EFECTOS DE LA LAZADA DE LA ZAPATILLA DEL CORREDOR/A SOBRE LAS VARIABLES ESPACIOTEMPORALES, EL CONFORT, LA FRECUENCIA CARDIACA Y LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL ESFUERZO

Autores: Esther Sánchez Ribes[1*], Pedro Pérez-Soriano[1], Alberto Encarnación Martínez[1]

[1] Grupo de Investigación en Biomecánica Deportiva (GIBD), Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad de Valencia, 46010 Valencia, España

***Autor de correspondencia: esthersanrib@gmail.com**

RESUMEN

El objetivo fue analizar los efectos del tipo de lazada en las variables espaciotemporales, la frecuencia cardiaca, el confort y la percepción subjetiva del esfuerzo, así como también el efecto del tiempo/fatiga. Se analizaron 24 sujetos, empleando dos tipos de lazadas; a) lazada cruzada convencional y b) lazada "heel lock". Todos los participantes realizaron 2 pruebas en días separados y distribuidos de manera aleatoria sobre cinta rodante. La prueba de carrera consistió en un calentamiento previo de 5 min a 8 km/h y posteriormente una prueba de 20 min de carrera a 10 km/h con 1% de pendiente. Los valores de frecuencia cardiaca ($p = 0.029$, ES= 0.199) y el esfuerzo percibido ($p<0,001$, ES= 0.745) en relación con el instante y el sexo eran mayores hacia el final de la prueba y en mujeres. Por otro lado, en referencia al confort, encontramos diferencias significativas en la lazada, donde los valores fueron significativamente mayores con la "heel lock". Finalmente, en las variables espaciotemporales se observan diferencias significativas en función del instante, se incrementó la cadencia ($p=0.018$, ES=0.183) y descendió la longitud de paso ($p=0.019$, ES=0.166). Y en función de la lazada en el tiempo de vuelo ($p=0.019$, ES=0.227), de contacto ($p=0.013$, ES=0.248), altura ($p=0.022$, ES=0.217) y ángulo de paso ($p=0.024$, ES=0.212). En conclusión, la variabilidad de resultados de este estudio muestra que el cambio de tipo de lazada puede variar en gran medida la técnica de carrera y su estudio puede ayudar a reducir el riesgo de lesiones en carrera.

Palabras clave: "Heel lock", convencional cruzada, carrera y biomecánica.

EFFECTS OF RUNNER'S SHOES LOOP ON SPATIOTEMPORAL VARIABLES, COMFORT, HEART RATE AND RATE OF PERCEIVED EXERTION

ABSTRACT

The objective was to analyze the effects of the type of loop on spatiotemporal variables, heart rate, comfort and perceived exertion, as well as the effect of time/fatigue. Twenty-four subjects were analyzed, using two types of loops; a) conventional cross loop and b) heel lock loop. All participants performed 2 tests on separate days and randomly distributed on treadmill. The running test consisted of a 5 min warm-up at 8 km/h and then a 20 min running test at 10 km/h with 1% gradient. The values of heart rate ($p = 0.029$, ES= 0.199) and perceived exertion ($p<0,001$, ES= 0.745) in relation to time and sex were higher towards the end of the test and in women. On the other hand, in reference to comfort, we found significant differences in the loop, where the values were significantly higher with the heel lock. Finally, in the spatiotemporal variables, significant differences were observed as a function of the instant, cadence increased ($p=0.018$, ES=0.183) and step length decreased ($p=0.019$, ES=0.166). And as a function of the loop in flight time ($p=0.019$, ES=0.227), contact ($p=0.013$, ES=0.248), height ($p=0.022$, ES=0.217) and step angle ($p=0.024$, ES=0.212). In conclusion, the variability of results of this study shows that the change of loop type can greatly vary running technique and this study can help to reduce the risk of running injuries.

Keywords: Heel lock, conventional crossed, running and biomechanics.

INTRODUCCIÓN

La carrera constituye para el ser humano el medio más rápido para desplazarse mediante una sucesión de zancadas a partir de apoyos pedestres alternados de cada pie (Lacouture et al., 2013). Durante la última década, la práctica regular de la carrera ha incrementado en popularidad, principalmente debido a los beneficios que ésta aporta (Hespanhol Junior et al., 2015). En contra de los beneficios tan numerosos de realizar deporte y sobre todo carrera a pie, encontramos una alta incidencia de lesiones, ya que, entre el 40 y el 50 % de corredores se lesionan año tras año (Fields et al., 2010), situándose las lesiones más habituales en la pierna baja, el pie y el muslo (van Gent et al., 2007). Son varios los factores relacionados con la aparición de dichas lesiones: la mecánica de carrera, la velocidad, la superficie, la longitud y la frecuencia de zancada (Werd, Knight, & Lange, 2017), el equipamiento deportivo (p.ej. calzado) (Hagen & Hennig, 2009) o la fatiga (Lucas Cuevas et al, 2015). En relación con el calzado, son varios los estudios que lo presentan como un factor de riesgo, incluso, la propia lazada tiene efectos sobre el rendimiento (Hagen & Hennig, 2009). Finalmente, un elemento que influye y está relacionado con el calzado deportivo son los cordones de las zapatillas, así como el tipo de lazada (Villarejo & Gijón Nogueron, 2014).

Según Polster (2002) la mejor técnica para atarse los cordones, y la más fuerte, era la lazada en cruz. Y fue Brüggemann (2006) quien apuntó que el problema era la fabricación en base al pie promedio creando así, una falta de individualización en la fabricación del calzado. De esta manera, dio a la lazada toda la responsabilidad del ajuste del calzado. Finalmente será Hagen et al. (2008) quien dirija hacia las lazadas la responsabilidad de la distribución de la presión que se ejerce en el pie. Según los estudios de Hagen et al., (2008) el movimiento del pie del talón a la punta de este es influencia del tipo de lazada del calzado. Comprobaron que la lazada "heel lock" se utiliza para reducir la velocidad de pronación, el impacto y mejorar la distribución de cargas.

