

ECONOMÍA DE CARRERA Y SU RELACIÓN CON MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS
EN CORREDORES DE LARGA DISTANCIA

Tesis presentada al
Departamento de Estudios Graduados
Facultad de Educación
Universidad de Puerto Rico
Recinto de Río Piedras
como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias del Ejercicio
Por

Diego O. Rosario Díaz
© Derechos reservados, 2021

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias
del Ejercicio

ECONOMÍA DE CARRERA Y SU RELACIÓN CON MEDIDAS
ANTROPOMÉTRICAS EN CORREDORES DE LARGA DISTANCIA

DIEGO O. ROSARIO DÍAZ

(Maestría en Ciencias del Ejercicio con especialidad en Fisiología del Ejercicio,
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, 2021)

(Bachillerato en Biología Integrativa, Universidad de Puerto Rico
Recinto de Río Piedras, 2016)

Aprobada el 6 de mayo de 2021 por el Comité de Tesis:

Lucía del R. Martínez Colón, Ph.D.
Directora de Tesis

Carmen Nevárez Alonso, M.H.S.N., L.N.D.

Miembro del Comité

Julio Rodríguez Torres, Ph.D.

Miembro del Comité

DEDICATORIA

Jamás imaginé que llegaría tan lejos en mis estudios. Haberme atrevido a continuar estudios graduados me enseñó de lo que soy capaz. Quiere dedicar este trabajo a todo el esfuerzo que puse día a día para poder completar este grado académico. En el proceso entendí que todo lo que te propongas si te esfuerzas y pones todas tus energías en ello lo puedes lograr. Fue un proceso muy difícil, entre huracanes, terremotos y una pandemia el reto cada vez se hacía más complicado, pero hoy con alegría puedo decir que al fin lo logré. También quiero agradecer a mi padre Diego Rosario Candelaria quien siempre que tuve alguna necesidad me apoyó para que pudiera completar mis estudios. Mi tía Nelly Rosario Candelaria también me ayudó mucho en el proceso. Quiero mencionar y agradecer al excelente grupo de estudiantes que nos acompañamos en esta travesía y que durante todo el proceso siempre nos apoyamos y nos ayudamos a ser mejores profesionales.

RECONOCIMIENTOS

Quiero comenzar reconociendo y agradeciendo a los 15 participantes que accedieron a participar de esta investigación. Sin ellos nada de esto hubiese sido posible. Reconozco la aportación de cada uno de los miembros de mi comité de tesis y les agradezco por guiarme durante este viaje de la tesis. Gracias por toda su ayuda, consejos y conocimiento compartido. También quiero agradecer a todas las personas que durante el proceso se me acercaban porque querían ayudarme a recopilar datos. Los estudiantes de este programa siempre se han comportado como una familia y eso es algo muy bonito. Quiero hacer un especial reconocimiento a uno de los miembros de mi comité tesis, a la profesora Carmen Nevárez Alonso porque a pesar de su complicada agenda siempre sacaba tiempo para mí y nunca tenía un no como respuesta. Además, en momentos difíciles de la tesis sacó de su tiempo para escribirme palabras de aliento y motivación. Eres un ser humano espectacular y sin ti nada de esto hubiese sido posible, por eso hoy quiero decirte GRACIAS, gracias por todo lo que hiciste por mí en este proceso y por levantarme cuando ya no quería continuar. Te admiro como profesional, pero sobre todo como ser humano.

RESUMEN

ECONOMÍA DE CARRERA Y SU RELACIÓN CON MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS EN CORREDORES DE LARGA DISTANCIA

Diego O. Rosario Díaz

Directora de la tesis: Lucía del R. Martínez Colón, Ph.D.

En este estudio se investigó si existe relación entre economía de carrera (EC) y las siguientes medidas antropométricas: largo de extremidad inferior del cuerpo (LEIC), largo del muslo (L.muslo), largo de pierna (L.pierna) y circunferencia del punto máximo de pantorrilla (CPMP) en corredores de larga distancia. Quince corredores entre 19-31 años ($M= 25.1 \pm DE= 4.35$), VO_{2max} de $66.8 \pm 5.9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, realizaron carreras en una trotadora a 14, 16 y 17.6 km.h^{-1} para la determinación de EC. El análisis de correlación Spearman reveló una correlación negativa no significativa con LEIC ($r_s= -0.19$ y -0.21) y L.pierna ($r_s= -0.30$ y -0.30) para las velocidades de 14 y 16 km.h^{-1} respectivamente. Mientras CPMP tuvo una correlación positiva no significativa para las velocidades de 14 y 16 km.h^{-1} ($r_s= 0.25$ y 0.29 respectivamente). En la población estudiada, no se encontró una relación entre la economía de carrera y las medidas antropométricas evaluadas.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
HOJA DE APROBACIÓN.....	i
DEDICATORIA	ii
RECONOCIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Formulación del problema	9
Propósito del estudio	11
Pregunta e Hipótesis.....	11
Significancia del estudio	12
Definiciones operacionales	12
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	14
Economía de carrera	14
Economía de carrera y Rendimiento.....	16
Factores que afectan la economía de carrera.....	18
Economía de carrera y Antropometría	28

Antropometría y Rendimiento	39
Resumen	42
CAPÍTULO III: MÉTODOS	44
Participantes	44
Procedimiento e instrumentación	45
Medidas antropométricas.....	47
Prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario.....	50
Economía de carrera	52
Análisis estadístico	53
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	55
Economía de carrera y medidas antropométricas	57
Relación entre medidas antropométricas y economía de carrera.....	59
Economía de carrera a 14 km.h ⁻¹ (EC14)	59
Economía de carrera a 16 km.h ⁻¹ (EC16)	61
Economía de carrera a 17.6 km.h ⁻¹ (EC17.6).....	63
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	67
Fortalezas y limitaciones del estudio.....	73
Recomendaciones para estudios futuros	74
Conclusión.....	74
REFERENCIAS	76

APÉNDICES	83
A-1: Autorización del protocolo	84
A-2: Autorización del protocolo	85
A-3: Autorización CIPSHI.....	86
B: Hoja de promoción del estudio	88
C: Hoja de consentimiento informado	89
D: Hoja de cotejo de criterios de inclusión y exclusión	93
E: Cuestionario de evaluación de salud para la preparación del ejercicio para profesionales del ejercicio.....	94
F: Cuestionario de información general.....	96
G: Plan de control de exposición a COVID-19 para investigaciones de campo.....	97
RESUMEN BIOGRÁFICO DEL AUTOR.....	102

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
Tabla 1: Características antropométricas de eritreos y españoles.....	29
Tabla 2: Protocolo de carga progresiva hasta máximo voluntario para determinar consumo máximo de oxígeno.....	50
Tabla 3: Características descriptivas y perfil deportivo de los participantes	55
Tabla 4: Resultados de la prueba de capacidad aeróbica máxima (VO_2max)	56
Tabla 5: Economía de carrera (VO_2) de las velocidades de carrera 14, 16 y 17.6 km.h ⁻¹	57
Tabla 6: Resultados de medidas antropométricas (longitudes y circunferencias)....	58
Tabla 7: Correlación entre economía de carrera (14 km.h ⁻¹) y medidas antropométricas	59
Tabla 8: Correlación entre economía de carrera (16 km.h ⁻¹) y medidas antropométricas	61
Tabla 9: Correlación entre economía de carrera (17.6 km.h ⁻¹) y medidas antropométricas.....	63

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
Figura 1: Marco conceptual	10
Figura 2: Valores normativos para economía de carrera.....	52
Figura 3: Gráficas de dispersión de los resultados de la correlación Spearman entre economía de carrera a 14 km.h ⁻¹ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹) y a. largo de la extremidad inferior del cuerpo (LEIC), b. largo de muslo (L. muslo), c. largo de pierna (L. pierna) y d. circunferencia del punto máximo de la pantorrilla (CPMP)	60
Figura 4: Gráficas de dispersión de los resultados de la correlación Spearman entre economía de carrera a 16 km.h ⁻¹ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹) y a. largo de la extremidad inferior del cuerpo (LEIC), b. largo de muslo (L. muslo), c. largo de pierna (L. pierna) y d. circunferencia del punto máximo de la pantorrilla (CPMP)	62
Figura 5: Gráficas de dispersión de los resultados de la correlación Spearman entre economía de carrera a 17.6 km.h ⁻¹ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹) y a. largo de la extremidad inferior del cuerpo (LEIC), b. largo de muslo (L. muslo), c. largo de pierna (L. pierna) y d. circunferencia del punto máximo de la pantorrilla (CPMP)	64

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{Max}$) y el umbral anaeróbico son las variables que han servido para explicar un mejor rendimiento en carreras de medio fondo y fondo (Boullosa & Tuimil, 2007). Sin embargo, se ha encontrado que personas que tienen un consumo máximo de oxígeno menores a otros, podían correr tiempos más rápidos. Para tratar de explicar esta disyuntiva, surgió el término de economía de carrera. La economía de carrera es la demanda energética de correr a una velocidad sub-máxima. Esta se determina por medio de una etapa estable de consumo de oxígeno relativo ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) a una velocidad estandarizada. (Conley & Krahenbuhl, 1980; Saunders, Pyne, Telford & Hawley, 2004; Barnes & Kilding, 2015). A una misma velocidad constante un corredor con buena economía de carrera va a consumir menos oxígeno que un corredor con una pobre economía de carrera (Barnes & Kilding, 2015). A pesar de esto, el término economía de carrera no es tan sencillo como parece, ya que éste es afectado por la combinación de muchas variables. Es decir, la economía de carrera es multifactorial y puede verse afectado por variables como: genética, eficiencia metabólica, eficiencia cardiorrespiratoria, eficiencia biomecánica, eficiencia neuromuscular y el entrenamiento (Barnes & Kilding, 2015). Cada una de estas variables a su vez se subdivide en más variables, lo que hace el concepto de economía de carrera uno muy complejo. Cuando hablamos de la eficiencia metabólica, encontramos que factores como la temperatura del centro del cuerpo (Smoljanic, Morris, Dervis & Jay, 2014) y el tipo de fibra muscular (Kyroelaeinen, et al. 2003) han sido relacionados con la economía de carrera. Los factores relacionados con

la economía de carrera respecto a la eficiencia cardiorrespiratoria son: la frecuencia cardíaca y la ventilación (Pate, 1989; Bailey & Pate, 1991; Franch, Madsen, Djurhuus & Pedersen, 1998). Mientras el consumo de oxígeno aumenta, la frecuencia cardíaca y la ventilación también aumentan, pero la economía de carrera disminuye (Bailey & Pate, 1991). En términos de la eficiencia biomecánica, cambios en la técnica de carrera pueden influenciar la economía de carrera y mejorar el rendimiento al correr (Tartaruga, et al., 2012). La eficiencia neuromuscular también está relacionada con la economía de carrera debido a que la interacción de los sistemas neurales y musculares son fundamentales para realizar cualquier movimiento, además la eficiencia neuromuscular traduce efectivamente la capacidad cardiorrespiratoria en eficiencia mecánica y por lo tanto en un mejor rendimiento (Barnes & Kilding, 2015). Por último, cuando nos referimos al entrenamiento, numerosos estudios indican que sujetos entrenados tienen mejor economía de carrera que aquellos que no entrenan o que entrenan muy poco (Daniels, 1985; Bransford & Howley, 1977; Mayers & Gutin, 1979; Dolgener, 1982; Krahenbuhl & Pangrazi, 1983; Pollock, Jackson & Pate, 1980).

Los corredores africanos, específicamente los del este de África han estado dominando las carreras de distancia por más de 4 décadas (Vernillo, et al. 2013; Kong & de Heer, 2008). A pesar de este dominio, estudios han demostrado que sus valores de $VO_2\text{Max}$ son altos, pero semejantes a corredores de larga distancia de Europa (Lucia, et al. 2006). Debido a esto, las investigaciones han tenido que tomar otro giro y enfocarse en otros posibles determinantes que expliquen la superioridad de los corredores africanos. Entre los posibles factores se encuentra la economía de carrera, la cual se cree que está afectada en gran medida por parámetros antropométricos (Mooses & Hackney, 2017). La antropometría es una subdivisión de la eficiencia biomecánica

(Barnes & Kilding, 2015) y son una serie de medidas estandarizadas que cuantitativamente expresan las dimensiones del cuerpo humano y el esqueleto (Molla, 2017). Características como la estatura, las dimensiones de las extremidades, porcentaje de grasa y la masa corporal han sido estudiadas como posibles factores que afectan la economía de carrera (Saunders, Pyne, Telford & Hawley, 2004). Lucia, et al. (2006) documentó las principales características físicas y fisiológicas de corredores elites de Eritrea y comparó esos datos con su contraparte, los corredores elites españoles. A todos los sujetos se les determinó las siguientes medidas antropométricas: peso, estatura, 6 pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, suprailíaco, abdominal, muslo y pantorrilla), medida de largo de pierna total, largo de la parte superior de la pierna, largo de la parte inferior de la pierna, circunferencia del punto máximo del muslo y circunferencia del punto máximo de la pantorrilla. Además, determinaron el consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{Max}$) mediante una prueba de carga progresiva en trotadora y economía de carrera (ml/kg/min) en 3 etapas de 6 minutos a distintas velocidades: $17\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (10.6mph), $19\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (11.9 mph) y $21\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (13.1 mph). Según aumentaba la velocidad en cada una de las tres etapas, también aumentó el VO_2 (ml/kg/min) en ambas poblaciones de sujetos, siendo los españoles los que tenían un valor de VO_2 en promedio mayor en las tres etapas en comparación con los eritreos. La correlación entre la economía de carrera y las características antropométricas se determinó utilizando el estadístico Pearson. Los autores encontraron diferencias significativas entre los grupos en el largo de la parte inferior de la pierna ($p < 0.05$) y una relación significativa en la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla solo en la velocidad de 21 km/h ($R = 0.554$; $p < 0.05$). Concluyeron que la excelente economía de carrera de los eritreos está asociada, al menos en parte, por variables antropométricas. Laumets, et al. (2017)

investigó la antropometría de extremidades inferiores y variables de composición corporal, relacionadas con la economía de carrera y el rendimiento de carrera en un grupo homogéneo de corredores de alto nivel europeos. Se determinó el consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{Max}$) mediante una prueba de carga progresiva. La prueba comenzó a una velocidad de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (5 mph) con una inclinación de 1%. La velocidad aumentó $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (1.25 mph) cada 3 minutos hasta llegar a $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (11.3 mph). Una vez llegado a los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ la velocidad permaneció constante y la elevación comenzó a subir 1% cada minuto hasta que el participante no pudiera continuar con la prueba. La economía de carrera se calculó de los últimos 2 minutos de VO_2 de las etapas de 14, 16 y $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Esta se expresó como: $(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1})$ y se calculó por medio de la siguiente ecuación: $RE = [(1,000 \times VO_2) / \text{velocidad}]$ (Bragada et. al. 2010). Se realizaron las siguientes medidas antropométricas utilizando los protocolos recomendados por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría o por sus siglas en inglés ISAK: 4 circunferencias (muslo, muslo-medio, pantorrilla y tobillo) y 2 longitudes (altura trocánterea y altura lateral tibial). También se calcularon las siguientes proporciones antropométricas: masa de la pierna con respecto a la masa del cuerpo, masa parte superior de la pierna con respecto a la masa del cuerpo, masa parte inferior de la pierna con respecto a la masa del cuerpo, masa parte inferior de la pierna con respecto a la masa parte superior de la pierna, longitud de la pierna total con respecto a la estatura, longitud parte superior de la pierna con respecto a la estatura, longitud parte inferior de la pierna con respecto a la estatura y longitud parte inferior de la pierna con respecto a la longitud de la parte superior de la pierna. Para conocer la correlación entre las variables se utilizó Pearson o Spearman, donde fuera necesario. Los resultados mostraron una relación moderada entre el $VO_2\text{Max}$ y la economía de carrera en las

velocidades 14, 16, y 18 km.h⁻¹ ($r^2 = 0.372$; $p = 0.030$; $r^2 = 0.350$; $p = 0.033$; $r^2 = 0.376$; $p = 0.026$, respectivamente). Ninguna de las medidas y cálculos de proporciones de diferentes segmentos del cuerpo tuvieron relación con la economía de carrera ($p > 0.05$). El índice de masa corporal (IMC) se relacionó con las velocidades: 14 km.h⁻¹ ($r^2 = 0.434$; $p = 0.014$), 16 km.h⁻¹ ($r^2 = 0.436$; $p = 0.014$) y 18 km.h⁻¹ ($r^2 = 0.389$; $p = 0.023$). La longitud de la parte inferior de la pierna mostró una correlación negativa con la economía de carrera en la velocidad de 16 km.h⁻¹ ($r^2 = 0.316$; $p = 0.046$) y mostró una tendencia similar en las velocidades de 14 ($r^2 = 0.265$; $p = 0.072$) y 18 km.h⁻¹ ($r^2 = 0.303$; $p = 0.051$). Entre las conclusiones se reporta que el largo de la parte inferior de las piernas y el IMC poseen una relación con la economía de carrera.

La importancia del largo de la parte inferior de la pierna para la economía de carrera podría consistir en una zancada de carrera más eficiente. El largo total de la pierna contribuye a la inercia angular y al costo metabólico de mover las piernas mientras se corre (Anderson, 1996). Piernas largas favorecen zancadas largas y por ende permitirán una mejor economía de carrera (Mooses, et al. 2015). A pesar de esto, en la literatura no existe consenso de que el largo de pierna sea un factor para determinar la economía de carrera y así lo expresan Barnes & Kilding, (2015) y Saunders, et al. (2004) en sus revisiones de literatura. Se ha sugerido que los valores superiores de economía de carrera en corredores kenyanos se deben primordialmente por extremidades delgadas con poca masa, permitiéndoles correr, utilizando menos gasto energético para mover las extremidades (Larsen, 2003). Para saber cómo se distribuye la masa en las piernas se puede tomar circunferencias, ya sean de muslo o de pantorrilla. La tendencia de estos corredores del este de África no es solo el generalmente ser pequeños, si no que tienen muy delgadas la parte inferior de las

piernas lo que se espera que contribuya a sus excelentes economías de carreras y a su superioridad comparados con corredores blancos (Foster & Lucia, 2007).

Mooses & Hackney, (2017) evaluaron el rol potencial de la antropometría y de parámetros de la composición corporal, en torno al éxito de los corredores de distancia de África del este en su revisión de literatura. Estos mencionan que es de esperarse que cuando la parte inferior de la pierna es delgada y liviana, ayuda a una mejor economía de carrera porque reduce la energía cinética requerida para acelerar y desacelerar las extremidades. Por lo tanto, la masa de las piernas y su distribución podría ser una característica importante para el rendimiento de los corredores.

Por el otro lado, Mooses, et. al. 2013 realizó una comparación de la economía de carrera entre atletas a nivel competitivo y recreacional. Además, comparó los distintos parámetros de composición corporal relacionados con la economía de carrera. Utilizaron una muestra de 45 hombres corredores (28 competitivos y 17 recreacionales). Todos los corredores realizaron una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario en trotadora. La prueba comenzó a una velocidad de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (5 mph) e iba aumentando $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (1.25 mph) cada 3 minutos hasta llegar a $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (8.8 mph). De ese punto en adelante, la velocidad aumentaba $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 3 minutos hasta alcanzar el máximo voluntario. La inclinación de la trotadora se mantuvo en 1% para simular el correr en una pista al aire libre. De esta prueba se determinó lo que ellos llamaron: (a) umbral ventilatorio 1 "VT1" y (b) umbral ventilatorio 2 "VT2". El umbral ventilatorio 1 se definió como el primer incremento exponencial en la ventilación. El umbral ventilatorio 2 se definió como el segundo aumento en ventilación. Luego de esta prueba, con al menos dos días de diferencia se realizó la segunda prueba. Esta consistió en realizar 2 x 2,000 metros en una pista cubierta en donde se utilizó la intensidad (frecuencia

cardiaca) del umbral ventilatorio 1 para la primera repetición y del umbral ventilatorio 2 para la segunda repetición. Entre las dos pruebas se tomaron 2 minutos de descanso. Durante la prueba, los atletas utilizaron un analizador de oxígeno portátil. La economía de carrera se determinó durante los últimos 2 minutos de cada corrida de 2,000 metros y se expresó como ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$). Las medidas de composición corporal se determinaron por DEXA. Las medidas fueron las siguientes: masa grasa corporal total (kg), masa magra corporal total (kg), masa grasa de la parte superior de la pierna (kg), grasa de la parte superior de la pierna (%), tejido magro de la parte superior de la pierna (kg), masa total de la parte superior de la pierna (kg), masa grasa de la parte inferior de la pierna (kg), grasa de la parte inferior de la pierna (%), tejido magro de la parte inferior de la pierna (kg), masa total de la parte inferior de la pierna (kg) y las proporciones: pierna/masa corporal (%), parte superior de la pierna/masa corporal (%), parte inferior de la pierna/masa corporal (%), parte inferior de la pierna/parte superior de la pierna (%). La población de corredores competitivos y recreacionales se compararon utilizando una prueba-t de estudiante o la prueba Mann-Whitney U. Se utilizaron estadísticos Pearson y Spearman donde fueron necesarios, para determinar correlación entre la economía de carrera y los parámetros de composición corporal. En promedio, el grupo competitivo tuvo un VO_2Max de $67.13 \pm 5.55 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, mientras que el grupo recreacional obtuvo $63.75 \pm 4.40 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. La masa magra corporal tuvo una correlación significativa ($p < 0.05$) con la economía de carrera en VT2 solo en los atletas recreacionales. Esto indica que corredores con una buena economía de carrera tienen significativamente mayor masa magra corporal. La economía de carrera en VT1 en corredores competitivos y recreacionales no se relacionó significativamente a ninguna de las medidas de composición corporal. Los autores reportaron que no hay diferencia

en economía de carrera utilizando los umbrales de ventilación en corredores con distintos niveles de rendimiento. Además, de que la economía de carrera a nivel competitivo y recreacional no puede ser explicada por composición corporal y/o diferencias en la proporción de la masa en las piernas.

