

“El efecto de diferentes frecuencias contráctiles en un ejercicio de carrera a intensidad constante sobre distintos parámetros que afectan a la fatiga durante el ejercicio”

Trabajo fin de máster

-

Máster de Investigación en Ciencias de la Salud

Universidad Pública de Navarra

Autor: Miriam Cabello Olmo

Director: Roberto Aguado Jiménez

Profesor Titular de Universidad

Facultad de Ciencias de la Salud

Universidad Pública de Navarra

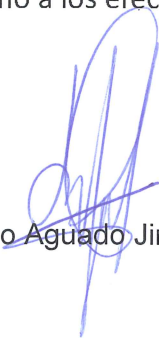
AUTORIZACIÓN

Roberto Aguado Jiménez, en calidad de tutor/director del trabajo de fin de estudios de la alumna Miriam Cabello Olmo, con el título *El efecto de diferentes frecuencias contráctiles en un ejercicio de carrera a intensidad constante sobre distintos parámetros asociados a la fatiga durante el ejercicio* ante los responsables académicos de Máster de Investigación en Ciencias de la Salud impartido por la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Pública de Navarra

INFORMA

Que revisado el documento, así como el trabajo previo desarrollado por la alumna, AUTORIZO su defensa para ser sometido a la evaluación correspondiente.

Lo cual firmo a los efectos oportunos en Pamplona a 7 de junio de 2016



Fd. Roberto Aguado Jiménez

RESUMEN

Introducción: La técnica de carrera afecta al gasto energético. En este trabajo se examinó el efecto fisiológico y el cambio en el rendimiento del corredor tras la manipulación de su frecuencia de zancada habitual. **Métodos:** 11 sujetos (23.5±6.8 años, 182±7.6 cm, 74.7±8.4 kg, 14±3 % grasa) participaron en el estudio. Se diseñó un protocolo de 45 minutos (10min FN a 9km·h⁻¹; 15min FM a 9km·h⁻¹; 5min FM a 10km·h⁻¹+1km·h⁻¹·min). Se midieron variables cardiorrespiratorias, térmicas, de acidez, CMJ y Borg aumentando y disminuyendo la FN 20 zancadas por minuto (ZM+20 y ZM-20). **Resultados:** Se observaron diferencias significativas (P<0.05) en los valores de VO₂: 3.2±0.5 vs. 2.9±0.6 mL·min⁻¹; FC: 169.8±18.4 vs. 162±2.6 lpm; Tcorp: 38.6±0.3 vs 38.4±0.3 °C; LA: 4.7±2.5 y 3.0±1.4 mmol L⁻¹; Borg: 11.6±2.7 y 10.5±2.3 en ZM-20 vs ZM+20 respectivamente. **Conclusión:** Utilizar zancadas más cortas (ZM+20) puede atrasar la aparición de fatiga, respecto del uso de zancadas largas (ZM-20).

PALABRAS CLAVES: fatiga neuromuscular, rendimiento, frecuencia de zancada.

ABSTRACT

Introduction: Running technique affects to energy requirements. This research examined the physiological effect and performance after the manipulation of natural stride frequency. **Methods:** 11 subjects (23.5±6.8 years, 182±7.6 cm, 74.7±8.4 kg, 14±3 fat %) participated in this study. A 45 minutes protocol was executed (10min NF at 9km·h⁻¹; 15min MD at 9km·h⁻¹; 5min MF at 10km·h⁻¹+1km·h⁻¹·min). Cardiorespiratory, thermal and acidic variables, CMJ and Borg were measured when FN was increased and decreased 20 strides per minute (ZM+20 y ZM-20). **Results:** It was observed significant difference (P<0.05) in values for VO₂: 3.2±0.5 vs. 2.9±0.6 mL·min⁻¹; FC: 169.8±18.4 vs. 162±2.6 lpm; Tcorp: 38.6±0.3 vs 38.4±0.3 °C; LA: 4.7±2.5 y 3.0±1.4 mmol L⁻¹; Borg: 11.6±2.7 y 10.5±2.3 in ZM-20 vs ZM+20 respectively. **Conclusion:** using shorter strides (ZM+20) can delay fatigue appearance with respect to using longer strides (ZM-20).

KEY WORDS: neuromuscular fatigue, performance, stride frequency.

ÍNDICE

1. Glosario de abreviaturas.....	3
2. Introducción.....	4
3. Hipótesis y objetivos.....	10
3.1 Hipótesis de partida	10
3.2. Objetivo general.....	10
3.3. Objetivos específicos	10
4. Material y métodos	12
4.1 Material.....	12
4.2. Métodos.....	12
4.2.1.Variables de estudio.....	14
4.2.2. Muestra	15
4.2.3 Metodología	16
4.2.3.4. Medición de la contracción voluntaria máxima – CMJ.....	19
4.2.3.5. Carrera con frecuencia modificada (PZM)	19
4.2.3.6. Test Incremental (TI) de 5 ciclos	20
4.2.4. Análisis estadístico.....	21
5. Resultados	22
5.1 Parámetros cardiorrespiratorios	22
5.2 Parámetros térmicos.....	30
5.3 Parámetros de acidez metabólica.....	32
5.4 Rendimiento muscular contráctil	33
5.5. Esfuerzo subjetivo percibido.....	34
6. Discusión.....	36
7. Conclusión	41
8. Bibliografía.....	42
9. Anexo	48
Anexo I. Escala de Borg 6-20.....	48

Anexo II. Documento Informativo (1/3)	49
Anexo II. Documento Informativo (2/3)	50
Anexo II. Documento Informativo (3/3)	51
Anexo III. Hoja de consentimiento.....	52
Anexo IV. Plantilla de registro de datos.....	53
10. Borrador de artículo	54

1. Glosario de abreviaturas

CA: Calentamiento

CMJ: Countermovement Jump (Salto con Contra Movimiento)

DE: Desviación estándar

EC: Economía de carrera

FA: Fatiga

FC: Frecuencia cardíaca

FN: Frecuencia de zancada natural

FO: Frecuencia de zancada óptima

FZ: Frecuencia de zancada

LA: Lactato sanguíneo

PA: Presión arterial

PZM: Prueba de zancada modificada

Tcorp: Temperatura corporal

TI: Test incremental

2. Introducción

Se ha observado que la mayoría de corredores entrenados tiende a mantener una cadencia de zancada fija y se piensa que esta preferencia va encaminada a la reducción del coste energético del ejercicio, y el corredor se orienta por su propia percepción de gasto metabólico ó fuerza (Cavagna et al. 1997; Lieberman et al. 2015; Donelan et al. 2001; Snyder et al. 2012; Cavagna & Franzetti 1986; Moore 2016). En otras palabras, el ritmo seleccionado por el sujeto, referido en estudios previos como “frecuencia natural” (FN) (Cavagna et al. 1997; Cavagna & Franzetti 1986; Cavagna et al. 1991; Lieberman et al. 2015) o “frecuencia preferida”(Hunter & Smith 2007; Masumoto et al. 2015; Snyder et al. 2012), es muy similar a aquel que supone el menor trabajo neto y coste metabólico, denominado “ritmo óptimo”(Cavagna & Franzetti 1986). Cuando la cadencia de zancada utilizada se aleja de la óptima (FO) hay una mayor demanda de energía (Snyder & Farley 2011; Moore 2016), especialmente con cadencias más bajas que FN (Cavagna et al. 1997). Esto puede deberse a que el sistema mecánico funciona eficientemente a la FO (Taylor 1985).

La velocidad de carrera viene determinada por dos de los componentes fundamentales de cinemática de carrera (Mercer et al. 2002): frecuencia (FZ) y amplitud de zancada (LZ). En el supuesto de una velocidad fija, el aumento de una de ellas supone la minoración de la otra. Basándonos en las premisas mencionadas anteriormente algunas combinaciones de FZ y LZ serán más beneficiosas para el desempeño del ejercicio y mejorarán el rendimiento del deportista. Siendo la eficiencia de carrera la relación entre trabajo realizado y la energía empleada para su ejecución (Daniels 1985), atendiendo a las dos variables mencionadas el corredor puede realizar un ejercicio más o menos eficiente aunque recorra en el mismo tiempo la misma distancia en ellos.

Para prever el rendimiento de un corredor se puede acudir al término de economía de carrera (EC) (Saunders et al. 2004). Este concepto hace referencia a los requerimientos energéticos a una velocidad de carrera determinada, y se expresa como el consumo de oxígeno necesario para correr a una velocidad

submáxima (Columbia 2008; Saunders et al. 2004; Franch et al. 1998). Si bien Shaw et al. 2015 no encontraron una delimitación de EC por el consumo de oxígeno máximo ($\dot{V}O_{2max}$), ambos factores se complementan y determinan la culminación del ejercicio, especialmente EC (Shaw et al. 2015; Franch et al. 1998).

Junto a EC, la fatiga (FA) es otro elemento limitante del desempeño del ejercicio y a su vez es un factor condicionante de la EC (Saunders et al. 2004). Se denomina FA a la incapacidad temporal de ejercer una fuerza o efectuar un trabajo muscular de determinada intensidad (Allen et al. 2008; Finsterer 2012), y va acompañado de un aumento de la percepción de esfuerzo (Grassi et al. 2015; Enoka & Stuart 1985). En el ejercicio de carrera se relaciona FA con un deficiente ciclo de estiramiento-acortamiento (Gollhofer et al. 1987). Hay un vínculo innegable entre FA y la pérdida de fuerza y eficiencia muscular (Boyas & Guével 2011), y desde hace años se le ha atribuido una reducción de la contracción máxima voluntaria (CMV) (Grassi et al. 2015; Bigland-Ritchie & Woods 1984; Enoka & Stuart 1985), además de un aumento del gasto energético (René & Muriel 2015). Otras manifestaciones objetivas como alteraciones de la velocidad de contracción, la potencia reflejada en un electrocardiograma y concentración de metabolitos se advierten en situaciones de FA (Bigland-Ritchie & Woods 1984; Allen et al. 2008).

Conviene destacar que dentro de FA se diferencia la fatiga periférica y fatiga central. La fatiga periférica supone una alteración del proceso de contracción en el musculo (Boyas & Guével 2011) y por consiguiente de la producción de fuerza (Taylor & Gandevia 2008) y entre sus causas encontramos disturbios en propagación neuromuscular, acoplamiento excitación-contracción, disponibilidad de sustratos metabólicos o acumulación de productos (Pi, IMP, AMP, H⁺, K⁺ y ADP libre), flujo sanguíneo, medio intracelular y desempeño del aparato contráctil (Boyas & Guével 2011; Amann et al. 2015; Froyd et al. 2013; Westerblad et al. 2002; Bangsbo et al. 1996; Allen & Westerblad 2001). Por otra parte, la fatiga central resulta de un descenso de la activación muscular como resultado de una insuficiente estimulación del sistema nervioso central y la activación voluntaria de motoneuronas durante el ejercicio (Gandevia 2001). Podría conllevar la alteración de mecanismos homeostáticos que controlan la presión sanguínea, ventilación y

temperatura corporal (Gandevia 2001; Nybo 2008). Entre las causas que lo originan hallamos alteraciones de la activación de la corteza motora primaria, propagación de señales del SNC hasta las motoneuronas y activación de unidades motoras y músculo (Boyas & Guével 2011; Enoka 1995).

Hay evidencia suficiente para afirmar la multicausalidad de la FA, que viene determinada por factores como la motivación personal, activación neuronal, intensidad y duración del ejercicio, y tipo de contracción muscular desempeñada entre otros (Enoka & Stuart 1985; Jubeau et al. 2014; Enoka 1995). Esto nos permite acudir a biomarcadores metabólicos, inflamatorios y asociados a estrés oxidativo para medir el grado de fatiga muscular (Finsterer 2012).

La aparición de FA es inevitable y se manifiesta desde el inicio del ejercicio (Boyas & Guével 2011; Finsterer 2012; Enoka & Duchateau 2008), incluso la mínima perturbación supone una reducción de la excitación motoneuronal (Gandevia 2001). Sin embargo, algunos estudios han demostrado que se pueden inducir adaptaciones que retrasen la aparición de la misma, aunque sin aminorar su magnitud (Zghal et al. 2015; Gandevia 2001).

En lo referente a la fatiga asociada a la frecuencia y amplitud de zancada, entre los corredores entrenados se ha observado una FN desviada cerca del 3% del FO, diferencia que se acentúa en aquellos corredores inexpertos, lo que aportaría una ventaja por un menor gasto metabólico a los primeros (Moore 2016; de Ruyter et al. 2014). Del mismo modo, personas entrenadas presentan una mejor EC (un menor consumo de oxígeno en relación al peso realizando una prueba a la misma velocidad) (Saunders et al. 2004; de Ruyter et al. 2013; de Ruyter et al. 2014) que podría deberse a la disminución de las demandas ventilatorias (Franch et al. 1998) y adaptaciones neuromusculares producto del entrenamiento (Dolgener 1982; Enoka & Stuart 1985) que podrían provocar menores oscilaciones verticales (Saunders et al. 2004).

De igual manera la técnica empleada puede mejorar la EC de los deportistas (Dumke et al. 2010; K R Barnes et al. 2015), observando que la técnica de ejercicio es un factor influyente en los requerimientos energéticos de un ejercicio (Daniels

1985; Tartaruga et al. 2012), especialmente las propiedades biomecánicas asociadas a la propulsión (Daniels 1985) y fase de contacto (Moore 2016). Modificaciones como el aumento de la oscilación vertical, aumento de la rigidez de la extremidad inferior, aumento del ángulo de zancada y disminución de la actividad muscular durante la propulsión, descenso de co-activación antagonista y autoselección de la amplitud de zancada suponen una mejora de la EC (Moore 2016; Saunders et al. 2004). Por ello los componentes biomecánicos mencionados anteriormente deben ser considerados a la hora de diseñar un plan de entrenamiento o competición, y mejorar así el rendimiento del deportista.

Algunos estudios han atribuido al estado de FA cambios del patrón de carrera durante el ejercicio como la adopción de cadencias más alejadas de la metabólicamente óptica (FO) que reducen el rendimiento y acentúan el estado de FA (Hunter & Smith 2007; Morin et al. 2006; Le Bris et al. 2006). Este cambio del estilo de carrera podría deberse a un cambio de la rigidez de la pierna (Hunter & Smith 2007), ya que se sospecha que la acomodación de cadencias de pisadas mayores se alcanza principalmente a expensas de la rigidez de la pierna (Farley & González 1996). También se piensa que la FA podría aumentar el tiempo de contacto con el suelo induciendo un ciclo de estiramiento-acortamiento menos efectivo (Gollhofer et al. 1987) y teniendo un efecto negativo en EC como se insinuó en las líneas anteriores (Moore 2016).

Estudiados estos trabajos previos podemos llegar a la conclusión de que el aumento de FZ sería menos contraproducente que la disminución de la misma (Hogberg 1952; Heiderscheit et al. 2012). Algunos estudios han analizado el efecto de FZ en las articulaciones (Heiderscheit et al. 2012), sobrecarga muscular (Hobara et al. 2012), la cinemática de la pisada (Lieberman et al. 2015), rigidez de la pierna (Hunter & Smith 2007; Farley & González 1996; Heiderscheit et al. 2012; Snyder & Farley 2011) y actividad muscular con electromiografía (EMG) (Masumoto et al. 2015) sin embargo el objetivo de esta investigación es comparar el efecto desde un enfoque más fisiológico.

En este trabajo realizado nos centramos en la cadencia contráctil o frecuencia de zancada y su efecto en la FA muscular. El propósito, a este respecto, es valorar qué efecto tendría una modificación (aumento o descenso de la cadencia de pisada) en referencia a la cadencia óptima o natural de un sujeto, pudiendo definir cuál de ellas supone una situación más ventajosa o desfavorable para el desempeño de la carrera, a pesar de que los protocolos hayan sido diseñados para que el individuo realizase el mismo trabajo, es decir, misma velocidad de carrera cada test.

Estudios anteriores solo registraron algunos datos como consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca o niveles de lactato en sangre (de Ruiten et al. 2013; Mercer & Dolgan 2008). En este estudio se completarán esos datos con registros de temperatura corporal y presión arterial (Gandevia 2001), así como el análisis de acidez muscular a partir del estudio de los gases espirados (Mayhew J L 1977; de Ruiten et al. 2013), el tiempo hasta el agotamiento (Alghannam et al. 2016; Zghal et al. 2015; de França et al. 2016), la contracción máxima voluntaria mediante un salto vertical (Countermovement Jump) (Dumke et al. 2010; K. R. Barnes et al. 2015; Greg J, Wilson, Newton 1993) y la percepción de esfuerzo (Escala de Borg) (Zghal et al. 2015; K. R. Barnes et al. 2015; Masumoto et al. 2015; Heiderscheit et al. 2012) que a su vez nos permitirá completar la información obtenida de otras variables como lactacidemia, presión arterial y frecuencia cardíaca (Gamberale 1972). Borg es una herramienta validada para estimar la intensidad del ejercicio (Sumpter et al. 2015), lo que ha permitido su empleo en investigaciones de distinta índole, destacando los estudios que evalúan el efecto fisiológico de determinadas prácticas deportivas (González-Alonso et al. 1985; Aamot et al. 2014; K. R. Barnes et al. 2015), especialmente aquellos relacionados con la fatiga (Froyd et al. 2013; Amann et al. 2013; Masumoto et al. 2015) como el presente estudio.

Todo ello permitirá estimar el grado de FA del sujeto en las dos situaciones experimentales.

Los resultados obtenidos permitirán entender mejor el efecto de la modificación de la técnica de carrera al respecto del concepto de FA y las causas que la inducen,

lo que facultará a profesionales del ámbito deportivo y de la actividad física mejorar las técnicas de ejercicio para obtener así resultados más productivos.