No existen estudios que correlacionen la variación de la frecuencia cardiaca con un uso u otro de las lazadas deportivas. Solo se muestran estudios donde, aunque se analicen estos valores, son relacionados con la aparición de la fatiga, el nivel de entrenamiento del deportista o la influencia del sexo de los sujetos. Las variables espaciotemporales que se analizaron fueron: Tiempo de contacto (Tc) (ms), tiempo de vuelo (Tv) (ms), cadencia (ppm), longitud de zancada (cm), desequilibrio (%), altura (cm), ángulo de paso (º) y velocidad (m/s). En cuanto a estas variables, tampoco se encuentran estudios relacionados con la lazada y su influencia. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar los efectos del tipo de lazada (Convencional cruzada vs "Heel Lock") en las variables espaciotemporales (analizados en el minuto 5, 15 y 20), la frecuencia cardiaca y la percepción subjetiva del esfuerzo (analizadas en el minuto 1, 5, 15 y 20). Así como también el efecto del tiempo/fatiga. Con base a la literatura existente, planteamos las siguientes hipótesis: (**a**) En la lazada "heel lock" los valores de tiempo de vuelo serán menores, el tiempo de contacto será mayor produciendo una menor altura, mayor ritmo de paso y velocidad. (**b**) La FC, el confort y la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) mostrarán diferencias significativas en función del sexo y del instante, siendo estos valores más elevados en mujeres que en hombres y crecerá de manera incremental con el transcurrir de la prueba.

MÉTODO

En este apartado, se podrá observar la metodología establecida para conseguir cada uno de los objetivos y las hipótesis planteadas anteriormente.

Participantes

La muestra del estudio se obtuvo de forma intencional y estuvo compuesta por un total de 24 corredores (12 hombres y 12 mujeres). Las características de la muestra analizada se presentan en la siguiente tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Datos descriptivos de la muestra analizada.

	Mujeres		*Hombres*	
	Media	**DE**	**Media**	**DE**
Edad (años)	22.3	3.5	27.8	8.0
Peso (kg)	55.9	7.1	78.9	7.0
Altura (m)	1.63	0.07	1.78	0.06
Talla zapatillas	39.3	1.6	44.3	1.8
Frec. Entrenamiento (d/s)	2.8	1.0	3.6	0.7
Km semanales (km)	22.0	14.1	43.3	19.8

DE: desviación estándar; d/s: días/semana;

Los criterios de inclusión fueron: edad de 18-45 años, corredores habituales (2-3 días de entrenamiento semanales), no haber tenido lesiones en los 6 meses anteriores y no estar en tratamientos médicos.

Protocolo previo

Los participantes del estudio acudieron en dos ocasiones al laboratorio con 48 horas de descanso entre cada prueba empleando dos lazadas de manera aleatorizada: a) Lazada convencional cruzada. b) Lazada "heel lock". Todos los corredores fueron debidamente informados con anterioridad del protocolo y del diseño del estudio. Este estudio cumple con la Declaración de Helsinki y con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Valencia (número de registro; 1989195). Todos los participantes utilizaron el mismo modelo de zapatillas (Kalenji; Dechatlon, España) y de calcetines para evitar la posible interferencia en los resultados el uso de calzado heterogéneo. Tras la toma del peso y la estatura, se preparaban las zapatillas acordes a la talla del corredor, los calcetines y la lazada correspondiente (aleatorizada antes de empezar todos los estudios de dicho día). Una vez seleccionadas y puestas las zapatillas correspondientes se les pidió que se pusieran el pulsómetro. Posteriormente, se procedía al protocolo de lazadas (Figura 1); se le pedía al sujeto que se pusiera los calcetines y que, sin tocar la lazada existente en las zapatillas proporcionadas al mismo, se las atara. Finalmente, se les pedía que realizaran una ida y vuelta entre dos marcas de aproximadamente 10 metros de distancia y que, en caso de no estar cómodos con las zapatillas, hicieran otra vez el proceso de atarlas.

Figura 1. Protocolo lazadas.

Protocolo test

Ambos días se siguió el mismo protocolo, para preparar al deportista se realizaba un calentamiento para posteriormente, pasar a realizar el test de 20 minutos sobre el tapiz. Previamente a la prueba de carrera, todos los participantes realizaron un calentamiento previo de 5 min a 8 km/h (1% de pendiente). Dicho tiempo fue suficiente para que los deportistas se adaptasen tanto a la carrera en cinta como al calzado. Una vez finalizado el calentamiento, los participantes realizaron una prueba de carrera continua de 20 min de duración a una velocidad de 10 km/h y con una pendiente del 1%. Basándose en otros estudios donde se analizó la carrera en cinta rodante (Sanchis-Sanchis, Encarnación-Martínez, Priego-Quesada, Aparicio, Jimenez-Perez, & Pérez-Soriano, 2021) se decidió utilizar el mismo protocolo de tiempo y velocidad compuesto por un calentamiento de 5 min a 8km/h y un test de 20 min a 10 km/h.

Durante la realización del test, se registraron las siguientes variables: (**a**) Las variables espaciotemporales mediante un registro de 15 segundos en dos ocasiones en los minutos 5', 15' y 20' (**b**) La percepción subjetiva del esfuerzo y la frecuencia cardíaca en los minutos 1', 5', 15' y 20' y (**c**) El confort se realizaba al finalizar la prueba.

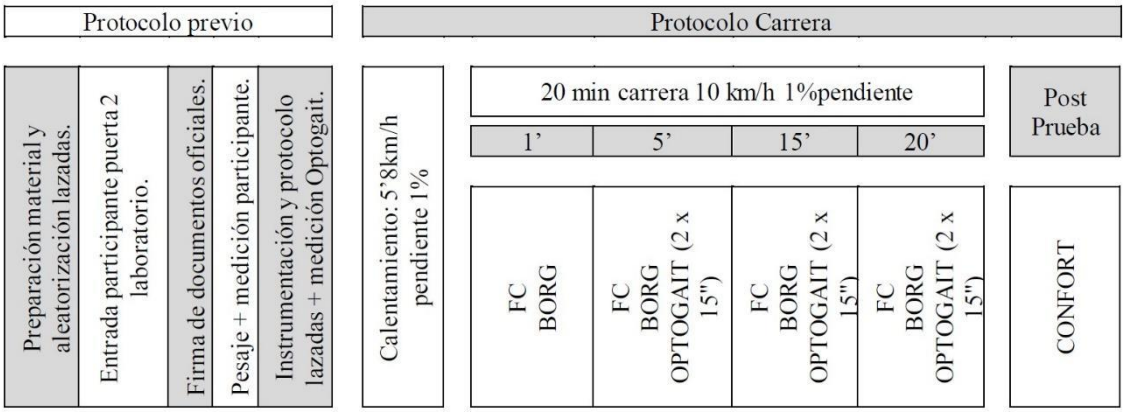

Figura 2. Diagrama Protocolo.