Svedenhag & Sjödín (1994) determinaron medidas antropométricas, largo de zancada, economía de carrera y sus interrelaciones en corredores masculinos elites de media y larga distancia. Utilizando una muestra de 26 corredores, estos realizaron un calentamiento de 10 minutos. Los sujetos corrieron durante 4 minutos a 4 velocidades distintas las cuales podían ser seleccionadas por los participantes (15, 17, 18 y 19km o 16, 18, 19 y 20km). Luego de 15-20 minutos de descanso cada sujeto realizó una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario. La velocidad de la prueba se seleccionó individualmente (15.5-17 km.h⁻¹) y esta se mantuvo constante durante toda la prueba. La inclinación de la trotadora aumentaba 0.5 grados cada 30 segundos durante los primeros 4 minutos. Luego aumentaba 0.5 grados cada minuto. El largo de la pierna se determinó como el promedio de la distancia entre la espina iliaca superior anterior y el medio del maléolo lateral. El largo de zancada para cada velocidad se calculó por el tiempo promedio de un ciclo de 30 zancadas completadas y la velocidad en la que se encontraba corriendo: Largo de zancada (cm) = v (km.h⁻¹) x t (seg por 30 zancadas) /2.16. Se utilizaron pruebas t no pareadas y pareadas, además de análisis de regresión lineal. Estos encontraron una relación negativa entre el largo de zancada relativo al largo de la pierna en las velocidades 15 y 18 km.h⁻¹ ($r = -0.40$; $r = -0.42$) respectivamente. Para los corredores que realizaron la prueba a 15 km.h⁻¹ los que tenían un consumo de oxígeno menor tuvieron una estatura y largo de pierna significativamente mayor para ambos grupos de corredores ($p < 0.05$). Además,

mencionaron que sujetos altos, pesados y generalmente corredores elites fuertes con piernas cortas tienen largos de zancadas óptimos en comparación con corredores pequeños, livianos y con un largo de pierna relativamente largo. A pesar de esto, en este estudio ninguna relación consistente fue encontrada entre economía de carrera y medidas antropométricas.

Daniels, (1985) menciona que mientras más homogénea sea la muestra de corredores, la economía de carrera tendrá el potencial de ser la característica más importante para determinar el éxito de cada corredor. Mooses & Hackney, (2017) mencionan que la evidencia disponible es limitada, pero la antropometría aparenta ser importante como determinante del rendimiento en corredores elites de larga distancia. A pesar de que se ha discutido que unas extremidades inferiores más largas podrían ayudar a una mejor economía de carrera, la masa y su distribución en las piernas aparentan tener una mayor influencia. Hoy en día, todavía existe controversia cuando hablamos de la relación que podría existir entre la economía de carrera y medidas antropométricas.

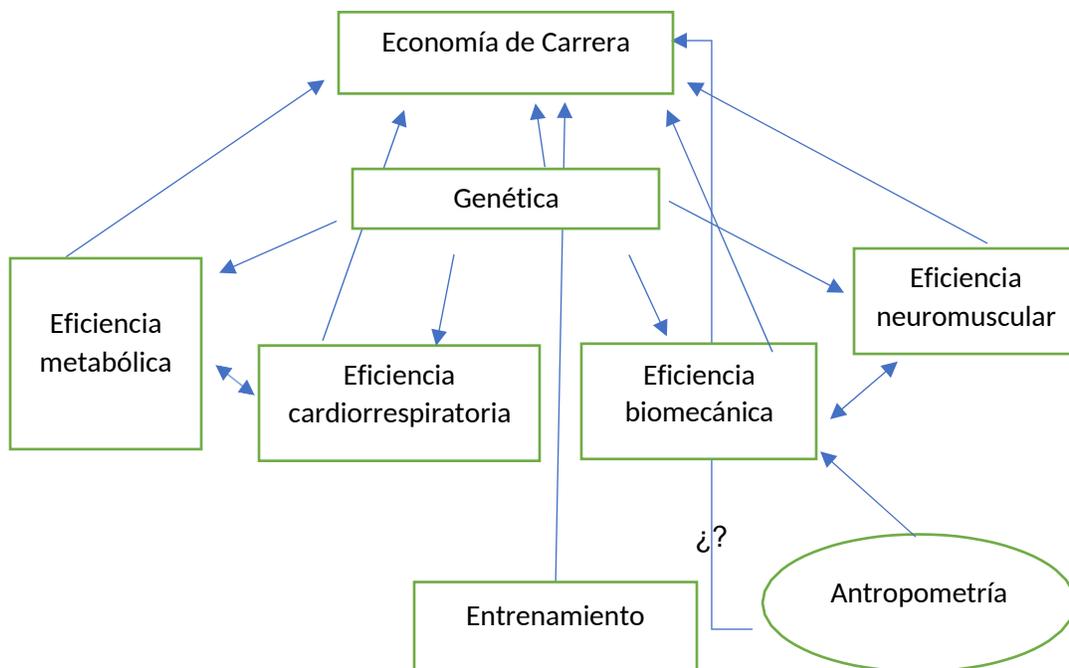
Formulación del Problema

Actualmente se relaciona la economía de carrera con el rendimiento de corredores de larga distancia y se conoce que esta puede ser afectada por un sin número de variables. Sin embargo, hoy en día, todavía se discute el verdadero papel de la economía de carrera en el rendimiento, esto debido a que al igual que el $VO_2\text{Max}$, en grupos homogéneos de corredores no ha sido una variable discriminatoria del mismo. La evidencia disponible es limitada, pero la antropometría aparenta ser importante como

determinante del rendimiento en corredores elites de larga distancia. Actualmente no existe consenso de que el largo de pierna sea un factor para determinar la economía de carrera. Algunas investigaciones encontraron una relación entre la economía de carrera y medidas antropométricas, mientras hay otras que no. A pesar de que se ha discutido que unas extremidades inferiores más largas podrían ayudar a una mejor economía de carrera, la masa y su distribución en las piernas aparentan tener una mayor influencia. Por lo tanto, el concepto de economía de carrera todavía se estudia para conocer su relación con el rendimiento y qué efecto puede tener en los atletas. Además, se necesita esclarecer si las variables antropométricas de la parte inferior del cuerpo, que aparentan tener un efecto en la economía de carrera, en realidad lo tienen.

Figura 1

Marco conceptual



Propósito del estudio

El propósito de este estudio es determinar si existe relación entre la economía de carrera y las siguientes medidas antropométricas: largo de extremidad inferior del cuerpo, largo del muslo, largo de pierna y circunferencia del punto máximo de la pantorrilla, en corredores de larga distancia.

Pregunta e Hipótesis:

1. ¿Existe relación entre la economía de carrera y el largo de la extremidad inferior del cuerpo?

H_{a1} = Habrá una relación negativa entre la economía de carrera y el largo de la extremidad inferior del cuerpo

H_{01} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo de la extremidad inferior del cuerpo

2. ¿Existe relación entre la economía de carrera y el largo del muslo?

H_{a2} = Habrá una relación negativa entre la economía de carrera y el largo del muslo

H_{02} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo del muslo

3. ¿Existe relación entre la economía de carrera y el largo de la pierna?

H_{a3} = Habrá una relación negativa entre la economía de carrera y el largo de la pierna

H_{03} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo de la pierna

4. ¿Existe relación entre la economía de carrera y la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla?

H_{a4} = Habrá una relación positiva entre la economía de carrera y la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla

H_{04} = No habrá relación entre la economía de carrera y la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla

Significancia del estudio

El objetivo de esta investigación es determinar si distintas variables antropométricas de la parte inferior del cuerpo tienen algún efecto en la economía de carrera. La identificación de estas variables podría ayudar, ya sea como predictores de rendimiento o para la identificación de talentos desde que están en etapas juveniles. Los datos de esta investigación podrían ayudar a la disyuntiva de que hoy en día, todavía no existe consenso si las medidas antropométricas están asociadas a la economía de carrera y por ende a un mejor rendimiento en corredores de larga distancia. Además, se recopilarán datos antropométricos y fisiológicos de corredores de larga distancia puertorriqueños que actualmente no existen y podrían ser utilizados en futuras investigaciones.

Definiciones operacionales

1. Economía de carrera: es la demanda energética de correr a una velocidad sub-máxima. Se determina por medio de una etapa estable de consumo de oxígeno relativo ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) a una velocidad estandarizada. (Conley & Krahenbuhl, 1980) (Saunders, Pyne, Telford & Hawley, 2004) (Barnes & Kilding, 2015).
2. Medidas antropométricas: medidas estandarizadas que cuantitativamente expresan las dimensiones del cuerpo humano y el esqueleto (Molla, 2017).
3. Consumo máximo de oxígeno: es el consumo de oxígeno durante un esfuerzo máximo que refleja la capacidad del corazón, los pulmones y la sangre para llevar el

oxígeno a los músculos que trabajan durante el ejercicio (Gibson, Wagner & Heyward, 2018).

4. Largo de la extremidad inferior del cuerpo: es una medida antropométrica que se realiza desde la marca del trochanterion hasta el suelo (Esparza-Ros et. al. 2019).

5. Largo de la pierna: es una medida antropométrica que se realiza desde la marca tibial lateral hasta el suelo (Esparza-Ros et. al. 2019).

6. Largo del muslo: es una medida antropométrica que se realiza desde la marca del trochanterion hasta la marca tibial lateral (Esparza-Ros et. al. 2019).

7. Circunferencia del punto máximo de la pantorrilla: es una medida antropométrica del máximo perímetro a nivel de la marca del pliegue de pantorrilla medial (Esparza-Ros et. al. 2019)

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

En el 1896 comenzó lo que se conoce como los primeros Juegos Olímpicos Modernos y desde entonces se han celebrado cada 4 años, exceptuando las ediciones del 1916, 1940 y 1944 debido a la primera y la segunda guerra mundial. En estas competencias se enfrentan los países de todo el mundo tratando de demostrar quien tiene a los mejores atletas. Es así como el rendimiento comienza a ser un tema de interés. Desde los Juegos Olímpicos celebrados en la Ciudad de México en 1968, los corredores kenyanos comenzaron a tener un éxito increíble en eventos de medio fondo y fondo (Onywera, Scott, Boit & Pitsiladis, 2006). Debido a esto, a través de los años se han realizado un sin número de investigaciones, para tratar de proponer una explicación a esta superioridad de los corredores kenyanos en comparación con corredores caucásicos y otros corredores de África del este (Larsen, 2003; Baker & Horton, 2003; Weston, Karamizrak, Smith, Noakes, Myburgh, 1999). Las primeras variables que comenzaron a explicar un mejor rendimiento en carreras de medio fondo y fondo fueron la capacidad cardiorrespiratoria ($VO_2\text{Max}$) y el umbral anaeróbico (Boullosa & Tuimil, 2007). Sin embargo, estas variables no podían explicar por qué una persona con un $VO_2\text{max}$ menor a otro, podía correr tiempos más rápidos. Para tratar de explicar esta disyuntiva, surgió el termino de economía de carrera.

Economía de carrera

La economía de carrera se define como la demanda energética de correr a una velocidad sub-máxima. Es decir, una etapa estable de consumo de oxígeno relativo

($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) a una velocidad estandarizada (Conley & Krahenbuhl, 1980; Saunders, Pyne, Telford & Hawley, 2004; Barnes & Kilding, 2015). La demanda energética de correr refleja la suma de los metabolismos aeróbicos y anaeróbicos (Saunders, Pyne, Telford & Hawley, 2004). La aproximación estándar que se utiliza para medir la economía de carrera envuelve medir el VO_2 mientras se corre en una trotadora a varias velocidades constantes, por una duración de tiempo lo suficiente para alcanzar un estado fisiológico estable. La velocidad de referencia que comúnmente se utiliza para medir esta variable es 16 km.hr^{-1} (Barnes & Kilding, 2015). Aunque la economía de carrera hace referencia a una tasa de consumo de oxígeno en ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), comúnmente se utiliza el valor en ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$) para evitar la influencia de la velocidad absoluta de la carrera. Los valores típicos para atletas entrenados se encuentran entre $175\text{-}220 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$. Una tercera opción para expresar la economía de carrera sería ($\text{kcal.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$), teniendo así en cuenta el cociente respiratorio, y por tanto, la contribución anaeróbica al esfuerzo (Ogueta-Alday & García-López, 2016). A una misma velocidad constante un corredor con buena economía de carrera va a utilizar menos oxígeno que un corredor con una pobre economía de carrera (Barnes & Kilding, 2015). Se ha reportado que corredores con un VO_2max parecido han tenido una diferencia de hasta 30% en su economía de carrera (Daniels, 1985). Daniels, (1985) menciona que la economía de carrera varía entre individuos que representan una variedad de niveles de rendimiento. En este caso sería fácil observar por qué la economía no se correlaciona con el rendimiento. Sin embargo, mientras más homogénea sea la muestra de corredores con respecto al VO_2max , la economía de carrera tendrá el potencial de ser la característica más importante para determinar el éxito de cada corredor.

Economía de carrera y rendimiento

Muchos estudios han reportado que una mejora en la economía de carrera del atleta está relacionada a una mejoría en el rendimiento en carreras de largas distancias (Pollock, 1977; Di Prampero, et. al.1993; Daniels, 1985; Conley, et. al.1984; Svedenhag & Sjodin, 1985; Farrell, et.al.1993; Weston, Mbambo & Myburgh, 2000). Weston, Mbambo & Myburgh, (2000) evaluaron la economía de carrera y midieron la utilización fraccional del VO_2 max en corredores africanos y caucásicos que compiten en eventos de 10 kilómetros. Utilizaron una muestra de 8 corredores africanos y 8 corredores caucásicos. Realizaron una prueba de carga progresiva en trotadora para determinar el VO_2 Pico. En un segundo día se realizó una prueba sub- máxima en trotadora, en donde se corrió a dos velocidades (16.1 km.h^{-1} y ritmo de carrera de 10km). Cada velocidad se corrió por 6 minutos con 5 minutos de recuperación entre cada una. El VO_2 Pico fue 13% más bajo en los corredores africanos ($61.9 \pm 6.9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) en comparación con los corredores caucásicos ($69.9 \pm 5.4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Durante la velocidad de 16.1 km.h^{-1} los corredores africanos eran 5% más económicos ($47.3 \pm 3.2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) que los corredores caucásicos ($49.9 \pm 2.4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). A ritmo de carrera los corredores africanos utilizaban un mayor porcentaje del VO_2 Pico (92.2%) en comparación con los corredores caucásicos (86.0%). Este resultado podría explicar parcialmente el éxito de los corredores africanos a nivel elite ya que se puede observar que estos tienen una mejor economía de carrera. Conley & Krahenbuhl (1980) determinaron la relación entre economía de carrera y rendimiento en corredores de fondo, altamente entrenados y con habilidades homogéneas. Utilizaron una muestra de 12 corredores masculinos altamente entrenados, con VO_2 Max similares. El VO_2 Max y los pliegues cutáneos se midieron en la primera de dos visitas al laboratorio. El VO_2 Max se determinó utilizando un método de circuito abierto, siguiendo un protocolo de carga progresiva hasta máximo

voluntario. La velocidad de la trotadora se mantuvo en $214 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (8 mph) para todas las etapas. La etapa uno fue 4 minutos de calentamiento sin inclinación. Posteriormente, la inclinación aumentaba 2.5° cada minuto hasta máximo voluntario. La prueba para medir economía de carrera se realizó durante la segunda visita al laboratorio. Luego de una etapa de calentamiento de 5 minutos a una velocidad de $214 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (8 mph), los sujetos completaron tres etapas de 6 minutos de duración a velocidades distintas (241 , 268 y $295 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) (9, 10 y 11 mph) con 3 minutos de recuperación entre cada una. Los valores utilizados fueron los últimos 3 minutos de cada etapa de 6 minutos. El rendimiento se determinó como el tiempo realizado por todos los sujetos en una carrera de 10km en la cual todos participaron. El tiempo promedio de los sujetos en la carrera fue de 32.1 minutos, el VO_2Max promedio fue de $71.7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y el VO_2 promedio en las tres etapas estables (241 , 268 y $295 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) fue 44.7 , 50.3 y $55.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ respectivamente. La relación entre el VO_2Max y el rendimiento de la carrera de 10km fue de $r = -0.12$ ($p = 0.35$). La relación entre el VO_2 de las tres etapas estables y el rendimiento de la carrera de 10km fue $r = 0.83$, 0.82 y 0.79 para cada velocidad respectivamente ($p < 0.01$). Es decir, mientras su tiempo en la carrera de 10km era mayor el consumo de oxígeno en las pruebas también era mayor. Estos obtuvieron variaciones significativas en economía de carrera, que se reflejaba en su rendimiento en carreras de 10km. Promediando el r^2 para las tres etapas a velocidades distintas se podría decir que el 65.4% de la variación observada en el rendimiento de la carrera de 10km puede ser explicada por variaciones en la economía de carrera. Cuando hablamos de corredores con VO_2max parecidos, la economía de carrera ha demostrado ser un predictor útil de rendimiento en corredores de larga duración. Por el otro lado, Mooses, et. al. (2015) investigó la relación entre la economía de carrera y el rendimiento en un grupo homogéneo de corredores kenyanos de larga distancia.

Utilizaron una muestra de 32 corredores masculinos. Todos los participantes realizaron una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario en una trotadora. La economía de carrera se expresó como el VO_2 durante los últimos dos minutos de la etapa de 16 km/h en la prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario. El rendimiento se determinó tomando el mejor rendimiento de cada corredor en la temporada presente y se le dió un valor a esa marca utilizando las tablas de puntos de la Asociación Internacional de la Federación de Atletismo (IAAF), ahora llamada como la "World Athletics". Se utilizó un análisis estadístico de correlación (Pearson o Spearman) para evaluar las relaciones. La economía de carrera se relacionó significativamente con el VO_{2Max} ($r = 0.46$, $p = 0.017$), pero no con el rendimiento ($r = -0.01$; $p = 0.959$). La disociación entre la economía de carrera y el rendimiento del grupo homogéneo de corredores de larga distancia sugieren que la economía de carrera puede estar compensada por otros factores como el VO_{2max} . Este descubrimiento sigue la idea de que la economía de carrera es solo uno de los muchos factores que explican el rendimiento de corredores elites.

Factores que afectan la economía de carrera

La economía de carrera es un proceso multifactorial que puede verse afectado por factores como: la genética, la eficiencia metabólica, eficiencia cardiorrespiratoria, eficiencia biomecánica, eficiencia neuromuscular y el entrenamiento (Barnes & Kilding, 2015). Debido a que tantos factores podrían influenciar en la economía de carrera, se han publicado un sin número de estrategias para mejorar la misma. Barnes, McGuigan & Kilding, (2014) reporta, que existen una gama de entrenamientos, tales como: entrenamiento de resistencia, entrenamientos a intervalos de alta intensidad,

entrenamiento en altura, ejercicios de estiramiento e intervenciones de nutrición que se han utilizado para mejorar la economía de carrera.

Dentro de la eficiencia metabólica, uno de los factores que se relaciona con la economía de carrera es la temperatura del centro del cuerpo. Smoljanic, Morris, Dervis & Jay, (2014) investigaron el efecto de la economía de carrera y el consumo máximo de oxígeno en la respuesta termorreguladora del cuerpo, mientras se corre en una trotadora. Utilizaron una muestra de participantes masculinos que se dividió en 4 grupos de 7 participantes: Alta Aptitud Física "HI-FIT" ($VO_2\text{max} = 61 \pm 5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), Baja Aptitud Física "LO-FIT" ($VO_2\text{max} = 45 \pm 4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), Alta Economía "HI-ECO" ($EC = 189 \pm 15.3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$) y Baja Economía "LO-ECO" ($EC = 222 \pm 10 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$). El $VO_2\text{max}$ se determinó realizando una prueba de carga progresiva según las recomendaciones de la "Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio". En esta prueba, el sujeto selecciona una velocidad entre 8-12 km.h^{-1} por 1 minuto seguido de un aumento de 1% de inclinación cada minuto hasta máximo voluntario. Para determinar la economía de carrera se realizaron 3 etapas de 4 minutos cada una. Para los grupos de "HI-FIT", "HI-ECO" y "LO-ECO" las tres etapas de 4 minutos eran a las siguientes velocidades: (8.5, 10.5 y 12.5 km.h^{-1}). Para el grupo "LO-FIT" se utilizaron las velocidades de: (6.5, 8.5 y 10.5 km.h^{-1}). Los datos utilizados para la economía de carrera fueron a la velocidad de 10.5 km.h^{-1} . Se encontró que cuando se corre en una trotadora a un porcentaje de $VO_2\text{max}$ fijo, el grupo de alta aptitud física demostró mayores cambios en la temperatura del centro del cuerpo y una mayor tasa de sudoración debido a una mayor producción de calor " H_{prod} " y requerimiento evaporativo para el balance de calor " E_{req} " respectivamente. Sin embargo, cuando estos dos grupos corrían en la trotadora a una intensidad que provocaba la misma cantidad de producción de calor y requerimiento evaporativo, las diferencias en las respuestas

termorreguladoras fueron eliminadas. Demostrando que el acondicionamiento aeróbico no ejerce influencia independiente en el cambio de la temperatura central del cuerpo o la sudoración mientras se corre en un ambiente fisiológicamente compensable. Del mismo modo, luego se compararon los grupos de “HI-ECO” con “LO-ECO”. Cuando el grupo de “LO-ECO” corría en una trotadora a una velocidad de carrera fija demostró mayores cambios en la temperatura central del cuerpo y mayores tasas de sudoración como consecuencia de una mayor producción de calor y requerimiento evaporativo, respectivamente. Sin embargo, cuando las velocidades de carrera eran modificadas para obtener la misma producción de calor y requerimiento evaporativo en ambos grupos, las respuestas termorreguladoras fueron las mismas. Estos concluyeron que corredores con una buena aptitud física, pero una baja economía de carrera, están propensos a desarrollar problemas relacionados al calor. Por definición, un corredor con poca economía de carrera va a consumir más oxígeno a cierta velocidad de carrera, lo que va a resultar en una mayor producción de calor y un posible aumento en la temperatura del centro del cuerpo. Por el contrario, Barnes & Kilding, (2015) por medio de una revisión literaria, indican que existe evidencia conflictiva entre la relación de la economía de carrera y temperatura del centro del cuerpo “ C_{TEMP} ”. Esto debido a que altos “ C_{TEMP} ” han resultado en un aumento de VO_2 a cierta velocidad en condiciones hipertérmicas. Sin embargo, también se ha indicado que no ha habido cambios e incluso hasta reducciones de VO_2 durante ejercicio hipertérmico. Sugiriendo que altas “ C_{TEMP} ” potencian la eficiencia mecánica del músculo de la misma manera que lo haría un aumento causado por cambios en la circulación, el sudor y la ventilación “ V_E ”.

Otro factor relacionado a la economía de carrera que se encuentra dentro de la eficiencia metabólica es el tipo de fibra muscular (Barnes & Kilding, 2015).