3. Hipótesis y objetivos

3.1 Hipótesis de partida

La utilización de distintas frecuencias de zancada a velocidad constante podría conllevar la alteración de variables fisiológicas asociadas a la FA, como variables térmicas, cardiorrespiratorias o acídicas, además de disminuir el rendimiento posterior al esfuerzo físico. Es decir, recorriendo la misma distancia por unidad de tiempo, un ejercicio realizado con frecuencias de zancada mayores y/o menores a la frecuencia natural, conllevará una agudización de las respuestas fisiológicas asociadas a la fatiga, reduciendo la capacidad contráctil del sujeto.

3.2. Objetivo general

La finalidad del estudio es comparar las perturbaciones fisiológicas resultantes de la realización de un ejercicio de carrera en dos condiciones que se alejan de la más confortable para el corredor: utilizando una frecuencia de zancada superior y/o menor a la seleccionada intuitivamente por el individuo (FN).

De esta manera se podrá determinar cuál es la técnica de carrera que suponga una menor demanda energética que conlleve una mejora del rendimiento más marcado. Esto permitirá entender mejor el proceso de FA muscular asociado al ejercicio físico.

3.3. Objetivos específicos

1. Analizar el efecto de la variabilidad de la frecuencia de zancada sobre el rendimiento muscular contráctil post-esfuerzo.

2. Analizar el efecto de la variabilidad de la frecuencia de zancada sobre las demandas energéticas del conjunto muscular activo durante el trabajo propuesto.
3. Analizar el efecto de la variabilidad de la frecuencia de zancada sobre la regulación de la temperatura interna corporal, como variable determinante de la aparición de fatiga central.
4. Analizar el efecto de la variabilidad de la frecuencia de zancada en factores cardiorrespiratorios, que pudieran acelerar o decelerar la aparición de fatiga central o periférica.
5. Analizar el efecto de la variabilidad de la frecuencia de zancada sobre la capacidad de mantenimiento de la acidez vascular como posible indicador de fatiga periférica.
6. Analizar el efecto de la variabilidad de la frecuencia de zancada sobre la percepción subjetiva del esfuerzo realizado por cada uno de los sujetos participantes.
7. Comparar los resultados obtenidos en los experimentos con la información disponible en la literatura científica.

4. Material y métodos

4.1 Material

El presente estudio experimental ha sido desarrollado con la utilización de los siguientes equipamientos de laboratorio:

- Tapiz rodante (HP Cosmos Saturn, Traunstein, Germany)
- Sensor térmico en forma de pastilla (CorTemp®, HQInc, FL, USA).
- Registrador de temperatura inalámbrico (CorTemp Data Recorder wirelessly),
- Tallímetro (Seca, 700, Max 220 Kg, precisión 50g)
- Impedanciómetro (TANITA MC-980 MA Multifrecuencia Segmental).
- Pulsómetro (Polar Electro, Finland),
- Medidor de presión arterial (Suntech Medical, Tango M2, Morrisville)
- Analizador de gases (Vacumed Mini-CPX Ventura, California)
- Metrónomo (Real Metronome Free Gismart versión 1.5.3)
- Plataforma de contacto electrónica para CMJ (SportJUMP System Pro)
- Software de registro de datos de CMJ (SportJUMP 2.2.2).
- Analizador de lactato (Lactate Pro, Arkray, KDK Corporation, Kyoto, Japan).

4.2. Métodos

Para evaluar el estado de la FA con la modificación de la FN cada participante completó dos protocolos experimentales. Estos fueron exactamente idénticos salvo por la frecuencia de zancada impuesta al sujeto.

De forma simplificada el protocolo de ejercicio que se estableció fue el siguiente:

- Calentamiento (CA) de 10 minutos a $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) en un tapiz rodante con una inclinación de 1% (Jones & Doust 1996) en el cual se pidió al sujeto que corriese a su ritmo preferido(FN).
- Prueba en tapiz rodante con zancada modificada (PZM) durante un periodo de 15 minutos a $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Test de velocidad incremental (TI) de 5 ciclos partiendo de $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($2.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) hasta alcanzar $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($3.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (según la capacidad de cada sujeto).

Se estableció una magnitud de cambio de 20 zancadas por minuto, por lo que las pruebas experimentales fueron FN aumentada 20 zancadas (ZM+20) y FN reducida 20 zancadas (ZN-20).

Este protocolo, de una duración de 45 minutos, fue revisado y comprobado durante una prueba piloto en la cual se verificó la validez del mismo y se realizaron un total de cuatro test previos al diseño final.

Además del test de $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ se realizó un segundo experimento con una muestra más reducida a $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) para estudiar si los efectos se repiten a distintas velocidades de carrera.

El esquema antes indicado fue completado por cada participante un total de dos veces (ZM-20 y ZM+20). Para evitar interferencias en los resultados cada sujeto realizó las dos pruebas el mismo día (debido a la limitada disponibilidad de los participantes), con un descanso de al menos 2 horas entre ejercicio en el que se recomendó beber líquido e ingerir algo de comida. Este diseño fue una prioridad para el proyecto ya que se evaluaron las variaciones intra-sujeto y cualquier alteración de variables externa (condiciones ambientales, estado nutricional, motivación y estado de alerta (Saunders et al. 2004; Barnes 2014; Gandevia 2001; Bigland-Ritchie & Woods 1984; Crews 1992; Nielsen et al. 1993) podría sesgar si las pruebas se repiten en días distintos.

La aleatorización del orden de realización de cada prueba (ZM-20 y ZM+20) fue sistematizada, de forma que cada día de prueba experimental el primer sujeto comenzaba realizando la prueba ZM+20 y el siguiente individuo comenzaba con la prueba ZM-20. Esto se mantuvo de forma consecutiva.

Las pruebas experimentales tuvieron lugar en el taller de biomecánica nº 5 del Campus de Tudela de la Universidad Pública de Navarra, laboratorio que pertenece al grupo de Biomecánica y Fisiología del movimiento (BIOFIM).

La investigación se realizó respetando en todo momento los principios éticos para la experimentación médica con humanos (Declaración de Helsinki). La propuesta del proyecto fue aprobada por el Comité de Ética, Experimentación Animal y Bioseguridad de la Universidad Pública de Navarra.

4.2.1. Variables de estudio

Los elementos de análisis del presente estudio fueron las siguientes:

- **Medidas antropométricas:** talla, peso y porcentaje de masa grasa (Pate et al. 1992).
- **Variables fisiológicas:**
 - Cardiorrespiratorias: frecuencia cardíaca (FC) (DW et al. 1990; In et al. 2014; de Ruiter et al. 2013), presión arterial (PA) (Gandevia 2001), ventilación minuto (VE) (Amann et al. 2015; Mora-Rodríguez & Aguado-Jimenez 2006), consumo de oxígeno (VO₂) (Mayhew J L 1977; Barnes & Kilding 2015; de Ruiter et al. 2013) y dióxido de carbono producido (VCO₂) (Shaw et al. 2014).
 - Térmicas: temperatura corporal (Tcorp) (Gandevia 2001; Jubeau et al. 2014).
 - Acidez metabólica: Actividad tamponadora calculada a través del estudio del cociente respiratorio (R) (DW et al. 1990; Donelan et al. 2001; Snyder & Farley 2011), y lactacidemia vascular (LA) (DW et al. 1990; Shaw et al. 2014; Bangsbo et al. 1996).

- **Percepción subjetiva de esfuerzo:** Escala de Borg (Borg) 6-20/de 15 puntos (Zghal et al. 2015; K. R. Barnes et al. 2015; Masumoto et al. 2015; Heiderscheit et al. 2012) disponible en el *Anexo I*.
- **Tiempo hasta el agotamiento:** en un test de velocidad incremental de 5 series/hasta agotamiento (Zghal et al. 2015).
- **Contracción máxima voluntaria (CMV) / potencia muscular:** test de salto vertical máximo (Countermovement Jump o CMJ) (Dumke et al. 2010; K. R. Barnes et al. 2015; Greg J, Wilson, Newton 1993).

4.2.2. Muestra

4.2.2.1 Reclutamiento

Se realizó un muestreo no probabilístico y se intentó reclutar a tantas personas como fue posible. Los alumnos de la facultad fueron invitados a participar vía informática mediante un anuncio en la plataforma virtual de la universidad y posteriormente se contactó con aquellos interesados. Todos eran personas sanas y activas físicamente.

De la muestra inicial fueron excluidos, tras la realización del primer test, un total de 2 sujetos por no poder mantener la intensidad de trabajo requerida para el protocolo diseñado.

Para la prueba de $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ se contó con 11 estudiantes (10 hombres y 1 mujer) con un promedio \pm desviación estándar (DE) de edad de 23.5 ± 6.8 años, de talla 182 ± 7.6 cm, peso corporal 74.7 ± 8.4 kg, porcentaje masa grasa 14 ± 3 %) de la facultad de Ciencias de la Salud del campus de Tudela.

4.2.2.2. Información a los voluntarios y consentimiento informado

Varios días antes de la prueba los sujetos fueron informados personalmente sobre el objetivo y contenidos de las pruebas experimentales y visitaron el laboratorio de trabajo. Ese mismo día se les comunicó los posibles riesgos que conllevan las pruebas experimentales y se les facilitó un documento informativo (Anexo II) con las actividades que comprende el protocolo de investigación y las recomendaciones para el día de la prueba y el día anterior. Se adjuntó a una hoja de firma del consentimiento que fue recogida el día de la prueba.

También se les facilitó un sensor térmico en forma de pastilla que permitió registrar la Tcorp durante ejercicio, y que debía ser ingerida 6 horas antes de realizar el ejercicio.

4.2.3 Metodología

Los sujetos fueron requeridos una vez para asistir al laboratorio a realizar los ejercicios. Se les pidió asistir con ropa deportiva cómoda y respetar las recomendaciones indicadas en el documento informativo (*Anexo II*).

A continuación se explicará detalladamente el protocolo realizado mencionado previamente en el apartado *Métodos*.

4.2.3.1. Datos personales y antropométricos

Se pidió a los sujetos asistir al laboratorio 5-10 minutos antes de la hora a la que fueron citados para la prueba. En este tiempo se registraron datos personales (nombre completo, edad, sexo) y se realizaron las mediciones antropométricas que se consideraron relevantes para el estudio: estatura, composición corporal y peso. Para ello se pidió al sujeto que llevase exclusivamente ropa interior. La

estatura se determinó utilizando un tallímetro y las dos últimas mediante bioimpedancia eléctrica.

Estos datos, junto con el resto de variables, fueron anotados en una plantilla de registro disponible en *Anexo IV*.

4.2.3.2. Instrumentalización y medidas basales

Antes del ejercicio CA el participante fue instrumentalizado con los materiales y dispositivos necesarios para el seguimiento y registro de datos. Esto incluye un pulsómetro, medidor de la PA y una máscara de silicona (con apertura nasal que permite respiración nasal y bucal) correspondiente para el analizador de gases empleado. Se tomaron los datos basales de Tcorp, PA y FC con el sujeto sentado en una silla.

Al inicio de cada protocolo se anotaron las condiciones de temperatura (23.2 ± 1.2 °C) y humedad relativa (72.5 ± 8.7 mmHg)(Saunders et al. 2004) de la sala.

4.2.3.3. Calentamiento (CA)

Se pidió a los sujetos que corrieran en el tapiz rodante durante 10 minutos (CA) a una velocidad de $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con una inclinación de 1%. Durante este tiempo los investigadores estimaron la FN del sujeto ayudándose de un metrónomo al igual que hicieron trabajos previos (Cavagna et al. 1991; Hunter & Smith 2007; Hobara et al. 2007; Snyder & Farley 2011; Snyder et al. 2012; Heiderscheit et al. 2012; de Ruiten et al. 2013; Lieberman et al. 2015; Masumoto et al. 2015).

Con el propósito de asegurar que el ritmo elegido por el sujeto es representativo y válido, en el minuto 6 se hizo un descanso activo a $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y seguidamente se volvió a aumentar la velocidad del tapiz hasta $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. De esta manera se obligó al sujeto a adquirir su FN en dos ocasiones y se pudo hacer un re-test de su propia

medida, que constató una variabilidad media del 1,1%. De las dos estimaciones se seleccionó aquella más alta.

Los datos de las estimaciones de FN están recogidos en la tabla 1 y se utilizaron de referencia para calcular las frecuencias para las pruebas ZM+20 y -20.

Sujeto	Estimación FN	Prueba ZM+20	PruebaZM-20
1	173	193	153
2	160	180	140
3	155	175	135
4	167	187	147
5	155	175	135
6	180	200	160
7	159	179	139
8	145	165	125
9	167	187	147
10	162	182	142
11	167	187	147

Tabla 1. Registro de FN de cada sujeto estimadas durante el calentamiento junto a las frecuencias de zancada utilizadas en los protocolos modificados FM-20 y ZM+20.

Tanto en el descanso activo como al final del CA se anotaron los datos cardiorrespiratorios del analizador de aire (software Turbofit5), FC y PA. Además se determinó la Tcorp y la percepción de esfuerzo utilizando la Escala de Borg (6-20). Esta escala, utilizada para evaluar la intensidad de un ejercicio dinámico, parte de un valor mínimo de 6 que representa la menor sensación de esfuerzo ó padecimiento y tiene otros once niveles hasta el 20, que denota la sensación de máximo sacrificio ó esfuerzo físico (Sumpter et al. 2015). Cada dos números hay una palabra que vincula dicho valor de la escala con la impresión percibida para guiar al individuo.

Cada vez que los sujetos realizaron un ejercicio en el tapiz se activó un flujo de aire ambiental con un ventilador para favorecer la evaporación de sudor del individuo durante el ejercicio y hacer la prueba más confortable (Jones & Doust 1996).

4.2.3.4. Medición de la contracción voluntaria máxima – CMJ

Tras el CA se retira el instrumental y se indica al participante que baje del tapiz y realice dos saltos verticales (CMJ). Situándose con los pies dentro de una plataforma de contacto electrónica, posición erguida y con las manos fijadas en la cadera se pide al sujeto un contramovimiento hacia abajo seguido de un salto vertical máximo. Se realiza el salto dos veces, y posteriormente se seleccionaba el de máxima elevación. La magnitud de los saltos fue registrada por un software.

Ya que la única observación indicada a los sujetos fue no realizar movimiento de braceo es de esperar un posible error de medición, añadido a la variabilidad intra-sujeto (Cormie et al. 2009), por lo que se optó por el uso del salto de mayor magnitud en cada registro doble con el fin de atenuar las posibles variaciones de registro comentadas por aspectos técnicos. A pesar de ello, debido a la gran aceptación y uso de esta técnica (Dumke et al. 2010; Barnes 2014) y a que es una buena herramienta para medir la potencia muscular (S et al. 2014) se hará un análisis cauteloso de los resultados.

4.2.3.5. Carrera con frecuencia modificada (PZM)

Durante 15 minutos el sujeto corre a $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ siguiendo el ritmo de zancada que se le ha impuesto (Tabla 1). El ejercicio está dividido en tres bloques de 5 minutos separados entre sí por 40 segundos de descanso activo a $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Al igual que en el CA, en los reposos activos indicados se midieron parámetros ventilatorios (VO_2 , VCO_2 , VE, R), FC, PA, Tcorp y Borg.

Tras los 15 minutos de ejercicio con zancada programa, durante el reposo activo a $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, se toma una muestra de sangre capilar del pulpejo del dedo para estimar el valor de acidez metabólica (mmol de LA / litro de sangre). Por comodidad se estableció la utilización de la mano izquierda del voluntario. El investigador realizó una punción automática con lancetas estériles y tras descartar la primera gota de

sangre con una gasa estéril, aprieta ligeramente la zona pinchada y recoge una muestra con una banda reactiva que será examinada por el analizador de LA.

Para prevenir cualquier contaminación o invalidación de la muestra sanguínea el técnico utilizó guantes en todo momento y limpió con alcohol la superficie del dedo para evitar arrastrar restos de sudor.

4.2.3.6. Test Incremental (TI) de 5 ciclos

Durante los últimos 5 minutos de la prueba experimental se midió la función cardíaca del sujeto realizando 5 series de velocidad incremental ($1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ por cada minuto de ejercicio) partiendo de una velocidad de $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (TI1) hasta alcanzar $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (TI5).

En cada minuto de TI se registraron valores ventilatorios, FC así como Borg. Al finalizar el último ciclo incremental ó cuando el sujeto llegue al agotamiento se baja la velocidad del tapiz de forma gradual de forma que el participante baje la frecuencia cardíaca de forma paulatina. En ese preciso instante se toma otra muestra sanguínea para medir niveles de LA repitiendo el mismo procedimiento mencionado previamente. Este valor permitire saber el efecto que ha tenido TI en la acidez vascular.

Cuando el sujeto se encuentre parado por completo se realizara la última medición de PA y Tcorp (por dificultad de medición solo se realizaron las medidas al final del protocolo y no en cada etapa incremental). Se concluirá el análisis de gases y se procederá a retirar todo el instrumental (máscara, derivaciones de ECG, pulsómetro y medidor de tensión arterial).

Por último, se repite el protocolo de salto vertical CMJ referido anteriormente y se pesa al sujeto para evaluar la pérdida de peso (grado de deshidratación) tras el protocolo experimental (Montain & Coyle 1992).

4.2.4. Análisis estadístico

Los datos analizados corresponden a los valores en estado de reposo, durante el CA, PZM y TI. Para observar las diferencias intra-sujeto el análisis estadístico aplicado fue el de medidas pareadas mediante la prueba T de Student.

Para facilitar el análisis del CA y PZM se analizaron los datos en bloques de 5 minutos. Para estimar el valor medio de las variables medidas en dichos bloques se utilizó el promedio obtenido en la franja de tiempo de los últimos 60 segundos. Para TI se tomaron los valores comprendidos de los últimos 30 segundos de cada ciclo incremental.

Una vez agrupados los datos como se ha descrito anteriormente se realizaron diversas comparaciones entre las pruebas ZM+20 y -20 y posteriormente cada una de ellas con sus respectivos calentamientos. Esta última comparación (CA vs PZM) supone la aceptación de sesgo ya que no hubo aleatorización del orden de realización de ambos ejercicios. No obstante, estas comparaciones nos permiten comparar a grandes rasgos el estado fisiológico en condiciones normales respecto a la zancada modifica y supliría una carencia metodológica del presente estudio, puesto que no realizó un protocolo completo manteniendo FN.