Material

Durante la fase experimental se utilizaron diferentes materiales e instrumentación para recoger los datos de la muestra. Para las muestras antropométricas se utilizaron tanto un tallímetro para medir la altura, como una báscula para medir el peso (Tanita BC-418 MA). Los test se realizaron a todos los corredores sobre la misma cinta rodante (h/p/cosmos pulsar® 3p, h/p/cosmos, Nußdorf, Alemania) (**A**) y utilizaron el mismo modelo de zapatillas (Kalenji; Decathlon, España) (**B**). Para la evaluación de la frecuencia

cardiaca se utilizó un pulsómetro (Polar V800, Polar Electro, UK) y para la percepción subjetiva del esfuerzo se utilizó la escala de 6-20 (Borg, 1982). Por otro lado, para medir las variables espaciotemporales se utilizó el sistema Optogait (Microgate, Bolazano Italy), que permite calcular las variables espaciotemporales durante la carrera basándose en parámetros biomecánicos (Lienhard, et al., 2003) (**C**).

Figura 3. Material del estudio.

Finalmente, para medir el confort se empleó la escala visual analógica de 15 cm (Mündermann, et al., 2003) utilizando dos colores diferentes para cada tipo de lazada: Azul: lazada convencional cruzada y rojo: lazada "heel lock".

Variables del estudio

Las variables independientes se dividen en diferentes niveles atribuidos a las mismas y en estos se pueden observar diferentes variaciones en sus resultados. En este estudio se encuentran las siguientes variables independientes (Tabla 2):

Tabla 2. Variables independientes del estudio.

	Variable	**Ítems**
Variables intra sujeto	*Tipo de lazada*	Lazada 1: convencional cruzada
		Lazada 2: "*heel lock*"
	Instante	5'
		15'
		20'
Variables entre sujetos	*Sexo*	Mujer
		Hombre

Variables dependientes del estudio: Los cambios producidos en estas variables serán realizados en función de la modificación de las variables independientes, en este caso, del tipo de lazada utilizado, del sexo y del instante.

Variables espaciotemporales:

Tabla 3. Variables espaciotemporales analizadas en el estudio.

Variable	Significado
Tiempo de contacto (Tc) (ms)	Tiempo expresado en milisegundos del pie en el tapiz.
Tiempo de vuelo (Tv) (ms)	Tiempo expresado en milisegundos entre un contacto con el tapiz y el siguiente apoyo otro.
Cadencia (ppm)	Expresado en pasos por minuto.
Longitud Paso (cm)	Distancia recorrida en la zancada.
Longitud de zancada (cm)	La distancia entre las dos puntas de las pisadas en secuencia del mismo pie.
Desequilibrio (%)	Índice de desequilibrio entre paso derecho e izquierdo.
Altura (cm)	Variación del baricentro durante la carrera.
Angulo de paso (º)	Ángulo de la parábola creada por la zancada.
Velocidad (m/s)	Velocidad media en el paso.

Variables dependientes perceptuales

El objetivo de las variables dependientes perceptuales es describir el confort percibido en cada tipo de lazada en una escala de 15 cm que varía de "nada confortable" a "muy confortable. Y, por otro lado, el esfuerzo percibido durante la realización de la prueba, medido en los minutos 1', 5', 15' y 20' en función de la escala 6-20 (Borg, 1982).

Tabla 4. Variables dependientes perceptuales:

Variable	Ítems
Confort Percibido	Confort General
	Confort en la zona del empeine alto
	Confort en la zona del empeine bajo
	Confort empeine general
	Sensación rozaduras
	Sensación pie ajustado al correr
	Control del pie durante el impacto con el suelo
	Control del pie durante el vuelo
	Control del pie durante el impulso
	Percepción de la temperatura en la planta baja
	Percepción de la temperatura en el empeine
Esfuerzo percibido	6-20 RPE

Procesamiento de datos

Los datos extraídos de la percepción subjetiva del esfuerzo, confort y frecuencia cardíaca se recogieron a mano mediante tablas y se pasaron a Excel para su procesamiento. Por otro lado, los datos de las variables espaciotemporales, una vez

finalizada la prueba, se guardaban los resultados por cada participante en formato Excel en una carpeta independiente por participante y por lazada.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el software SPSS v26 (IBM Corp., Armonk, NY.). En primer lugar, se realizó un análisis exploratorio donde se eliminaron los outliers. A continuación, se comprobó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk ($n < 50$), siendo todas las variables normales. Para analizar los efectos de los factores intrasujetos (tipo de lazada, e instante) y los factores entresujeto (sexo) sobre cada una de las variables dependientes (RPE, FC, espaciotemporales, confort), se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas, ajustando los niveles de significación en la comparación por pares mediante la corrección de Bonferroni. Finalmente, se comprobó el supuesto de esfericidad mediante la prueba de Mauchly, y en aquellos casos en los que no se cumplió dicho supuesto se recurrió al ajuste de Huynh-Feldt. Además, se calculó el tamaño del efecto mediante la eta parcial al cuadrado (Cohen, 1988), interpretado como: 0.01 = pequeño, 0.06 = moderado, > 0.14= grande. La magnitud de los cambios encontrados se expresó mediante la diferencia de las medias y los intervalos de confianza del percentil 95%. El nivel de significación se estableció en $p < 0.05$.

RESULTADOS

A continuación, se detallan uno por uno los resultados de cada una de las variables analizadas para la realización de este análisis.