Kyroelaeinen, et. al. (2003) investigó las posibles diferencias en la economía de carrera

entre corredores elites de semi fondo explicadas por la estructura muscular y la fortaleza isométrica máxima. Se utilizó una muestra de 10 corredores masculinos, los cuales corrieron a 6 distintas velocidades de carrera cada uno ($4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $5.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y velocidad máxima) en una pista bajo techo. En todas las pruebas de carrera, el promedio de velocidad se midió por fotoceldas (Newtest, Oulu, Finland). Los gases de respiración se midieron utilizando un analizador de gases portátil (K4b², Cosmed, Rome, Italy) determinado por respiro “breath-by-breath”. A todos los participantes se les realizó una biopsia muscular en el vasto lateral. La biopsia se realizó para analizar la distribución de los tipos de fibras, áreas de fibra muscular, composición de la cadena pesada de miosina “MHC”, enzimas metabólicas y las isoformas de titina. Los resultados obtenidos fueron que el gasto energético fue aumentando hasta llegar a la velocidad de $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La distribución relativa de los isoformas de MHC fueron, MHC I: 67.0%, MHC IIA: 31.5% y MHC IIX: 1.5%. Estos resultados demuestran que a mayor área de fibra tipo II, mayor fortaleza isométrica máxima “MVC” ($r = 0.59$, $p < 0.05$). La cantidad de MHC II correlaciona inversamente con el gasto energético cuando se corre cerca de la velocidad de competencia ($r = -0.61$, $p < 0.05$). Estos concluyeron, que la estructura muscular aparenta tener un papel importante en la explicación de diferencias en la economía de carrera entre un grupo homogéneo de corredores de semi fondo. Esto podría ser explicado en parte por diferencias en la distribución de fibras musculares, MHC (cadena pesada de miosina) y las isoformas de titina.

Los factores de eficiencia cardiorrespiratoria relacionados con la economía de carrera son: la frecuencia cardíaca y la ventilación (Pate, Macera, Bailey, Bartoli & Powell, 1992; Bailey & Pate, 1991; Franch, Madsen, Djurhuus & Pedersen, 1998). Pate, et al. (1992) estudió un grupo heterogéneo de corredores de fondo. La economía de

carrera se midió como el VO_2 durante una corrida en trotadora a 161 m/min (6 mph). Las variables que se examinaron fueron: frecuencia cardiaca, ventilación, VO_2Max , % grasa, edad, sexo, estatura, peso, estimado de la masa de las piernas, ritmo típico de entrenamiento, volumen de entrenamiento y una prueba de flexión de tronco (Sit and Reach). La relación entre variables se determinó utilizando una correlación de orden cero y un análisis de regresión lineal múltiple. La economía de carrera tuvo una correlación positiva con: VO_2Max ($r = 0.258$; $p < 0.001$), frecuencia cardiaca ($r = 0.307$; $p < 0.001$) y ventilación ($r = 0.366$; $p < 0.001$). Estos concluyeron que, en un grupo diverso de corredores, mejor economía de carrera está asociado con un bajo nivel de VO_2Max , ventilación y frecuencia cardiaca. Bailey & Pate, (1991) investigaron cómo se puede mejorar la economía de carrera en ciertos atletas, por medio de la manipulación de variables y examinaron la factibilidad de tales manipulaciones. Se encontró que las dos variables que juegan un papel integral en la transportación de oxígeno al músculo y que ha demostrado estar significativamente relacionada con la economía de carrera son la frecuencia cardiaca (lpm) y la ventilación (L/min). Ellos reportaron que mientras el consumo de oxígeno aumenta, la frecuencia cardiaca y la ventilación también aumentan, pero la economía de carrera disminuye. Franch, Madsen, Djurhuus & Pedersen, (1998) investigaron el efecto de tres tipos de intensidades de entrenamiento en la economía de carrera para establecer posibles relaciones entre cambios en función ventilatoria y/o la distribución del tipo de fibra muscular. Se utilizó una muestra de 36 corredores recreacionales masculinos, los cuales se dividieron en 3 grupos de entrenamientos: Entrenamiento de distancia "DT", Entrenamiento de intervalos largos "LIT" y Entrenamiento de intervalos cortos "SIT". Estos entrenamientos se realizaban 3 veces a la semana por una duración entre 20-30 minutos, durante 6 semanas. Luego de un calentamiento de 10 minutos en la trotadora, todos los sujetos corrieron durante 3

etapas de 5 minutos cada una a una velocidad de 12.3, 13.4 y 14.4 km.h⁻¹ respectivamente. El VO₂ se obtuvo en los últimos 1.5 minutos de cada etapa para determinar la economía de carrera. Inmediatamente, luego de la última etapa submáxima, comenzaba la prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario. Durante el primer minuto hubo un aumento de 2km.h⁻¹ y luego se siguió aumentando 1 km.h⁻¹ cada minuto hasta máximo voluntario. Para conocer la distribución del tipo de fibra muscular se realizó una biopsia muscular en el vasto lateral del cuádriceps. La economía de carrera mejoró 3.1% en entrenamiento de distancia ($p < 0.05$), 3.0% en entrenamiento de intervalos largos ($p < 0.01$) y 0.9% en entrenamiento de intervalos cortos. La ventilación pulmonar fue en promedio 11 L.min⁻¹ menos, luego de los entrenamientos ($p < 0.0001$). La disminución individual de la ventilación correlacionó con mejoras en la economía de carrera ($r = 0.77$; $p < 0.0001$) y podría contribuir a un 25-70% de disminución en la demanda aeróbica. Estos concluyeron que una reducción en la ventilación pulmonar, seguida de un entrenamiento, correlaciona significativamente con la mejora de la economía de carrera. Esto sugiere, que adaptaciones ventilatorias podrían contribuir a una mejora en el rendimiento de carrera.

Tartaruga, et. al. (2012) evaluaron la relación entre la economía de carrera y parámetros biomecánicos corriendo a una misma intensidad relativa y una misma intensidad absoluta. Utilizaron una muestra homogénea de 16 corredores masculinos de larga distancia. Para determinar el VO₂Max se realizó una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario. La prueba inició a una velocidad de 2.7 m.s⁻¹ y esta iba aumentando 0.27 m.s⁻¹ cada minuto. La inclinación de la trotadora se mantuvo en 1%. La economía de carrera se midió realizando una prueba de una etapa de 6 minutos corriendo a una velocidad de 4.4 m.s⁻¹ (16 km.h⁻¹) en una trotadora. La economía de carrera se determinó como el promedio de VO₂ obtenido en los últimos 2 minutos de la

etapa. La activación máxima del recto femoral “RF”, el vasto lateral “VL”, semitendinoso “ST” y la cabeza corta del bíceps femoral “BF” se determinó por medio de grabaciones electromiográficas. Se encontró que cambios en la técnica de carrera y actividad muscular estaban relacionados con la economía de carrera en corredores experimentados de 10,000 metros. También se reportó que una reducción en la frecuencia de zancada y un aumento en el largo de la zancada podría ayudar a un mejor rendimiento debido a un aumento en la economía de carrera.

Moore, (2016) menciona en su revisión de literatura que uno de los factores determinantes en el rendimiento de una carrera es la economía de carrera. El propósito de su revisión era encontrar si había factores biomecánicos modificables que pudieran afectar la economía de carrera. Entre los factores intrínsecos que aparentan tener un beneficio en la economía de carrera se encuentran: la selección del largo de zancada, baja oscilación vertical, mayor rigidez en las piernas, momento de inercia bajo en las extremidades inferiores, alineamiento de la fuerza de reacción en el suelo y vectores del eje de la pierna, menos extensión de la pierna en el despegue, ángulos mayores en la zancada, mantener movimiento de brazos, baja activación muscular durante la propulsión y una baja coactivación antagonista-agonista en el muslo. Entre los factores extrínsecos asociados a una mejor economía de carrera se encuentra el tipo de tenis que se utiliza. La evidencia muestra que la mayoría de los factores biomecánicos que tienen un efecto en la economía de carrera ocurren durante la fase de propulsión, esto sugiere que esta fase es la que está ligada mayormente con la economía de carrera.

Barnes & Kilding, (2015) mencionan que la eficiencia neuromuscular también está relacionada con la economía de carrera. La interacción de los sistemas neurales y musculares son fundamentales para realizar cualquier movimiento. Además, la eficiencia neuromuscular traduce efectivamente la capacidad cardiorrespiratoria en

eficiencia mecánica y por lo tanto a un mejor rendimiento. Ellos dividen esta eficiencia en dos categorías: 1) Factores que mejoran la señal neural y la programación motora del movimiento de correr; y 2) Factores que mejoran la producción de fuerza muscular. Green & Patla, en su revisión de literatura (1992) examinaron los procesos musculares o periferales que podrían actuar como determinantes del $VO_2\text{Max}$. Estos mencionan que la determinación de la habilidad máxima de cada individuo para tomar, transportar y utilizar el oxígeno es responsabilidad de múltiples procesos periferales.

El entrenamiento de tolerancia te ayuda a aumentar la morfología y el funcionamiento de la mitocondria del músculo esquelético. Por ende, un aumento en la capacidad respiratoria del músculo esquelético permite que los corredores entrenados utilicen menos oxígeno por mitocondria a una velocidad de carrera submáxima dada. Estas respuestas provocan una mejoría en la economía de carrera, un menor disturbio en la homeostasis y una utilización más lenta del glucógeno muscular. A pesar de esto, existe poco consenso sobre el efecto del entrenamiento en la economía de carrera. Esto se debe a limitaciones en diseños experimentales, tales como: muestras pequeñas, ausencia de múltiples medidas de economía para medir variaciones intraindividuales y no controlar los factores que influyen en la economía de carrera (nivel de fatiga, etapa de entrenamiento, experiencia en trotadora y calzado) (Saunders, Pyne, Telford & Hawley, 2004).

De Ruiten, et al. (2014) demostró que los corredores entrenados, son más económicos que los no entrenados. Utilizaron una muestra de 10 sujetos masculino no entrenados y 10 corredores masculinos entrenados. Estos corrieron en una trotadora a una velocidad constante que correspondía al 80% del umbral ventilatorio de cada sujeto. Los participantes debían utilizar 7 distintas frecuencias de zancadas (seleccionadas por el mismo sujeto) y medidas por un metrónomo. El VO_2 fue medido

mientras estos corrían. La frecuencia de zancada óptima se basó en la zancada que presentó un menor consumo de oxígeno. El costo de correr fue mayor en la frecuencia de zancada óptima para corredores no entrenados ($236 \pm 31 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$) en comparación con los corredores entrenados ($189 \pm 13 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$) ($p < 0.05$). Por ende, si ambos grupos corren en su frecuencia de zancada óptima, los corredores entrenados serán más económicos por tener una mejor economía de carrera.

Uno de los entrenamientos que se utilizan con miras a mejorar la economía de carrera son los entrenamientos pliométricos. Berryman, et al. (2010) estudió el efecto de un entrenamiento pliométrico en comparación con un entrenamiento dinámico de pesas en el costo energético de correr. Utilizaron una muestra de 35 corredores de resistencia masculinos, los cuales fueron clasificados como moderadamente a bien entrenados (de 3-7 sesiones de entrenamiento a la semana). Estos sujetos no tenían historial de participación en entrenamiento de fuerza. Los sujetos se dividieron al azar en 3 grupos, (control, entrenamiento pliométrico y entrenamiento dinámico de pesas). Para medir el VO_2 , se realizó una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario en una trotadora. La prueba comenzó en 12 km.h^{-1} por 6 minutos para determinar el costo energético de correr (economía de carrera) y luego aumentaba 0.5 km.h^{-1} cada minuto hasta que el sujeto no pudiera continuar con la prueba. La inclinación se mantuvo en cero grados. El promedio de VO_2 durante los últimos 2 minutos de los primeros 6 minutos de la prueba fueron divididos por la velocidad de la trotadora para calcular el costo energético de correr ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$). El valor más alto de VO_2 durante un periodo de 15 segundos fue considerado como el VO_2 pico ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Para las intervenciones de entrenamiento, en el entrenamiento de tolerancia aeróbica (grupo control), todos los sujetos continuaron haciendo los mismos programas de entrenamientos que se encontraban realizando antes de comenzar la investigación. Para los entrenamientos de

fuerza, el grupo control no realizaba estos entrenamientos, mientras que los grupos de entrenamiento dinámico de pesas y entrenamiento pliométrico realizaban una sesión de entrenamiento a la semana con el propósito de mejorar su potencia. Los autores encontraron que el entrenamiento pliométrico indujo una mayor disminución en el costo energético de correr (de 218 ± 16 a 203 ± 13 ml.kg⁻¹.km⁻¹) en comparación con el entrenamiento dinámico de pesas (207 ± 15 a 199 ± 12 ml.kg⁻¹.km⁻¹) y que el grupo control no presentó cambios.

Otro método de entrenamiento que se entiende podría tener un efecto en la economía de carrera es el entrenamiento en altitud. Saunders, et al. (2003) estudió el efecto de una exposición simulada de altitud durante 20 días en la economía de carrera de corredores elites. Utilizaron una muestra de 22 corredores de media y larga distancia que participaron voluntariamente. Todos los sujetos competían a nivel nacional o internacional con un VO₂Max promedio de 72.8 ± 4.4 ml.kg⁻¹.min⁻¹. Los sujetos se dividieron en 3 grupos: Vivir alto (2,000-3,100m) /entrenar bajo (600m) "LHTL", vivir moderado/entrenar moderado (1,500-2,000m) "LMTM" y vivir bajo/entrenar bajo (600m) "LLTL". La economía de carrera fue medida por medio de tres carreras submáximas en trotadora de 4 minutos de duración a 3 velocidades distintas (14, 16 y 18 km.h⁻¹). La economía de carrera se determinó como el valor de VO₂ en el último minuto de cada carrera. Para medir el VO₂Max se realizó una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario 2 minutos luego de finalizar la prueba de economía de carrera. La prueba comenzó a una velocidad de 18 km.h⁻¹ y esta aumentó 1km.h⁻¹ cada minuto hasta llegar a 20 km.h⁻¹, de ahí en adelante comenzó a aumentar el gradiente de inclinación 1% cada minuto hasta máximo voluntario. Para simular la altitud los sujetos fueron colocados dentro de una cámara hipóxica normobárica. Los entrenamientos de altitud moderada se realizaron en Falls Creek, Australia. Luego de pasado los 20 días

de entrenamiento, se encontró que hubo una disminución de VO_2 (mejoría de economía de carrera) en el grupo de vivir alto/entrenar bajo en comparación con el grupo control, el cual vivía bajo/entrenaba bajo. Para el grupo de vivir moderado/entrenar moderado no hubo cambios en el VO_2 . Ellos entienden que esta es la primera investigación que encuentran mejoría en economía de carrera en atletas elites, luego de una exposición a corto plazo de altitud simulada. También concluyeron que vivir y entrenar a una altitud de 1,500-2,000m no es un estímulo suficiente para alterar variables asociadas con la economía de carrera.

Economía de carrera y antropometría

Las medidas antropométricas son una serie de medidas estandarizadas que cuantitativamente expresan las dimensiones del cuerpo humano y el esqueleto (Molla, 2017). Características como la estatura, las dimensiones de las extremidades, porcentaje de grasa y la masa corporal se han estudiado como posibles factores que afectan la economía de carrera (Saunders, Pyne, Telford & Hawley, 2004). Lucia, et. al. (2006) determinó las principales características físicas y fisiológicas de corredores elites negros de Eritrea y los comparó con su contraparte, los corredores elites españoles blancos. Utilizaron una muestra de 7 corredores de Eritrea (22 ± 3 edad) y 9 corredores de España (24 ± 2 edad) en donde todos eran especialistas en carreras de campo travesía. A todos los sujetos se les midió, peso corporal, estatura y 6 pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, suprailíaco, abdominal, muslo y pantorrilla) utilizando equipo estándar (Holtain, Crymych, UK). El mismo investigador realizó 3 medidas por cada pliegue. Se realizaron medidas de, largo de la extremidad inferior, largo de muslo, largo de la pierna, circunferencia del punto máximo del muslo y circunferencia del punto máximo de la pantorrilla. Después de un periodo de 24 horas sin realizar

entrenamientos de alta intensidad, los sujetos se reportaron al laboratorio por dos días consecutivos para realizar las siguientes pruebas en trotadora: 1) Una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario para determinar el VO_2max y 2) Una prueba de 3 etapas a velocidades distintas para determinar economía de carrera. Los gases se recolectaron por medio del sistema metabólico Vmax 29C, (Sensormedics Corp., Yorba Linda, California). Luego de un calentamiento general, la prueba de carga progresiva comenzó a una velocidad de $11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y esta aumentó $0.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 30 segundos hasta que el sujeto llegara a máximo voluntario. La inclinación se mantuvo constante en 1% para tratar de imitar el efecto de la resistencia del aire. El valor que se tomó como VO_2max fue el VO_2 mayor obtenido por un periodo continuo de 60 segundos. Para determinar que la prueba fue máxima se requirió al menos 2 de los siguientes criterios: (a) nivelamiento de VO_2 , (b) razón de intercambio respiratorio (RIR) ≥ 1.15 , (c) FC mayor al 95% de la frecuencia cardíaca máxima estimada. Para la prueba que determina la economía de carrera se utilizaron 3 velocidades constantes por una duración de 6 minutos con 5 minutos de recuperación entre cada velocidad. La inclinación de la trotadora se mantuvo en 1% para las 3 velocidades. Las velocidades fueron 17, 19 y $21 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Estas tres velocidades se seleccionaron en representación de entrenamiento normal ($17 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), entrenamiento intenso ($19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y ritmo de carrera ($21 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). El VO_2 , razón de intercambio respiratorio (RIR) y la frecuencia cardíaca se determinaron calculando el promedio de los últimos 3 minutos de cada velocidad. El promedio de las características antropométricas entre los corredores eritreos y españoles están resumidas a continuación (tabla 1).

Tabla 1

Características antropométricas de eritreos y españoles

Medidas antropométricas	eritreos (n = 7)	españoles (n = 9)
Estatura (cm)	174 ± 8	172 ± 6
Peso (kg)	57.2 ± 3.3	60.5 ± 7.8
IMC (kg.m ⁻²)	18.9 ± 1.5	20.5 ± 1.7*
Suma de 6 pliegues (mm)	28.5 ± 2.4	33.2 ± 3.7*
Largo de pierna total (cm)	92.3 ± 6.5	92.6 ± 3.6
Largo de muslo (cm)	48.2 ± 4.0	51.9 ± 3.6
Largo de pierna (cm)	44.1 ± 3.0	40.6 ± 2.7*
Circunferencia punto máximo muslo (cm)	48.1 ± 2.3	50.3 ± 3.1
Circunferencia punto máximo pantorrilla (cm)	30.9 ± 1.5	33.9 ± 2.0**

La correlación entre la economía de carrera y las características antropométricas se determinó utilizando el análisis estadístico Pearson. Para comparar grupos se utilizó el análisis estadístico prueba U de Mann-Whitney. El VO₂max no tuvo una diferencia significativa entre corredores eritreos y españoles (73.8 ± 5.6 ml.kg⁻¹.min⁻¹ vs. 77.8 ± 5.7 ml.kg⁻¹.min⁻¹) respectivamente. El costo de VO₂ para correr a 21km.h⁻¹ fue menor en los corredores eritreos (65.9 ± 6.8 ml.kg⁻¹.min⁻¹) en comparación con los corredores españoles (74.8 ± 5.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹) ($p < 0.01$). Los autores encontraron diferencia significativa en el largo de la parte inferior de la pierna ($p < 0.05$) y una relación significativa con la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla ($r = 0.554$; $p < 0.05$). Concluyeron que la excelente economía de carrera de los eritreos está asociada, al menos en parte, por variables antropométricas.

Laumets, et. al. (2017) investigó la antropometría de extremidades inferiores y variables de composición corporal, relacionadas con la economía de carrera y el rendimiento de carrera en un grupo homogéneo de corredores de alto nivel europeos. Se utilizó una muestra de 15 corredores masculinos (25.2 ± 2.9 años de edad), en donde los criterios de participación eran: (a) realizar sesiones de entrenamiento regulares por los últimos 3 años con un mínimo de 5 veces a la semana, (b) promediar un millaje mensual por el último año de al menos 240 km, (c) estar clasificados en los mejores 10 lugares en las listas de la Asociación de Atletismo Nacional, (d) competir a nivel internacional. Durante la primera cita al laboratorio, se familiarizó a los atletas con la trotadora y con la mascarilla que se utilizaría durante la prueba. En la segunda visita al laboratorio, se realizaron las medidas antropométricas y la evaluación de la composición corporal mediante DEXA. Luego se realizó la prueba en la trotadora. A los atletas se les pidió que evitaran entrenamientos de alta intensidad o competencias 24 horas antes de la prueba. Se realizó una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario. La prueba comenzó a una velocidad de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (5 mph) con una inclinación de 1%. La velocidad aumentó $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (1.25 mph) cada 3 minutos hasta llegar a $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (11.3 mph). Una vez llegado a los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ la velocidad permaneció constante y la elevación comenzó a subir 1% cada 1 minuto hasta que el participante no pudiera continuar con la prueba. Los gases expirados, fueron medidos utilizando un carro metabólico MasterScreen CPX (Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Alemania). El VO_2max se definió como el promedio mayor de VO_2 durante un periodo de 30 segundos y que este no haya aumentado más, a pesar de que la carga de trabajo haya aumentado. La economía de carrera se calculó de los últimos 2 minutos de VO_2 de las etapas de 14, 16 y $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Esta se expresó como: $(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1})$ y se calculó por medio de la siguiente ecuación: $\text{RE} = [(1,000 \times \text{VO}_2) / \text{velocidad}]$ (Bragada et. al. 2010).

Se realizaron las siguientes medidas antropométricas utilizando los protocolos recomendados por ISAK: 4 circunferencias (muslo, muslo-medio, pantorrilla y tobillo) y 2 longitudes (altura trocantérea y altura lateral tibial). También se calcularon las siguientes proporciones antropométricas y de composición corporal:

1. Masa de la pierna con respecto a la masa del cuerpo: $\text{masa pierna (kg)}/\text{masa corporal (kg)} \times 100$
2. Masa parte superior de la pierna con respecto a la masa del cuerpo: $\text{parte superior de la pierna (kg)}/\text{masa corporal (kg)} \times 100$
3. Masa parte inferior de la pierna con respecto a la masa del cuerpo: $\text{parte inferior de la pierna (kg)}/\text{masa corporal (kg)} \times 100$
4. Masa parte inferior de la pierna con respecto a la masa parte superior de la pierna: $\text{parte inferior de la pierna (kg)}/\text{parte superior de la pierna (kg)} \times 100$
5. Longitud de la pierna total con respecto a la estatura: $\text{largo de pierna (m)}/\text{estatura (m)} \times 100$
6. Longitud parte superior de la pierna con respecto a la estatura: $\text{largo parte superior de la pierna (m)}/\text{estatura (m)} \times 100$
7. Longitud parte inferior de la pierna con respecto a la estatura: $\text{largo parte inferior de la pierna (m)}/\text{estatura (m)} \times 100$
8. Longitud parte inferior de la pierna con respecto a la longitud de la parte superior de la pierna: $\text{largo parte inferior (m)}/\text{largo parte superior (m)} \times 100$

El promedio del VO_2Max de los participantes fue $67.3 \pm 2.9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ y el VO_2 de las tres etapas para determinar la economía de carrera fue: $\text{VO}_214 = 44.2 \pm 2.8$, $\text{VO}_216 = 50.2 \pm 3.0$ y $\text{VO}_218 = 56.0 \pm 3.7$. Los resultados de las variables antropométricas de la parte inferior del cuerpo en este estudio fueron las siguientes: largo de la extremidad inferior ($91.3 \pm 4.4 \text{ cm}$), largo del muslo ($43.5 \pm 3.1 \text{ cm}$), largo de la pierna ($47.8 \pm 2.8 \text{ cm}$),

circunferencia de muslo (52.2 ± 1.6 cm), circunferencia del muslo medial (49.2 ± 1.6 cm), circunferencia de pantorrilla (36.7 ± 1.3 cm) y circunferencia de tobillo (22.1 ± 1.1 cm).