5. Resultados

Los resultados se presentan como valor promedio \pm DE en el último minuto (min15) y al final del ejercicio incremental (min20) de cada protocolo de trabajo de zancada modificada (ZM+20 y ZM-20) y frecuencia de zancada natural (FN)

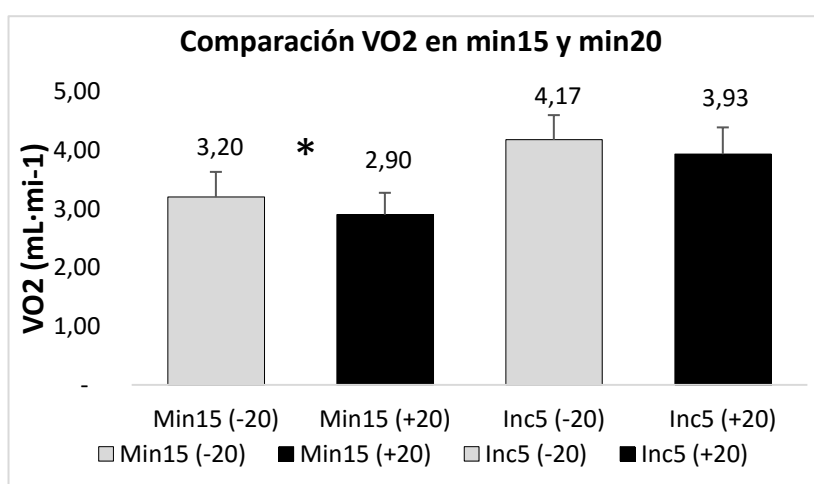
Se consideran Delta Variable (Δ Variable) el incremento absoluto que sufre una variable desde la medición basal hasta el tiempo de referencia

5.1 Parámetros cardiorrespiratorios

Consumo de oxígeno (VO_2)($mL \cdot min^{-1}$)

El valor hallado al final de los protocolos (3.2 ± 0.5 vs. 2.9 ± 0.6 $mL \cdot min^{-1}$ en ZM-20 y ZM+20 respectivamente; $P < 0.05$) indica una menor demanda de oxígeno cuando la zancada es más corta y más frecuente.

Al final de TI también se observa una tendencia (4.2 ± 0.4 vs. 3.9 ± 0.6 $mL \cdot min^{-1}$) (ausencia de significación estadística $P = 0.06$) de mayor VO_2 en ZM-20.

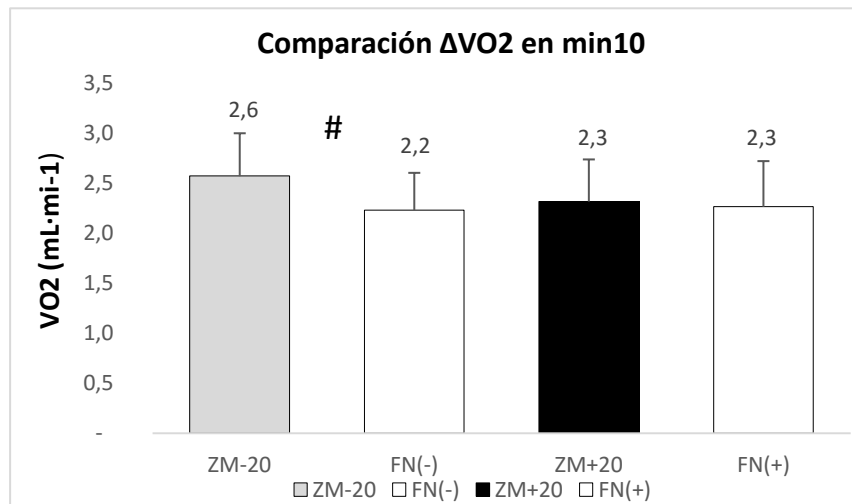


A. Gráfico de comparación de VO_2 entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 15 y 20 minutos. *Diferencia significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20

Incremento en Consumo de oxígeno (ΔVO_2)($mL \cdot min^{-1}$)

En ZM+20 los valores de ΔVO_2 son estadísticamente menores que con ZM-20 (2.4 ± 0.5 vs 2.7 ± 0.5 $mL \cdot min^{-1}$ respectivamente; $P < 0.05$)

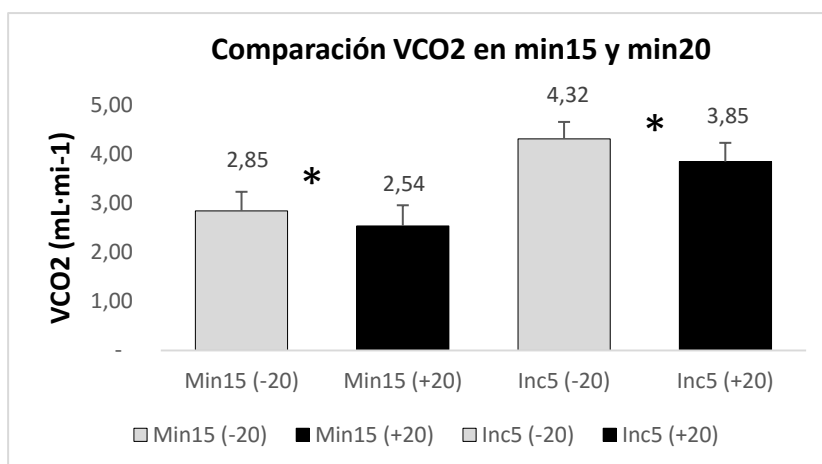
Al comparar los resultados del minuto 10 de ZM-20 y ZM+20 vs. FN observamos que: el ΔVO_2 es estadísticamente mayor al hacer la zancada más larga (2.6 ± 0.4 vs. 2.3 ± 0.4 $mL \cdot min^{-1}$ mL/min $P < 0.05$ ZM-20 vs FN). Así mismo correr con una zancada más corta en comparación de la zancada natural tiende a reducir el ΔVO_2 (2.2 ± 0.4 vs. 2.3 ± 0.5 $mL \cdot min^{-1}$ ZM+20 vs FN) aunque no se observa diferencia estadística.



B. Gráfico de comparación de Delta VO₂ entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 10 minutos. #Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y FN

Producción de CO₂ (VCO₂)($mL \cdot min^{-1}$)

Al final de los ejercicios de zancada modificada el VCO₂ fue mayor en ZM-20 que en ZM+20 (2.8 ± 0.4 vs. 2.5 ± 0.5 $mL \cdot min^{-1}$ $P < 0,05$), así mismo en TI se observó una diferencia similar (4.3 ± 0.6 vs. 3.8 ± 0.7 $mL \cdot min^{-1}$ para ZM-20 y ZM+20 respectivamente; $P < 0.05$).



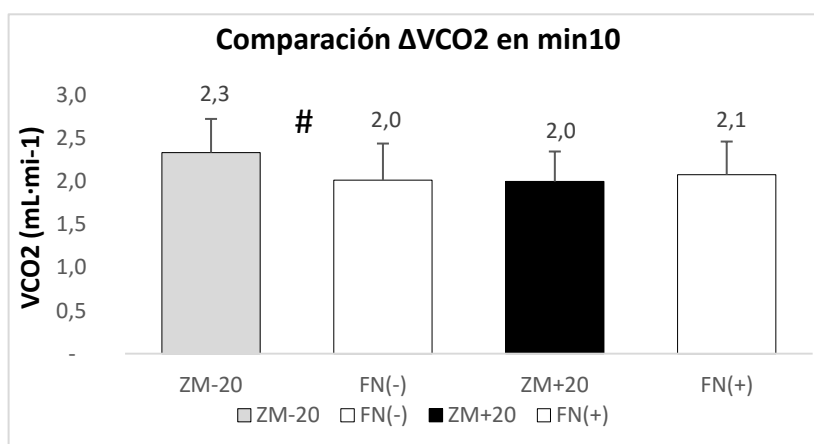
C. Gráfico de comparación de VCO2 entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 15 y 20 minutos.

*Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20

Incremento Producción de dióxido de carbono (VCO_2)($mLCO_2/min$)

El ΔVCO_2 fue significativamente superior ($P < 0.05$) en ZM-20 respecto de ZM+20 (2.43 ± 0.4 vs. 2.13 ± 0.5 $mL \cdot min^{-1}$ respectivamente).

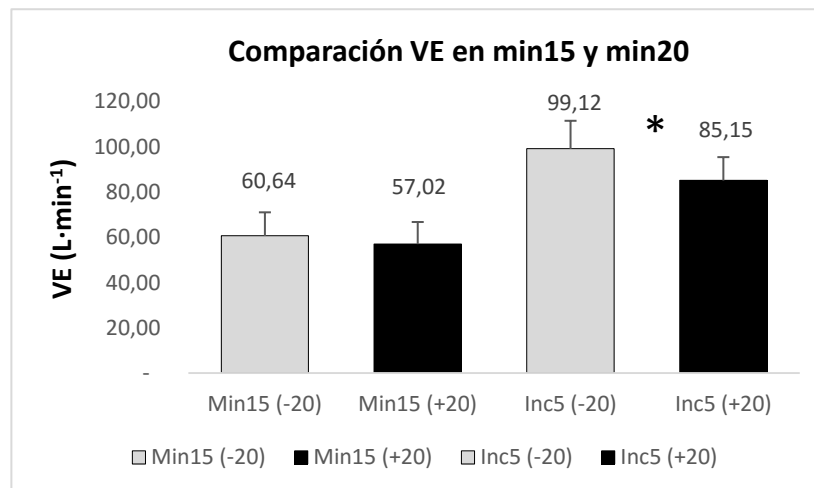
Al comparar los resultados del minuto 10 de ZM-20 y ZM+20 vs. FN observamos que: el ΔVCO_2 es significativamente mayor ($P < 0.05$) en ZM-20 (2.3 ± 0.4 $mL \cdot min^{-1}$) respecto de FN (2.0 ± 0.4 $mL \cdot min^{-1}$). Así mismo correr con una zancada más corta en comparación de la zancada natural tiende a reducir el ΔVCO_2 (2.0 ± 0.3 vs. 2.1 ± 0.4 $mL \cdot min^{-1}$ ZM+20 vs FN) aunque no se observa diferencia estadística.



D. Gráfico de comparación de Delta VCO2 entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 10 minutos. #Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y FN

Ventilación ($L \cdot \text{min}^{-1}$) (VE)

La VE en TI (99.1 ± 17.8 vs. 85.2 ± 19.9 $L \cdot \text{min}^{-1}$; $P < 0.05$) para ZM-20 y ZM+20 respectivamente, mientras que el minuto 15 fue (60.6 ± 13.0 vs. 57.0 ± 15.5 $L \cdot \text{min}^{-1}$) observando una tendencia a incrementar los valores con la zancada más larga, aunque no se encuentra diferencia estadística ($P = 0.07$).

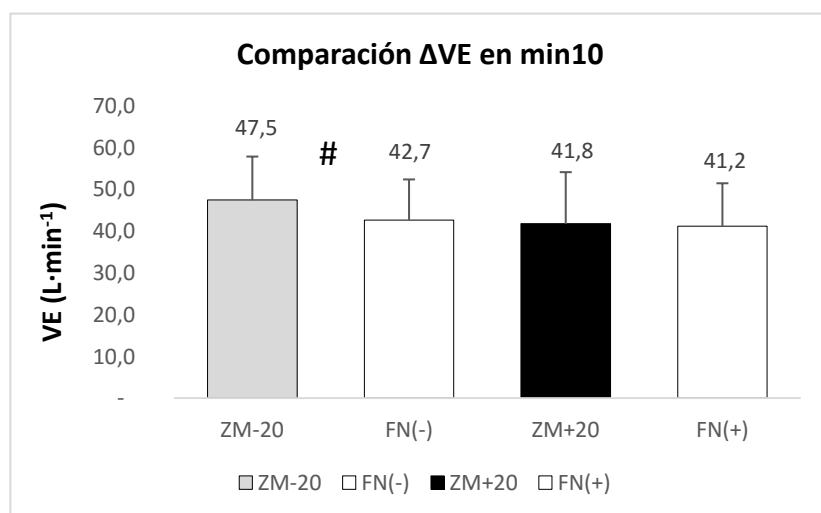


E. Gráfico de comparación de VE entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 15 y 20 minutos. *Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20

Incremento Ventilación ($L \cdot \text{min}^{-1}$) (VE)

El incremento de VE en ZM-20 y ZM+20 no fue diferente (50.1 ± 11.4 vs. 46.8 ± 14.2 $L \cdot \text{min}^{-1}$) respectivamente

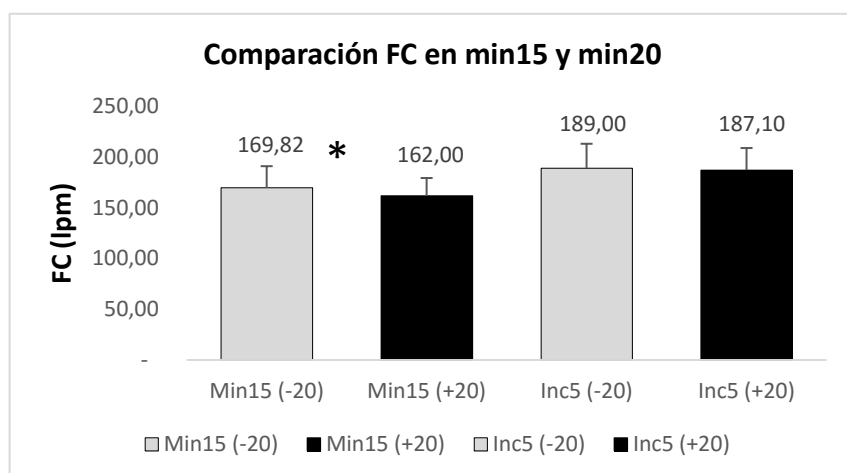
Al comparar los resultados del minuto 10 de ZM-20 y ZM+20 vs. FN observamos que: el ΔVE solamente existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y su FN (47.5 ± 10.5 vs. 41.2 ± 10.3 $L \cdot \text{min}^{-1}$ respectivamente).



F. Gráfico de comparación de Delta VE entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 10 minutos. #Diferencia Significativa (P<0.05) entre ZM-20 y FN

Frecuencia cardíaca (FC)(lpm)

La FC en el ejercicio a velocidad constante fue estadísticamente diferente entre las dos pruebas; (169.8±18.4 vs. 162±2.6 lpm en ZM-20 y ZM+20 respectivamente, P<0.05), aumentando ésta con la zancada más grande. No obstante, tras el ejercicio incremental TI, no se observan diferencias entre protocolos (189±9.7 vs. 187±10.6 lpm)

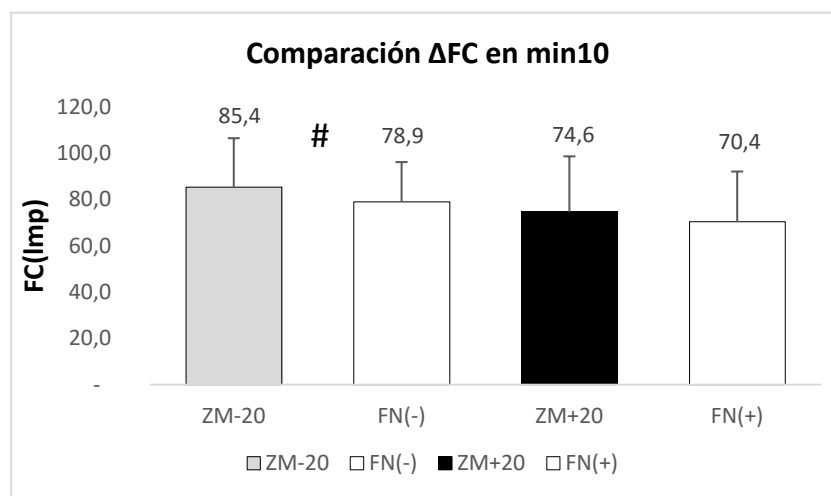


G. Gráfico de comparación de FC entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 15 y 20 minutos. *Diferencia Significativa (P<0.05) entre ZM-20 y ZM+20

Incremento de Frecuencia cardíaca (ΔFC)(lpm)

Los incrementos de FC respecto de valores basales en cada uno de los protocolos, no fueron diferentes. No obstante se aprecia una tendencia a ser mayor este incremento en el protocolo ZM-20 que en el ZM+20 (88.8 ± 18.6 vs. 82.2 ± 17.1 lpm, $P=0.06$)

ΔFC es mayor ($P < 0.05$) en ZM-20 que con FN (85.4 ± 21.1 vs. 70.4 ± 21.7 lpm). Cuando la zancada es más corta el ΔFC no muestra diferencias entre ZM+20 y FN.

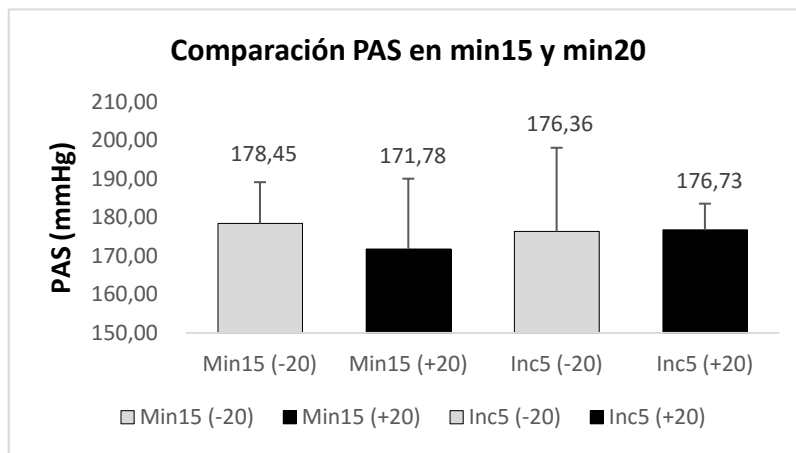


H. Gráfico de comparación de Delta FC entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 10 minutos. #Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y FN

Presión arterial sistólica (PAS)(mmHg)

Al finalizar los 15 minutos de protocolo a velocidad estable, se observa una tendencia a incrementar la PAS en ZM-20, aunque no se aprecian diferencias estadísticas en la misma (177.9 ± 28.8 vs. 171.8 ± 24.7 mmHg) en ZM-20 y ZM+20 respectivamente.