Resultados de la frecuencia cardiaca

En este subapartado vamos a exponer los resultados relacionados con la frecuencia cardiaca. Los estadísticos descriptivos de la frecuencia cardiaca registrada en los diferentes instantes de la prueba se muestran a continuación (Tabla 5):

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de frecuencia cardiaca (ppm).

		SEXO			
		Mujeres		Hombres	
Instante	Lazada	FC		FC	
		M	DE	M	DE
1 min	Convencional	143	16	133	23
	Heel lock	145	24	131	25
5 min	Convencional	159	16	144	20
	Heel lock	159	14	140	22
15 min	Convencional	163	15	146	22
	Heel lock	161	13	146	24
20 min	Convencional	164	14	148	20
	Heel lock	168	13	149	24

M; media; DE: desviación estándar

En relación con el instante, se han encontrado diferencias significativas de la frecuencia cardiaca en el instante 1 (1 minuto) frente al instante 2 (5 minutos), 3 (15 minutos) y 4 (20 minutos). Concretamente, se ha incrementado la frecuencia cardiaca desde el principio de la prueba hasta el final de esta. Atendiendo a las diferencias de medias entre instantes, la FC fue menor el minuto 1 en comparación con el minuto 5 ($p = 0.001$, Dif. Medias=-12.542, 95% CI=-20.738/-4.345), el minuto 1 en comparación con el minuto 15 ($p<0,001$, Dif. Medias= 15.917, 95% CI=25.126/6.707) y el minuto 1 en comparación con el minuto 20 ($p<0,001$, Dif. Medias=-19.208, 95% CI=-28.728 /-9.689). En relación con el sexo, se han encontrado diferencias significativas en la frecuencia cardiaca entre hombres y mujeres. Siendo ellas, las que han obtenido mayores valores en los resultados frente a ellos ($p=0.029$, ES=0.199, Dif. Medias=15.771, 95% CI=1.800/29.742). Finalmente, en relación con la lazada, no se encontraron diferencias significativas.

Resultados de la percepción subjetiva del esfuerzo

En este subapartado vamos a exponer los resultados relacionados con la percepción subjetiva del esfuerzo. Los estadísticos descriptivos relacionados con la percepción subjetiva del esfuerzo registrada en los diferentes instantes de la prueba se muestran a continuación (Tabla 6):

Tabla 6. Estadísticos descriptivos percepción subjetiva del esfuerzo (Borg, 1982).

		SEXO			
		Mujeres		Hombres	
Instante	Lazada				
		M	DE	M	DE
1 min	Convencional	10	2	9	2
	Heel lock	10	2	9	2
5 min	Convencional	12	2	11	2
	Heel lock	12	3	11	2
15 min	Convencional	14	2	12	2
	Heel lock	14	3	12	2
20 min	Convencional	14	2	12	2
	Heel lock	15	3	12	2

M; media; DE: desviación estándar

A nivel de percepción subjetiva del esfuerzo, observamos que entre todos los instantes hay diferencias significativas, la percepción fue creciendo de manera incremental, de manera similar a la observada para la frecuencia cardiaca, es decir, en el instante 1 es donde menores valores de percepción subjetiva del esfuerzo encontramos ($p<0,001$, ES=0.745). Atendiendo a las diferencias de medias entre instantes, la percepción subjetiva del esfuerzo fue menor en el minuto 1 en comparación con el minuto 5 ($p<0,001$, Dif. Medias=1.979, 95% CI=2.645 /1.313), los resultados del minuto 1 fueron menores en comparación con el minuto 15 ($p<0,001$, Dif. Medias=3.312, 95% CI=4.473 /2.152) y finalmente, los resultados del minuto 1 fueron menores en comparación con el final de la prueba (minuto 20) ($p<0,001$, Dif. Medias=3.875, 95% CI=5.162 /2.588). Por otro lado, en relación con el sexo, se encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres, siendo significativamente mayores en ellas en comparación con los chicos ($p=$ 0.017, ES=0.234, Dif. Medias=1.958, 95% CI= 0.390/3.526).

Finalmente, no se encontraron diferencias significativas en la percepción subjetiva del esfuerzo entre la lazada "heel lock" y la lazada convencional cruzada.

Resultados de las variables espaciotemporales

En este subapartado vamos a exponer los resultados relacionados con las variables espaciotemporales. Los estadísticos descriptivos de la registrada en los diferentes instantes de la prueba se muestran a continuación (Tabla 7):

Tabla 7. Estadísticos descriptivos variables espaciotemporales.

		Lazada Convencional				*Lazada Heel Lock*			
		Mujeres		**Hombres**		**Mujeres**		**Hombres**	
	Instante	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
T. Contacto (ms)	5	332.4	23.2	337.3	38.7	335.6	23.1	347.6	28.2
	15	335.7	23.5	339.4	38.5	334.6	23.7	346.7	36.0
	20	334.0	22.2	335.5	27.8	336.3	21.0	344.9	30.5
T. Vuelo (ms)	5	30.6	19.9	38.9	28.3	26.6	17.9	26.8	14.7
	15	29.3	21.4	39.4	30.3	28.2	20.0	28.4	19.3
	20	28.9	19.4	35.6	20.4	26.0	19.4	28.0	17.5
Cadencia (ppm)	5	163.6	6.3	159.7	8.1	163.9	5.6	160.8	9.4
	15	163.3	6.9	158.6	7.7	164.5	5.8	160.4	10.2
	20	164.4	6.4	162.1	7.2	165.2	5.8	161.6	9.5
Longitud Paso (cm)	5	102.2	3.9	104.9	5.3	102.1	3.6	104.3	6.1
	15	102.2	4.2	105.5	5.2	101.6	3.6	104.1	6.5
	20	101.6	3.8	103.2	4.7	101.1	3.3	103.7	5.9
Longitud de zancada (cm)	5	202.3	8.4	207.7	10.0	201.3	8.0	207.2	11.7
	15	202.2	8.5	209.5	10.1	200.7	7.8	206.4	12.9
	20	200.9	7.9	205.3	9.7	200.1	7.7	206.1	11.5
Desequilibrio (%)	5	0.2	1.7	-0.2	2.3	-0.7	1.5	-0.4	1.7
	15	-0.8	1.2	-0.1	1.2	-0.2	1.8	-0.3	0.8
	20	0.0	1.0	0.5	1.6	-0.3	0.6	0.2	1.7
Altura (cm)	5	0.19	0.20	0.30	0.33	0.14	0.16	0.13	0.13
	15	0.18	0.21	0.32	0.36	0.16	0.19	0.17	0.19
	20	0.17	0.17	0.24	0.23	0.15	0.21	0.16	0.17
Ángulo de paso (º)	5	0.42	0.42	0.69	0.74	0.33	0.34	0.31	0.27
	15	0.42	0.44	0.71	0.80	0.37	0.41	0.38	0.43
	20	0.38	0.37	0.54	0.52	0.35	0.45	0.35	0.38