Para conocer la normalidad de todas las variables se realizó la prueba de Shapiro-Wilk. Para evaluar la correlación entre variables se utilizó Pearson o Spearman, donde fuera necesario. Los resultados mostraron una relación moderada entre el $VO_2\text{Max}$ y la economía de carrera en las velocidades 14, 16, y 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r^2 = 0.372$, $p = 0.030$; $r^2 = 0.350$, $p = 0.033$; $r^2 = 0.376$, $p = 0.026$), respectivamente). Ninguna de las medidas y cálculos de proporciones de diferentes segmentos del cuerpo tuvieron relación con la economía de carrera ($p > 0.05$). El índice de masa corporal (IMC) se relacionó con las velocidades: 14 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r^2 = 0.434$; $p = 0.014$), 16 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r^2 = 0.436$; $p = 0.014$) y 18 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r^2 = 0.389$; $p = 0.023$). La longitud de la parte inferior de la pierna mostró una correlación negativa con la economía de carrera en la velocidad de 16 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r^2 = 0.316$; $p = 0.046$). Los autores sugieren que la importancia del largo de la parte inferior de la pierna para la economía de carrera debe ser probablemente que ayuda a una zancada de carrera más eficiente.

Mooses & Hackney, (2017) en su revisión de literatura evaluaron el rol potencial de la antropometría y de parámetros de la composición corporal, en torno al éxito de los corredores de distancia de África del este. Estos mencionaron que es de esperarse que cuando la parte inferior de la pierna es delgada y liviana, ayuda a una mejor economía de carrera porque reduce la energía cinética requerida para acelerar y desacelerar las extremidades. Por lo tanto, la masa de las piernas y su distribución podría ser una característica importante para el rendimiento de los corredores. Entre sus conclusiones se encontró que la evidencia disponible es limitada, pero esta sugiere que la antropometría y la composición corporal pueden tener roles importantes como determinantes del rendimiento superior de los corredores de distancia de África del este.

Myers & Steudel, (1985) evaluaron el efecto de cambios en la masa de las extremidades y su distribución en el costo energético de correr. Utilizaron una muestra de 4 participantes (3 hombres y 1 mujer) entre las edades de 18-24 años. Todos eran similares en masa (62-74 kg) y se encontraban en buena condición física. Cada participante fue entrenado para correr en una trotadora a una velocidad de $2.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (6 mph) utilizando 5 diferentes cargas. Las cargas fueron: (a) no carga, (b) 3.6 kg de carga alrededor de la cintura, (c) 1.8 kg de carga en la parte superior de cada muslo, (d) 1.8 kg de carga en la parte superior de cada pantorrilla y (e) 1.8 kg de carga en la parte superior de cada tobillo. Cada condición de carga se realizaba hasta alcanzar un estado estable de VO_2 , lo que tomaba de 8-15 minutos, dependiendo del sujeto. El intercambio de gases se midió por medio de un carro metabólico Beckman. Los autores encontraron que el costo de añadir masa a las extremidades inferiores del cuerpo es sustancialmente mayor que añadirlo al centro de masa (alrededor de la cintura). Esto lo que nos dice es que la masa de las extremidades, en este caso de las piernas es muy importante porque está relacionado con el costo energético de correr, lo que a su vez tendrá un efecto en la economía de carrera.

Por el otro lado, Mooses, et. al. (2013) comparó la economía de carrera entre atletas a nivel competitivo y recreacional. Además, comparó los distintos parámetros de composición corporal relacionados con la economía de carrera. Utilizaron una muestra de 45 hombres corredores (28 competitivos y 17 recreacionales). Los corredores competitivos (23.0 ± 4.4 edad) estaban clasificados en los mejores 20 de las listas de la Asociación de Atletismo Nacional en eventos desde 800 metros hasta la maratón. Los corredores recreacionales (25.5 ± 8.3 edad) no estaban clasificados en los mejores 20 de esta lista. Todos los corredores realizaron una prueba en trotadora de carga progresiva hasta máximo voluntario. La prueba comenzó a una velocidad de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (5

mph) e iba aumentando $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (1.25 mph) cada 3 minutos hasta llegar a $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (8.75 mph). De ese punto en adelante, la velocidad aumentaba $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 3 minutos hasta alcanzar el máximo voluntario. La inclinación de la trotadora se mantuvo en 1% para simular el correr en una pista al aire libre. El intercambio de gases se midió utilizando un carro metabólico Metamax 3B (Cortex Biophysic GMBH, Leipzig, Alemania). El VO_2max se definió como el promedio más alto de VO_2 durante un periodo de 30 segundos y que no aumentara el VO_2 a pesar de que la carga de trabajo aumentara. De esta prueba se determinó lo que ellos llamaron: (a) umbral ventilatorio 1 "VT1" y (b) umbral ventilatorio 2 "VT2". El umbral ventilatorio 1 se definió como el primer incremento exponencial en la ventilación. El umbral ventilatorio 2 se definió como el segundo aumento en ventilación. Luego de esta prueba, con al menos dos días de diferencia se realizó la segunda prueba. Esta consistió en realizar dos repeticiones de 2,000 metros en una pista cubierta en donde se utilizó la intensidad (frecuencia cardiaca) del umbral ventilatorio 1 para la primera repetición y el umbral ventilatorio 2 para la segunda repetición. Entre las dos pruebas se tomaron 2 minutos de descanso. Durante la prueba, los atletas utilizaron un analizador portátil de oxígeno Metamax 3B (Cortex Biophysic GMBH, Leipzig, Alemania). La economía de carrera se determinó durante los últimos 2 minutos de cada corrida de 2,000 metros y se expresó como ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$). Las medidas de composición corporal se determinaron por DEXA. Las medidas fueron las siguientes: masa grasa total (kg), masa magra total (kg), masa grasa del muslo (kg), grasa del muslo (%), tejido magro del muslo (kg), masa total del muslo (kg), masa grasa de la pierna (kg), grasa de la pierna (%), tejido magro de la pierna (kg), masa total de la pierna (kg) y las proporciones: pierna/masa corporal (%), muslo/masa corporal (%), pierna/masa corporal (%), pierna/muslo (%). La población de corredores competitivos y recreacionales se compararon utilizando una prueba-t de grupos

independientes o la prueba U de Mann-Whitney. Se utilizaron estadísticos Pearson y Spearman donde fueron necesarios, para determinar correlación entre la economía de carrera y los parámetros de composición corporal. En promedio, el grupo competitivo tuvo un VO_2Max de 67.13 ± 5.55 , mientras que el grupo recreacional obtuvo $63.75 \pm 4.40 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. La masa magra tuvo una correlación significativa ($r = - 0.54$; $p < 0.05$) con la economía de carrera en umbral ventilatorio 2 solo en atletas recreacionales. Esto indica que corredores con una buena economía de carrera tienen significativamente mayor masa magra corporal. La economía de carrera en VT1 en corredores competitivos y recreacionales no se relacionó significativamente con ninguna de las medidas de composición corporal. Se reportó que no hay diferencia en economía de carrera utilizando los umbrales de ventilación en corredores con distintos niveles de rendimiento. Además, de que la economía de carrera a nivel competitivo y recreacional no puede ser explicada por composición corporal y/o diferencias en la proporción de la masa en las piernas.

Studel-Numbers, Weaver & Wall-Scheffler (2007) evaluaron la relación entre la longitud de las extremidades inferiores y el costo de correr, además de si existía correlación con el largo de zancada. Se utilizó una muestra de 21 sujetos (14 H y 7 M) entre las edades de 18-30 años. La longitud de la extremidad inferior se determinó como la suma de dos variables separadas (longitud de muslo y longitud de pantorrilla). La longitud de muslo se midió desde el trocánter mayor, hasta el punto medio de la rodilla. El largo de pantorrilla se midió desde el punto medio de la rodilla hasta el maléolo lateral de la fíbula. Para determinar la economía de carrera los sujetos realizaron una prueba en trotadora en 6 distintas ocasiones. Esta consistía en una etapa de 12 minutos en donde se corría a una velocidad de 2.68 m.s^{-1} (6.0 mph). La economía de carrera para cada una de las 6 pruebas se determinó como el promedio de VO_2 en

los últimos 4 minutos de la prueba. El valor final que se utilizó fue el promedio de los 3 valores que tenían mayor similitud. El intercambio de gases se midió utilizando un carro metabólico SensorMedics Vmax 29c. También se recolectaron datos del largo de zancada. Esta se determinó por el tiempo que le tomó al sujeto correr 10 zancadas desde talón hacia abajo “heel down” en zancada cero, hasta talón hacia abajo “heel down” en la zancada 10. Se realizó al menos 3 veces y se calculó el promedio para obtener el valor final. La velocidad ($2.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) se dividió entre la frecuencia de zancada para obtener el largo de zancada de cada individuo. Para analizar si existía relación entre las variables se realizó una estadística de correlación Pearson. Además, se realizó un análisis de regresión. La correlación parcial entre el costo neto del transporte de oxígeno y el largo de la extremidad inferior fue de ($r = -0.69$; $p = 0.002$). La correlación parcial del costo bruto de moverse a $2.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y el largo de la extremidad inferior fue de ($r = -0.61$; $p = 0.009$). Estos resultados muestran una relación negativa entre la longitud de las extremidades inferiores y el VO_2 en ambos análisis y concluyeron que sujetos con largas extremidades inferiores, tienden a tener un costo menor para moverse en comparación con extremidades inferiores pequeñas.

Svedenhag & Sjödín (1994) determinaron medidas antropométricas, largo de zancada, economía de carrera y sus interrelaciones en corredores masculinos elites de media y larga distancia. Además, exploraron el aspecto de la modificación de masa corporal para la economía de carrera. Utilizando una muestra de 26 corredores que luego de realizar un calentamiento de 10 minutos, corrieron durante 4 minutos a 4 distintas velocidades las cuales podían ser seleccionadas por los participantes (15, 17, 18 y 19km o 16, 18, 19 y 20km). Luego de 15-20 minutos de descanso cada sujeto realizó una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario. La velocidad de la prueba se seleccionó individualmente ($15.5\text{-}17\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) y esta se mantuvo constante

durante toda la prueba. La inclinación de la trotadora aumentaba 0.5 grados cada 30 segundos durante los primeros 4 minutos. Luego aumentaba 0.5 grados cada minuto. El largo de la pierna se determinó como el promedio de la distancia entre la espina iliaca superior anterior y el medio del maléolo lateral. El largo de zancada para cada velocidad se calculó por el tiempo promedio de un ciclo de 30 zancadas completadas y la velocidad en la que se encontraba corriendo: $\text{Largo de zancada (cm)} = v \text{ (km.h}^{-1}\text{)} \times t \text{ (seg por 30 zancadas)} / 2.16$. Se utilizaron pruebas t no pareadas y pareadas, además de análisis de regresión lineal. El VO_2max fue mayor en los corredores de larga distancia ($214 \text{ ml.kg}^{-0.75}.\text{min}^{-1}$) en comparación con el grupo de corredores de media distancia ($202 \text{ ml.kg}^{-0.75}.\text{min}^{-1}$). El VO_2 recolectado a 15 km.h^{-1} fue menor para corredores de larga distancia ($129 \text{ ml.kg}^{-0.75}.\text{min}^{-1}$) en comparación con los corredores de media distancia ($138 \text{ ml.kg}^{-0.75}.\text{min}^{-1}$) ($p < 0.01$). Estos encontraron una relación negativa entre el largo de zancada relativo al largo de la pierna en las velocidades 15 y 18 km.h^{-1} ($r = -0.40, p < 0.05$; $r = -0.42, p < 0.05$) respectivamente. Para los corredores que realizaron la prueba a 15 km.h^{-1} los que tenían un consumo de oxígeno menor tuvieron una estatura y largo de pierna significativamente mayor para ambos grupos de corredores ($p < 0.05$). Además, mencionaron que sujetos altos, pesados y generalmente corredores elites fuertes con piernas cortas tienen largos de zancadas óptimos en comparación con corredores pequeños, livianos y con un largo de pierna relativamente largo. A pesar de esto, en este estudio ninguna relación consistente fue encontrada entre economía de carrera y medidas antropométricas. Finalmente concluyeron que la modificación de la masa corporal para la economía de carrera aparenta estar pobremente relacionada con el largo de zancada.

Allen, et al. (2017) evaluaron la relación antropométrica y de composición corporal con la economía de carrera. Los autores utilizaron una muestra de 94 sujetos

(49 hombres, 45 mujeres) saludables, los cuales eran corredores de resistencia con un rango variado en rendimiento. Los participantes visitaron el laboratorio en dos ocasiones. En la primera visita se tomaron las medidas antropométricas y se realizó una corrida en trotadora para familiarizar a los participantes. En la segunda visita se realizó un DEXA y la corrida de carga progresiva. La prueba comenzó a $7\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ para las mujeres y a $8\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ para los hombres y consistía en etapas de 4 minutos para cada velocidad con 30 segundos de descanso entre etapa. Durante el descanso se realizaban pruebas de sangre para obtener el lactato en sangre. La velocidad aumentaba $1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada etapa hasta que el lactato en sangre llegara a $> 2\text{ mmol/L}$ con respecto a la etapa anterior. En este punto la velocidad comenzó a aumentar $1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 2 minutos hasta máximo voluntario. Para calcular la economía de carrera se tomó el promedio del VO_2 en el último minuto de cada etapa submáxima. Esta se expresó en $\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$. Se utilizó la correlación Pearson para identificar relación entre variables individuales y economía de carrera. Encontraron que todas las medidas que estaban significativamente relacionadas con la economía de carrera fueron aquellas medidas que estaban asociadas con la delgadez de una persona. Entre estas medidas se encontraba la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla ($p = 0.002$). Concluyeron que una relativa delgadez a los segmentos corporales está asociada a un menor costo energético al correr en una muestra grande y heterogénea de hombres y mujeres.

Antropometría y Rendimiento

En una revisión de literatura realizada por Molla, (2017) se reportó que medidas como la estatura, la masa corporal, masa grasa, masa magra, circunferencia de brazo, pliegues de la parte inferior del cuerpo y circunferencias han sido relacionadas con el rendimiento de carrera. Corredores con menor cantidad de masa corporal en la parte

inferior del cuerpo, van a necesitar menos energía para mover sus piernas. Por lo tanto, la masa de las piernas y su distribución podría ser una característica importante para corredores de distancia y su rendimiento.

Mooses, et.al. (2013) analizó la antropometría, composición corporal y parámetros fisiológicos en corredores semi fondistas y fondistas de un mismo nivel de rendimiento. Además, intentó identificar variables que puedan predecir la probabilidad de ser un corredor de semi fondo o fondo. Utilizaron una muestra de 20 corredores de semi fondo (800-1,500 metros) y 20 corredores de fondo (3,000 metros hasta maratón). Todos los corredores realizaron una prueba en trotadora de carga progresiva hasta máximo voluntario. El protocolo que se utilizó fue el mismo de Mooses, et al. (2013) explicado anteriormente. Para las medidas antropométricas, se tomaron: 6 pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, cresta iliaca, abdominal, muslo anterior y pantorrilla medial), 13 circunferencias (cabeza, cuello, brazo relajado, brazo flexionado y tenso, antebrazo, muñeca, pecho, cintura, cadera, muslo, muslo medial, pantorrilla y tobillo) y 8 longitudes (acromial-radial, radiale-styilion, midstyilion-dactylion, altura íleoespinal, altura del trochanterion, trochanterion-tibial lateral, tibial lateral y tibial medial-sphyrion tibial). Para obtener estas medidas se siguió el protocolo recomendado por ISAK (Marfell-Jones, et al. 2006). Además, estas medidas sirvieron para calcular 8 proporciones antropométricas, descritas anteriormente en Laumets, et. al. (2017). El grupo de semi fondista se comparó con los fondistas, utilizando una prueba-t de estudiante o la prueba Mann-Whitney U. Se encontró que los semi fondistas y los fondistas no diferían ($p > .05$) en su masa de las piernas, en proporciones de longitud y en sus medidas antropométricas o parámetros de composición corporal, excepto por el largo de la parte inferior de la pierna. El rendimiento de los semi fondistas fue mejor descrito por la proporción de la masa de la parte inferior de la pierna con respecto a la masa de la

parte superior ($r^2 = 0.41$; $p < 0.05$). Por el otro lado, el rendimiento de los fondistas fue mejor descrito por el tiempo total que estaban en la trotadora ($r^2 = 0.36$; $p < 0.05$). En conclusión, los resultados de este estudio demuestran la relevancia de parámetros antropométricos específicos para predecir el rendimiento de semi fondistas, pero no el de los fondistas.

Dellagrana, (2015) investigó la relación entre variables antropométricas, fortaleza, potencia muscular y una prueba de 5km en corredores jóvenes. Utilizaron una muestra de 23 corredores jóvenes masculinos (18.0 ± 0.90 años). Este estudio se dividió en 4 fases. En la primera fase se clasificaron los sujetos de acuerdo a su estado de maduración y se obtuvo información de cuantas horas entrenaban a la semana. Además, se realizaron medidas antropométricas (estatura, masa corporal, porcentaje de grasa corporal y masa magra) y una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario en trotadora. La prueba comenzó a una velocidad de $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con una inclinación de 1% durante el primer minuto. Luego, la velocidad seguía aumentando $1\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto hasta máximo voluntario. En la fase 2 se realizó una prueba sub-máxima en trotadora para determinar economía de carrera. Esta prueba consistió en tres etapas a velocidades distintas (11.2 , 12.8 y $14.4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Cada etapa tenía una duración de 6 minutos con una inclinación de 1%. Al final de cada etapa la velocidad se reducía a $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ durante 2 minutos, antes de comenzar la siguiente etapa. En la tercera fase se evaluó la fortaleza y potencia de los flexores y extensores de la rodilla derecha e izquierda de los corredores por medio de un dinamómetro isocinético. Finalmente, en la 4ta fase los atletas realizaron una prueba de 5km en pista. La normalidad de la muestra se determinó utilizando la prueba Shapiro-Wilk. Las correlaciones del tiempo realizado en la prueba de 5km, medidas antropométricas, fortaleza y potencia muscular fueron analizadas utilizando la prueba estadística

Pearson. Se realizó un análisis de regresión múltiple para identificar las variables independientes que eran capaces de predecir, el rendimiento de los participantes en la prueba de 5km. Los resultados muestran que la masa magra ($r = 0.57$; $p = 0.005$) y la estatura ($r = 0.47$; $p = 0.024$) están significativamente relacionados con el tiempo realizado en la prueba de 5km. Por el contrario, el peso corporal ($r = 0.07$; $p = 0.743$) y la grasa corporal ($r = 0.03$; $p = 0.909$) no mostraron relación. En el análisis de correlación entre la fuerza y la potencia muscular con respecto al tiempo realizado en la prueba de 5km no se observó ninguna correlación significativa. El análisis de regresión múltiple se realizó utilizando los tiempos de la prueba de 5km como variable dependiente y las variables fisiológicas y antropométricas, como las independientes. Los resultados muestran que la velocidad (14.2 km/h; 8.9 mph) durante el umbral ventilatorio " V_{VT} ", la economía de carrera y la masa magra son capaces de explicar el 71% del rendimiento de la prueba de 5km ($r^2 = 0.71$). Este estudio reporta la importancia de la evaluación antropométrica para la selección de corredores jóvenes y también para monitorear rendimiento.

RESUMEN

La economía de carrera es considerada una medida fisiológica importante para atletas de fondo. El término de economía de carrera es un proceso multifactorial, que puede verse afectado por la combinación de muchas variables (genética, eficiencia metabólica, eficiencia cardiorrespiratoria, eficiencia biomecánica, eficiencia neuromuscular y el entrenamiento) (Barnes & Kilding, 2015). Estas variables a su vez se subdividen, haciendo del concepto de economía de carrera uno muy complejo de estudiar. Actualmente se relaciona la economía de carrera con el rendimiento de corredores de fondo. Sin embargo, hoy en día, todavía se discute el verdadero papel de

la economía de carrera en el rendimiento, esto debido a que al igual que el $VO_2\text{Max}$, en grupos homogéneos de corredores no ha sido una variable discriminatoria del mismo (Mooses, et al. 2015). Por otro lado, Daniels, (1985) menciona que mientras más homogénea sea la muestra de corredores, la economía de carrera tendrá el potencial de ser la característica más importante para determinar el éxito de cada corredor. Mooses & Hackney, (2017) indican que la evidencia disponible es limitada, pero la antropometría aparenta ser importante como determinante del rendimiento en corredores elites de larga distancia. A pesar de que se ha discutido que unas extremidades inferiores más largas podrían ayudar a una mejor economía de carrera, la masa y su distribución en las piernas aparentan tener una mayor influencia. Hoy en día, todavía existe controversia cuando hablamos de la relación que podría existir entre la economía de carrera y medidas antropométricas.

CAPÍTULO III

MÉTODOS

Con el propósito de determinar si existe relación entre economía de carrera y las siguientes medidas antropométricas: largo de extremidad inferior del cuerpo, largo del muslo, largo de la pierna y circunferencia del punto máximo de la pantorrilla, en corredores de larga distancia se realizó un estudio con diseño transversal descriptivo correlacional.