Tampoco existen diferencias estadísticas al comparar esta variable en ambos protocolos al finalizar el ejercicio incremental TI: ZM-20 y ZM+20 (176.4 ± 37.6 vs. 176.7 ± 27 mmHg).

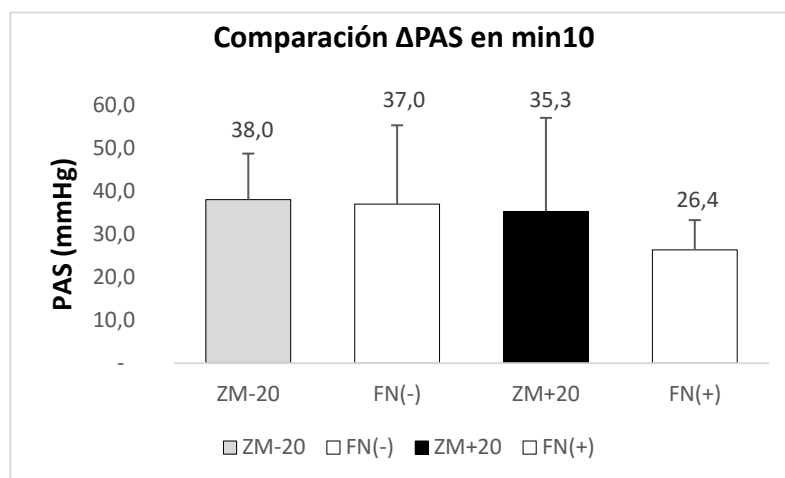


I. Gráfico de comparación de PAS entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 15 y 20 minutos.

Incremento Presión arterial sistólica (Δ PAS)(mmHg)

El incremento de PAS en los dos protocolos no resultó distinto estadísticamente, con valores de 44.2 ± 28.5 y 42.4 ± 22.5 mmHg en ZM-20 y ZM+20 respectivamente.

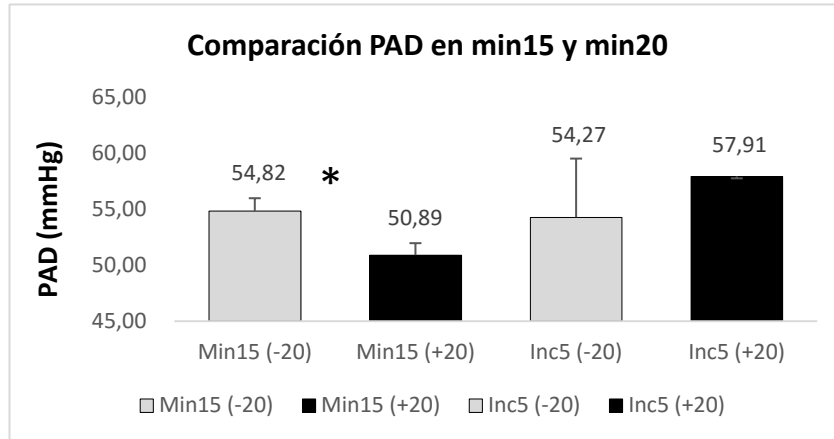
No obstante al comparar el Δ PAS entre ZM-20 y FN se observan valores estadísticamente mayores en el primero ($P > 0.05$), 38.0 ± 10.7 y 26.4 ± 6.9 mmHg respectivamente, diferencia que no fue observada en el protocolo ZM+20 frente a FN. 37.0 ± 18.3 y 35.3 ± 21.7 mmHg respectivamente.



J. Gráfico de comparación de Delta PAS entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 10 minutos.

Presión arterial diastólica (PAD)(mmHg)

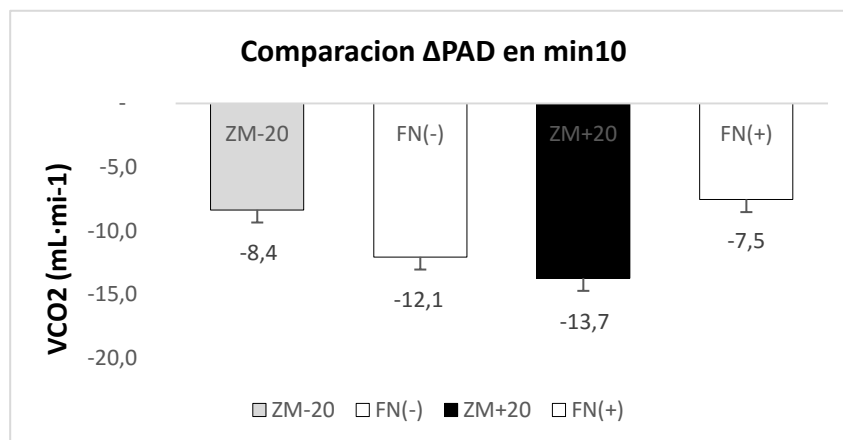
La PAD fue mayor en ZM-20 que en ZM+20 al finalizar los 15 minutos a velocidad constante (54.8 ± 11.1 vs 50.9 ± 6.9 mmHg respectivamente, $P < 0.05$) y se mantuvo similar en el resto de la prueba en ambos protocolos.



K. Gráfico de comparación de PAD entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 15 y 20 minutos. *Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20.

Incremento de Presión arterial diastólica (Δ PAD)(mmHg)

La PAD disminuyó tras ambos protocolos con zancada modificada, siendo esta reducción (Δ PAD) mayor con la zancada más corta (-21.6 ± 8.6 vs 12.4 ± 14.7 mmHg en ZM+20 y ZM-20 respectivamente, $P < 0.05$).



L. Gráfico de comparación de Delta PAS entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 10 minutos.

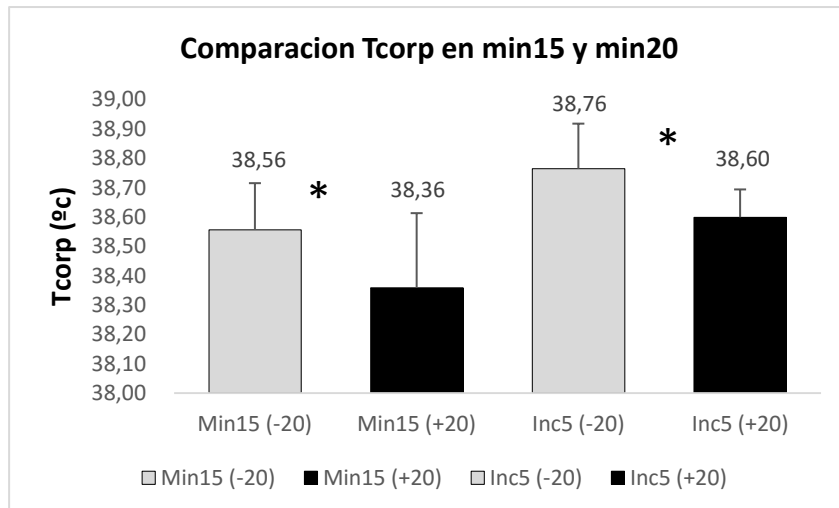
No se apreciaron diferencias notables en el Δ PAD al comparar cada uno de los protocolos de ejercicio con zancada modificada y la FN.

5.2 Parámetros térmicos

Temperatura corporal (T_{corp})(°C)

La T_{corp} al finalizar los protocolos fue estadísticamente mayor ($P < 0.05$) en ZM-20 que en ZM+20 (38.6 ± 0.3 vs 38.4 ± 0.3 °C respectivamente) manteniéndose esta diferencia significativa ($P < 0.05$) tras la ejecución del test incremental TI (38.8 ± 0.3 vs. 38.6 ± 0.4 °C en ZM-20 vs.ZM+20 respectivamente).

La medición de T_{corp} más elevada se halló con la zancada más larga (39.4°C en el ejercicio ZM-20).

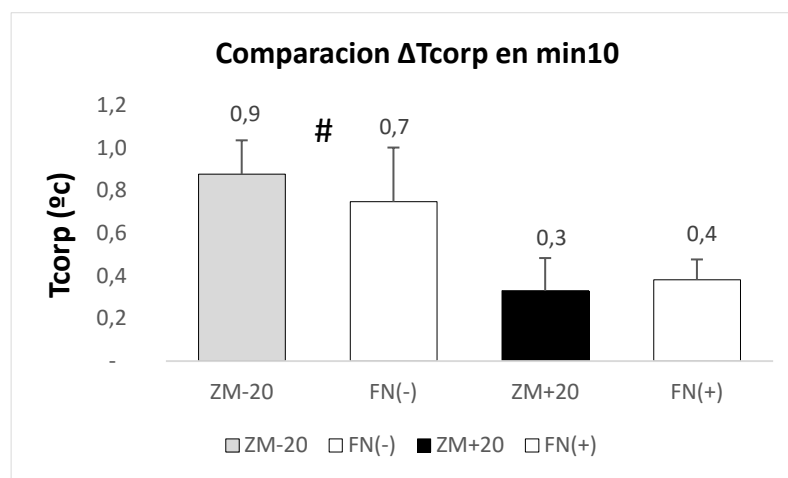


M. Gráfico de comparación de T_{corp} entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 15 y 20 minutos.*Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20.

Incremento de Temperatura corporal (ΔT_{corp})($^{\circ}C$)

Hay diferencias ($P < 0.05$) en el ΔT_{corp} , y se ha observado un mayor incremento de temperatura con la zancada más grande (1.1 ± 0.3 vs. 0.8 ± 0.3 $^{\circ}C$ en ZM-20 y ZM+20 respectivamente; $P < 0.05$)

Al comparar el ΔT_{corp} entre ZM-20 y FN se observan valores estadísticamente mayores en el primero ($P < 0.05$) (0.88 vs 0.38 . $^{\circ}C$ respectivamente). Esta diferencia también es observada al comparar ZM+20 y FN. ($P < 0.05$) (0.75 vs 0.33 . $^{\circ}C$ respectivamente).

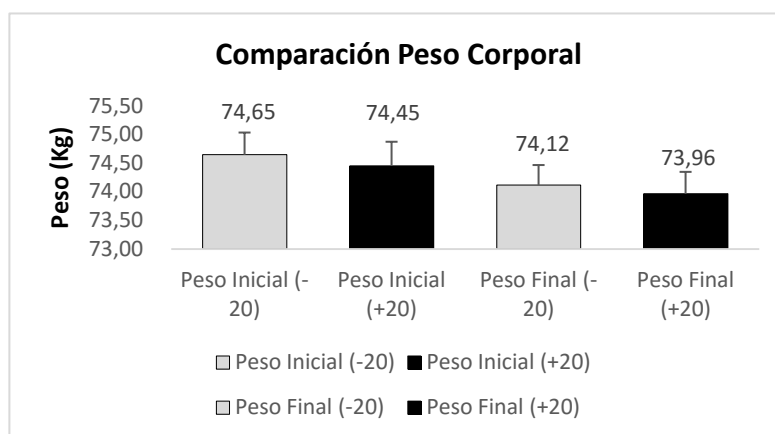


N. Gráfico de comparación de Delta TCorp entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido para los tiempos de 10 minutos. #Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y FN

Pérdida de peso (Kg)

No se encontró diferencia estadísticas en el peso final de los sujetos tras la realización de los protocolos experimentales (74.1 ± 8.6 y 74 ± 8.2 kg en ZM-20 y ZM+20 respectivamente).

Además parece que ninguno de los protocolos induce una mayor pérdida de peso (diferencia entre el peso final e inicial) en comparación con el otro (Δ peso: - 0.52 ± 0.2 kg y -0.48 ± 0.1 kg en ZM-20 y +20 respectivamente).



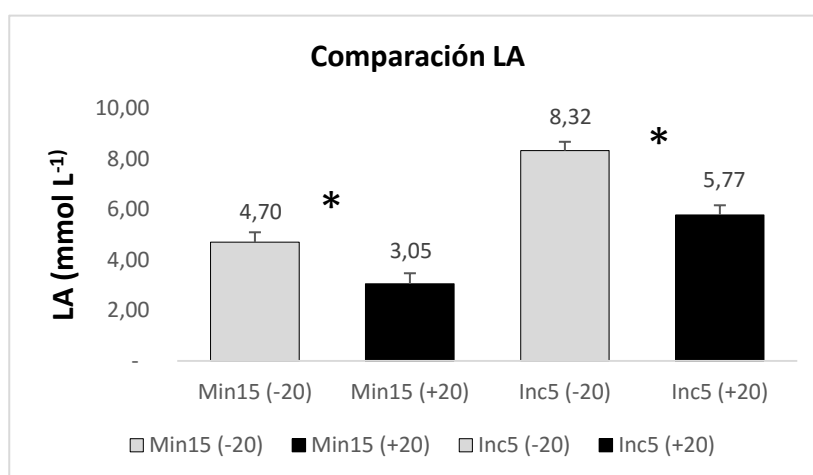
Ñ. Gráfico de comparación de Delta Peso Corporal entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido entre los valores iniciales y finales.

5.3 Parámetros de acidez metabólica

Concentración de lactato capilar [LA] (mmol L⁻¹)

El valor de [LA] al finalizar los 15 minutos de carrera a velocidad estable fue mayor en el ejercicio ZM-20 que en ZM+20 (4.7 ± 2.5 y 3.0 ± 1.4 mmol L⁻¹ respectivamente; $P < 0.05$).

Finalizado el ejercicio incremental TI los valores de [LA] en ZM-20 fueron también estadísticamente mayores que en ZM+20 (8.3 ± 2.9 vs. 5.8 ± 2.0 mmol L⁻¹ respectivamente) ($P < 0.05$).



O. Gráfico de comparación de Delta LA entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los valores registrados en los tiempos de 15 y 20 minutos.

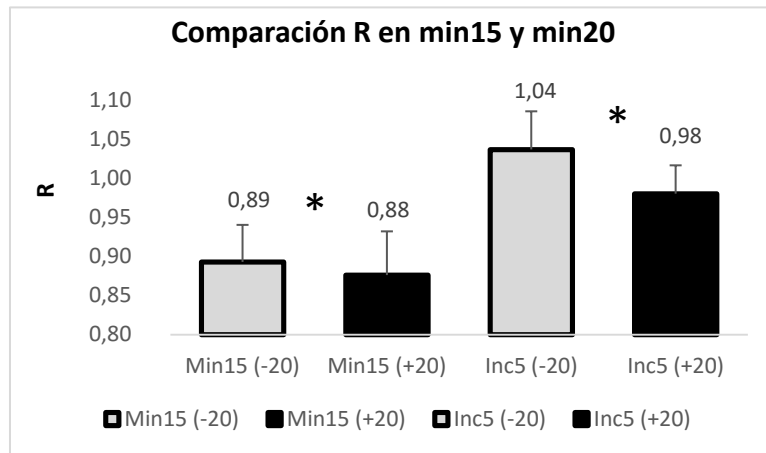
*Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20

El valor de $[LA]$ más elevado se observó en ZM-20 (12 mmol L^{-1}) en situación post-ejercicio

Cociente respiratorio (VCO_2/VO_2)(R)

El valor de R al finalizar los 15 minutos de carrera a velocidad estable fue mayor en el ejercicio ZM-20 que en ZM+20 (0.89 ± 0.0 vs 0.88 ± 0.0 respectivamente; $P < 0.05$).

Finalizado el ejercicio incremental TI los valores de R en ZM-20 fueron también estadísticamente mayores que en ZM+20 (1.04 ± 0.1 vs 0.98 ± 0.1 respectivamente) ($P < 0.05$).



P. Gráfico de comparación de R entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido para los valores registrados en los tiempos de 15 y 20 minutos.

*Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20

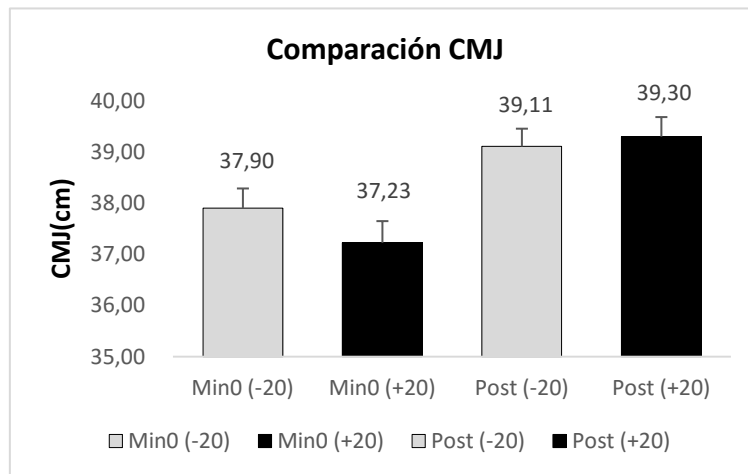
5.4 Rendimiento muscular contráctil

Contracción voluntaria máxima (CMJ)(cm)

Los valores registrados en la medición previa al ejercicio incremental no mostraron diferencia significativa entre protocolos (37.9 ± 4 y 37.2 ± 4 cm en ZM-20 y ZM+20 respectivamente). Tampoco se observaron diferencias entre los saltos

realizados al final del ejercicio incremental (38.7 ± 5 y 39.1 ± 5 cm en ZM-20 y ZM+20 respectivamente).