Velocidad (m/s)	5	2.78	0.01	2.78	0.01	2.78	0.01	2.79	0.02
	15	2.78	0.02	2.78	0.01	2.78	0.02	2.77	0.05
	20	2.78	0.02	2.78	0.01	2.78	0.02	2.78	0.02

M; media; DE: desviación estándar

En relación con el instante, se han encontrado diferencias significativas en las variables de cadencia (ppm) (p=0.018, ES=0.183) y longitud de paso (cm) (p=0.019, ES=0.166). Concretamente, se ha incrementado la cadencia en el minuto 20 en comparación con el minuto 15 (p = 0.018, Dif. Medias=-1.6, 95% CI=-1.6/-2.7) y por consiguiente se ha reducido la longitud del paso en el minuto 20 en comparación con el minuto 15 (p = 0.019, Dif. Medias= 0.919, 95% CI=0.919/0.118). Por otro lado, en relación con el sexo de los participantes, no se han encontrado diferencias significativas.

Por último, en relación con la lazada, se han encontrado diferencias significativas en: las variables de tiempo de contacto (ms) (p=0.013, ES=0.248) y de tiempo de vuelo (ms) (p=0.019, ES=0.227). Concretamente, a) Se ha incrementado el tiempo de contacto (p =0.013; Dif. Medias=5.0, 95% CI= 9.3/1.2) y, b) Ha disminuido el tiempo de vuelo con la lazada "heel lock" en comparación con la lazada convencional cruzada (p =0.019; Dif. Medias=6.0, 95% CI=1.2/11.8). Por otro lado, también se han encontrado diferencias en las variables de la altura (p=0.022, ES=0.217) y del ángulo de paso (p=0.024, ES=0.212), concretamente junto con el aumento de tiempo de vuelo, se ha incrementado la altura (p=0.022; Dif. Medias=0.217, 95% CI= 0.013/0.151) y, por tanto, el ángulo de paso (p=0.024; Dif. Medias=0.212, 95% CI= 0.026/0.328) en la lazada convencional cruzada en comparación con la lazada "*heel lock*".

Resultados de la variable de confort

En este subapartado vamos a exponer los resultados relacionados con la variable del confort. Los estadísticos descriptivos se muestran a continuación (Tabla 8):

Tabla 8. Estadísticos descriptivos confort.

Lazada	Convencional cruzada				"H*eel lock*"			
Sexo	Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres	
	M	DE	M	DE	M	DE	M	DE
Confort General	10,5	2,6	10,8	1,9	11,0	2,3	11,7	2,2
Confort en la zona del empeine alto	10,5	2,7	10,0	3,3	10,5	2,6	11,3	2,1
Confort en la zona del empeine bajo	10,3	2,8	11,0	2,8	10,8	3,1	11,2	2,3
Confort empeine general	10,7	2,3	10,6	2,7	11,3	2,4	11,2	1,9
Sensación rozaduras	12,0	4,1	11,3	4,0	12,4	4,0	11,1	4,1
Sensación pie ajustado al correr	12,0	2,9	11,3	3,3	12,6	2,6	11,9	2,4
Control del pie durante el impacto con el suelo	9,4	3,7	10,8	3,5	9,5	3,4	11,3	2,9
Control del pie durante el vuelo	10,3	3,0	12,3	1,8	10,7	2,9	12,4	1,7
Control del pie durante el impulso	10,4	2,9	11,3	2,4	11,2	2,5	11,9	2,1
Percepción de la temperatura en la planta baja	9,7	3,6	9,5	4,3	11,6	2,9	9,7	4,6
Percepción de la temperatura en el empeine	10,7	3,0	11,4	1,6	11,5	3,4	11,4	1,6

M; media; DE: desviación estándar

En relación con el sexo de los participantes, no se han encontrado diferencias significativas relacionadas con las diferentes variables analizadas de confort. Por otro lado, en relación con la lazada, se observa que el confort percibido es mayor en la lazada "heel lock" frente a la lazada convencional cruzada. (p = 0.033, ES = 0.191, dif. medias = -0.717, 95% IC= -1.369 / -0.064). A continuación, (figura 4) se muestran los resultados relacionados con el confort y el tipo de lazada:

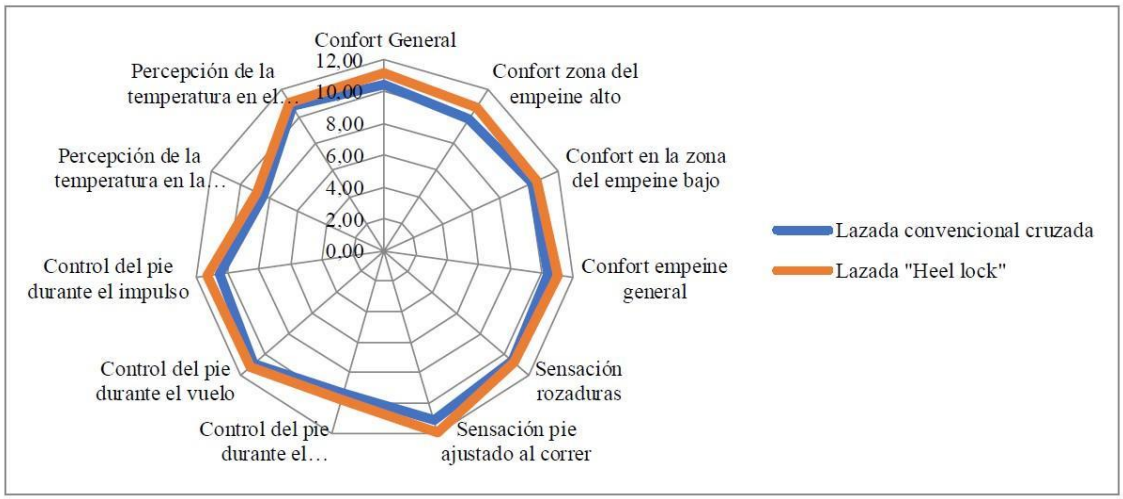

Figura 4. Resultados confort vs lazada.