Participantes

Se reclutaron 15 corredores masculinos voluntarios, entre las edades de 18 a 44 años que se encontraban activos participando en eventos de larga distancia (5km-42.195km). Nos centramos en el sexo masculino debido a que existe una escasez de investigaciones que identifiquen variables antropométricas de la parte inferior del cuerpo humano que puedan afectar la economía de carrera y que tengan en cuenta las diferencias que puedan existir entre sexos (Barnes, et al. 2014). Además, la diferencia en VO_2 Max entre sexos puede ser muy marcada y esto podría hacer heterogénea la muestra, teniendo un efecto en los resultados. Los criterios de inclusión fueron: (a) poseer 18 a 44 años de edad, (b) ser del sexo masculino, (c) ser corredores que participan activamente en carreras de larga distancia (5km-42km), (d) llegar consistentemente en las primeras 10 posiciones “general” en las carreras que se presenta, (e) estar dispuestos a no realizar ningún entrenamiento de alta intensidad el día antes de las pruebas, (f) estar dispuestos a asistir al Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la UPR en Rio Piedras para realizar las evaluaciones. Los criterios de exclusión fueron: (a) tener alguna lesión musculoesquelética que le impidiera realizar una prueba de esfuerzo máximo y (b) ser fumadores (Apéndice D). La meta inicial eran 26

participantes, pero debido a los criterios de inclusión, los cuales eran necesarios para cumplir con el objetivo de la investigación, en Puerto Rico no había la cantidad de sujetos que cumplieran con los mismos. Esto fue influenciado por la pandemia de Covid-19. Muchos atletas se fueron del país, otros dejaron de entrenar y varios no se atrevían a participar en la investigación por evitar el acercamiento a otras personas.

Procedimientos e instrumentación

Se solicitó y se obtuvo la autorización del protocolo del Comité Institucional para la Protección de Sujetos Humanos en la Investigación (CIPSHI) de la Universidad de Puerto Rico, recinto de Río Piedras (Apéndice A). Se realizó la promoción del estudio a través de una hoja suelta invitando a participar voluntariamente del mismo (Apéndice B). Esta hoja contenía información sobre los objetivos, beneficios, criterios de inclusión y exclusión de la investigación. La hoja se distribuyó en distintas carreras que se realizaban en Puerto Rico y a través de las redes sociales (Facebook, Twitter e Instagram). Según se fueron acercando los interesados, se llevó a cabo una reunión de orientación sobre el estudio con cada uno de ellos. Estas reuniones se llevaron a cabo de manera presencial, por internet o vía telefónica, dependiendo de la disponibilidad del participante. En esta reunión se le explicó los objetivos, propósitos, beneficios, riesgos y procedimientos del estudio. En la primera reunión presencial, luego de contestar cualquier duda, se le entregó la Hoja de Consentimiento Informado al participante (Apéndice C). Se le enfatizó que mientras lo leyera, indicara cualquier pregunta que fuera surgiendo. Luego de que el participante firmara la Hoja de Consentimiento Informado, se le proveyó los siguientes documentos: (a) Cuestionario de Información General (Apéndice D), (b) Cuestionario de evaluación de salud para la preparación del ejercicio para profesionales del ejercicio (Apéndice E), (c) hoja de cotejo de criterios de

inclusión y exclusión (Apéndice F). Una vez estuvieron todos los documentos llenos y firmados, se evaluaron los mismos para determinar si el participante cumplía con todos los requisitos para participar del estudio.

Debido a la situación con la pandemia del Covid-19 luego del octavo participante se realizaron modificaciones al procedimiento para salvaguardar la seguridad de los participantes y de los investigadores. Se coordinaron las citas con un máximo de 2 participantes por día. Mientras un participante estaba siendo evaluado en el laboratorio, el otro participante esperó en la sala de espera fuera del laboratorio. Ningún participante pudo llevar a un acompañante al laboratorio, de ser así este tuvo que esperar en el vehículo o afuera del laboratorio. En el laboratorio solo podía estar presente el profesor, el estudiante investigador y un participante a la vez. Al participante se le realizó un cernimiento sobre síntomas/señales y contacto con personas en riesgo o diagnosticadas con Covid-19. El equipo a utilizar se desinfectó con agua, jabón, alcohol 70% y desinfectante. El profesor y el estudiante investigador utilizaron mascarillas naso-bucal en todo momento, guantes desechables y en la medida posible el participante también los utilizó. Una vez el participante se presentó a la cita, se le tomó la temperatura en la entrada de la universidad y se repasaron las medidas de seguridad. Las medidas de seguridad incluyeron:

1. Mantener una distancia de 6 pies, mientras sea posible
2. Todo fluido del participante: sudor, saliva, entre otros, fué contenido en un área del laboratorio
3. Se designó un zafacón para el depósito de materiales usados durante la pandemia separándola de la basura general que se genera
4. El área a utilizarse se desinfectó antes de que el participante llegara

5. Se desinfectó apropiadamente el equipo y materiales que se utilizaron (agua, jabón, alcohol y desinfectante) antes y después que se utilizaron

Medidas antropométricas

Las medidas antropométricas se tomaron en horas de la mañana y se les preguntó a los sujetos si deseaban ir al baño antes de realizar las mismas. El peso corporal se tomó en una balanza Tanita BWB-800 (Tanita Corporation of America, Inc., Illinois) en kilogramos. Se le pidió al sujeto que subiera a la balanza en medias, este se paró con el peso distribuido en ambos pies, mirando hacia al frente y sin moverse. La estatura se tomó en un estadiómetro SECA (SECA gmbh & co. kg., Hamburg, Germany) en centímetros. El sujeto se paró con los pies juntos y los talones, los glúteos y la parte superior de la espalda apoyados en el estadiómetro. La cabeza se ubicó en el plano Frankfort. El medidor ubicó las manos bastante lejos de la línea de la mandíbula del sujeto para asegurarse que la presión ascendente se transfiriera a través del hueso mastoideo. Se le instruyó al participante que tomara una respiración profunda y mientras mantenía la cabeza en el plano Frankfort, el evaluador aplicó una suave presión hacia arriba sobre el hueso mastoideo. Luego se apoyó la tabla del estadiómetro firmemente sobre el Vertex, aplastando el pelo tanto como fue posible. Las siguientes medidas fueron realizadas por una antropometrista ISAK Nivel 3. Se tomaron medidas de pliegues cutáneos utilizando el procedimiento estandarizado de ISAK. Los pliegues se tomaron con un plicómetro Slim Guide (Creative Health Products, Michigan) en milímetros. Se realizaron marcas anatómicas con un marcador dermográfico para identificar los lugares de los siguientes pliegues cutáneos: tríceps, subescapular, pecho, cresta iliaca, supraespinal, abdomen, y muslo. Todas las medidas se realizaron en el lado derecho del cuerpo. Los pliegues se tomaron utilizando los dedos índice y pulgar,

se agarró el pliegue con firmeza y se sostuvo a lo largo de toda la medición, asegurándose de no incluir tejido muscular. El plicómetro se colocó directamente en la superficie de la piel, a 1 cm de los dedos índice y pulgar, perpendicular al pliegue y a una distancia media entre la base y cresta del pliegue. La lectura se realizó 2 segundos después de la aplicación del plicómetro. Cada medida se tomó 2 veces y hasta 3 veces de ser necesario. De no haber tenido 2 medidas iguales, se utilizó el promedio de las 2 medidas más cercanas. Para tomar el pliegue de tríceps el sujeto asumió una posición relajada, parado con el brazo izquierdo colgando al costado. El brazo derecho estaba relajado con la articulación del hombro levemente girada externamente y el codo extendido a lo largo del cuerpo. Se realizó un pliegue vertical al eje longitudinal del brazo, medido en el punto medio entre el olécranon y el acromion. Para tomar el pliegue subescapular el sujeto se mantuvo relajado, parado con los brazos colgando a los lados. Se realizó un pliegue diagonal a 2 cm debajo del ángulo inferior de la escápula. Para tomar el pliegue de la cresta iliaca el sujeto asumió una posición de pie, relajado, con el brazo izquierdo colgando al costado. El brazo derecho estaba abducido o ubicado cruzando el tronco. Se realizó un pliegue diagonal alineado con el ángulo normal de la cresta iliaca tomado en la línea axilar anterior, inmediatamente superior a la cresta iliaca. Para tomar el pliegue supraespinal el sujeto se ubicó parado, en posición relajada, con los brazos colgando. Se realizó un pliegue diagonal (45 grados) en el punto en donde la línea de la marca ileoespinal al borde anterior axilar intercepta con la línea horizontal en el borde superior del ilium al nivel de la ileocristal. Para tomar el pliegue abdominal el sujeto asumió una posición relajada, parado, con los brazos colgando a los lados. Se realizó un pliegue vertical a 2 cm a la derecha del ombligo. Para tomar el pliegue de muslo el sujeto asumió una posición de sentado sobre el borde frontal de una caja antropométrica con el torso erguido y los brazos colgando a los

lados. La rodilla de la pierna derecha se mantuvo extendida con la musculatura relajada y el talón apoyado en el suelo. El sujeto ayudó sosteniendo con sus manos los isquiosurales y levantado la cara posterior del muslo. Se realizó un pliegue vertical en la parte anterior del muslo en el punto medio entre el borde proximal de la patela y el doblés inguinal. Con estos pliegues cutáneos se estimó el % de grasa utilizando la ecuación de Yuhaz. La ecuación de Yuhaz dice que: $\% \text{ grasa} = 0.097 \times (\text{suma de 6 pliegues}) + 3.64$. Se utilizó esta ecuación porque fue recomendada por la antropometrista nivel 3 de ISAK.

Antes de realizar las medidas de longitudes se realizaron las marcas anatómicas de trochanterion y tibial lateral con un marcador dermatográfico. Todas las medidas se realizaron en el lado derecho del cuerpo. Utilizando un segmómetro Cescorf (Cescorf, Brasil) se realizaron las siguientes medidas en centímetros: largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo del muslo y largo de la pierna. Para medir el largo de la extremidad inferior del cuerpo se utilizó una caja antropométrica. La caja tenía unas dimensiones de 40 cm de alto, 50 cm de ancho y 30 cm de profundidad. El sujeto se paró con los pies juntos y la región lateral de su muslo derecho contra la caja. El segmómetro se orientó verticalmente comenzando sobre la marca del trochanterion hasta la caja. La altura se obtuvo sumando la altura de la caja a la medida tomada hasta el trochanterion. Para medir el largo del muslo se midió la distancia entre las marcas trochanterion y tibial lateral. El segmómetro se ubicó desde la marca trochanterion hasta la marca tibial lateral. Para medir el largo de la pierna el sujeto se paró sobre una caja. Luego se colocó el segmómetro en un plano vertical desde la marca tibial lateral hasta la caja. Para medir la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla en centímetros se utilizó una cinta antropométrica Lufkin (Executive, Thinline, Canada). Para medir la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla el sujeto se paró sobre la caja

antropométrica. El antropometrista pasó la cinta alrededor de la pantorrilla y luego la deslizó hasta el plano correcto. El extremo y la caja de la cinta se tomaron con la mano derecha mientras el antropometrista utilizó la mano izquierda para ajustar la cinta al nivel de la marca. El antropometrista retomó el control del extremo de la cinta con la mano izquierda y usando la técnica de manos cruzadas, la posicionó hasta ubicarla en el plano perpendicular sobre el eje largo de la pierna. La cinta luego se reajustó como fue necesario para asegurarse que no se deslizara y no se tensara excesivamente sobre la piel. Cada medida se tomó 2 veces o 3 veces si la diferencia entre medidas era mayor a .5 mm y se utilizó el promedio en los pliegues cutáneos y la mediana en las longitudes y circunferencia. Se anotaron los resultados en la hoja de recolección de datos para medidas antropométricas (Apéndice G).

Prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario

Antes de comenzar la prueba se calibró el carro metabólico Parvo Medics TRUEMAX 2400 (Parvo Medics, East Sandy, UT). Para la calibración del carro metabólico se entraron en el programado de computadora True Max 2400 los datos de la temperatura del salón, humedad relativa y presión barométrica, los cuales se tomaron de una estación ambiental Davis Perception II (Davis Instruments Corp., Hayward, California, USA). Luego se procedió a calibrar el analizador de gases utilizando un tanque de gases con una mezcla conocida (4% CO₂, 16% O₂), y se calibró el medidor de flujo de aire utilizando una jeringuilla Hans Rudolph de 3 L (Hans-Rudolph Inc., Kansas City, MO). Una vez calibrado el carro metabólico, se entraron los datos del participante (peso, talla y sexo) en el programado. Se familiarizó al participante con el equipo que se utilizó durante la prueba. Estos equipos incluían una mascarilla Hans Rudolph (Hans-Rudolph Inc., Kansas City, MO) y un monitor de frecuencia cardíaca Polar H10 (Polar, USA). Se

le enseñó al participante a realizar 2 señales: (a) el dedo pulgar hacia arriba en señal de que todo estaba bien mientras estaba corriendo en la trotadora y (b) el dedo índice hacia arriba en señal de que este entendía que solo podía aguantar un minuto más realizando la prueba. Además, se le mostró como salirse de la banda cuando ya no quisiera continuar con la prueba. Se le instruyó al participante el protocolo de ejercicio que se iba a utilizar para la prueba de carga progresiva.

Tabla 2

Protocolo de carga progresiva hasta máximo voluntario para determinar consumo máximo de oxígeno

Tiempo (min)	Velocidad (mph)	Inclinación (% grado)
0	3.0	0
2	5.0	0
4	8.5	0
5	8.5	1
6	8.5	2
7	8.5	3
8	8.5	4
9	8.5	5
10	8.5	6

Esta prueba se realizó en una trotadora Woodway (Woodway, USA). El sujeto no debió haber comido, al menos dos horas antes de la evaluación y se le preguntó si deseaba ir al baño antes de comenzar. El participante pasó por una etapa de calentamiento la cual consistía en correr de 5 a 10 minutos a la velocidad que el participante deseara y se sintiera cómodo. Una vez este pasó por la etapa de calentamiento, no había dudas y se sentía listo, dió comienzo la prueba. Se utilizaron 3

criterios, de los cuales el sujeto debía cumplir con 2 para determinar que alcanzó su máximo esfuerzo: (a) nivelamiento de $VO_2 < 150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ o $2.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en los últimos 2 minutos de la prueba, (b) razón de intercambio respiratorio (RIR) > 1.1 , (c) llegar al menos al 95% de la frecuencia cardiaca máxima estimada ($220 - \text{edad}$). De no cumplir con estos criterios, la prueba se clasificó como VO_2 Pico. Una vez el sujeto detuvo la prueba, debió quedarse caminando en la trotadora aproximadamente 5 minutos, para monitorear que la frecuencia cardiaca estuviera disminuyendo. Los datos recopilados con el programado fueron: VO_2 absoluto ($L\cdot\text{min}^{-1}$), VO_2 relativo al peso ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), razón de intercambio respiratorio (RIR), ventilación (L/min), equivalente ventilatorio de O_2 (VE/VO_2), equivalente ventilatorio de CO_2 (VE/VCO_2) y frecuencia cardiaca (lpm) cada 30 segundos.

Economía de carrera

Se preparó el equipo de recolección y análisis de gases utilizando el mismo procedimiento indicado anteriormente. Antes de comenzar la prueba, se le instruyó al participante el protocolo que se llevaría a cabo. Cada participante corrió a 3 velocidades distintas ($14, 16, 17.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) (8.7, 10, 11 mph) durante 6 minutos cada una con 5 minutos de recuperación entre cada velocidad. Al igual que en la prueba anterior, cada participante pasó por una etapa de calentamiento, la cual consistía en correr de 5 a 10 minutos a la velocidad que el participante deseara y se sintiera cómodo. Una vez este pasó por la etapa de calentamiento, no había dudas y se sentía listo, dio comienzo la evaluación. Los datos recopilados con el programado fueron: VO_2 absoluto ($L\cdot\text{min}^{-1}$), VO_2 relativo al peso ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), ventilación ($L\cdot\text{min}^{-1}$), razón de intercambio respiratorio (RIR), equivalente ventilatorio de O_2 (VE/VO_2), equivalente ventilatorio de CO_2 (VE/VCO_2) y frecuencia cardiaca (lpm) cada 30 segundos. La economía de carrera

se determinó calculando el promedio del consumo de oxígeno en los últimos 3 minutos de cada periodo de velocidad. Los valores se expresaron en $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ y en $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$. Para obtener el valor en $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$ se utilizó la fórmula:

$$\text{Economía de carrera} = [1,000 \times \text{VO}_2 (\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1})] / v (\text{m.min}^{-1}) \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$$

Una vez obtenido los datos de economía de carrera de todos los participantes, estos se clasificaron con las tablas normativas para economía de carrera propuestas por Barnes & Kilding, (2015). Estas estaban divididas en 4 categorías: (a) “Recreacional”, (b) “Moderadamente entrenado”, (c) “Altamente entrenado” y (d) “Élite”.

Figura 2

Valores normativos para economía de carrera

Runner classification	Speed ($\text{km}\cdot\text{hr}^{-1}$)	Male mean (range)		Female mean (range)	
		Running economy ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	VO_2max ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	Running economy ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	VO_2max ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)
Recreational [19,77,202,220-223]	10	36.7 (35.4-38.8)	54.2 (51.0-57.8)	37.7 (32.8-42.6)	49.7 (45.2-54.1)
	12	42.2 (40.4-45.3)		43.2 (38.5-48.1)	
	14	47.4 (46.0-49.5)		47.3 (40.1-51.9)	
Moderatelytrained [94,224-229]	12	40.7 (37.4-48.1)	62.2 (56.6-69.1)	41.9 (28.9-41.7)	55.8 (50.5-59.4)
	14	46.8 (42.0-55.5)		47.9 (41.3-53.5)	
	16	51.4 (51.6-62.3)		52.9 (45.7-61.0)	
Highly trained [1,21,23,27,31,230,231]	12	n/a	70.8 (65.3-80.2)	41.3 (33.3-50.2)	61.7 (56.2-72.3)
	14	45.0 (32.4-56.5)		48.3 (39.0-56.7)	
	16	50.6 (40.5-66.8)		54.5 (46.2-61.9)	
	18	58.1 (48.0-72.0)		58.6 (54.4-67.1)	
	20	66.5 (65.7-71.6)		n/a	
Elite [21,22,29,31,58,232]	14	39.9 (36.1-44.5)	75.4 (68.2-84.1)	41.9 (38.7-46.9)	66.2 (61.1-74.2)
	16	47.9 (43.2-53.4)		48.9 (45.1-55.8)	
	18	55.9 (50.5-62.3)		56.1 (51.8-63.8)	
	20	63.91 (57.5-71.2)		n/a	

n/a = not applicable.

Análisis estadístico

Se utilizó el programado computarizado Intellectus Statistics (Statistics Software for the Non-Statistician) para realizar los análisis estadísticos. Se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de la muestra. Se realizaron estadísticas

descriptivas (promedio, desviación estándar, mínimo y máximo) de todas las variables del estudio: edad, peso, estatura, porcentaje de grasa, masa magra, longitudes, circunferencias, VO_2 Max y economía de carrera (VO_2 submáximo) de cada velocidad.

Para el análisis estadístico de las hipótesis:

H_{01} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo de la extremidad inferior del cuerpo

H_{02} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo del muslo

H_{03} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo de la pierna

H_{04} = No habrá relación entre la economía de carrera y la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla

Se utilizó la prueba estadística de relación Spearman. Para esta investigación se utilizó un alfa menor o igual a 0.05 para establecer significancia estadística y un intervalo de confianza de 95%

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este estudio con diseño transversal descriptivo correlacional se investigó si existe relación entre la economía de carrera y las siguientes medidas antropométricas: largo de extremidad inferior del cuerpo, largo del muslo, largo de la pierna y circunferencia del punto máximo de la pantorrilla en corredores de larga distancia. El procedimiento de la investigación consistió en la determinación directa de la capacidad aeróbica máxima (VO_{2max}) mediante una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario en la primera visita y la determinación de las medidas antropométricas y el consumo de oxígeno submáximo durante carreras a tres velocidades distintas en la trotadora en una segunda visita.

Un total de 15 corredores entre las edades de 19-31 años ($M = 25.1 \pm DE = 4.35$) participaron voluntariamente en el estudio. La Tabla 3 presenta el promedio, desviación estándar y rango (mínimo y máximo) de las características descriptivas y perfil deportivo de los participantes. Uno de los criterios de inclusión para esta investigación era que los participantes fueran atletas que participaban en eventos de 5km hasta 42.195 km. En la Tabla 3 se puede observar que todos cumplieron con este requisito, pero se ve una notable disminución de participación según iba aumentando la distancia de las carreras. Todos los participantes certificaron en el Cuestionario de Información General que llegaban consistentemente en las primeras 10 posiciones en las carreras que se presentaban. El 53% (8 de 15) de los participantes certificaron que fueron parte de al menos un equipo nacional.

Tabla 3

Características descriptivas y perfil deportivo de los participantes

<u>VARIABLES (n = 15)</u>	<u>Promedio ± desviación estándar</u>	<u>Min</u>	<u>Max</u>
Edad (años)	25.1 ± 4.35	19	31
Estatura (cm)	174.8 ± 7.52	166.9	188.9
Peso (kg)	61.4 ± 3.9	53.8	67.6
% grasa	7.1 ± 0.6	5.8	8.0
Masa magra (kg)	57.0 ± 3.5	50.2	63.0
Años en el deporte	10.8 ± 4.44	5	22

<u>Eventos</u>	<u>Participación de atletas</u>
5 km	15
10 km	9
21.097 km	3
42.195 km	1

La Tabla 4 presenta los resultados (promedio, desviación estándar, mínimo y máximo) de la prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario (VO₂max). Para obtener el promedio y desviación estándar del tiempo (min) de la duración de las pruebas y la razón de intercambio respiratorio máximo (RIR máximo) se utilizó un total de 14 participantes y para los valores de frecuencia cardiaca máxima (lpm) se utilizaron 12 participantes. Para determinar si el resultado de la prueba había sido un VO₂max o un VO₂pico, el participante debía cumplir con 2 de los 3 criterios establecidos para esta investigación. Estos fueron: nivelamiento del VO₂ (aumento menor a 2.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹ en los últimos 2 minutos de la prueba), razón de intercambio respiratorio (RIR) mayor de 1.1 y estar a un 95% de la frecuencia cardiaca máxima estimada con la fórmula (220 –

edad). Todos los participantes cumplieron con al menos 2 de estos criterios así que las pruebas fueron consideradas como VO₂max.

Tabla 4

Resultados de la prueba de capacidad aeróbica máxima (VO₂max)

<u>Variables (n = 15)</u>	<u>Promedio ± desviación estándar</u>	<u>Min</u>	<u>Max</u>
Tiempo (min) ^b	17.7 ± 0.97	15.5	19
VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	66.8 ± 5.9	57.2	77.5
VO ₂ max (L.min ⁻¹)	4.10 ± 0.44	3.27	4.95
RIR máximo ^b	1.20 ± 0.07	1.09	1.33
Frecuencia cardiaca máxima (lpm) ^a	189 ± 6.3	179	203

^an = 12; ^bn = 14

Economía de carrera y medidas antropométricas

La Tabla 5 presenta los resultados (promedio, desviación estándar, mínimo y máximo) de la variable de economía de carrera. Se encuentra el consumo de oxígeno (VO₂) expresado en ml.kg⁻¹.min⁻¹ y ml.kg⁻¹.km⁻¹ para las tres velocidades utilizadas (14, 16 y 17.6 km.h⁻¹), además el % del VO₂max que representa ese consumo de oxígeno.