No obstante, se observa una tendencia a la mejora del salto tras el protocolo ZM+20 en comparación a ZM-20 con un Δ CMJ de 1.4 cm vs 0.9 cm. Esta mejora fue observada en 9 sujetos de los 11 que participaron del experimento en ZM+20, mientras que sólo 6 mejoraron en ZM-20.



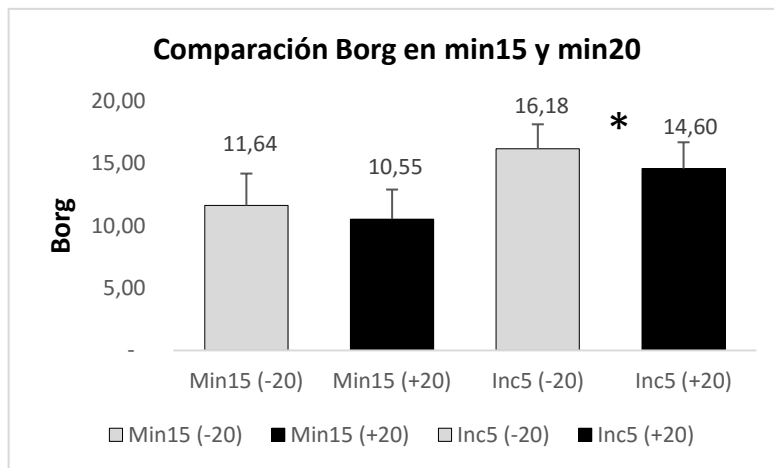
Q.Gráfico de comparación de Delta CMJ entre los protocolos ZM-20 ZM+20. Las comparaciones se han establecido entre los valores registrados en los tiempos de 15 y 20 minutos.

*Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20

5.5. Esfuerzo subjetivo percibido

Escala de Borg

Tras los 15 minutos de carrera a velocidad constante las calificaciones de la escala de Borg fueron 11.6 ± 2.7 y 10.5 ± 2.3 para ZM-20 y ZM+20 respectivamente, sin llegar a mostrar diferencia estadística ($P = 0.06$). Al final de TI sin embargo las diferencias se hicieron más destacadas y llegaron a ser significativas ($P < 0.05$) con valores de 16.2 ± 1.8 y 14.6 ± 2.7 en ZM-20 y ZM+20 respectivamente.

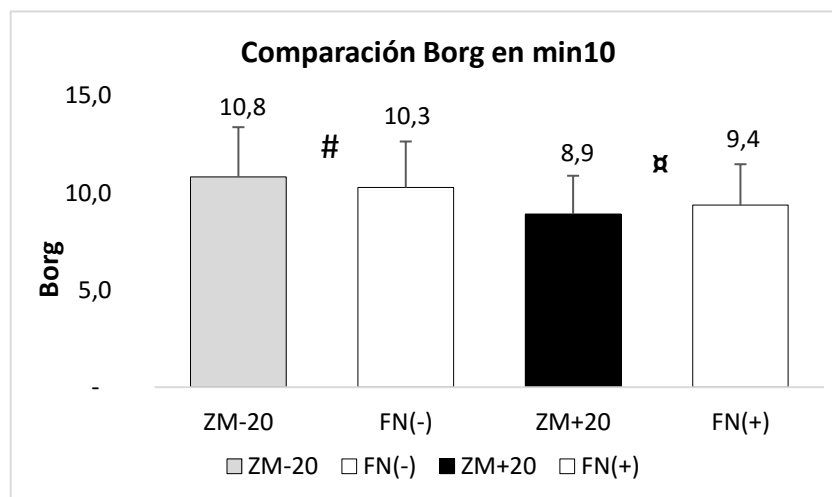


R. Gráfico de comparación de Borg entre los protocolos ZM-20 y ZM+20. Las comparaciones se han establecido en los tiempos de 15 y 20 minutos.

*Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y ZM+20

Se observan diferencias ($P < 0.05$) al comparar el valor de la escala de Borg registrado en de ZM-20 frente a FN (10.8 ± 2.6 vs 9.4 ± 2.1 en ZM-20 y FN respectivamente) y al comparar ZM+20 respecto de FN (10.3 ± 2.4 vs 8.9 ± 2 respectivamente).

Basándonos en estos datos ambas modificaciones de zancada (ZM-20 y ZM+20) generan una mayor percepción de esfuerzo por los sujetos.



Q. GráficoS. Gráfico de comparación de Borg entre los protocolos ZM-20 y FN; y ZM+20 y FN. Las comparaciones se han establecido en los tiempos de 10 minutos.

#Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM-20 y FN

x Diferencia Significativa ($P < 0.05$) entre ZM+20 y FN

6. Discusión

El objetivo de esta investigación fue el análisis de los cambios fisiológicos que acontecen a dos modificaciones de la técnica de carrera: la frecuencia de zancada, y consecuentemente la amplitud de la misma, cuando la velocidad de carrera es constante. Estudios previos puntualizaron que utilizar zancadas más amplias y menos frecuentes supone un mayor gasto energético que zancadas más cortas y de mayor frecuencia (Hogberg 1952; Heiderscheit et al. 2012; Allen et al. 2008). Esta misma tendencia se observó en nuestro estudio con la realización del ejercicio ZM-20. Por otro lado, ya que la frecuencia natural de carrera del sujeto es eficientemente similar a la óptima (Cavagna & Franzetti 1986), aunque con una frecuencia algo menor que ésta (Cavagna et al. 1997), y sabiendo que incrementar la amplitud de la zancada aumentaba el coste energético, en la prueba ZM+20 se podría suponer un menor requerimiento de energía, no solo frente a la otra prueba experimental (ZM-20), sino también el ejercicio de FN. Así se observó en los resultados ya que ZM+20 no exigió un mayor VO_2 e incluso reflejó una tendencia a disminuirlo respecto a FN.

Con el mayor incremento de VO_2 hallado en ZM-20 respecto de FN, sería razonable esperar también un aumento de la FC y la dilatación de vasos sanguíneos (Weisman et al. 2003) que favoreciesen el flujo de ese oxígeno hacia los músculos activos en el ejercicio. Aunque no se analizó la resistencia vascular mediada por la vasodilatación, sí disponemos de datos de FC, y estos reflejan un aumento durante el ejercicio de zancada ampliada (ZM-20) respecto de la FN. El incremento de FC en el ejercicio físico forma parte de las adaptaciones cardiorrespiratorias (Smith 2014; Amann et al. 2015) y simpáticas (Mitchell et al. 1977) medidas por las aferentes III y IV, y va acompañado también de un aumento de la PA, la cual también fue ligeramente superior en el ejercicio de zancada larga.

Junto a VO_2 , la producción de CO_2 y la ventilación también parecen incrementar de forma proporcional a la longitud de zancada. El aumento de VE, que sucede

principalmente a expensas de un mayor PaCO_2 (Wasserman et al. 1973) y que se ve reflejada en los valores de VO_2 , sirve para neutralizar la acidez vascular (Santos & Giannella-Neto 2004), valores que en conjunto están asociados también con una mayor intensidad de ejercicio (Fletcher et al. 2009; Shaw et al. 2014).

Cuando el trabajo mecánico exigido es elevado y los músculos precisan una mayor cantidad de energía para mantener el movimiento, hay un aumento del catabolismo celular para suministrar ATP a los miocitos, necesario para la contracción muscular. Este aumento del metabolismo, junto a la fricción generada en el músculo por las continuas contracciones durante el esfuerzo de carrera (Allen et al. 2008) va a originar un aumento del calor producido de manera endógena, que se verá reflejado en un aumento de la temperatura corporal y muscular. Los valores de T_{corp} hallados en este estudio evidencian que el ejercicio de zancada más corta (ZM+20) produce un menor grado de hipertermia. Del mismo modo, el aumento absoluto de esta temperatura a lo largo del protocolo también fue menor en este ejercicio, acontecimiento representativo ya que además del valor de T_{corp} la magnitud de cambio de dicha variable parece condicionar mucho el rendimiento físico (Marino 2002).

El incremento de T_{corp} se ha relacionado con un metabolismo menos productivo (Nielsen et al. 1997), una activación muscular voluntaria alterada (Brazaitis et al. 2010; Nybo & Nielsen 2001) y en general una mayor fatiga (González-Alonso et al. 1985), posiblemente por el efecto inhibitorio de las aferentes musculares III y IV (Nybo & Rasmussen 2014). Todo ello acarrea un trabajo muscular menos eficiente y compromete el rendimiento (Marino 2002), por lo que parece razonable que el incremento de temperatura vaya ligado a valores superiores de la escala de Borg, como herramienta que mide la percepción del esfuerzo realizado de manera individual por cada sujeto. Así se observó en el ejercicio ZM-20 al mostrar cifras significativamente mayores de ambas variables en comparación con el ejercicio ZM+20.

Del mismo modo se esperaría que una mayor T_{corp} condicionase la capacidad de salto de los participantes, aunque sin embargo los valores de CMJ de los dos ejercicios modificados no fueron estadísticamente distintos.

La pérdida de calor por evaporación es uno de los principales mecanismos de regulación térmica corporal, por lo que se esperaría una mayor magnitud de deshidratación en aquella prueba en la que la T_{corp} fue menor (ZM+20), justificado por un mejor control de la hipertermia durante dicho protocolo. Sin embargo la pérdida de peso de ambos ejercicios no fue distinta, por lo que el estadísticamente mayor ΔT_{corp} observado en el ejercicio ZM-20 no se puede explicar por una menor deshidratación o mejor dicho, por una peor disipación de calor. Quizás si el protocolo de experimentación hubiera sido más prolongado en el tiempo se podrían apreciar diferencias más notables en el grado de deshidratación (Westerblad et al. 2002).

El aumento de la temperatura a nivel muscular también se ha relacionado con contracciones menos productivas (Brazaitis et al. 2010; Moopanar & Allen 2005; Allen et al. 2008). En nuestro experimento no se ha medido la temperatura interna del músculo, no obstante, analizado el resultado del test de CMJ en el que no observamos diferencias entre ambos grupos y sabiendo que no existe correlación directa entre la temperatura corporal y muscular (González-Alonso et al. 1985), podríamos suponer que la temperatura en el músculo no fue diferente entre los grupos.

Aunque todos los parámetros analizados estén implicados con el rendimiento del ejercicio, hay un parámetro utilizado de forma generalizada para evaluar la fatiga en el ejercicio y es la acidez vascular. El umbral de lactato, que sirve igualmente para determinar el umbral anaeróbico, hace referencia a la intensidad de ejercicio en la cual el [LA] pierde su valor de estabilidad mostrando un incremento exponencial. Algunos autores han establecido de manera arbitraria un valor de lactacidemia muscular por encima de la cual se considera que existe acidez. El estándar más habitual de concentración de LA vascular es el de 4 mmol L^{-1} sangre(OBLA4) (Santos-Concejero et al. 2013). En este estudio se observó que el

ejercicio de frecuencia de zancada reducida (ZM-20) supone una mayor acidez vascular y el promedio de LA al final de 15 minutos de ejercicio a velocidad estable en ZM-20 se encontraba por encima del OBLA4 mientras que la hallada en el ejercicio de zancada más corta (ZM+20) se quedó muy por debajo de este umbral. La acidificación puede causar cambios en la carga de oxígeno y señales nerviosas (Grassi et al. 2015), afectando así a la capacidad de trabajo muscular. Este hecho fue de especial relevancia en el ejercicio incremental en ZM-20, ya que 3 sujetos no pudieron concluir el protocolo diseñado, posiblemente por fatiga ácida, solicitando interrumpirlo de manera voluntaria con un elevado valor en el test de percepción de esfuerzo subjetivo. En un estudio Fabre et al. 2012 encontraron correlación entre la percepción subjetiva de esfuerzo (Borg) y la acidez (LA), por lo que podría deducirse la acidez metabólica a partir de una sencilla valoración utilizando la escala de Borg.

Al analizar los resultados obtenidos en ambos protocolos, se observó que los valores de acidez láctica finalizados los 15 minutos de ejercicio a velocidad constante, fueron estadística mayores en ZM-20 que en ZM+20, lo que ponía de manifiesto que es ejercicio implicó una mayor intensidad que se vio reflejada en un mayor requerimiento energético del metabolismo anaeróbico. Esto mismo también fue observado cuando comparamos los resultados al final del ejercicio incremental.

De forma similar al LA, el cociente respiratorio (R) nos permite estimar el grado de acidez del sujeto (Goedecke et al. 2000) ya que aumenta proporcional al VCO_2 y refleja la actividad tamponadora vascular para contrarrestar el descenso de pH sanguíneo. Que el valor de R, al igual que LA fuese mayor en ZM-20 reitera una mayor dependencia del metabolismo anaeróbico por este ejercicio, lo que lo hace menos eficiente metabólicamente.

Tras el análisis integrador de los resultados se puede deducir que el ejercicio de zancada alargada (ZM-20) genera unas consecuencias fisiológicas que dificultan la ejecución del ejercicio y que, en definitiva, aumentan el gasto de la actividad

energética y pueden anticipar la interrupción del mismo. De las variables analizadas las que mejor evidencian esta suposición son VO₂, R, LA, Tcorp y Borg.

Esa mayor demanda energética observada el ejercicio de ZM-20 parece estar relacionada con la biomecánica de la carrera, especialmente con la rigidez de la extremidad inferior (K. R. Barnes et al. 2015; Dumke et al. 2010). La rigidez se ha relacionado positivamente con la capacidad de la pierna de almacenar energía elástica (Taylor 1985; CAVAGNA et al. 1964), por lo que una mayor rigidez permitiría maximizar la energía acumulada en la extremidad que podría utilizarse en el sucesivo movimiento disminuyendo así la demanda energética al organismo (Moore 2016; Saunders et al. 2004). Se especula que la rigidez tiene una regulación a nivel central (Hobara et al. 2007), por lo que el propio estado de fatiga podría disminuirla y reducir la capacidad de almacenar energía elástica.

Del mismo modo, el cambio de la frecuencia de zancada podría repercutir en las oscilaciones verticales y en la energía empleada en el braceo repercutiendo en el costo energético del ejercicio (Saunders et al. 2004). Todo ello realza aún más la importancia de la técnica empleada para perfeccionar y optimizar el ejercicio (de Ruiten et al. 2014), siendo coincidente con los resultados que hemos obtenido en nuestro trabajo, en los que una mayor amplitud de zancada, posiblemente requiera de una mayor elevación de centro de masas corporal, lo cual conllevaría un incremento del trabajo mecánico que a su vez requiera de un mayor gasto energético.

7. Conclusión

La información procedente de los parámetros analizados en el estudio; que comprenden variables fisiológicas (metabólicas, térmicas, acídicas y cardiorrespiratorias) y variables asociadas al rendimiento físico (salto vertical, tiempo de ejercicio incremental, y la percepción subjetiva de esfuerzo), parecen indicar que la utilización de una zancada de carrera más larga y de menor frecuencia (ZM-20) aumenta la demanda energética, pudiendo acelerar la aparición de la fatiga que impida la continuidad del trabajo físico .

A este respecto, un ejercicio de carrera ejecutado con una frecuencia de zancada baja, inferior a la seleccionada de forma natural por el corredor, sería desaconsejable ya que acelera la aparición de fatiga.

De manera contraria, se aconseja que los corredores reduzcan la amplitud de zancada y realicen más pisadas por unidad de tiempo, ya que de acuerdo con el presente estudio y la bibliografía existente, esta acción puede atrasar la aparición de fatiga muscular.