Finalmente, es importante recalcar que se observó un descenso significativo de sensación de confort térmico plantar de la lazada cruzada convencional vs lazada "heel lock" (p = 0.017, ES = 0.231, dif. medias = -1.058, 95% IC= -1.911 / -0.205).

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES

El objetivo de este estudio fue analizar los efectos del tipo de lazada (Cruzada vs "Heel Lock") en las variables espaciotemporales, la frecuencia cardiaca, la percepción subjetiva del esfuerzo y el confort. Se realizó un estudio de corte cuasiexperimental sin grupo control, con una selección de muestra intencional, y con un diseño aplicado de medidas repetidas, ya que, todos los participantes tienen las mismas condiciones de estudio. A continuación, se discuten los principales hallazgos con la literatura existente:

Análisis de la frecuencia cardiaca

A continuación, se muestran los resultados relacionados entre la variable de la frecuencia cardiaca y el sexo, el instante y la lazada en la prueba.

Según los resultados obtenidos relacionados con el instante se comprueba que, la frecuencia cardiaca aumenta desde el inicio hasta el final de la prueba siendo en este último instante (20 minutos) donde mayores valores encontramos. Estas diferencias podrían deberse a la intensidad del ejercicio, la cual fue similar a los resultados de los estudios de Requena-Bueno (2020), quien también encontró diferencias en una prueba de 30 minutos de duración.

Por otro lado, según los resultados obtenidos relacionados con el sexo de los sujetos se comprueba que, la frecuencia cardiaca muestra valores más altos en las mujeres que en los hombres, empeorando así su economía de carrera. Estas afirmaciones están en consonancia con los estudios de Bransford & Howley (1977) y de Cureton & Sparling (1980) que encontraron mejores índices de economía de carrera en hombres, mientras que, en otros estudios no se encuentran diferencias entre sexos (Daniels et al., 1977, Sparling & Cureton, 1983).

Finalmente, los resultados obtenidos relacionados con la lazada no se encuentran diferencias significativas entre el uso de la lazada y la variación de la frecuencia cardiaca. Por otro lado, no se encontraron autores que hayan incluido estas variables en sus estudios durante una prueba de carrera. Esto podría deberse a que la funcionalidad de ambas lazadas no implicó ninguna variación de la técnica de carrera entre una prueba y otra. Esta variación de técnica puede suponer un mayor gasto energético y producir variaciones en los valores de la frecuencia cardiaca de una lazada a otra.

Análisis de la percepción subjetiva del esfuerzo

A continuación, se muestran los resultados relacionados entre la percepción subjetiva del esfuerzo y el sexo, el instante y la lazada en la prueba.

Según los resultados obtenidos relacionados con el instante se comprueba que, la percepción subjetiva del esfuerzo aumenta desde el inicio hasta el final de la prueba siendo en este último instante (20 minutos) donde mayores valores encontramos. Estas diferencias podrían deberse a la intensidad del ejercicio, la cual fue similar a los resultados de los estudios de Ceci & Hassmen, (1991) y Thompson & West, (1998), mientras que, en los estudios realizados por Calvo Martínez et al., (1998) las intensidades fueron superiores e interválicas y mostraron este mismo crecimiento. Por otro lado, no se encontraron estudios donde con las mismas condiciones se dieran resultados contrarios a

los mostrados en este estudio. Finalmente, también podría deberse a la superficie, según los estudios de Ceci & Hassmen, (1991) y Thompson & West, (1998) los corredores en cinta aumentan su percepción subjetiva del esfuerzo en comparación con otras superficies como por ejemplo la pista. No obstante, también hay discrepancias en este hecho en estudios como los de Hanson et al., (2011) pero hay que tener en cuenta que la duración de la prueba era muy inferior.

Por otro lado, según los resultados obtenidos relacionados con el sexo de los sujetos se comprueba que, la percepción subjetiva del esfuerzo muestra valores más altos en las mujeres que en los hombres. Estas afirmaciones están en consonancia con los estudios de Bransford y Howley (1977) y Howley & Glover (1974) que defienden que las mujeres obtienen una peor economía de carrera por su menor experiencia e intensidad de entrenamiento y por su desplazamiento vertical del CdG (centro de gravedad) durante la carrera, no obstante, en este estudio no ocurre lo mismo porque no se ha categorizado la muestra según la experiencia deportiva.

Finalmente, en cuanto a los resultados obtenidos relacionados con la lazada y la percepción subjetiva del esfuerzo, se comprueba que, no existen interacciones entre ambas variables. No obstante, Werd et al., (2017) indican que la diferencia de lazada puede influir directamente en el rendimiento influyendo también en la percepción subjetiva del esfuerzo. Por otro lado, aunque no se hayan encontrado más artículos entre ambas variables, sí que se han encontrado autores que hablan del calzado y su influencia en la percepción subjetiva del esfuerzo como, por ejemplo, los estudios de Roy & Stefanyshyn (2006) que afirman que, una mayor rigidez de calzado deportivo incrementa hasta un 1% la economía de carrera y, por tanto, ocasiona que el calzado influya directamente en la percepción subjetiva del esfuerzo. Y finalmente, los estudios de Divert et al., (2008), quienes comprueban que el peso del calzado empeora en un 1% la economía de carrera por cada 100 gramos de peso añadido por cada pie.