Tabla 5

Economía de carrera (VO_2) de las velocidades de carrera 14, 16 y 17.6 km.h⁻¹

(a) 14 km.h ⁻¹	Promedio \pm desviación estándar	Min	Max
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	39.9 \pm 2.2	35.3	43.4
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .km ⁻¹)	170.8 \pm 9.2	151.3	186.0
% VO_{2max}	60.1 \pm 6.67	45.5	71.5
<hr/>			
(b) 16 km.h ⁻¹			
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	46.3 \pm 3.2	41.5	50.5
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .km ⁻¹)	173.7 \pm 11.9	155.6	189.4
% VO_{2max}	69.9 \pm 7.94	55.0	85.3
<hr/>			
(c) 17.6 km.h ⁻¹			
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	52.5 \pm 4.1	44.9	58.6
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .km ⁻¹)	178.9 \pm 14.1	153.0	199.8
% VO_{2max}	78.8 \pm 6.4	65.7	90.7

En la Tabla 6 se encuentran los resultados (promedio, desviación estándar, mínimo y máximo) de las medidas de longitudes: largo de la extremidad inferior del cuerpo (LEIC), largo de muslo (L. muslo) y largo de pierna (L. pierna) en centímetros. También se encuentra la medida de circunferencia del punto máximo de la pantorrilla (CPMP) en centímetros.

Tabla 6

Resultados de medidas antropométricas (longitudes y circunferencia)

<u>Medidas antropométricas</u>	<u>Promedio \pm desviación estándar</u>	<u>Min</u>	<u>Max</u>
LEIC (cm)	94.5 \pm 6.4	86.0	107.6
L. muslo (cm)	43.5 \pm 5.1	37.8	53.5
L. pierna (cm)	47.6 \pm 3.5	43.4	54.4
CPMP (cm)	34.5 \pm 1.3	32.0	37.1

Nota: LEIC = largo de la extremidad inferior del cuerpo, L.muslo = largo de muslo, L.pierna = largo de pierna y CPMP = circunferencia del punto máximo de la pantorrilla

Relación entre medidas antropométricas y economía de carrera

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de la muestra. Las variables de largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo de pierna, circunferencia del punto máximo de la pantorrilla y todas las variables descriptivas satisficieron el supuesto de normalidad. El largo de muslo fue la única variable que no satisfizo ese supuesto. Basado en estos resultados y el tamaño de la muestra se realizó un análisis de correlación Spearman para determinar la relación entre los valores de economía de carrera y las variables antropométricas.

Economía de carrera a 14 km.h⁻¹ (EC14)

Se observó una correlación negativa para la economía de carrera a la velocidad de 14 km.h⁻¹ (EC14) entre largo de la extremidad inferior del cuerpo ($r_s = -0.19$, $p = 0.507$), largo de muslo ($r_s = -0.26$, $p = 0.340$) y largo de pierna ($r_s = -0.30$, $p = 0.282$). Mientras que para la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla, la correlación fue positiva ($r_s = 0.25$, $p = 0.368$). Ninguna de las correlaciones fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Sin embargo, se puede observar tendencias negativas entre el

largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo de muslo y largo de pierna con la economía de carrera. Por otro lado, se observa una tendencia positiva entre la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla con la economía de carrera. La Tabla 7 presenta los valores para economía de carrera a 14 km.h⁻¹ (EC14) expresados en ml.kg⁻¹.min⁻¹ y en ml.kg⁻¹.km⁻¹ y su correlación con medidas antropométricas de la parte inferior del cuerpo. Figura 3, para la velocidad de 14 km.h⁻¹.

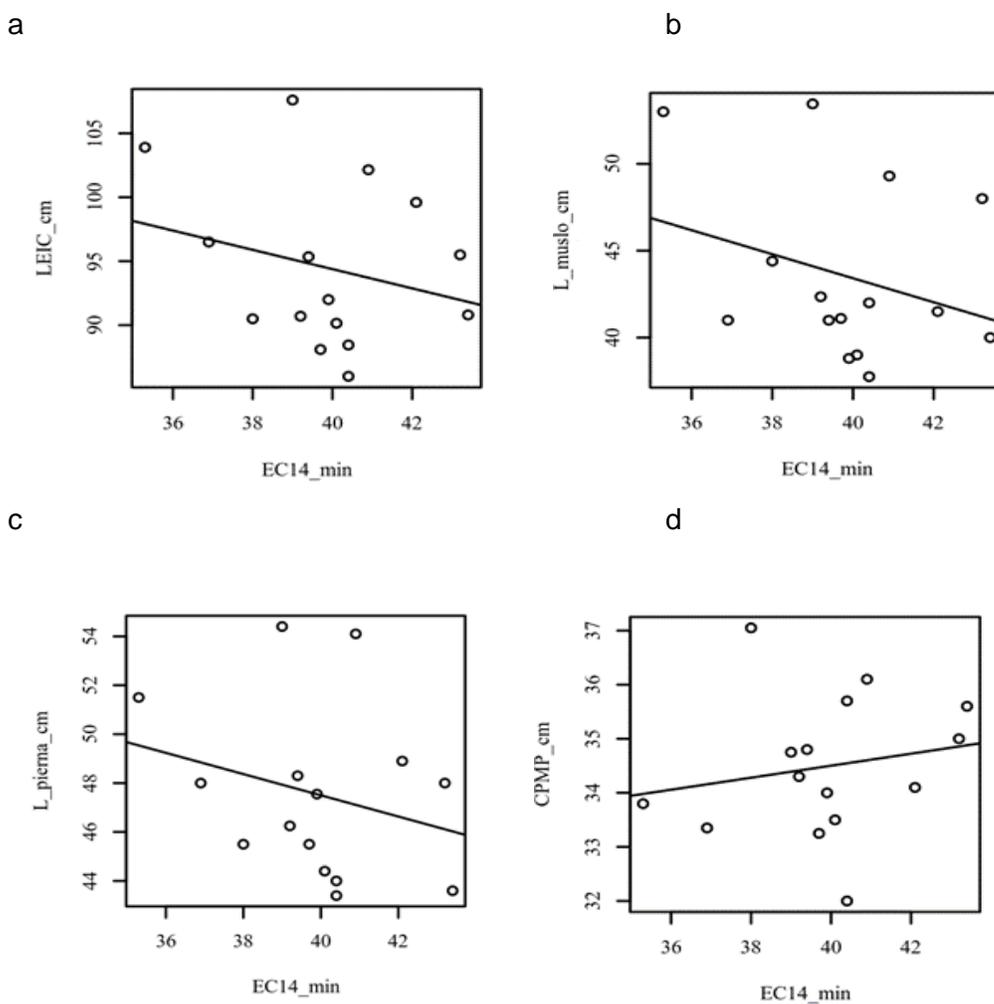
Tabla 7

Correlación entre economía de carrera (14 km.h⁻¹) y medidas antropométricas

EC 14	Medida antropométrica	Estadística	
		r _s	p
39.9 ± 2.2	Largo extremidad inferior del cuerpo	-0.19	0.507
(ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	Largo de muslo	-0.26	0.340
170.8 ± 9.2	Largo de pierna	-0.30	0.282
(ml.kg ⁻¹ .km ⁻¹)	Circunferencia del punto máximo pantorrilla	0.25	0.368

Figura 3

Gráficas de dispersión de los resultados de la correlación Spearman entre economía de carrera a 14 km.h⁻¹ (ml.kg⁻¹.min⁻¹) y a. largo de la extremidad inferior del cuerpo (LEIC), b. largo de muslo (L. muslo), c. largo de pierna (L. pierna) y d. circunferencia del punto máximo de la pantorrilla (CPMP)



Economía de carrera a 16 km.h⁻¹ (EC16)

Se observó una correlación negativa entre la economía de carrera a la velocidad de 16 km.h⁻¹ (EC16) y el largo de la extremidad inferior del cuerpo ($r_s = -0.21$, $p = 0.443$), largo de muslo ($r_s = -0.05$, $p = 0.859$) y largo de pierna ($r_s = -0.30$, $p = 0.282$). Para la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla, la correlación fue positiva ($r_s =$

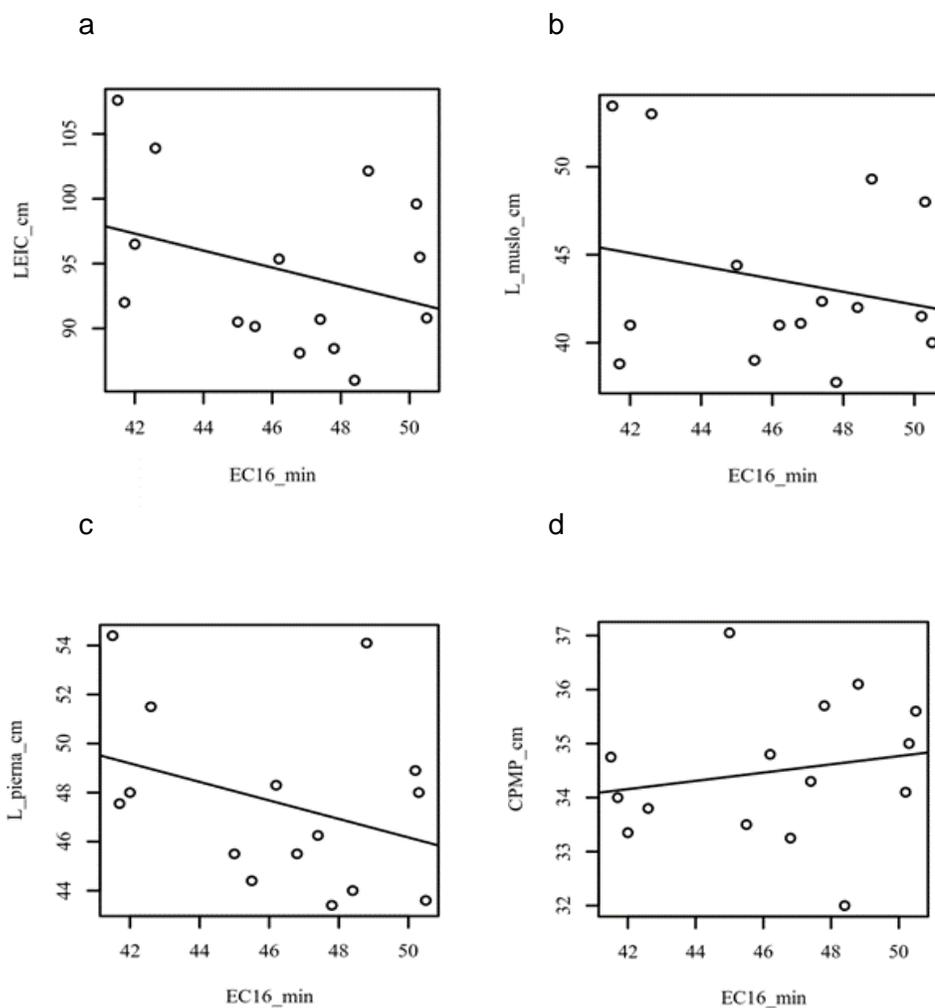
0.29, $p = 0.296$). Ninguna de las correlaciones fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Se pueden observar tendencias negativas entre el largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo de muslo y largo de pierna con la economía de carrera. Por otro lado, se observa una tendencia positiva entre la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla con la economía de carrera. La Tabla 8 presenta los valores para economía de carrera a $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (EC16) expresados en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y en $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ y su correlación con medidas antropométricas de la parte inferior del cuerpo. Figura 4, para la velocidad de $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Tabla 8

<i>Correlación entre economía de carrera ($16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y medidas antropométricas</i>			
EC 16	Medida antropométrica	Estadística	
		r_s	p
46.3 ± 3.2	Largo extremidad inferior del cuerpo	-0.21	0.443
$(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	Largo de muslo	-0.05	0.859
173.7 ± 11.9	Largo de pierna	-0.30	0.282
$(\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1})$	Circunferencia del punto máximo pantorrilla	0.29	0.296

Figura 4

Gráficas de dispersión de los resultados de la correlación Spearman entre economía de carrera a $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y a. largo de la extremidad inferior del cuerpo (LEIC), b. largo de muslo (L. muslo), c. largo de pierna (L. pierna) y d. circunferencia del punto máximo de la pantorrilla (CPMP)



Economía de carrera a $17.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (EC17.6)

Para la economía de carrera a la velocidad de $17.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ se observó una correlación negativa con el largo de pierna ($r_s = -0.05$, $p = 0.859$). Para el largo de la extremidad inferior del cuerpo ($r_s = 0.02$, $p = 0.930$), el largo de muslo ($r_s = 0.22$, $p = 0.435$) y la circunferencia del punto máximo de pantorrilla ($r_s = 0.04$, $p = 0.899$) se

observaron correlaciones positivas. Ninguna de las correlaciones fue estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Se puede observar una tendencia positiva entre largo de muslo y economía de carrera. La Tabla 9 presenta los valores para economía de carrera a 17.6 km.h⁻¹ (EC17.6) expresados en ml.kg⁻¹.min⁻¹ y en ml.kg⁻¹.km⁻¹ y su correlación con medidas antropométricas de la parte inferior del cuerpo. Figura 5, para la velocidad de 17.6 km.h⁻¹.

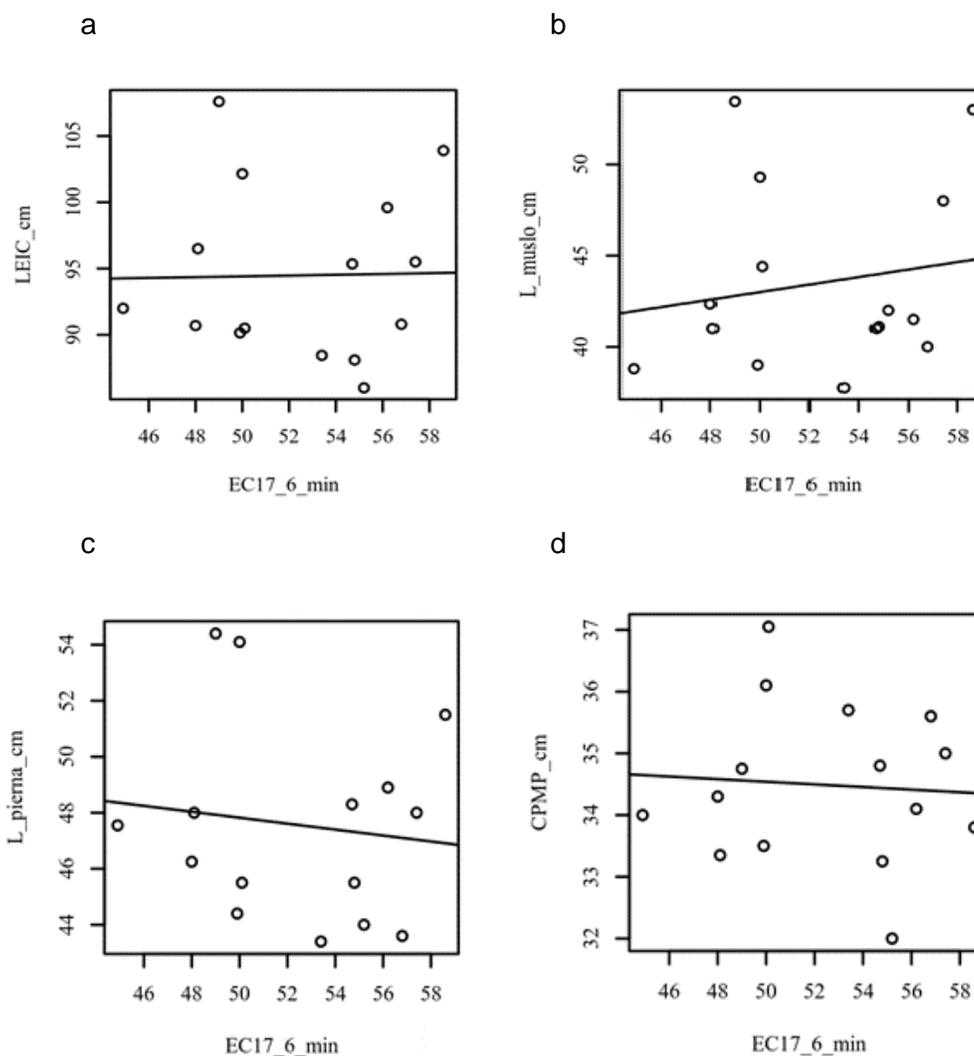
Tabla 9

Correlación entre economía de carrera (17.6 km.h⁻¹) y medidas antropométricas

EC 17.6	Medida antropométrica	Estadística	
		r _s	p
52.5 ± 4.1	Largo extremidad inferior del cuerpo	0.02	0.930
(ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	Largo de muslo	0.22	0.435
178.9 ± 14.1	Largo de pierna	-0.05	0.859
(ml.kg ⁻¹ .km ⁻¹)	Circunferencia del punto máximo pantorrilla	0.04	0.899

Figura 5

Gráficas de dispersión de los resultados de la correlación Spearman entre economía de carrera a 17.6 km.h^{-1} ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) y a. largo de la extremidad inferior del cuerpo (LEIC), b. largo de muslo (L. muslo), c. largo de pierna (L. pierna) y d. circunferencia del punto máximo de la pantorrilla (CPMP)



Debido a los resultados obtenidos en esta investigación las hipótesis nulas se retienen y no se rechazan:

- H_{01} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo de la extremidad inferior del cuerpo
- H_{02} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo del muslo

- H_{03} = No habrá relación entre la economía de carrera y el largo de la pierna
- H_{04} = No habrá relación entre la economía de carrera y la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio que evalúa la relación entre medidas antropométricas y la economía de carrera en corredores latinos. Para esta investigación participaron 13 corredores puertorriqueños, 1 corredor dominicano y 1 corredor colombiano. En este estudio se recopilieron datos fisiológicos y antropométricos de los mejores corredores de Puerto Rico en distancias de 5 a 42.195 km.

En los resultados podemos observar que ninguna de las medidas antropométricas (largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo de muslo, largo de pierna y circunferencia del punto máximo de la pantorrilla) tuvo una relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$) con la economía de carrera en ninguna de las velocidades corridas (14, 16 y 17.6 km.h⁻¹). Sin embargo, hubo 3 medidas antropométricas en las cuales se observó una tendencia para las velocidades de 14 y 16 km.h⁻¹. El largo de la extremidad inferior del cuerpo tuvo una correlación negativa ($r_s = -0.19$ y -0.21 respectivamente) para las velocidades de 14 y 16 km.h⁻¹ y el largo de pierna de igual manera ($r_s = -0.30$ y -0.30 respectivamente) para las velocidades de 14 y 16 km.h⁻¹. Una correlación negativa significa que los corredores con largo de la extremidad inferior del cuerpo y largo de pierna mayor consumen menos oxígeno en las dos velocidades en comparación con los corredores con un largo de la extremidad inferior y largo de pierna menor. La circunferencia del punto máximo de la pantorrilla tuvo una correlación positiva para las velocidades de 14 y 16 km.h⁻¹ ($r_s = 0.25$ y 0.29 respectivamente). Una correlación positiva significa que los corredores con circunferencias del punto máximo de la pantorrilla de mayor tamaño consumen más oxígeno en las dos velocidades en comparación con los que tienen una circunferencia del punto máximo de la pantorrilla menor.

A diferencia de los resultados de nuestra investigación en la literatura se puede encontrar evidencia de que existe una relación entre circunferencias del punto máximo de la pantorrilla menor y largo de pierna de mayor tamaño están relacionados con una mejor economía de carrera. Lucia, et al. (2006) comparó distintas características fisiológicas y antropométricas entre corredores eritreos (n = 7) y corredores españoles (n = 9). Estos encontraron que los corredores eritreos consumían menos oxígeno corriendo a $21\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($65.9 \pm 6.8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) en comparación con los corredores españoles ($74.8 \pm 5.0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y que esto se podría atribuir a que los corredores eritreos tenían un largo de pierna mayor ($44.1 \pm 3.0 \text{ cm}$ vs. $40.6 \pm 2.7 \text{ cm}$) y circunferencias del punto máximo de la pantorrilla menor ($30.9 \pm 1.5 \text{ cm}$ vs. $33.9 \pm 2.0 \text{ cm}$) en comparación con los corredores españoles. Debido a que Lucia, et al. (2006) utilizó las velocidades de carrera de 17, 19 y 21 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ no se pueden comparar los resultados fisiológicos con nuestra investigación ya que nosotros utilizamos 14, 16 y 17.6 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, pero si nos puede dar una idea de cuanta diferencia antropométrica hay entre corredores eritreos y españoles de nivel mundial y corredores latinos. Comparando estos resultados observamos que los participantes de nuestra investigación tienen un largo de pierna y una circunferencia del punto máximo de la pantorrilla mayor ($47.6 \pm 3.52 \text{ cm}$ y $34.5 \pm 1.29 \text{ cm}$, respectivamente). Estos valores hacen que los corredores de nuestra investigación tengan una mayor masa en la extremidad inferior del cuerpo lo que resultaría en una menor eficiencia a la hora de correr. El efecto de una mayor masa en la extremidad inferior del cuerpo se demuestra en la investigación de Allen, et al. (2017). Los autores evaluaron 94 corredores, 49 del sexo masculino y 45 féminas. Estos no encontraron relación entre la economía de carrera y ninguna de las longitudes de la extremidad inferior del cuerpo. Sin embargo, en la investigación de Allen, et al. (2017) si hubo una relación significativa entre la

economía de carrera y la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla ($r = 0.392$; $p = 0.002$). Debido a esto los autores entienden que la economía de carrera está mayormente asociada a características relacionadas con la delgadez de una persona y no con el largo de las extremidades. Esta muestra fue bastante heterogénea en términos del nivel atlético de los participantes (tiempos en carreras de larga distancia), en comparación con nuestra muestra que también fue heterogénea, pero en términos de $VO_2\text{max}$.