8. Bibliografía

- Aamot, I.L. et al., 2014. Does rating of perceived exertion result in target exercise intensity during interval training in cardiac rehabilitation? A study of the Borg scale versus a heart rate monitor. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(5), pp.541–545. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2013.07.019>.
- Alghannam, A.F. et al., 2016. Reliability of Time to Exhaustion Treadmill Running as a Measure of Human Endurance Capacity. *International journal of sports medicine*, 37(3), pp.219–23. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26669250> [Accessed May 29, 2016].
- Allen, D.G., Lamb, G.D. & Westerblad, H., 2008. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1), pp.287–332. Available at: <http://physrev.physiology.org/content/88/1/287.short>.
- Allen, D.G. & Westerblad, H., 2001. Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *Journal of Physiology*, 536(3), pp.657–665.
- Amann, M. et al., 2015. Autonomic responses to exercise: Group III/IV muscle afferents and fatigue. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 188, pp.19–23. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autneu.2014.10.018>.
- Amann, M. et al., 2013. Peripheral fatigue limits endurance exercise via a sensory feedback-mediated reduction in spinal motoneuronal output. *Journal of applied physiology*, 115(3), pp.355–64. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3743006&tool=pmc-entrez&rendertype=abstract>.
- Bangsbo, J. et al., 1996. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *The Journal of physiology*, 495(2), pp.587–596.
- Barnes, K., 2014. *Strategies to Improve Running Economy in Trained Distance Runners*. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25164465>.
- Barnes, K.R. et al., 2015. Warm-up with a weighted vest improves running performance via leg stiffness and running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(1), pp.103–108.
- Barnes, K.R. et al., 2015. Warm-up with a weighted vest improves running performance via leg stiffness and running economy. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 18(1), pp.103–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24462560> [Accessed May 18, 2016].
- Barnes, K.R. & Kilding, A.E., 2015. Running economy: measurement, norms and determining factors. *Sports Medicine*, 1(8), pp.1–15.
- Bigland-Ritchie, B. & Woods, J.J., 1984. Change in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & Nerve*, 7, pp.691–699.
- Boyas, S. & Guével, A., 2011. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54(2), pp.88–108. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877065711000029>.
- Brazaitis, M. et al., 2010. Force variability depends on core and muscle temperature. *Journal of Thermal Biology*, 35(8), pp.386–391.
- Le Bris, R. et al., 2006. Effect of fatigue on stride pattern continuously measured by an accelerometric gait recorder in middle distance runners. *The Journal of sports*

- medicine and physical fitness*, 46(2), pp.227–31. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16823352> [Accessed May 18, 2016].
- Cavagna, G. a et al., 1991. The two power limits conditioning step frequency in human running. *The Journal of physiology*, 437, pp.95–108.
- Cavagna, G.A. et al., 1997. The resonant step frequency in human running. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 434(6), pp.678–684.
- Cavagna, G.A. & Franzetti, P., 1986. The determinants of the step frequency in walking in humans. *The Journal of Physiology*, 373, pp.235–242.
- CAVAGNA, G.A., SAIBENE, F.P. & MARGARIA, R., 1964. MECHANICAL WORK IN RUNNING. *Journal of applied physiology*, 19(2), pp.249–56. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14155290> [Accessed May 24, 2016].
- Columbia, B., 2008. Effects of interindividual variation, state of training, and prolonged work on running economy. *Biology of*, 25(3), pp.197–210.
- Cormie, P., McBride, J.M. & McCaulley, G.O., 2009. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), pp.177–186.
- Crews, D.J., 1992. Psychological state and running economy. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(4), pp.475–482.
- Daniels, J.T., 1985. A physiologist's view of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3), pp.332–8.
- Dolgener, F., 1982. Oxygen cost of walking and running in untrained, sprint trained, and endurance trained females. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 22(1), pp.60–5. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7132318> [Accessed May 17, 2016].
- Donelan, J.M., Kram, R. & Kuo, A.D., 2001. Mechanical and metabolic determinants of the preferred step width in human walking. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 268(1480), pp.1985–92. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1088839&tool=pmc-entrez&rendertype=abstract>.
- Dumke, C.L. et al., 2010. Relationship Between Muscle Strength, Power and Stiffness and Running Economy in Trained Male Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, pp.249–261.
- DW, M. et al., 1990. Effects of a prolonged maximal run on running economy and running mechanics. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(6), pp.834–840.
- Enoka, R.M., 1995. Mechanisms of muscle fatigue: Central factors and task dependency. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5(3), pp.141–149.
- Enoka, R.M. & Duchateau, J., 2008. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*, 586(1), pp.11–23.
- Enoka, R.M. & Stuart, D.G., 1985. Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of applied physiology*, 72(5), pp.1631–1648.
- Fabre, N. et al., 2012. A Novel Approach for Lactate Threshold Assessment Based on RPE. *International journal of sports physiology and performance*, 8(3), pp.263–270. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22954509>.
- Farley, C.T. & González, O., 1996. Leg stiffness and stride frequency in human running. *Journal of Biomechanics*, 29(2), pp.181–186. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0021929095000291> [Accessed May

- 18, 2016].
- Finsterer, J., 2012. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC musculoskeletal disorders*, 13(218), pp.1–13. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3534479&tool=pmc-entrez&rendertype=abstract>.
- 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), pp.1918–1922.
- de França, E. et al., 2016. Data reproducibility of pace strategy in a laboratory test run. *Data in Brief*, 7, pp.946–950. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352340916301652>.
- Franch, J. et al., 1998. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(8), pp.1250–1256.
- Froyd, C., Millet, G.Y. & Noakes, T.D., 2013. The development of peripheral fatigue and short-term recovery during self-paced high-intensity exercise. *J Physiol*, 591(5), pp.1339–1346.
- Gamberale, F., 1972. Perceived exertion, heart rate, oxygen uptake and blood lactate in different work operations. *Ergonomics*, 15(5), pp.545–54. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4660278> [Accessed June 4, 2016].
- Gandevia, S.C., 2001. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological reviews*, 81(4), pp.1725–89. Available at: <http://physrev.physiology.org/content/81/4/1725.full.pdf> \n<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11581501>.
- Goedecke, J.H. et al., 2000. Determinants of the variability in respiratory exchange ratio at rest and during exercise in trained athletes. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 279(6), pp.E1325–E1334.
- Gollhofer, A. et al., 1987. Fatigue during stretch-shortening cycle exercises: changes in mechanical performance of human skeletal muscle. *Int.J.Sports Med.*, 8(2), pp.71–78. Available at: PM:3596879.
- González-Alonso, J. et al., 1985. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of applied physiology*, 86(3), pp.1032–9. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10066720>.
- Grassi, B., Rossiter, H.B. & Zoladz, J. a., 2015. Skeletal Muscle Fatigue and Decreased Efficiency: Two Sides of the Same Coin? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 42(2), pp.75–83. Available at: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00003677-900000000-99876>.
- Greg J, Wilson, Newton, R.U., 1993. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), pp.1279–86.
- Heiderscheit, B.C. et al., 2012. Effects of Step Rate Manipulation on Joint Mechanics during Running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(2), pp.296–302.
- Hobara, H. et al., 2012. Step frequency and lower extremity loading during running. *International journal of sports medicine*, 33(4), pp.310–3. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22383130> [Accessed May 18, 2016].
- Hobara, H., Kanosue, K. & Suzuki, S., 2007. Changes in muscle activity with increase in

- leg stiffness during hopping. *Neuroscience Letters*, 418(1), pp.55–59.
- Hogberg, P., 1952. How do stride length and stride frequency influence the energy-output during running? *Arbeitsphysiologie; internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie*, 14(6), pp.437–41. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14953185> [Accessed June 3, 2016].
- 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), pp.653–661.
- In, E.C. et al., 2014. STRIDE ANGLE AS A NOVEL INDICATOR OF RUNNING ECONOMY IN WELL-TRAINED RUNNERS. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(7), pp.1889–1895.
- Jones, A.M. & Doust, J.H., 1996. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), pp.321–327. Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=7613528&site=ehost-live>.
- Jubeau, M. et al., 2014. Changes in voluntary activation assessed by transcranial magnetic stimulation during prolonged cycling exercise. *PLoS ONE*, 9(2), pp.1–10.
- Lieberman, D.E. et al., 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. *The Journal of experimental biology*, 218, pp.3406–14. Available at: <http://jeb.biologists.org/content/218/21/3406.abstract>.
- Marino, F.E., 2002. Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, 36(2), pp.89–94.
- Masumoto, K., Bailey, J.P. & Mercer, J.A., 2015. Determining if muscle activity is related to preferred stride frequency during running in the water and on land. *European Journal of Applied Physiology*, 115(12), pp.2691–2700. Available at: "<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-015-3234-5>.
- Mayhew J L, 1977. Oxygen cost and energy expenditure of running in trained runners. *Brit. J. Sports Med.*, 11(3), pp.116–121.
- Mercer, J. & Dolgan, J., 2008. The physiological importance of preferred stride frequency during running at different speeds. *JEPonline*, 11(3), pp.26–32. Available at: <http://faculty.css.edu/tboone2/asep/mercerjeponlinejune2008.pdf>.
- Mercer, J.A. et al., 2002. Relationship between shock attenuation and stride length during running at different velocities. *European Journal of Applied Physiology*, 87(4-5), pp.403–408.
- Mitchell, J.H., Reardon, W.C. & McCloskey, D.I., 1977. Reflex effects on circulation and respiration from contracting skeletal muscle. *The American journal of physiology*, 233(3), pp.H374–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/910926> [Accessed June 1, 2016].
- Montain, S.J. & Coyle, E.F., 1992. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 73(4), pp.1340–50. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1447078> [Accessed May 28, 2016].
- Moopanar, T.R. & Allen, D.G., 2005. Reactive oxygen species reduce myofibrillar Ca²⁺ sensitivity in fatiguing mouse skeletal muscle at 37 degrees C. *The Journal of physiology*, 564(1), pp.189–199.

- Moore, I.S., 2016. Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports Medicine*, 46(6), pp.796–807. Available at: "<http://dx.doi.org/10.1007/s40279-016-0474-4>.
- Mora-Rodríguez, R. & Aguado-Jimenez, R., 2006. Performance at high pedaling cadences in well-trained cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(5), pp.953–957.
- Morin, J.-B. et al., 2006. Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. *International journal of sports medicine*, 27(2), pp.158–65. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16475063> [Accessed May 18, 2016].
- Nielsen, B. et al., 1997. Acute and adaptive responses in humans to exercise in a warm, humid environment. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 434(1), pp.49–56.
- Nielsen, B. et al., 1993. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *Journal of Physiology*, 460, pp.467–485.
- Nybo, L., 2008. Hyperthermia and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(3), pp.871–878.
- Nybo, L. & Nielsen, B., 2001. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91(3), pp.1055–1060.
- Nybo, L. & Rasmussen, P., 2014. Performance in the Heat-Physiological Factors of Importance for Hyperthermia- Induced Fatigue. *Comprehensive Physiology*, 4(2), pp.657–89.
- Pate, R.R. et al., 1992. Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(10), pp.1128–33.
- René, J. & Muriel, L., 2015. Factors affecting the energy cost of level running at submaximal speed. *European journal of applied physiology*, 115(4), pp.651–673.
- de Ruiter, C.J. et al., 2014. Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners. *European journal of sport science*, 14(3), pp.251–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23581294> [Accessed May 29, 2016].
- de Ruiter, C.J. et al., 2013. Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners. *European Journal of Sport Science*, 14(3), pp.251–258. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17461391.2013.783627>.
- S, M. et al., 2014. Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance. *Human Movement Science*, 33, pp.203–210.
- Santos, E.L. & Giannella-Neto, A., 2004. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *European Journal of Applied Physiology*, 93(3), pp.315–324.
- Santos-Concejero, J. et al., 2013. Onset of blood lactate accumulation as a predictor of performance in top athletes. *Retos. Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, 23, pp.67–69.
- Saunders, P.U. et al., 2004. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34(7), pp.465–485.
- Shaw, A.J. et al., 2015. The Correlation between Running Economy and Maximal

- Oxygen Uptake: Cross-Sectional and Longitudinal Relationships in Highly Trained Distance Runners. *PLoS One*, 10(4), pp.1–10.
- 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), pp.1968–1973.
- Smith, S.A., 2014. No pain, no gain: Somatosensation from skeletal muscle. *Experimental physiology*, 99(2), pp.340–1. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24487245>.
- Snyder, K.L. & Farley, C.T., 2011. Energetically optimal stride frequency in running: the effects of incline and decline. *The Journal of experimental biology*, 214(Pt 12), pp.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, pp.1239–1247.
- Sumpter, D.A., García, A.J. & Pozo, J., 2015. The relationship between perceived exertion, physical activity and quality of life in older women. , 24(2), pp.281–287.
- Tartaruga, M.P. et al., 2012. The Relationship Between Running Economy and Biomechanical Variables in Distance Runners Copyrighted Material: Not for Reprint or Redistribution Copyrighted Material: Not for Reprint or Redistribution. *Physical Education, Recreation and Dance*, 83(3), pp.367–375.
- Taylor, C.R., 1985. Force development during sustained locomotion: a determinant of gait, speed and metabolic power. *The Journal of experimental biology*, 115, pp.253–262.
- Taylor, J.L. & Gandevia, S.C., 2008. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), pp.542–550.
- Wasserman, K. et al., 1973. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 35(2), pp.236–243. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23419723> \n<http://jap.physiology.org/content/jap/35/2/236.full.pdf>.
- Weisman, I.M. et al., 2003. ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 167(2), pp.211–277.
- Westerblad, H., Allen, D.G. & Lännergren, J., 2002. Muscle Fatigue: Lactic Acid or Inorganic Phosphate the Major Cause? *Physiology*, 17, pp.17–21. Available at: <papers2://publication/uuid/A863E13E-998A-4AA8-BF3E-AC53344BA609>.
- Zghal, F. et al., 2015. Improved tolerance of peripheral fatigue by the central nervous system after endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 115, pp.1401–1415. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-015-3123-y>.

9. Anexo

Anexo I. Escala de Borg 6-20

Rating	Perceived Exertion
6	No exertion
7	Extremely light
8	
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximal exertion

Table 1. The Borg Rating of Perceived Exertion Scale

Anexo II. Documento Informativo (1/3)

PARTICIPACIÓN COMO VOLUNTARIO EN EL PROYECTO DE INVESTIGACION DENOMINADO:

“Evaluación del efecto de diferentes frecuencias de zancada en un ejercicio de carrera a intensidad constante sobre parámetros de fatiga durante el ejercicio”

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
LABORATORIO BIOFIM

Se te invita a participar en un estudio que tiene como objeto comparar la respuesta de variables fisiológicas y mecánicas asociadas a la fatiga cuando el sujeto corre a dos frecuencias de zancada. De esta manera se pretende valorar qué técnica induce una menor intensidad de fatiga y por lo tanto es más eficiente para el corredor.

Para ello se realizará una serie de pruebas en un tapiz rodante (cinta de correr) a una intensidad moderada y constante.

Has sido seleccionado para participar en este estudio porque eres un sujeto sano, tu estado de forma física es estable, no padeces enfermedad alguna y no estás recibiendo tratamiento farmacológico (tomando medicinas). Habrá aproximadamente otros 10-15 participantes que participarán en esta investigación.

Si decides participar, te pediremos que acudas al laboratorio en **2 ocasiones**.

Las pruebas requieren un tiempo estimado de 45 minutos y se realizarán en distintos días (dejando suficiente descanso para asegurar una normalización del cuerpo).

DÍA DE LA PRUEBA (Aprox. 45 minutos):

Se os facilitará una pastilla telemétrica para la medición de vuestra temperatura interna que deberéis ingerir al menos 6 horas antes de la realización de la prueba. Una vez en el laboratorio se realizarán los siguientes registros de datos:

MEDIDAS ANTROPOMETRICAS (5 minutos). Se pesará, tallará y medirá el porcentaje de tejido graso del sujeto mediante bioimpedancia eléctrica (intentar respetar las recomendaciones, mirar apartado *Consideraciones*)

INSTRUMENTALIZACIÓN (3 minutos). Se os colocará un pulsómetro, un tensiómetro, electrodos y máscara para el analizador de gases (ergoespirometría).

CALENTAMIENTO/ESTIMACIÓN FRECUENCIA DE ZANCADA NATURAL. Se pedirá al sujeto realizar una carrera de 10 minutos a una velocidad de 9 km/h. Durante este tiempo se estimará cuál es el ritmo de zancada confortable para el sujeto.

TEST DE FUERZA EXPLOSIVA/ELÁSTICA (3 minutos). Antes y después de cada carrera se pedirá a los sujetos realizar dos saltos máximos (Countermovement Jump). Con las manos fijadas en la cadera deberán realizar un salto vertical saltando lo máximo posible. El tiempo de vuelo será registrado por unas células fotoeléctricas.

Anexo II. Documento Informativo (2/3)

CARRERA DE FRECUENCIA DE ZANCADA MODIFICADA (15 minutos). Durante la carrera de 15 minutos los investigadores registrarán los datos de las variables temperatura corporal, frecuencia cardiaca, volumen minuto, consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono y percepción de esfuerzo (Escala de Borg), muestra sanguínea del dedo índice de la mano (solo requiere una pequeña punción) para medir los niveles de acidez en sangre.

TEST INCREMENTAL(5 minutos): Justo al finalizar la carrera de 15 minutos el sujeto realizará una prueba de velocidad incremental (TTE). En dicha prueba se partirá de una velocidad de 10 km/h y se incrementará 1 km/h cada minuto hasta alcanzar 14 km/h. Tendrá una duración total de 5 minutos.

Estos dos últimos test, se realizarán dos veces de manera idéntica, en las cuales solo cambiará el ritmo de carrera o frecuencia de zancada (nº de pasos por unidad de tiempo). Ese ritmo/frecuencia estará marcado por un metrónomo acústico.

Al finalizar esta prueba se volverá a analizar la acidez en sangre y se realizará otro test de fuerza explosiva (salto vertical).

EN RESUMEN

Se te pedirá que participes en 2 visitas al laboratorio. Las pruebas tendrán lugar en el Laboratorio del grupo BIOFIM, taller nº 5 (laboratorio de biomecánica) en el Campus de Tudela de la Universidad Pública de Navarra. Rogamos tengas en cuenta las siguientes **consideraciones**:

- ✦ El día antes de la visita al laboratorio y el día de la visita **NO ENTRENES** y en caso de ser necesario, el entreno del día anterior ha de ser suave, de intensidad muy baja y duración inferior a 25 minutos.
- ✦ La ingesta de alcohol, tabaco, estimulantes o sedantes el día previo a los experimentos afecta los resultados y por lo tanto **no está permitida**.
- ✦ Puedes comer hasta 2 hora antes de llegar al laboratorio
- ✦ **TE ACONSEJAMOS QUE BEBAS DE MANERA ABUNDANTE DURANTE ESE DÍA Y 500ML DE AGUA 2 HORAS ANTES DE LA PRUEBA.**
- ✦ Trae contigo ropa deportiva, así como ropa de ducha para después del test.
- ✦ Acuérdate de ingerir la pastilla (emisor de temperatura corporal) facilitada al menos 2 horas antes de realizar la prueba.
- ✦ En lo referente a la dieta previa, te rogamos que intentes seguir el siguiente esquema (respetar las mismas comidas cada día que realices la prueba para mantener las mismas condiciones):

CENA del día anterior a la prueba:

Macarrones con tomate: 80 g macarrones cocidos + 80 g tomate frito

Pechuga de pollo c/ patata cocida: 100 g pechuga pollo/pavo + 100 g patata cocida.

100 g de fruta

20 g aceite de oliva.

30 g pan blanco.

Anexo II. Documento Informativo (3/3)

DESAYUNO del día de la prueba:

Vaso grande de zumo natural ó una fruta grande

250g de leche entera

60 g de pan blanco

30 g de mermelada normal

2-3 lonchas de embutido animal no muy graso (jamón cocido, pechuga de pavo, jamón serrano no muy graso)

ALMUERZO (si la prueba se realiza después de comer):

100g de pasta cocida ó arroz cocido con 150g de verdura

Lata de atún ó huevo cocido.

30-40g de pan blanco

1 pieza de fruta ó yogur

*Se recomienda traer alguna pieza de fruta para tomar después de realizar la prueba.

No recibirás beneficio económico por la participación en estas pruebas, pero los resultados de las mediciones realizadas se te darán a conocer una vez analizadas. Si tus datos son usados en publicaciones científicas se mantendrá el anonimato de tu persona.