Análisis de las variables espaciotemporales

A continuación, se muestran los resultados relacionados entre las variables espacio temporales y el sexo, el instante y la lazada en la prueba.

Según los resultados obtenidos relacionados con el instante se comprueba que, la cadencia aumenta y la longitud de paso desciende desde el inicio hasta el final de la prueba siendo en este último instante (20 minutos) donde mayores y menores valores encontramos respectivamente. Estos resultados coinciden con otros estudios (Castillo Domínguez, 2020) que muestran los beneficios del incremento de cadencia y la reducción de la longitud de paso, relacionadas con la prevención de lesiones del tren inferior.

Por otro lado, según los resultados obtenidos relacionados con el sexo de los participantes no se encuentran diferencias significativas. Aunque no se encuentren diferencias entre ambos sexos, según los estudios de Hoffman (1967) las diferencias en cuanto al sexo se deben a factores antropométricos como la estatura y la longitud de las piernas variando así los resultados de longitudes de zancada y otras variables espaciotemporales. Aunque también hay estudios que rechazan estas conclusiones (Cavanagh & Williams, 1982).

Finalmente, según los resultados obtenidos relacionados con la lazada se comprueba que, el tiempo de vuelo y de contacto y los valores de la altura y el ángulo de paso varían entre ambas lazadas de manera consecuente, cuando el valor de uno de estos aumenta el otro disminuye. No se han encontrado estudios previos que obtengan estos valores relacionados entre las diversas lazadas y las variables espaciotemporales. No obstante, los resultados encontrados en nuestro estudio podrían estar relacionados con la mejora en la eficiencia de carrera, tal y como describen Abián-Vicén, Del Coso, Millán & Martín (2013), quienes muestran que un aumento de la frecuencia de zancada aumenta el tiempo de contacto y disminuye el tiempo de vuelo creándose una mayor eficiencia de carrera.

Análisis de la variable de confort

A continuación, se muestran los resultados relacionados entre las variables de confort y el sexo y la lazada en la prueba.

Según los resultados obtenidos relacionados con el sexo de los participantes y el confort no se encuentran diferencias significativas. Pero, aunque no se encuentran estudios que expongan la diferencia de valores en el sexo y el confort en las lazadas, sí que encontramos estudios como los de Mündermann et al., (2003) que exponen que estas variaciones de confort pueden deberse a cambios en las variables cinemáticas, cinéticas y en la actividad muscular. O como muestran otros estudios (Che et al., 1994; Mills et al., 2012; Nigg et al., 1999) estas variaciones pueden deberse a la aparición de la fatiga.

Finalmente, según los resultados obtenidos relacionados con el confort percibido de los sujetos se comprueba que, la lazada “heel lock” es más confortable. Estas afirmaciones coinciden con los estudios de Werd et al., (2017) donde este tipo de lazada consigue bloquear el talón y ajustarlo de una manera más estable que otras lazadas sobre todo comparándola con la lazada convencional cruzada. Finalmente, no se encuentran más estudios donde se analicen las lazadas y el confort y consigan unos resultados diferentes a los del presente estudio.

Limitaciones principales del estudio

A continuación, se exponen las diferentes limitaciones que se han encontrado durante la realización de nuestra metodología de estudio, y estas, podrían considerarse una futura línea de investigación.

- La muestra del estudio estuvo compuesta por atletas recreacionales, con características muy dispares, motivo por el cual hace complicado extrapolar los resultados a toda la población. A futuro se podría comparar con corredores profesionales de largas y de cortas distancias.
- En este estudio solo se ha analizado la lazada convencional cruzada y la lazada “heel lock”, motivo por el cual hace complicado extrapolar dichos resultados a otros tipos de lazadas y así unificar resultados. En un futuro, sería interesante analizar el impacto de otro tipo de lazadas existentes para aumentar el conocimiento sobre este tema.
- Por otro lado, las medidas de confort se analizaron solo al final de la prueba, restando así importancia al confort inicial y al confort durante la prueba por, el cual los resultados no son del todo completos. En un futuro se podría completar

el estudio tomando las medidas de confort pre, post estudio y durante la realización del mismo.

- Por último, la muestra se expuso a las mismas condiciones en cuestión de velocidad y tiempo de prueba, restando así importancia al efecto de dichas lazadas y variables analizadas en otro tipo de condiciones. Por ese motivo, en un futuro, sería de gran interés comprobar si variando estos parámetros obtenemos diferentes resultados.

CONCLUSIÓN

Se comprueba que con el uso de la lazada "heel lock" el corredor obtiene menores tiempos de vuelo y con ello se produce un aumento del tiempo de contacto. Por otro lado, en las variables de frecuencia cardiaca y la percepción subjetiva del esfuerzo no se encuentran diferencias significativas entre estas y el uso de una lazada u otra. Finalmente, la lazada "heel lock" proporciona un mejor confort en todos los ítems expuestos que la lazada convencional cruzada siendo bastante notable esta variación y suponiendo así una disminución del confort con la lazada convencional cruzada. El sexo de los participantes es una variable importante dentro de los parámetros de la frecuencia cardiaca y de la percepción subjetiva del esfuerzo, donde, las mujeres obtienen mayores niveles de frecuencia cardiaca y un aumento de la percepción subjetiva del esfuerzo desde el inicio hasta el final de la prueba, superando significativamente los valores de los participantes masculinos. No obstante, en relación con el sexo no se encontraron diferencias significativas. Por otro lado, la percepción subjetiva del esfuerzo es mayor hacia el final de la prueba por el efecto de la fatiga que supone la prueba y aumenta en el caso de las mujeres al tratarse de una prueba con las mismas condiciones para todos los sujetos. Por otro lado, cabe recalcar que no se logran obtener diferencias significativas en las variables de confort y las variables espaciotemporales analizadas. En la variable del instante, sí que se encuentran diferencias significativas en las variables de cadencia y longitud de paso que aumenta y se reduce respectivamente desde el inicio hasta el instante final de la prueba (20 min). Ocurre lo mismo con la frecuencia cardiaca y la percepción subjetiva del esfuerzo, porque junto con el paso del tiempo aumenta la fatiga de los participantes y, por tanto, los valores de la frecuencia cardiaca crecen y la percepción subjetiva del esfuerzo aumenta notablemente.