En contraste, Steudel, et al. (2007) encontraron una relación negativa entre el largo de la extremidad inferior del cuerpo y la economía de carrera a $9.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r = -0.69$; $p = 0.002$). La muestra consistió en 18 sujetos los cuales todos realizaban ejercicio, pero no necesariamente eran corredores. Curiosamente utilizaron como criterio de inclusión tener un índice de masa corporal menor a $25.0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. La velocidad que los autores escogieron para medir la economía de carrera fue de $9.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ debido a que no todos los participantes podían correr a velocidades entre 14 y $17.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Laumets, et al. (2017) investigó la relación entre medidas antropométricas de la parte inferior del cuerpo y variables de composición corporal con la economía de carrera. Los autores utilizaron una muestra de 13 corredores europeos los cuales debido a la poca variación que hubo en sus $VO_2\text{max}$ ($67.3 \pm 2.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) fueron clasificados como una muestra homogénea. Encontraron que el largo de pierna estaba negativamente relacionado con la economía de carrera ($r^2 = 0.316$; $p = 0.046$) a la velocidad de $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y mostró una tendencia similar para las velocidades de 14 ($r^2 = 0.265$; $p = 0.072$) y $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r^2 = -0.303$; $p = 0.051$). En nuestra investigación también se observó una tendencia negativa para la relación de largo de pierna y economía de carrera para las velocidades 14 ($r_s = -0.30$; $p = 0.282$), 16 ($r_s = -0.30$; $p = 0.282$) y $17.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r_s = -0.05$; $p = 0.859$) aunque estas no fueron estadísticamente significativas.

Esto se puede deber a la heterogeneidad de la presente muestra, ya que se encontró una variación mayor en los resultados del VO_2max ($66.8 \pm 5.9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) y por ende la muestra aparenta ser más heterogénea.

El VO_2max promedio de la muestra de nuestra investigación fue de: $4.1 \pm 0.44 \text{ L.min}^{-1}$ o $66.8 \pm 5.9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Comparados con tablas normativas de la población general (Gibson, et al. 2019), todos los participantes se encuentran en la clasificación de superior para las personas de su misma edad y sexo. La clasificación de VO_2max de los participantes para saber si teníamos una muestra homogénea o heterogénea se realizó por medio de la tabla normativa propuesta por Barnes & Kilding, (2015). Los autores mencionan que es difícil indicar con certeza cuándo la economía de carrera es buena, promedio o pobre debido a la gran variación que hay en la literatura en protocolos, equipos para analizar gases, técnicas utilizadas para promediar los datos y diferencias en la capacidad aeróbica máxima. Sin embargo, reconociendo todas estas limitaciones presentan una tabla normativa recolectando los valores representativos de consumo de oxígeno máximo y submáximo de corredores de distintos niveles y lo clasifican en recreacional, moderadamente entrenados, altamente entrenados y elites. Los valores de VO_2max de los participantes del presente estudio se clasificaron de acuerdo al valor de la tabla en la cual se encontraban más cercanos. El resultado de la clasificación fue: recreacional (1), moderadamente entrenados (5), altamente entrenados (7) y elites (2). Estos resultados nos muestran que según el VO_2max tenemos una muestra heterogénea. Sin embargo, si utilizamos la misma tabla normativa de Barnes & Kilding, (2015) para clasificar la economía de carrera (VO_2), tenemos que para la carrera de 14 km.h^{-1} un 87% (13/15) de los participantes están en una clasificación de elites y el otro 13% (2/15) están en la clasificación de altamente entrenados. Para la carrera de 16 km.h^{-1} un 80% (12/15) de los participantes están en

una clasificación de elites y el otro 20% (3/15) están en una clasificación de altamente entrenados. Estos resultados sugieren que la economía de carrera aparenta ser independiente al VO_2max .

Mooses & Hackney, (2017) realizaron una revisión de literatura sobre la relación entre medidas antropométricas y el rendimiento en corredores kenyanos. Estos llegaron a la conclusión de que el éxito de los kenyanos en las carreras de larga distancia se debe a su alto nivel en economía de carrera y que esta está mayormente asociada a características antropométricas en comparación con propiedades metabólicas específicas del músculo. Las variables antropométricas que mayormente tenían un efecto positivo en la economía de carrera lo fueron una masa corporal y un índice de masa corporal bajos. Es importante analizar el somatotipo de los corredores kenyanos ya que ellos son los corredores que más éxito han tenido en carreras de largas distancias en los últimos años. Una de las diferencias que se ve bastante marcada entre el estudio de Mooses & Hackney, (2017) y el nuestro es el largo del muslo y el largo de pierna. En todos los estudios utilizados para la revisión de literatura en donde los sujetos eran kenyanos tenían un largo de muslo mayor en comparación con el largo de pierna. Por el contrario, en nuestra investigación tenemos que el largo de muslo (43.5 ± 5.1 cm) fue menor en comparación con el largo de pierna (47.6 ± 3.5 cm). Esta diferencia antropométrica entre corredores kenyanos y corredores latinos podría ser una de las razones de por qué existe tanta diferencia en rendimiento en estas dos poblaciones.

Mooses, et al. (2015) también investigó la relación entre economía de carrera y el rendimiento en carreras. Estos utilizaron una muestra homogénea de 32 corredores kenyanos (VO_2max 68.8 ± 3.8 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). La economía de carrera, evaluada corriendo a 16 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ fue de 61.0 ± 3.6 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. A pesar de que a 16 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ los

corredores latinos del presente estudio aparentan ser más económicos (46.3 ± 3.2 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) al consumir menos oxígeno a la misma velocidad, los corredores kenyanos tienen un nivel de rendimiento superior en los tiempos de las carreras. La diferencia más marcada entre las muestras de ambas investigaciones es que nuevamente los corredores kenyanos tienen un largo de muslo (50.7 ± 2.9 cm) mayor en comparación con el largo de pierna (39.4 ± 2.4 cm). Mooses, et al. (2015) encontró una correlación significativa entre el largo de muslo ($r = 0.42$; $p = 0.025$) y el largo de la extremidad inferior del cuerpo ($r = 0.40$; $p = 0.030$) con el rendimiento, pero no con la economía de carrera. Los autores entienden que la economía de carrera puede estar compensada por otros factores, siguiendo la línea de que la economía de carrera es solo uno de muchos factores que pueden explicar el rendimiento en corredores elites. Esto puede explicar por qué a pesar de que los corredores latinos consumieron menos oxígeno corriendo a 16km.h^{-1} , los corredores kenyanos son superiores cuando hablamos de rendimiento.

Barnes, et al. (2014) investigaron variables de la parte inferior del cuerpo que fueran determinantes para la economía de carrera en corredores de larga distancia del sexo masculino y femenino. Las únicas variables antropométricas con las que se encontró relación con la economía de carrera fueron la rigidez de las piernas ($r = -0.76$) y la longitud del tendón de Aquiles ($r = 0.81$). Los autores entienden que, aunque encontraron algunas correlaciones entre medidas de la parte inferior del cuerpo y la economía de carrera, no existe una sola variable antropométrica que pueda explicar las diferencias en economía de carrera. Otros factores como longitudes del cuerpo, distribución de masa, tipo de fibra, oscilaciones verticales, patrones de zancadas y otras variables cinéticas podrían afectar la economía de carrera. Debido a esto los autores entienden que la economía de carrera es el resultado de la suma de múltiples atributos

de la parte inferior del cuerpo. El identificar el conjunto de variables antropométricas determinantes de la economía de carrera, sería muy útil para la identificación de talentos desde etapas tempranas en los atletas.

Es importante observar la diferencia que existe en selección de sujetos y protocolos utilizados en las investigaciones relacionadas con economía de carrera y medidas antropométricas. Los resultados son diversos y es muy difícil llegar a una conclusión sobre si alguna medida antropométrica en específico se relaciona más con la economía de carrera. En lo que la mayoría de los autores están de acuerdo es que variables relacionadas con la delgadez de una persona, como masa corporal, índice de masa corporal o circunferencias de la parte inferior del cuerpo deben ser las que se relacionen con la economía de carrera por el costo energético que conlleva mover una extremidad con mayor o menor peso.

Fortalezas y limitaciones del estudio

Una de las mayores limitaciones del estudio es que no se pudo cumplir con la muestra determinada de 26 participantes. Debido a la situación de la pandemia de Covid-19, nos vimos limitados en conseguir sujetos que cumplieran con todos los requisitos de inclusión y estuvieran dispuestos a participar. Muchos de los corredores en Puerto Rico dejaron de entrenar, bajaron la intensidad de sus entrenamientos o se fueron del país buscando un mejor lugar para entrenar. Otro de los factores que pudo afectar la presente investigación es la homogeneidad de la muestra. Uno de los criterios utilizados, para lograr de que la muestra fuese lo más homogénea posible, fue que los participantes llegaran consistentemente en las primeras 10 posiciones en todas las carreras que se presentaban. Para nuestra sorpresa hubo una gran diferencia en el

VO₂max entre los participantes que regularmente llegan en las posiciones del 1-5 ($68.5 \pm 5.3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) en comparación con los que llegan del 6-10 ($60.2 \pm 2.9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Recomendaciones para estudios futuros

La primera recomendación es realizar este mismo estudio, pero con una muestra más grande. Nuestros resultados muestran una tendencia hacia las direcciones esperadas. Creemos que con una muestra mayor, los resultados pueden llegar a ser estadísticamente significativos.

La mayoría de los estudios relacionados con medidas antropométricas y economía de carrera son realizados con corredores kenyanos y esto es entendible porque son los corredores que han dominado las carreras de largas distancias a nivel mundial durante los últimos años. Sería interesante seguir buscando correlaciones entre medidas antropométricas de la parte inferior del cuerpo con corredores de distintos países. Por ejemplo, actualmente se está viendo un mejoramiento en el rendimiento de corredores japoneses de largas distancias. Debido a los diversos resultados en correlaciones que se pueden ver en la literatura está claro que una sola variable antropométrica no es la responsable de que haya una mejor economía de carrera. Sería interesante que la investigación estuviese dirigida a la suma de variables antropométricas de la parte inferior del cuerpo para así ver si el conjunto de estas medidas sí correlacionan con una mejor economía de carrera.

Conclusión

Aunque se observó una tendencia en la dirección esperada para la correlación entre economía de carrera y las medidas de largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo de pierna y circunferencia del punto máximo de la pantorrilla en una muestra

heterogénea de corredores latinos de larga distancia, estos resultados sugieren que no hay relación.

REFERENCIAS

- Anderson, T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports Med*, 22(2), 76–89.
- Allen, S.J., Black, M.I., Forrester, S.E, Handsaker, J.C., & Folland, J.P. (2017). The Relationship of Anthropometry and Body Composition with Running Economy. *35th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, Cologne, Germany*, 1080-1083.
- Bailey, S.P., & Pate, R.R. (1991). Feasibility of improving running economy. *Sports Med*, 12(4), 228–36.
- Baker, J., & Horton, S. (2003). East African running dominance revisited: a role for stereotype threat? *BrJ Sports Med*, 37, 553-555.
- Barnes, K.R., & Kilding, A.E. (2014). Strategies to Improve Running Economy. *Sports Medicine*, 45(1), 37-56.
- Barnes, K.R., & Kilding, A.E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine-Open*, 1(8).
- Barnes, K.R., McGuigan, M.R., & Kilding, A.E. (2014). Lower-Body Determinants of Running Economy in Male and Female Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1289-1297.
- Berryman, N., Maurel, D., & Bosquet, L. (2010). Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *J Strength Cond Res* 24(7), 1818–1825
- Boullosa, D., & Tuimil, J.L. (2007). Economía de Carrera: Un Parámetro Multifactorial. *PubliCE*.

- Bragada, J.A., Santos, P.J., Maia, J.A., Colaco, P.J., Lopes, V.P., & Barbosa, T.M. (2010). Longitudinal study in 3,000 m male runners: relationship between performance and selected physiological parameters. *J Sports Sci Med*, 9, 439-444.
- Bransford, D.R., & Howley, E.T. (1977). Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. *Med Sci Sports*, 9(1), 41-44
- Conley, D.L., & Krahenbuhl, G.S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 12(5), 357–360.
- Conley, D.L., Krahenbuhl, G., Burkett, L.N., & Millar, A.L. (1984). Following Stev Scott: physiological changes accompanying training. *Phys Sportsmed*, 12(1), 103-106.
- Daniels, J.T. (1985). A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc*, 17(3), 332–338.
- Dellagrana, R.A., Guglielmo, L.G.A., Santos, B.V., Hernandez, S.G., da Silva, S.G., & de Campos, W. (2015). Physiological, Anthropometric, Strength, and Muscle Power Characteristics Correlates With Running Performance in Young Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(6), 1584-1591.
- de Ruiter, C.J., Verdijk, P.W., Werker, W., Zuidema, M.J., & de Hann, A. (2014). Stride frequency in relation to oxygen consumption in experienced and novice runners. *European Journal of Sport Science*, 14(3), 251-258.
- Di Prampero, P.E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P., & Soule, R.G. (1993). Energetics of best performance in middle-distance running. *J Appl Physiol*, 74(5), 2318-2324.
- Dolgener, F. (1982). Oxygen cost of walking and running in untrained, sprint trained, and endurance trained females. *J Sports Med Phys Fitness*, 22(1), 60-65.

- Esparza-Ros, F., Vaquero-Cristóbal, R., & Marfell-Jones, M. (2019). PROTOCOLO INTERNACIONAL PARA LA VALORACIÓN ANTROPOMÉTRICA. *SOCIEDAD INTERNACIONAL PARA EL AVANCE DE LA CINEANTROPOMETRÍA*.
- Farrell, P.A., Wilmore, J.H., Coyle, E.F., Billing, J.E., & Costill, D.L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sport Exerc*, 25(10), 1091-1097.
- Foster, C., & Lucia, A. (2007). Running economy: The forgotten factor in elite performance. *Sports Medicine*, 37(4-5), 316-319.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.S., & Pedersen, P.K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc*, 30(8), 1250–1256.
- Green, H.J., & Patla, A.E. (1992). Maximal aerobic power: neuromuscular and metabolic considerations. *Med Sci Sports Exerc*, 24(1), 38–46
- Heyward, V.H., & Gibson, A.L. (2014). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. United States: Human kinetics.
- Kong, P. W., & de Heer, H. (2008). Anthropometric, gait and strength characteristics of kenyan distance runners. *Journal of sports science & medicine*, 7(4), 499-504.
- Krahenbuhl, G.S., & Pangrazi, R.P. (1983). Characteristics associated with running performance in young boys. *Med Sci Sports Exerc*, 15(6), 486-490.
- Kyrolainen, H., Kivelá, R., Koskinen, S., McBride, J., Andersen, J.L., Takala, T., Sipila, S., & Komi, P.V. (2003). Interrelationships between muscle structure, muscle strength, and running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(1), 45-49.

- Larsen, H.B. (2003). Kenyan dominance in distance running. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 136(1), 161–170.
- Laumets, R., Viigipuu, K., Mooses, K., Mäestu, J., Purge, P., Pehme, A, Kaasik, P., & Mooses, M. (2017). Lower Leg Length is Associated with Running Economy in High Level Caucasian Distance Runners. *Journal of Human Kinetics*, 56, 229-239.
- Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A.F., Santiago, C., Pérez, M., Chamorro-Viña, C., & Foster, F. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners—exceptional running economy. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*, 31, 530-540.
- Mayers, N., & Gutin, B. (1979). Physiological characteristics of elite prepubertal cross-country runners. *Med Sci Sports*, 11(2), 172-176.
- Molla, H.G. (2017). Review of Anthropometric Characteristics of Runners. *Journal of Tourism, Hospitality and Sports*, 25, 26-31.
- Moore, I.S. (2016). Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports Med*, 46, 793-807.
- Mooses, M. & Hackney, A.C. (2017). Anthropometrics and Body Composition in East African Runners: Potential Impact on Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12, 422-430.
- Mooses, M., Jürimäe, J., Mäestu, J., Mooses, K., Purge, P., & Jürimäe, T. (2013). Running economy and body composition between competitive and recreational level distance runners. *Acta Physiologica Hungarica*, 100(3), 340-346.
- Mooses, M., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Mooses, K., & Jürimäe, T. (2013).

ANTHROPOMETRIC AND PHYSIOLOGICAL DETERMINANTS OF
RUNNING PERFORMANCE IN MIDDLE- AND LONG- DISTANCE RUNNERS.

Kinesiology, 45(2), 154-162.

Mooses, M., Mooses, K., Haile, D.W., Durussel, J., Kaasik, P., & Pitsiladis, Y.P. (2015).

Dissociation between running economy and running performance in elite Kenyan distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 33(2), 136-144.

Myers, M.J., & Steudel, K. (1985). EFFECT OF LIMB MASS AND ITS

DISTRIBUTION ON THE ENERGETIC COST OF RUNNING. *F. exp. Biol*, 116, 363-373.

Ogueta-Alday, A., & García-López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en

carreras de fondo. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 12(45), 278-308.

Onywera, V.O., Scott, R.A., Boit, M.K., & Pitsiladis, Y.P. (2006). Demographic

characteristics of elite Kenyan endurance runners. *J Sports Sci*, 24, 415-422.

Pate, R.R., Macera, C.A., Bailey, S.P., Bartoli, W.P., & Powell, K.E. (1992).

Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Med Sci Sports Exerc*, 24(10), 1128-1133.

Pollock, M.L. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance

runners. Part I: cardiorespiratory aspects. *Ann N Y Acad Sci*, 301, 310-322.

Pollock, M.L., Jackson, A.S., & Pate, R.R. (1980). Discriminant analysis of physiological

difference between good and elite distance runners. *Res Q Exerc Sport*, 51(3), 521-532.

Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D., & Hawley, J.A. (2004). Factors Affecting

Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Med*, 34(7), 465-485.

- Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Cunningham, R.B., Gore, C.J., Hahn, A.G., & Hawley, J.A. (2003). Improved running economy in elite runners after 20 days simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol*, 96, 931-937.
- Smoljanić, J., Morris, N.B., Dervis, S., & Jay, O. (2014). Running economy, not aerobic fitness, independently alters thermoregulatory responses during treadmill running. *J Appl Physiol* 117, 1451-1459.
- Studel-Numbers, K.L., Weaver, T.d, & Wall-Scheffler, C.M. (2007). The evolution of human running: effects of changes in lower-limb length on locomotor economy. *J Hum Evol*, 53(2), 191-196.
- Svedenhag, J., & Sjodin, B. (1994). Body-Mass-Modified Running Economy and Step Length in Elite Male Middle- and Long- Distance Runners. *Int. J. Sports Med*, 15(6), 305-310.
- Svedenhag, J., & Sjodin, B. (1985). Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. *Can J Appl Sport Sci*, 10(3), 127-133.
- Tartaruga, M.P., Brisswalter, J., Peyré-Tartaruga, L.A., Vargas, A.O., Alberton, C.L., Coertjens, M., Cadore, E.L., Tiggemann, C.L., Silva, E.M., & Martins, L.F. (2012). The Relationship Between Running Economy and Biomechanical Variables in Distance Runners. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 83(3), 367-375.
- Vernillo, G., Schena, F., Berardelli, C., Rosa, G., Galvani, C., Maggioni, M., Agnello, L., & La Torre, A. (2013). Anthropometric characteristics of top-class Kenyan marathon runners. *J Sports Med Phys Fitness*, 53, 403-408.
- Weston, A.R., Karamizrak, O., Smith, A., Noakes, T.D., & Myburgh, K.H. (1999). African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme activity. *J Appl Physiol*, 86, 915-923.

Weston, A.R., Mbambo, Z., & Myburgh, K.H. (2000). Running economy of African and Caucasian distance runners. *Med Sci Sport Exerc*, 32(6), 1130-1134.

APÉNDICES

Apéndice A-1

University of
Puerto Rico

COMITÉ INSTITUCIONAL PARA LA PROTECCIÓN DE LOS SERES HUMANOS
EN LA INVESTIGACIÓN (CIPSHI)
IRB 00000944
cipshi.degi@uprrp.edu ~ http://graduados.uprrp.edu/cipshi

AUTORIZACIÓN DEL PROTOCOLO

Número del protocolo: 1920-052

Título del protocolo: Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia

Investigador: Diego O. Rosario Díaz

Tipo de revisión: Inicial Renovación Modificación

Evaluación: Comité en pleno
 Revisión expedita

Fecha de la autorización: 27 de noviembre de 2019



Río Piedras
Campus

Además, el CIPSHI:

- Determinó que la revisión continua de este protocolo cualifica para la evaluación expedita.

Esta autorización expira el 27 de noviembre de 2020.

Si la investigación no concluye para esta fecha, tiene que solicitar la renovación de la autorización de acuerdo al tipo de revisión que le corresponda, por el comité en pleno o expedita. Cualquier modificación posterior a esta autorización requerirá la consideración y reautorización del CIPSHI. Además, debe notificar cualquier incidente adverso o no anticipado que implique a los sujetos o participantes. Al finalizar la investigación, envíe el formulario de Notificación de Terminación de Protocolo.

Office of the
Dean for Graduate
Studies and Research

PO Box 21790
San Juan PR
00931-1790

787-764-0000
Exts. 86700 / 3617
Fax 787-763-6011

E-mail:
degi@uprrp.edu

Web Site:
http://graduados.uprrp.edu


Yarimar Rosa Rodríguez, Ph.D.
Presidenta del CIPSHI ó
representante autorizado

Apéndice A-2

Universidad de
Puerto Rico

COMITÉ INSTITUCIONAL PARA LA PROTECCIÓN DE LOS SERES HUMANOS
EN LA INVESTIGACIÓN (CIPSHI)
IRB 00000944
cipshi.degi@upr.edu ~ http://graduados.uprrp.edu/cipshi

AUTORIZACIÓN DEL PROTOCOLO

Número del protocolo: 1920-052

Título del protocolo: Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia



Recinto de
Río Piedras

Investigador: Diego O. Rosario Díaz

Tipo de revisión: Inicial Renovación Modificación

Evaluación: Comité en pleno
 Revisión expedita

Fecha de la autorización: 5 de febrero de 2020

Esta autorización expira el 27 de noviembre de 2020.

Si la investigación no concluye para esta fecha, tiene que solicitar la renovación de la autorización de acuerdo al tipo de revisión que le corresponda, por el comité en pleno o expedita. Cualquier modificación posterior a esta autorización requerirá la consideración y reautorización del CIPSHI. Además, debe notificar cualquier incidente adverso o no anticipado que implique a los sujetos o participantes. Al finalizar la investigación, envíe el formulario de Notificación de Terminación de Protocolo.


Yárimar Rosa Rodríguez, Ph.D.
Presidenta del CIPSHI o
representante autorizado

Decanato de
Estudios Graduados
e Investigación

18 Ave. Universidad STE 1801
San Juan PR 00925-2512

787-764-0000
Ext. 86700
Fax 787-763-6011

Página electrónica:
<http://graduados.uprrp.edu>

Apéndice A-3

Diego O Rosario Diaz <diego.rosario1@upr.edu>

Autorización CIPSHI # 1920-052

CIPSHI-IRB.UPR-Río Piedras <cipshi.degi@upr.edu>

20 de noviembre de 2020, 12:11

Para: diego.rosario1@upr.edu

Cc: "LUCIA DEL R. MARTINEZ COLON" <lucia.martinez1@upr.edu>

Diego O. Rosario Díaz

Estimado señor Rosario:

El Comité Institucional para la Protección de los Seres Humanos en la Investigación (CIPSHI) consideró mediante el procedimiento expedito de revisión, la solicitud de renovación y modificación del protocolo *Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia (#1920-052)*.

