit, B. C., Chumanov, E. S., Michalski, M. P., Wille, C. M., & Ryan, M. B. (2011). Effects of step rate manipulation on joint mechanics during running. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(2), 296.
- Hobara, H., Kanosue, K., & Suzuki, S. (2007). Changes in muscle activity with increase in leg stiffness during hopping. *Neuroscience letters*, 418(1), 55-59.
- Hobara, H., Sato, T., Sakaguchi, M., & Nakazawa, K. (2012). Step frequency and lower extremity loading during running. *International journal of sports medicine*, 33(04), 310-313.
- Hunter, I., & Smith, G. A. (2007). Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *European journal of applied physiology*, 100(6), 653-661.
- Hunter, I., Lee, K., Ward, J., & Tracy, J. (2017). Self-optimization of stride length among experienced and inexperienced runners. *International journal of exercise science*, 10(3), 446.
- Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3.
- Lee, D. C., Brellenthin, A. G., Thompson, P. D., Sui, X., Lee, I. M., & Lavie, C. J. (2017). Running as a key lifestyle medicine for longevity. *Progress in cardiovascular diseases*, 60(1), 45-55.
- Lenhart, R. L., Thelen, D. G., Wille, C. M., Chumanov, E. S., & Heiderscheit, B. C. (2014). Increasing running step rate reduces patellofemoral joint forces. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(3), 557.
- Lieberman, D. E., Warrenner, A. G., Wang, J., & Castillo, E. R. (2015). Effects of stride frequency and foot position at landing on braking force, hip torque, impact peak force and the metabolic cost of running in humans. *Journal of Experimental Biology*, 218(21), 3406-3414.
- Mercer, J., Dolgan, J., Griffin, J., & Bestwick, A. (2008). The physiological importance of preferred stride frequency during running at different speeds. *Journal of Exercise Physiology Online*, 11(3).
- Moore, I. S., Ashford, K. J., Cross, C., Hope, J., Jones, H. S., & McCarthy-Ryan, M. (2019). Humans optimize ground contact time and leg stiffness to minimize the metabolic cost of running. *Frontiers in sports and active living*, 1, 53.
- Noehren, B., Scholz, J., & Davis, I. (2011). The effect of real-time gait retraining on hip kinematics, pain and function in subjects with patellofemoral pain syndrome. *British journal of sports medicine*, 45(9), 691-696.
- Nummela, A., Keränen, T., & Mikkelsen, L. O. (2007). Factors related to top running speed and economy. *International journal of sports medicine*, 28(08), 655-661.
- Patoz, A., Lussiana, T., Gindre, C., & Mourot, L. (2020). Predicting temporal gait kinematics: anthropometric characteristics and global running pattern matter. *Frontiers in Physiology*, 11.
- Quinn, T. J., Dempsey, S. L., LaRoche, D. P., Mackenzie, A. M., & Cook, S. B. (2019). Step frequency training improves running economy in well-trained female runners. *J Strength and Cond Research*.
- Santos-Concejero, J., Domínguez, C. G., de Letona, I. B. L., Lili, J. Z., Astiazaran, J. I., & Orozko, S. M. G. (2013). Comienzo de la acumulación de lactato sanguíneo como predictor del rendimiento en atletas de élite. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (23), 67-69.
- Schubert, A. G., Kempf, J., & Heiderscheit, B. C. (2014). Influence of stride frequency and length on running mechanics: a systematic review. *Sports health*, 6(3), 210-217.
- Shaw, A. J., Ingham, S. A., & Folland, J. P. (2014). The valid measurement of running economy in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(10), 1968-1973.
- Snyder, K. L., & Farley, C. T. (2011). Energetically optimal stride frequency in running: the effects of incline and decline. *Journal of Experimental Biology*, 214(12), 2089-2095.
- Snyder, K. L., Snaterse, M., & Donelan, J. M. (2012). Running perturbations reveal general strategies for step frequency selection. *Journal of applied physiology*, 112(8), 1239-1247.
- Soidán, J. L. G., & Giráldez, V. A. (2003). Análisis de las lesiones más frecuentes en pruebas de velocidad, medio fondo y fondo. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 3(12), 5.
- van Oeveren, B. T., De Ruiter, C. J., Beek, P. J., & Van Dieën, J. H. (2017). Optimal stride frequencies in running at different speeds. *PLoS one*, 12(10), e0184273.
- van Oeveren, B. T., De Ruiter, C. J., Hoozemans, M. J. M., Beek, P. J., & Van Dieën, J. H. (2019). Inter-individual differences in stride frequencies during running obtained from wearable data. *Journal of sports sciences*, 37(17), 1996-2006.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of applied physiology*, 89(5), 1991-1999.
- Witte, T. H., & Wilson, A. M. (2004). Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. *Journal of biomechanics*, 37(12), 1891-1898.

Datos de los/as autores/as:

Unai Miqueleiz Erburu
 Miriam Cabello-Olmo
 Roberto Aguado-Jimenez

unaimiqueleiz@gmail.com
 miriamcabelloolmo@gmail.com
 roberto.aguado@unavarra.es

Autor/a
 Autor/a
 Autor/a