Si tienes alguna duda sobre alguno de los procedimientos experimentales descritos aquí no dudes en consultarnos en persona o escribiendo a los siguientes correos: miriamcabelloolmo@hotmail.com o roberto.aguado@unavarra.es

Se te ofrecerá una copia de este documento. SU FIRMA INDICA QUE HAS LEIDO LA INFORMACIÓN PRESENTADA EN ESTE DOCUMENTO Y QUE HAS DECIDIDO PARTICIPAR VOLUNTARIAMENTE. Tienes derecho a interrumpir o abandonar tu participación en este proyecto en cualquier momento sin que esto resulte en perjuicio de tus relaciones con la Universidad Pública de Navarra.

Anexo III. Hoja de consentimiento

**HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO
PARA PARTICIPAR EN EL ESTUDIO**

“Evaluación del efecto de diferentes frecuencias de zancada en un ejercicio de carrera a intensidad constante sobre parámetros de fatiga durante el ejercicio”

**Dirigido por:
Roberto Aguado Jiménez**

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
LABORATORIO BIOFIM**

Nombre del Participante _____
Fecha de nacimiento _____ DNI _____
Dirección _____
Teléfono _____

El abajo firmante ha leído y comprendido el contenido de este consentimiento y su firma debajo significa que participa voluntariamente en los procedimientos experimentales arriba expuestos

PARA QUE ASÍ CONSTE LA FIRMA Y FECHA

En Tudela a ____ de ____ de 20 ____ Firma. _____

Anexo IV. Plantilla de registro de datos

NOMBRE, APELLIDOS	EDAD	%GRASO	TALLA	FREC.NAT	FREC.+20	FREC.-20	VEL.TEST	Talla calzado	FRECUENCIA

FECHA

HORA	Temp [3C]	HR (%)	PESO PRE	PESO POST	TS Corp	FC	PAS	PAD

CALENTAMIENTO	TIEMPO	CMJ1	CMJ2	LACT	VO2	VCO2	VE	RER	FC	TEMP	BORG	PSIST	PDIAS
PRE-TEST	0 2												
EJERCICIO 9KM/h	6.30												
REPOSO ACTIVO 3 KM/h	7												
EJERCICIO 9KM/h	11:30												
REPOSO ACTIVO 3 KM/h	12												
POST-TEST	12 13												

FRECUENCIA - 20 CICLOS/MINUTO	TIEMPO	CMJ1	CMJ2	LACT	VO2	VCO2	VE	RER	FC	TEMP	BORG	PSIST	PDIAS
EJERCICIO 9KM/h	19.30												
REPOSO ACTIVO 3 KM/h	20												
EJERCICIO 9KM/h	24.30												
REPOSO ACTIVO 3 KM/h	25												
EJERCICIO 9KM/h	29.30												
REPOSO ACTIVO 3 KM/h	30												
EJERC.INCREMENTAL 10KM/h	31												
EJERC.INCREMENTAL 11KM/h	32												
EJERC.INCREMENTAL 12KM/h	33												
EJERC.INCREMENTAL 13KM/h	34												
EJERC.INCREMENTAL 14KM/h	35												
POST-TEST													

10. Borrador de artículo

Revista Seleccionada:



J. exp. Bio ~ United Kingdom

Stride frequency during a constant-speed race and effect on
fatigue-related parameters.

Miriam Cabello Olmo

Public University of Navarra – Faculty of Health Science School

E-mail address - miriamcabelloolmo@hotmail.com

Roberto Aguado Jiménez*

Public University of Navarra – Faculty of Health Science School

E-mail address- roberto.aguado@unavarra.es

*Author for correspondence

KEY WORDS: Neuromuscular fatigue, Performance, Stride frequency

1 **1. Summary Statement.**

2 The current work aims to provide the basis for a better understanding of the fatigue
3 state which takes place subsequent to a stride frequency modification during a
4 constant speed race.

5
6 **2. Abstract.**

7 Running technique affects to energy requirements. This research examined the
8 physiological effect and performance after the manipulation of natural stride
9 frequency. 11 subjects (23.5±6.8 years, 182±7.6 cm, 74.7±8.4 kg, 14±3 fat %) participated in this study. A 45 minutes protocol was executed (10min NF at 9km·h⁻¹; 15min MD at 9km·h⁻¹; 5min MF at 10km·h⁻¹+1km·h⁻¹·min). Cardiorespiratory, thermal and acidic variables, CMJ and rate of perceived exertion were measured when NSF was increased and decreased 20 strides per minute (SF+20 y SF-20). It was observed significant difference (P<0.05) in values for VO₂: 3.2±0.5 vs. 2.9±0.6 mL·min⁻¹; FC: 169.8±18.4 vs. 162±2.6 bpm; T_{core}: 38.6±0.3 vs 38.4±0.3 °C; LA: 4.7±2.5 y 3.0±1.4 mmol L⁻¹; RPE: 11.6±2.7 y 10.5±2.3 in ZM-20 vs ZM+20 respectively. Using shorter strides (ZM+20) can delay fatigue appearance with respect to using longer strides (ZM-20).

19
20 **3. Introduction**

21
22 It has been observed that most runners use to keep a self-selected stride frequency
23 (SF) and the suspected cause is the innate ability to choose the most thrifty pace
24 style (Cavagna et al. 1997; Lieberman et al. 2015; Donelan et al. 2001; Snyder et al.
25 2012; Cavagna & Franzetti 1986; Moore 2016). Put differently, the racer preferred
26 gait, referred to as natural stride frequency (NSF) in prior studies (Cavagna et al.
27 1997; Cavagna & Franzetti 1986; Cavagna et al. 1991; Lieberman et al. 2015), is akin
28 to the most economical one (Cavagna & Franzetti 1986). SFs remote to the optimal
29 stride frequency (OSF) tends to increase the energetic requirements(Snyder &

30 Farley 2011; Moore 2016), mainly those below NSF (Cavagna et al. 1997). On the
31 grounds that running speed is defined by both stride length and SF (Moore 2016),
32 we can employ a wide range of the variables mentioned above while keeping the
33 same task velocity (REVISAR 1989). In the light of these principles some SF and
34 stride length combinations would be more suitable for running performance than
35 others (Daniels 1985).

36

37 Fatigue, which is known to be the transitory inability to produce a requested force
38 or complete a muscular task at a given intensity (Allen et al. 2008; Finsterer 2012) is
39 a component limiting exercise performance. We can distinguish peripheral fatigue,
40 associated to altered muscle contraction (Boyas & Guével 2011) or central fatigue,
41 which course with an impaired central stimulation and motoneurons activations
42 (Gandevia 2001). It is known that running technique is a noteworthy factor of
43 exercise energetic requirements (Daniels 1985; Dumke et al. 2010; Barnes et al.
44 2015; Moore 2016), thereby biomechanical element such as propulsion (Daniels
45 1985) or contact phase properties (Moore 2016) should be taken into consideration
46 to reduce fatigue development over the exercise. Inversely, some studies have
47 blamed FA for changes in gait patterns, for instance, using SFs lower or higher than
48 OSF, what increase the energy expenditure (Hunter & Smith 2007; Morin et al.
49 2006; Le Bris et al. 2006).

50

51 On this basis, the purpose of the present study was to assess which situation, an
52 increased or decreased stride frequency compared with OSF, would condition more
53 exercise performance apart from the assumption that the two tasks require the
54 same work output because of the speed race would be equal. Some previous
55 studies only measured some variables such as oxygen consumption, heart rate or
56 blood lactate (de Ruyter et al. 2013; Mercer & Dolgan 2008). The present work will
57 also add information regarding to core temperature and blood pressure (Gandevia
58 2001) as much as vascular acidity from the expired gases analysis (Mayhew J L 1977;
59 de Ruyter et al. 2013), time to exhaustion (Alghannam et al. 2016; Zghal et al. 2015;
60 de França et al. 2016), maximum voluntary contraction through a vertical jump
61 (Countermovement Jump) (Dumke et al. 2010; Barnes et al. 2015; Greg J, Wilson,

62 Newton n.d.) and rate of perceived exertion (Borg's scale) (Zghal et al. 2015; Barnes
63 et al. 2015; Masumoto et al. 2015; Heiderscheit et al. 2012)

64 The aforementioned parameters would provide a new insight into the mechanisms
65 related to fatigue during running exercise. Altogether would give us a better
66 comprehension for fatigue development, which would provide physicians and
67 health professionals with tips for a better exercise technique in order to achieve
68 better results.

69

70 List of symbols and abbreviations

71 BP: blood pressure

72 CMJ: countermovement jump

73 CNS: central nervous system

74 FA: fatigue

75 HR: heart rate

76 NSF: natural stride frequency

77 OSP: optima stride frequency

78 RE: running economy

79 SF: stride frequency

80 SF-20: stride frequency increased 20 strides

81 SF+20: stride frequency reduced 20 strides

82 SL: stride length

83 Tcore: core temperature

84

85

86 **4. Materials and methods**

87 Subjects

88 Eleven healthy and physically active individuals (10 males, 1 female) we tested (age,
89 23.5 ± 6.8 years, height, 1.82 ± 0.076 m, mass, 74.7 ± 8.4 kg, body fat, 14 ± 3 %). All
90 subjects gave informed consent to participate in the study, which was approved by
91 the Public University of Navarre Animal Experimentation and Biosafety Committee.

92 The experiments were developed at the Biomechanics Lab of the Health Sciences
93 Faculty at Public University of Navarre (Tudela Campus).

94 Testing procedure

95 The subjects were asked to perform a $2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ running exercise on a treadmill (HP
96 cosmos Saturn, Traunstein, Germany) at different SF at 1% inclination (Jones &
97 Doust 1996) Each subject was required an only day to accomplish two 45 minutes
98 tests. There was a 90 minutes break between the tests.

99 Subjects had a 10 minutes exercise (natural frequency test) at $2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ with a in-
100 between one minute active rest, using their preferred SF, which was measured
101 using a metronome (Real Metronome Free Gismart versión 1.5.3) similarly to
102 previous studies (Hunter & Smith 2007; Cavagna et al. 1991; Hobara et al. 2007;
103 Snyder & Farley 2011; Snyder et al. 2012; de Ruiten et al. 2013). Once assessed NSF
104 (test and retest), it was calculated the modified SFs which were used in the
105 experimental sessions. The participants continued with a 15 minutes race (modified
106 frequency test) at same speed while matching the rhythm established by the
107 metronome (Hobara et al. 2007) which coincided with increased (SF+20) or
108 decreased (SF-20) frequency. After that, subjects were asked to complete a 5
109 minutes incremental speed test (incremental exercise) ($2.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $3.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

110 Environmental temperature and relative humidity were recorded before each trial
111 (MEAN \pm SD, environmental temperature, $23.24 \pm 1.2 \text{ }^\circ\text{C}$, relative humidity, 72.5 ± 8.7 ,
112 mmHg) (Saunders et al. 2004). In order to avoid overheating, a fan was used in
113 every run (Jones & Doust 1996).

114

115 Measurements

116 Basal functions were collected in resting conditions: heart rate (HR) (Polar Electro,
117 Finland), blood pressure (BP)(Suntech Medical, Tango M2, Morrisville) and core
118 temperature (Tcore)(CorTemp[®], HQInc, FL, USA). In order to assess respiratory
119 variables (oxygen consumption (VO_2), carbon dioxide production (VCO_2),
120 ventilation (VE) and respiratory exchange rate (RER)) the subjects breathed through

121 a mask connected to a gas analyzer system (Vacumed Mini-CPX Ventura, California).
122 The rate of perceived exertion (RPE), measured with Borg 6-20(Borg 1982), was also
123 recorded each 5 minutes of constant speed test and each minute of incremental
124 test. Just after the 10 minutes running exercise and after the incremental test
125 capillary blood lactate (LA)(mmol L⁻¹mmol/L) was determined (Lactate Pro, Arkray,
126 KDK Corporation, Kyoto, Japan). Similarly at that time the subject abandoned the
127 treadmill to perform two vertical jumps (SportJUMP System Pro and SportJUMP
128 2.2.2). Post-exercise BP, Tcore and RPE were recorded too. The subject were also
129 weighted to assess dehydration (Montain & Coyle 1992).

130

131 **5. Results**

132 The results are expressed as mean \pm standard deviation (SD) of the values in the last
133 minute of the modified frequency test (min 15) and incremental test (min20) for
134 each SF modification (SF-20 and SF+20). It is considerer Δ for the change of the
135 values from the beginning to the end of each reference time.

136 Cardiorespiratory parameters.

137 VO_2 (mL \cdot min⁻¹) was greater in SF-20 (3.2 \pm 0.5 mL \cdot min⁻¹) compared with SF+20
138 (2.9 \pm 0.6 mL \cdot min⁻¹) (P<0.05), showing that longer strides require more VO_2 . In much
139 the same way, when ΔVO_2 was compared between the NSF and the two modified
140 test, we observed that SF-20 caused a greater ΔVO_2 (2.6 \pm 0.4 mL \cdot min⁻¹) (P<0.05) than
141 NSF (2.3 \pm 0.4 mL \cdot min⁻¹), whereas shorter strides (SF+20; 2.2 \pm 0.4 mL \cdot min⁻¹) tend to
142 reduce ΔVO_2 below NSF's values (2.3 \pm 0.5 mL \cdot min⁻¹).

143 VCO_2 (mL \cdot min⁻¹) was significantly higher (P<0.05) in SF-20 than in the other
144 exercises. ΔVCO_2 was minimized when the subject used shorter strides (2.0 \pm 0.3
145 mL \cdot min⁻¹) compared with NSF (2.1 \pm 0.4 mL \cdot min⁻¹) but did not show meaningful.

146 VE became greater through the course of time, showing differences (P<0.05)
147 between SF-20 and SF+20 at the end of the incremental test (99.1 \pm 17.8 vs
148 85.2 \pm 19.9 L \cdot min⁻¹ respectively; P<0.05). When it was analyzed ΔVE it was found the

149 values for SF-20 ($47.5 \pm 10.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) were higher than NSF's ones ($41.2 \pm 10.3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$).
150 No difference was discovered between NSF and SF+20.

151 HR (beats per minute, bpm) was bigger with longer strides (169.8 ± 18.4 vs 162 ± 2.6
152 bpm in SF-20 and SF+20 respectively, $P < 0.05$). No differences were observed in ΔHR
153 at the end of the incremental test, but SF-20 tends to increase its value compared
154 with SF+20 (88.8 ± 18.6 vs 82.2 ± 17.1 bpm; $P = 0.06$).

155 SBP (mmHg) was prone to increasing with long strides compared with short ones
156 (177.9 ± 28.8 vs 171.8 ± 24.7 mmHg in SF-20 vs SF+20). ΔSBP in SF-20 (38.0 ± 10.7
157 mmHg) was bigger than in NSF (26.4 ± 6.9 mmHg) ($P > 0.05$). There was no statistical
158 difference between ΔSBP 's values in SF+20 and NSF (37.0 ± 18.3 vs 35.3 ± 21.7 mmHg
159 respectively).

160 DBP (mmHg) closely resembling SBP since its values were higher in SF-20 than in
161 SF+20 (54.8 ± 11.1 vs 50.9 ± 6.9 mmHg respectively, $P < 0.05$). DBP decreased more
162 with short strides in comparison with long ones (ΔDBP 12.4 ± 14.7 vs -21.6 ± 8.6
163 mmHg in SF-20 vs SF+20 respectively, $P < 0.05$).

164 Thermal parameters

165 T_{core} ($^{\circ}\text{C}$) was significantly greater in the exercise SF-20, mainly at the end of the
166 incremental test (38.8 ± 0.3 vs. 38.6 ± 0.4 $^{\circ}\text{C}$ SF-20 vs SF+20 respectively). The highest
167 T_{core} estimation showed up in SF-20 (39.4 $^{\circ}\text{C}$). The bigger rate of rise in T_{core}
168 happened in SF-20 (0.88 $^{\circ}\text{C}$). Both modified exercises (SF-20 and SF+20) exhibited a
169 meaningful higher hyperthermia compared with NSF (ΔT_{core} 1.1 ± 0.3 vs. 0.8 ± 0.3 $^{\circ}\text{C}$
170 en ZM-20 y ZM+20 respectively; $P < 0.05$)

171

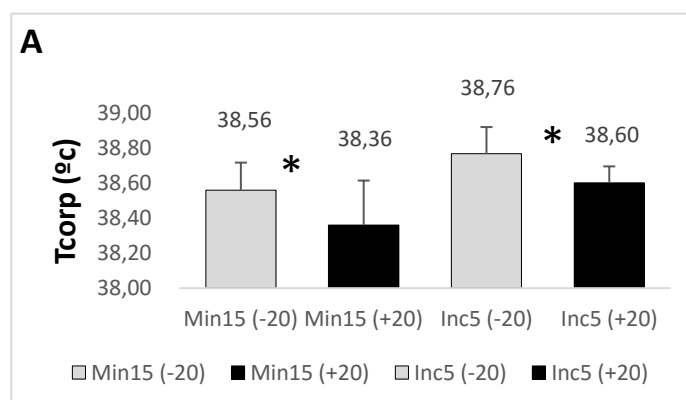
172

173

174

175

176



177

178 **Fig.1 Comparison of Tcore values in the exercises SF-20 vs SF+20 recorded for minutes 15 and**
179 **20.* Significant difference between SF-20 vs SF+20-**

180 Regarding the weight, it was not found a significant difference in weight loss after
181 each modified test, which were -0.52 ± 0.2 and -0.48 ± 0.1 kg in SF-20 and SF+20
182 respectively.

183 Acidity

184 [LA] after the 15 minutes of modified frequency test was significantly larger in the
185 run with longer strides (4.7 ± 2.5 vs 3.0 ± 1.4 mmol L⁻¹ SF-20 and SF+20; $P < 0.05$). This
186 difference was also observed at the end of the incremental (8.3 ± 2.9 vs. 5.8 ± 2.0
187 mmol L⁻¹ in SF-20 and SF+20; $P < 0.05$). The higher [LA] record was found in SF-20 (12
188 mmol L⁻¹).