REFERENCIAS

Abián-Vicén, J., Del Coso, J. G., Millán, C. G., & Martín, J. J. S. (2013). La biomecánica y la tecnología aplicadas al calzado deportivo. Universidad Camilo José Cela. Cátedra Olímpica Marqués de Samaranch. Madrid: International Marketing & Communication.

Bransford K., Howley E. (1977) Oxygen cost of runnig in trained and untraided men and women. *Medicine & Science in Sports & exercise* 9: 41-44.

Brüggemann, G. P. (2006). Biomechanical and orthopaedic concepts in athletic footwear construction. *Biomedical engineering in exercise and sports*, 135-142.

Castillo Domínguez, A. (2020). Prevención de lesiones en el pie mediante la técnica de carrera (Plan de Docencia, Universidad de Málaga).

Cavanagh, P. R., & Williams, K. R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine & Science in Sports & exercise*, 14(1), 30-35.

Ceci, R., & Hassmen, P. (1991). Self-monitored exercise at three different RPE intensities in treadmill vs field running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(6), 732-738.

Che, H., Nigg, B. M., & de Koning, J. (1994). Relationship between plantar pressure distribution under the foot and insole comfort. *Clinical Biomechanics*, 9(6), 335-341.

Cureton K., Sparling P. (1980): Distance running performance and metabolic responses to running in men and women with excess weight experimentally equated. *Medicine & Science in Sports & exercise*, 12: 288-294.

Divert, C., Mornieux, G., Freychat, P., Baly, L., Mayer, F., & Belli, A. (2008). Barefoot-shod running differences: shoe or mass effect? *International Journal of Sports Medicine*, 29(6), 512-518. https://doi.org/10.1055/s-2007- 989233

Fields, K. B., Sykes, J. C., Walker, K. M., & Jackson, J. C. (2010). Prevention of running injuries. *Current Sports Medicine Reports*, 9(3), 176-182. doi: 10.1249/JSR.0b013e3181de7ec5

Hagen, M., & Hennig, E. M. (2009) Efectos de diferentes patrones de cordones de zapatos en la biomecánica de los zapatos para correr, *Journal of Sports Sciences*, 27:3, 267-275, DOI: 10.1080/02640410802482425

Hagen, M., Hömme, A. K., Umlauf, T., & Hennig, E. M. (2008). Effects of different shoe lacing patterns on perceptual variables and dorsal pressure distribution in heel–toe running. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(Suppl. 1), O13.

Hanson, N. J., Berg, K., Deka, P., Meendering, J. R., & Ryan, C. (2011). Oxygen cost of running barefoot vs. running shod. *International journal of sports medicine*, 32(6), 401–406. https://doi.org/10.1055/s-0030-1265203

Hespanhol Junior, L. C., Pillay, J. D., van Mechelen, W., & Verhagen, E. (2015). Meta-analyses of the effects of habitual running on indices of health in physically inactive adults. *Sports Medicine* (Auckland, N.z.), 45(10), 1455-1468. https://doi.org/10.1007/s40279-015-0359-y

Lacouture, P., Colloud, F., Decatoire, A., & Monnet, T. (2013). Estudio biomecánico de la carrera a pie. *EMC-Podología*, 15(3), 1-20.

Lucas-Cuevas, A., Priego-Quesada, J., Aparicio, I., Giménez, J., Llana-Belloch, S., & Pérez- Soriano, P. (2015). Effect of 3 Weeks Use of Compression Garments on Stride and Impact Shock during a Fatiguing Run. *International Journal of Sports Medicine*, 36(10), 826-831. https://doi.org/10.1055/s-0035-1548813

Mills, K., Blanch, P., & Vicenzino, B. (2012). Comfort and midfoot mobility rather than orthosis hardness or contouring influence their immediate effects on lower limb function in patients with anterior knee pain. *Clinical Biomechanics*, 27(2), 202-208. https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.08.011

Nigg, B. M., Nurse, M. A., & Stefanyshyn, D. J. (1999). Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(7 Suppl), S421-428.

Nigg, B. M., Stergiou, P., Cole, G., Stefanyshyn, D., Mündermann, A., & Humble, N. (2003). Effect of shoe inserts on kinematics, center of pressure, and leg joint moments during running. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(2), 314–319.

Polster B. (2002). Mathematics: What is the best way to lace your shoes?.*Nature*, 420(6915), 476. https://doi.org/10.1038/420476a

Requena Bueno, L. M. (2020). Análisis de la respuesta biomecánica, percepción del esfuerzo y confort en función del soporte plantar: termoconformable vs control durante un test de carrera prolongada en atletas recreativos. (Tesis doctoral. Universidad de Valencia).

Roy, J.P. R., Stefanyshyn, D. J. (2006). Shoe midsole longitudinal bending stiffness and running economy, joint energy, and EMG. *Medicine and Science in Sports & Execise*, 38(3), 562–569

Sanchis-Sanchis, R., Encarnación-Martínez, A., Priego-Quesada, J. I., Aparicio, I., Jimenez-Perez, I., & Pérez-Soriano, P. (2021). Acute Effects on Impact Accelerations *Running with Objects in the Hand*. Life, 11(6), 550. https://doi.org/10.3390/life11060550

Thompson, D. L., & West, K. A. (1998). Ratings of perceived exertion to determine intensity during outdoor running. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 23(1), 56-65.

van Gent, R. N., Siem, D., van Middelkoop, M., van Os, A. G., Bierma-Zeinstra, S. M., & Koes, B. W. (2007). Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 41(8), 469-480. doi: 10.1136/bjsm.2006.033548

Villarejo, M. F., & Gijón-Nogueron, G. (2014). Factores del calzado deportivo de carrera que influyen en la práctica deportiva: revisión sistemática. Archivos de medicina del deporte: *revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 31(160), 105-110

Werd, M. B. (2017). Athletic Shoe Lacing in Sports Medicine. En M. B. Werd, E. L. Knight, & P. R. Langer (Eds.), Athletic Footwear and Orthoses in Sports Medicine (pp. 107-114). *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52136-7_