189

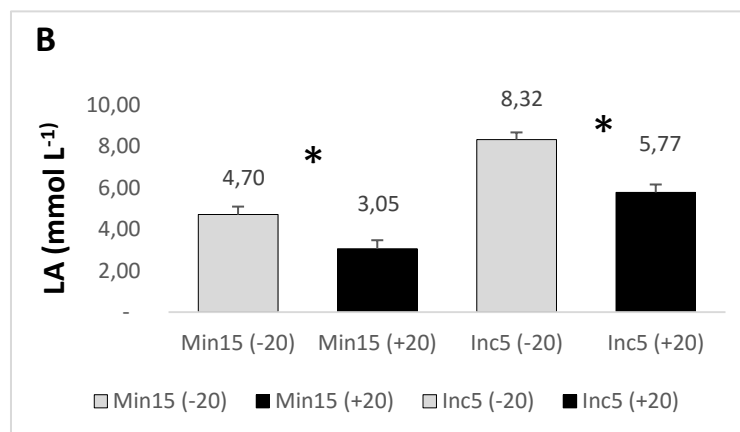
190

191

192

193

194



195

196

Fig.2 Comparison of [LA] during the exercises SF-20 vs SF+20 recorded for minutes 15 and 20.*Significant difference between SF-20 vs SF+20.

197

RER

198

199

200

201

RER displayed greater values with longer strides (SF-20) compared with short ones (SF+20) at the end of the constant speed (0.89 ± 0.0 vs 0.88 ± 0.0 for SF-20 and SF+20 respectively) and incremental speed test (1.04 ± 0.1 vs. 0.98 ± 0.1 for SF-20 and SF+20 respectively) ($P < 0.05$).

202

Muscle voluntary activation

203

204

It was no observed any difference between CMJ measurements (cm) after both modified test with means of 37.9 ± 4 and 37.2 ± 4 cm in SF-20 and SF+20 respectively.

205 After the incremental test, CMJ values were 38.7 ± 5 and 39.1 ± 5 cm in SF-20 and
206 SF+20 respectively. Nevertheless we discern a trend to better CMJ values after
207 SF+20.

208 Rate of perceived exertion

209 Both exercises with modified SF (SF-20 and SF+20) showed higher RPE than NSF
210 ($P<0.05$). After the constant speed race RPE was similar in SF-20 and SF+20 but at
211 the end of the incremental speed test we found a significant bigger value in SF-20
212 (16.2 ± 1.8 vs 14.6 ± 2 in SF-20 and SF+20 respectively) ($P<0.05$).

213

214 **6. Discussion**

215 The aim of this research was to analyze physiological changes resulting from two
216 modifications on running technique: stride frequency, and consequently stride
217 length, at a constant race speed. Previous works pointed out that wider and less
218 frequent strides involve a higher energy expenditure than shorter strides (HOGBERG
219 1952; Heiderscheit et al. 2012; Allen et al. 2008). The same trend was observed in
220 our study with the exercise SF-20. On the other hand, since natural stride frequency
221 is economically near the most optimal one (Cavagna & Franzetti 1986), but below it
222 (Cavagna et al. 1997), and as it is known that increasing stride length rises energetic
223 requirements, the exercise SF+20 could be expected less costly than SF-20 but also
224 NSF. The results support that as exercise SF+20 did not require more oxygen
225 consumption and even showed a tendency to reduce it.

226 Cardiorespiratory modifications. Because of the increased VO_2 in SF-20 it would be
227 understandable a higher HF and blood vessels dilatation (Weisman et al. 2003), to
228 facilitate oxygen flow toward active muscle in the exercise. Despite the lack of data
229 from vascular resistance in our trials, we do have information about HR, which was
230 higher in SF-20 compared with SF+20. HR enlargement on a physical task is part of
231 the cardiorespiratory (Smith 2014; Amann et al. 2015) and sympathetic adaptations
232 (Mitchell et al. 1977) regulated by afferents III and IV, and goes together with a
233 higher BP, which was also higher using longer strides.

234 Along with VO_2 , CO_2 and VE show a trend to increase in proportion to SF. VE
235 enhancement, which occurs mainly at the expense of a higher $PaCO_2$ (Wasserman et
236 al. 1973) and is observed in VO_2 , has the purpose of neutralizing vascular acidity
237 (Santos & Giannella-Neto 2004), and all these values are associated to a higher
238 exercise intensity (Fletcher et al. 2009; Shaw et al. 2014).

239 Thermal modifications. When mechanical work is high and muscles need a greater
240 energy supply to keep the movement, there is an increase in catabolism to provide
241 ATP to the myocytes. A more active metabolism along the friction generated in the
242 muscle (Allen et al. 2008) after the repeated contractions during the run would
243 increase endogen heat production, what will increase core and muscle heat. In our
244 study SF+20 showed a lower hyperthermia and also a lower rate of heat production
245 compared with SF-20, what is of great importance because T_{core} variations
246 condition exercise performance significantly (Marino 2002).

247 T_{core} growth is related to a less efficient metabolism (Nielsen et al. 1997), a
248 mutated muscle voluntary activation (Brazaitis et al. 2010; Nybo & Nielsen 2001)
249 and broadly an increased fatigue (González-Alonso et al. 1999), perhaps because of
250 the inhibition by muscle afferents (Nybo & Rasmussen 2014). All together produce a
251 less productive muscle activity (Marino 2002), so it is logical that greater T_{core}
252 increments are related to higher Borg scale's values. In this way, it was observed
253 that RPE was higher in SF-20 compared with the values of these variables in SF+20.

254 In much the same way it would be expected an altered jumping ability with a higher
255 T_{core} , however we did not find a significant different in CMJ values in the two
256 modified exercises.

257 Evaporation is one of the main mechanism for core temperature regulation, so it
258 would be expected a larger dehydration in the exercise which showed a smaller
259 hyperthermia (SF+20), proving a better hyperthermia management. Nonetheless
260 weight loss was not statistic different in SF-20 vs SF+20, so the bigger ΔT_{core} found
261 in SF-20 can not be explained by a worse heat dissipation. Maybe if the
262 experimental exercise had been longer we would have found more differences in
263 dehydration in the two modified exercises (Westerblad et al. 2002).

264 Elevated muscle temperature has also been correlated to less productive
265 contractions (Brazaitis et al. 2010; Moopanar & Allen 2005; Allen et al. 2008). In our
266 research we did not measure muscle temperature, however, as we analyzed CMJ
267 results and they did not show significance and there is no a clear correlation
268 between core and muscle temperature (González-Alonso et al. 1999), it could be
269 insinuated that muscle temperature was not different in SF-20 vs SF+20.

270 Even though all the variables we have just scrutinized are related to exercise
271 performance, there is one parameter which is extensively used to evaluate fatigue
272 during exercise, and it is the vascular acidity. The lactate threshold, which allows the
273 anaerobic threshold determination, refers to the exercise intensity in which [LA]
274 loses its steady state showing an exponential response. Some authors have
275 established an arbitrary value for muscle [LA] above which concentration it is
276 considered acidity. The most used standard [LA] is 4 mmol L⁻¹ (OBLA4) (Santos-
277 Concejero et al. 2013). In our study we observed that the use of larger strides (SF-
278 20) and mean [LA] found after only 15 minutes of constant speed run were over
279 OBLA4, meanwhile the mean for SF+20 was far below (3.0±1.4 mmol L⁻¹). Vascular
280 acidity can alter oxygen uptake and nerve signaling (Grassi et al. 2015), thus affect
281 muscular work. It was perceived at the incremental test at SF-20 inasmuch as three
282 subject could not finish the whole task, probably because of acidic fatigue, and they
283 asked to interrupt the race showing a high level of RPE.

284 The [LA] analysis showed that after 15 minutes race at constant speed subjects
285 showed a statistic higher value in SF-20 compared with SF+20. That fact highlighted
286 that the first exercise required more intensity, evidenced on its higher anaerobic
287 metabolism. The same trend was observed after the incremental test.

288 Similarly to [LA], RER let us estimating blood acidity (Goedecke et al. 2000) as it
289 increases with VCO₂ and makes evident the buffering capacity to counteract a lower
290 blood pH. Upraised RER levels together with high [LA] in SF-20 reaffirm a bigger
291 dependence on anaerobic reactions what produces a less efficient exercise.

292 After this integrative analysis it could be concluded that longer strides (SF-20)
293 produces physiological consequences which hinder the exercise execution and

294 increased the energy demands and can anticipate its interruption. Among the
295 variables examined the ones who better explain that assumption are VO₂, RER, LA,
296 TCorp and RPE.

297 The higher energy demand observed in SF-20 looks like being related to running
298 biomechanics, primarily with lower limb stiffness (K. R. Barnes et al. 2015; Dumke et
299 al. 2010). Stiffness has been correlated to the faculty to keep elastic energy on the
300 leg (Taylor 1985; CAVAGNA et al. 1964). So that, the more stiffness the more elastic
301 energy can be stored and used in the following step and hence save energy,
302 reducing the cost of the exercise (Moore 2016; Saunders et al. 2004). It has been
303 hypothesized that stiffness has a central regulation (Hobara et al. 2007) and in such
304 a way fatigue could reduce the ability to preserve elastic energy. Closely, changes
305 on stride frequency could affect the energy demand from vertical oscillation and
306 braking, affecting the energy demand of the exercise (Saunders et al. 2004).

307 These observations remark the relevance of running technique on the improvement
308 and optimization of the exercise (de Ruiten et al. 2014a), in agreement with the
309 results from our research, in which a higher stride length may require a higher
310 centre of mass displacement and thus need more energy.

311

312 **7. Acknowledgements**

313 We are grateful to all the participants who collaborated with the project.

314

315 **8. Competing interest**

316 The authors declare no competing or financial interest related to the present work.

317

318 **9. Author contributions**

319 R.A.G designed the study; M.C.O and I.L.A collected the data and R.A.G and M.C.O
320 analyzed the data and wrote the manuscript.

321 **10. Funding**

322 This project did not receive any type of funding.

323 **11. References**

324 Alghannam, A.F. et al., 2016. Reliability of Time to Exhaustion Treadmill Running as a
325 Measure of Human Endurance Capacity. *International journal of sports*
326 *medicine*, 37(3), pp.219–23. Available at:
327 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26669250> [Accessed May 29, 2016].

328 Allen, D.G., Lamb, G.D. & Westerblad, H., 2008. Skeletal muscle fatigue: cellular
329 mechanisms. *Physiological reviews*, 88(1), pp.287–332. Available at:
330 <http://physrev.physiology.org/content/88/1/287.short>.

331 Barnes, K.R. et al., 2015. Warm-up with a weighted vest improves running
332 performance via leg stiffness and running economy. *Journal of science and*
333 *medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 18(1), pp.103–8. Available at:
334 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24462560> [Accessed May 18, 2016].

335 Borg, G., 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in*
336 *Sports and Exercise*, 14(5), pp.377–381.

337 Boyas, S. & Guével, A., 2011. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying
338 factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation*
339 *Medicine*, 54(2), pp.88–108. Available at:
340 <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877065711000029>.

341 Le Bris, R. et al., 2006. Effect of fatigue on stride pattern continuously measured by
342 an accelerometric gait recorder in middle distance runners. *The Journal of*
343 *sports medicine and physical fitness*, 46(2), pp.227–31. Available at:
344 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16823352> [Accessed May 18, 2016].

345 Cavagna, G. a et al., 1991. The two power limits conditioning step frequency in
346 human running. *The Journal of physiology*, 437, pp.95–108.

347 Cavagna, G.A. et al., 1997. The resonant step frequency in human running. *Pflugers*

- 348 *Archiv European Journal of Physiology*, 434(6), pp.678–684.
- 349 Cavagna, G.A. & Franzetti, P., 1986. The determinants of the step frequency in
350 walking in humans. *The Journal of Physiology*, 373, pp.235–242.
- 351 Daniels, J.T., 1985. A physiologist's view of running economy. *Medicine and Science*
352 *in Sports and Exercise*, 17(3), pp.332–8.
- 353 Donelan, J.M., Kram, R. & Kuo, A.D., 2001. Mechanical and metabolic determinants
354 of the preferred step width in human walking. *Proceedings. Biological sciences /*
355 *The Royal Society*, 268(1480), pp.1985–92. Available at:
356 <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1088839&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- 358 Dumke, C.L. et al., 2010. Relationship Between Muscle Strength, Power and Stiffness
359 and Running Economy in Trained Male Runners. *International Journal of Sports*
360 *Physiology and Performance*, 5, pp.249–261.
- 361 Finsterer, J., 2012. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC*
362 *musculoskeletal disorders*, 13(218), pp.1–13. Available at:
363 <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3534479&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- 365 de França, E. et al., 2016. Data reproducibility of pace strategy in a laboratory test
366 run. *Data in Brief*, 7, pp.946–950. Available at:
367 <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352340916301652>.
- 368 Gandevia, S.C., 2001. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue.
369 *Physiological reviews*, 81(4), pp.1725–89. Available at:
370 <http://physrev.physiology.org/content/81/4/1725.full.pdf>
371 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11581501>.
- 372 Greg J, Wilson, Newton, R.U.,
373 [The_optimal_training_load_for_the_development_of.13.pdf](#).
- 374 Heiderscheit, B.C. et al., 2012. Effects of Step Rate Manipulation on Joint Mechanics
375 during Running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(2), pp.296–

376 302.

377 Hobara, H., Kanosue, K. & Suzuki, S., 2007. Changes in muscle activity with increase
378 in leg stiffness during hopping. *Neuroscience Letters*, 418(1), pp.55–59.

379 Hunter, I. & Smith, G.A., 2007. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and
380 economy: Changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *European*
381 *Journal of Applied Physiology*, 100(6), pp.653–661.

382 Jones, A.M. & Doust, J.H., 1996. A 1% treadmill grade most accurately reflects the
383 energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences*, 14(4), pp.321–
384 327. Available at:
385 [http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=7613528&si](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=7613528&site=ehost-live)
386 [te=ehost-live](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=7613528&site=ehost-live).

387 Lieberman, D.E. et al., 2015. Effects of stride frequency and foot position at landing
388 on braking force, hip torque, impact peak force and the metabolic cost of
389 running in humans. *The Journal of experimental biology*, 218, pp.3406–14.
390 Available at: <http://jeb.biologists.org/content/218/21/3406.abstract>.

391 Masumoto, K., Bailey, J.P. & Mercer, J.A., 2015. Determining if muscle activity is
392 related to preferred stride frequency during running in the water and on land.
393 *European Journal of Applied Physiology*, 115(12), pp.2691–2700. Available at:
394 "<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-015-3234-5>.

395 Mayhew J L, 1977. Oxygen cost and energy expenditure of running in trained
396 runners. *Brit. J. Sports Med.*, 11(3), pp.116–121.

397 Mercer, J. & Dolgan, J., 2008. The physiological importance of preferred stride
398 frequency during running at different speeds. *JEPonline*, 11(3), pp.26–32.
399 Available at:
400 <http://faculty.css.edu/tboone2/asep/mercerjeponlinejune2008.pdf>.

401 Montain, S.J. & Coyle, E.F., 1992. Influence of graded dehydration on hyperthermia
402 and cardiovascular drift during exercise. *Journal of applied physiology*
403 (*Bethesda, Md. : 1985*), 73(4), pp.1340–50. Available at:

404 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1447078> [Accessed May 28, 2016].

405 Moore, I.S., 2016. Is There an Economical Running Technique? A Review of
406 Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports Medicine*.
407 Available at: "<http://dx.doi.org/10.1007/s40279-016-0474-4>.

408 Morin, J.-B. et al., 2006. Spring-mass model characteristics during sprint running:
409 correlation with performance and fatigue-induced changes. *International*
410 *journal of sports medicine*, 27(2), pp.158–65. Available at:
411 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16475063> [Accessed May 18, 2016].

412 REVISAR, 1989. Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and
413 added mass effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(4), pp.467–
414 479.

415 de Ruyter, C.J. et al., 2013. Stride frequency in relation to oxygen consumption in
416 experienced and novice runners. *European Journal of Sport Science*, 14(3),
417 pp.251–258. Available at:
418 <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17461391.2013.783627>.

419 Saunders, P.U. et al., 2004. Factors affecting running economy in trained distance
420 runners. *Sports Medicine*, 34(7), pp.465–485.

421 Snyder, K.L. & Farley, C.T., 2011. Energetically optimal stride frequency in running:
422 the effects of incline and decline. *The Journal of experimental biology*, 214(Pt
423 12), pp.2089–2095.

424 Snyder, K.L., Snaterse, M. & Donelan, J.M., 2012. Running perturbations reveal
425 general strategies for step frequency selection. *Journal of Applied Physiology*,
426 112, pp.1239–1247.

427 Zghal, F. et al., 2015. Improved tolerance of peripheral fatigue by the central
428 nervous system after endurance training. *European Journal of Applied*
429 *Physiology*, 115, pp.1401–1415. Available at:
430 <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-015-3123-y>.

431

432 **12. Figure leyends**

433

434 **Fig.1 Comparison of Tcore values during the exercises SF-20 vs SF+20 recorded for**
435 **minutes 15 and 20.** Tcore measurements on the exercise with long strides (SF-20)
436 were always bigger than the exercise with short strides (SF+20). The difference
437 became bigger along the exercise, specially marked at the end of the incremental
438 exercises. Symbol * denotes significant difference ($P < 0.05$).

439 **Fig.2 Comparison of [LA] during the exercises SF-20 vs SF+20 recorded for minutes**
440 **15 and 20.** Vascular acidity was higher when subjects performed the exercise SF-20
441 compared with the exercise SF+20. Before the incremental test when participants
442 used long strides (SF-20) the average [LA] was over OBLA4. It was found differences
443 between both exercises in minutes 15 and 20 of protocols, showing that subjects
444 are more acidic on SF-20. Symbol * denotes significant difference ($P < 0.05$).

445