El CIPSHI **autorizó** la renovación y la modificación de este protocolo.

Recuerde conservar copia de los documentos de su protocolo, especialmente de la(s) hoja(s) de consentimiento informado. La versión de la(s) hoja(s) de consentimiento o asentimiento aprobadas por el CIPSHI es la que debe reproducir y entregar a los participantes de la investigación.

La autorización del CIPSHI expira el 20 de noviembre de 2021.

Si la investigación no concluye para esta fecha, tiene que solicitar la [renovación](#) de la autorización de acuerdo al tipo de revisión que le corresponda, por el comité en pleno o expedita. Cualquier [modificación](#) posterior a esta autorización requerirá la consideración y reautorización del CIPSHI. Además, debe notificar cualquier incidente adverso o no anticipado que implique a los sujetos o participantes. Al finalizar la investigación, envíe el formulario de [Notificación de Terminación de Protocolo](#).

La realización de las actividades presenciales con intervención o interacción con seres humanos como sujetos de estudio propuestas en los protocolos que el CIPSHI autorice están sujetas a las instrucciones institucionales y estatales. Es responsabilidad de los/as investigadores/as protegerse y proteger a los/as posibles participantes durante el periodo de emergencia de salud pública y seguir las instrucciones correspondientes que pueden ser variantes según se desarrollen los eventos.

Le deseamos éxito.

Atentamente,

Myriam L. Vélez Galván, MA
Oficial de Cumplimiento

Decanato de Estudios Graduados e Investigación
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras
18 Ave. Universidad STE 1801

San Juan PR 00925-2512

Email: cipshi.degi@upr.edu

Webpage CIPSHI: <http://graduados.uprrp.edu/cipshi/>

Apéndice B



Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia

Lo invito a participar en una investigación en donde se estudiará si existe relación entre la economía de carrera y medidas antropométricas de la parte inferior del cuerpo

Criterios de Inclusión:

- (a) Tener 18 a 44 años de edad
- (b) Ser del sexo masculino
- (c) Ser corredores que participan activamente de carreras de larga distancia (5km-42km)
- (d) Llegar consistentemente en las primeras 10 posiciones "general" en las carreras que se presenta
- (e) Estar dispuestos a no realizar ningún entrenamiento de alta intensidad el día antes de las pruebas
- (f) Estar dispuesto a asistir al Laboratorio de Fisiología de la UPR en Río Piedras para realizar las evaluaciones



Criterios de Exclusión:

- (a) Tener alguna lesión musculoesquelética que le impida realizar una prueba de esfuerzo máximo
- (b) Ser fumador

Para participar u obtener más información comunícate con:

Diego Rosario Díaz (Investigador Principal)

787-422-2363 o diego.rosario1@upr.edu

Todo participante recibirá un informe de su tolerancia cardiorrespiratoria libre de costo

Apéndice C



DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS GRADUADOS
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO, RECINTO DE RÍO PIEDRAS, FACULTAD DE EDUCACIÓN

HOJA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia

Descripción

Lo invito a participar en una investigación en donde se estudiará la economía de carrera y su relación con ciertas medidas antropométricas de la parte inferior del cuerpo humano en corredores de larga distancia. Esta investigación es realizada por Diego Rosario Díaz, estudiante del Programa Graduado en Ciencias del Ejercicio con especialidad en Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Puerto Rico recinto de Río Piedras. El propósito de esta investigación es determinar si existe relación entre economía de carrera y las siguientes medidas antropométricas: largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo del muslo, largo de la pierna y circunferencia del punto máximo de pantorrilla, en corredores de larga distancia.

Usted fue seleccionado para participar en esta investigación porque cumple con los siguientes criterios de elegibilidad: (a) poseer 18 a 44 años de edad, (b) ser del sexo masculino, (c) ser corredor que participa activamente de carreras de larga distancia (5km-42km), (d) llegar consistentemente en las primeras 10 posiciones “general” en las carreras que se presenta, (e) estar dispuestos a no realizar ningún entrenamiento de alta intensidad el día antes de las pruebas, (f) estar dispuestos a asistir al Laboratorio de Fisiología de la UPR en Río Piedras para realizar las evaluaciones. No podrán participar personas diagnosticadas o que presenten síntomas de enfermedad cardiovascular, metabólica o renal, que tengan alguna lesión musculoesquelética que le impida realizar una prueba de esfuerzo máximo y fumadores. Se espera que en este estudio participen aproximadamente 26 personas como voluntarias.

Si acepta participar en esta investigación, deberá presentarse dos veces al Laboratorio de Fisiología de la Universidad de Puerto Rico recinto de Río Piedras. En el primer día se realizarán las medidas antropométricas (medidas del tamaño y forma del cuerpo) y se determinará la tolerancia cardiorespiratoria ($VO_2\text{Max}$).

Medidas antropométricas: La licenciada Carmen Nevárez Alonso estará asistiendo en la realización de medidas antropométricas y, por lo tanto, esta tendrá acceso a los datos crudos de la investigación. Se determinará el peso corporal utilizando una balanza Tanita y la estatura con un estadiómetro SECA. Se tomarán medidas de pliegues cutáneos (espesor de una capa de piel, grasa y piel) para estimar el porcentaje de grasa por medio de una fórmula. Los pliegues serán tomados con un instrumento llamado plicómetro. Primero se realizarán marcas anatómicas con un marcador dermográfico para identificar los lugares de los siguientes pliegues cutáneos: tríceps, subescapular, pecho, cresta iliaca, supraespinal,

Versión 2 de octubre del 2020

P.O. Box 23304 San Juan, Puerto Rico 00931-3304 Tel. 787-764-0000 ext. 89195, 89203 <http://ege.uprrp.edu>
Patrono con igualdad de oportunidades en el empleo M/M/V/I

1 de 4



DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS GRADUADOS
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO, RECINTO DE RÍO PIEDRAS, FACULTAD DE EDUCACIÓN

abdomen, y muslo. Se realizarán las siguientes medidas de longitudes utilizando un segmómetro Cescorf: largo de la extremidad inferior del cuerpo, largo del muslo y largo de la pierna.

Se determinará la circunferencia del punto máximo de la pantorrilla utilizando una cinta antropométrica Lufkin.

Tolerancia cardiorrespiratoria – Se determinará el consumo máximo de oxígeno (VO_2Max) mediante una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario en una trotadora. El participante comenzará caminando por 1 minuto a 3 mph, luego trotará por 2 minutos a 5 mph, luego se aumentará a la velocidad de prueba de 8.5 mph. La inclinación de la trotadora aumentará 1% cada minuto hasta que el sujeto indique que desea pasar. Durante la prueba el participante utilizará una mascarilla para recolectar y evaluar el aire que bota.

En el primer día de evaluaciones se coordinará la fecha para el segundo día de evaluaciones.

En el segundo día de evaluaciones, se determinará la economía de carrera. Cada participante correrá a 3 velocidades distintas (14,16,18 km/h) (8.7, 10, 11.2 mph) durante 6 minutos cada una con 5 minutos de recuperación entre cada velocidad.

Antes de las evaluaciones de tolerancia cardiorrespiratoria y economía de carrera, el sujeto no debe haber comido, al menos dos horas antes de la evaluación. El participante debe pasar por una etapa de calentamiento la cual consistirá en correr de 5 a 10 minutos a la velocidad que el participante desee y se sienta cómodo.

Participar en este estudio le tomará aproximadamente 3 horas el primer día de evaluaciones y 1 hora el segundo día de evaluaciones.



DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS GRADUADOS
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO, RECINTO DE RÍO PIEDRAS, FACULTAD DE EDUCACIÓN

Riesgos y beneficios

Los posibles riesgos de la participación de las pruebas de ejercicio no son mayores a los experimentados por atletas de fondo en sus entrenamientos y competencias. Los posibles riesgos para cuando se realiza una prueba de carga progresiva hasta máximo voluntario son respuestas anormales en la presión arterial, cambios anormales en el ritmo cardiaco y como remota probabilidad un desmayo o ataque al corazón. También pueden suceder posibles caídas o lesiones mientras se corre en la trotadora. El personal que administra la prueba tomará todas las medidas preventivas a su alcance para reducir los riesgos mediante la administración de un cuestionario de salud y el análisis de estos datos (con el fin de determinar si existe alguna contraindicación para la prueba). Además, se estará observando constantemente la respuesta al ejercicio, monitoreando los signos y/o síntomas de intolerancia al ejercicio. Para minimizar los riesgos de caídas o lesiones, cada participante deberá pasar por un proceso de familiarización con el equipo a utilizarse durante la investigación. Además, mientras se realicen las pruebas en la trotadora habrá una persona en la parte posterior de la misma sirviendo de “cácher” o sujetador para evitar que el participante caiga en el suelo si pierde el control de su cuerpo mientras está corriendo en la trotadora. En caso de alguna situación, el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio cuenta con un teléfono de emergencia con conexión directa a la División de Seguridad y Manejo de Riesgo. Las actividades de la investigación se llevarán a cabo en periodos donde haya servicio de paramédicos. **Estoy anejando las medidas de control de exposición a COVID-19. Discutiré este plan con usted antes de que acepte participar en el estudio.**

En la evaluación de las medidas antropométricas (pliegues, largos, circunferencias), aunque es poco probable, el participante podría sentir incomodidad al ser marcado sobre la piel para tomar las medidas. Además, sentir incomodidad al tomar el pliegue (como un pellizco) con el plicómetro sobre la piel. Se utilizará un marcador hipoalergénico que se remueve fácilmente con agua y jabón y el participante recibirá instrucciones detalladas de las pruebas que se le está realizando,

Como beneficio de participar de esta investigación los participantes recibirán un informe de su tolerancia cardiorrespiratoria (VO₂ max) y su composición corporal (% de grasa), el cual le podría ayudar en la prescripción de sus entrenamientos. El investigador principal se contactará con el participante para la entrega del mismo.

Confidencialidad

La identidad de cada participante será protegida en todo momento. El contacto inicial, reclutamiento y consentimiento estará a cargo del investigador principal. Una vez reclutados, los participantes recibirán un número de identificación exclusivo del estudio que será utilizado en todas las hojas de recolección de datos. El expediente de cada participante que incluirá el formulario de consentimiento informado con información identificable y todas las hojas de recolección de datos con información no-identificable

Versión 2 de octubre del 2020

P.O. Box 23304 San Juan, Puerto Rico 00931-3304 Tel. 787-764-0000 ext. 89195, 89203 <http://ege.uprrp.edu>
Patrono con igualdad de oportunidades en el empleo M/M/V/I

3 de 4



DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS GRADUADOS
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO, RECINTO DE RÍO PIEDRAS, FACULTAD DE EDUCACIÓN

directamente, se guardarán en un lugar seguro en la casa del investigador. El investigador principal y la directora de tesis serán los únicos que podrán tener acceso a estos expedientes, que serán triturados al cabo de 3 años finalizado el estudio. Para el manejo y análisis futuro de los datos, se creará una base de datos digitalizada que no incluirá información directamente identificable, la cual se conservará permanentemente.

Oficiales del Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico o de agencias federales responsables de velar por la integridad en la investigación podrían requerirle al investigador los datos obtenidos en este estudio, incluyendo este documento.

Derechos

Si leyó este documento y decidió participar, por favor entienda que su participación es completamente voluntaria y que tiene derecho a abstenerse de participar o a retirarse del estudio en cualquier momento, sin ninguna penalidad. También tiene derecho a no contestar alguna pregunta en particular. Además, tiene derecho a recibir una copia de este documento.

Si tiene alguna pregunta o desea más información sobre esta investigación, por favor comuníquese con Diego Rosario Díaz al (787)422-2363 o diego.rosario1@upr.edu, o con la supervisora de la investigación, la Dra. Lucía del R. Martínez al (787)764-0000 Ext. 89131 o lucia.martinez1@upr.edu.

Si tiene preguntas sobre sus derechos como participante o una reclamación o queja relacionada con su participación en este estudio, puede comunicarse con el Oficial de Cumplimiento del Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico, al teléfono 787-764-0000, extensión 86773 o a cipshi.degi@upr.edu.

Su firma en este documento significa que decidió participar en esta investigación después de leer y discutir la información presentada en esta hoja de consentimiento y que recibió copia de este documento.

Nombre del participante

Firma

Fecha

Discutí el contenido de esta hoja de consentimiento con el arriba firmante.

Nombre del investigador

Firma

Fecha

Versión 2 de octubre del 2020

Apéndice D



Hoja de Cotejo de Criterios de Inclusión y Exclusión

Para participar de la investigación: Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia

Criterios de Inclusión:

- _____ (a) Poseer 18 a 44 años de edad
- _____ (b) Ser del sexo masculino
- _____ (c) Ser corredores que participan activamente de carreras de larga distancia (5km-42km)
- _____ (d) Llegar consistentemente en las primeras 10 posiciones “general” en las carreras que se presenta
- _____ (e) Estar dispuestos a no realizar ningún entrenamiento de alta intensidad el día antes de las pruebas
- _____ (f) Estar dispuestos a asistir al Laboratorio de Fisiología de la UPR en Rio Piedras para realizar las evaluaciones

Criterios de Exclusión:

- _____ (a) Tener alguna lesión musculoesquelética que le impida realizar una prueba de esfuerzo máximo

Si la contestación es sí, especifique: _____

- _____ (b) Ser fumadores

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Apéndice E



Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia

Cuestionario de evaluación de salud para la preparación del ejercicio para profesionales del ejercicio

Evalúa las necesidades de salud de tu cliente marcando los enunciados que sean ciertos

Paso 1

SÍNTOMAS

Tu cliente ha experimentado:

- _____ Incomodidad en el pecho al realizar algún esfuerzo
- _____ Dificultad al respirar sin razón alguna
- _____ Mareos, desmayos o pérdida del conocimiento
- _____ Inflamación de tobillos
- _____ Una frecuencia cardíaca con una sensación desagradable de esfuerzo, muy rápido o ritmo irregular
- _____ Sensación de quemazón o calambres en la parte baja de las piernas mientras camina distancias cortas

Si usted **marcó** uno de estos enunciados sobre síntomas, **DETENGASE**, su cliente necesita aprobación médica antes de comprometerse con un programa de ejercicios. Tu cliente podría necesitar utilizar una facilidad en donde haya un **médico cualificado**.

Si usted **no marcó** ninguno de los síntomas, continúe a los pasos 2 y 3.

Paso 2

ACTIVIDADES CORRIENTES

¿Tu cliente realiza actividad física planeada y estructurada por al menos 30 minutos a una intensidad moderada, por al menos 3 días a la semana, por al menos los últimos 3 meses?

Si No

Continúe al paso 3.

Paso 3

CONDICIONES MÉDICAS

Tu cliente ha tenido o actualmente tiene:

- _____ un ataque cardíaco

- _____ cirugía de corazón, cateterización cardíaca o una angioplastia coronaria
- _____ marcapasos, implante de desfibrilador cardíaco, disturbios de ritmo cardíaco
- _____ enfermedad de válvulas cardíacas
- _____ fallo cardíaco
- _____ trasplante de corazón
- _____ enfermedad congénita del corazón
- _____ diabetes
- _____ enfermedad renal

Evaluación de los pasos 2 y 3:

- Si usted **no marcó ninguno de los enunciados del paso 3**, no necesita aprobación médica
- Si marcó “**Si**” en el paso 2 y **marcó alguno de los enunciados del paso 3**, tu cliente podría continuar ejercitándose a una intensidad de liviana a moderada sin aprobación médica. La aprobación médica es recomendada antes de comenzar ejercicios vigorosos.
- Si usted marcó “**No**” en el paso 2 y **marcó alguno de los enunciados del paso 3**, aprobación médica es recomendada. Tu cliente podría necesitar utilizar una facilidad en donde haya un **médico cualificado**.

Magal, M., & Riebe, D. (2016). New preparticipation health screening recommendations: what exercise professionals need to know. *ACSM Health Fitness J*, 20(3), 22–27.

Apéndice F



Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia

Cuestionario de Información General

Apellidos: _____ Nombre: _____ Inicial: _____

Sexo: _____ Edad: _____ Fecha de Nacimiento: _____

#ID _____ Nacionalidad: _____

Si no es puertorriqueño, ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en Puerto Rico? _____

Dirección de Correo Electrónico: _____

Dirección Postal: _____

Dirección Física: _____

Persona contacto en caso de emergencia: _____

Nombre

Teléfono

¿Cuánto tiempo lleva practicando el deporte de atletismo?

¿En cuales eventos participa?

¿Cuáles son sus marcas personales en eventos de 5km a 42km?

¿Cuándo fue la última carrera en la que participó y en que distancia?

En sus últimas 3 carreras, ¿qué posición llegó y de cuanta distancia eran?

¿Alguna vez a representado a su país a nivel NACAC, Centroamericano, Panamericano, Mundial, Juegos olímpicos o alguna otra competencia a nivel internacional en las distancias de 5km a 42km? Si la contestación es si, ¿Cuáles?

Firma: _____

Fecha: _____

Apéndice G

Plan de control de exposición a COVID-19 para investigaciones de campo
Economía de carrera y su relación con medidas antropométricas en corredores de larga distancia (#1920-052) (4/oct/2020)

El Plan de control de exposición a COVID-19 tiene el propósito de establecer las estrategias y medidas para prevenir la exposición al SARS-CoV-2, el Coronavirus que produce el COVID-19, durante su participación en esta investigación.

Agradecemos su interés en participar de esta investigación, especialmente en estos momentos. Por favor, lea cuidadosamente este plan que discutiremos antes de que usted decida si participa o no en la investigación.

1. Cernimiento y poblaciones vulnerables

Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) han identificado los siguientes grupos como los de mayor riesgo a enfermarse gravemente:

- [Adultos mayores](#)
- [Personas con otras afecciones o condiciones de salud](#)

Además, los CDC enlistan los siguientes síntomas y signos asociados al COVID-19, aunque estas listas no incluyen todos los posibles:

Síntomas:

- Fiebre o escalofríos
- Tos
- Dificultad para respirar (sentir que le falta el aire)
- Fatiga
- Dolores musculares y corporales
- Dolor de cabeza
- Pérdida reciente del olfato o el gusto
- Dolor de garganta
- Congestión o moqueo
- Náuseas o vómitos
- Diarrea

Signos:

- Dificultad para respirar
- Dolor o presión persistente en el pecho
- Confusión
- Incapacidad de despertarse o permanecer despierto
- Coloración azulada en los labios o el rostro

No podrá participar en estos momentos en la investigación si usted presenta estos síntomas o signos. Le recomendamos que monitoree su salud y busque atención médica cuando sea necesario. Si presenta alguno de estos **signos** o expresa sentir algún **síntoma**, necesita atención médica de emergencia.

2. Lugar de la investigación:

- En la entrada al Recinto de Río Piedras, se tomará la temperatura y todas las personas deben llevar su mascarilla puesta. De ser necesario el investigador principal esperará al participante en la entrada del recinto para escoltarlo al Laboratorio de Fisiología del Ejercicio.
- La investigación se llevará a cabo en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Puerto Rico recinto de Río Piedras localizado en el edificio Cosme Beitía Salamo (en el Complejo Deportivo) el cual es un lugar cerrado y en el pasillo frente al laboratorio el cual es un lugar abierto.
- Antes de entrar al Laboratorio de Fisiología del Ejercicio se le tomará la temperatura con un termómetro infrarrojo. Su temperatura debe ser menor a 37.5°C (99.5°F).

3. Cantidad de personas con las que interactuará durante la investigación

- Durante la investigación estarán presentes solo el investigador principal y el participante en la primera visita y el investigador principal, la coinvestigadora y el participante en la segunda visita.
- No se permitirá que ningún participante lleve a algún acompañante, de llevar a alguno, este deberá esperar en su vehículo o fuera del laboratorio.

4. Tiempo de exposición o de contacto social durante la investigación

- El tiempo que estaremos interactuando será de aproximadamente 45 a 60 minutos en la primera visita y de 60 a 75 minutos aproximadamente la segunda visita.
- Puede tener pausas para tomar alimento o agua en un espacio al aire libre.

5. Distanciamiento físico

- Mantendremos una distancia mínima de 6 pies. Sin embargo, en algún momento debo acercarme a usted para ayudarle a colocar el equipo de recolección de gases (mascarilla). Durante la segunda visita también se le acercará la coinvestigadora para tomar las medidas antropométricas.

6. Uso de mascarillas o buconasales

- Utilizaremos mascarillas quirúrgicas o de tela en todo momento.
- La mascarilla debe estar bien ajustada, cubrir la boca y la nariz y estar colocada por debajo del mentón.
- El investigador principal y la coinvestigadora no se quitarán la mascarilla en ningún momento. El participante solo se la quitará cuando vaya a realizar las pruebas para medir VO2Max y economía de carrera. En estos momentos utilizará la mascarilla de colección de gases del carro metabólico.
- No utilizaremos mascarillas con válvulas. Este tipo de mascarilla puede proteger a la persona que la utiliza, pero no a la otra persona.
- Le proveeré una mascarilla quirúrgica al participante de necesitarla.

7. Otro equipo de protección personal (EPP)

- Además de las mascarillas, el investigador principal y la coinvestigadora utilizarán una careta "Face Shield", guantes desechables y bata de laboratorio.

8. Lavado de manos y productos de higiene personal

- Observaré la medida del lavado de manos con agua y jabón por un mínimo de 20 segundos.
- Usted también tendrá acceso a las facilidades al lado del Laboratorio para el lavado de manos con agua y jabón.
- Además, tendré disponible un desinfectante de manos que contiene al menos 60% de alcohol.

9. Desinfección de los materiales, equipo o superficies

- El equipo que se utilizará en esta investigación y que debe estar limpio y desinfectado es: carro metabólico, trotadora, mascarillas, monitores de frecuencia cardíaca, plicómetro, segmómetro y cinta antropométrica. El equipo a utilizar se desinfectará con agua, jabón, alcohol 70% y/o desinfectante. El investigador principal se asegurará de que todo el equipo esté limpio y desinfectado antes de comenzar las pruebas y se volverán a limpiar y desinfectar una vez que cada participante termine con la evaluación.

10. Otras medidas

- N/A

11. Luego de la investigación y rastreo de contactos:

El [rastreo de contactos](#) es clave para que una sociedad controle la propagación del COVID-19. Es nuestra responsabilidad ciudadana comunicar nuestros contactos en caso de exposición al COVID-19.

- Si usted ha tenido contacto cercano con una persona infectada por COVID-19 o presenta síntomas asociados al COVID-19 en los subsiguientes 14 días luego de participar en esta investigación, es necesario comunicarnos. Además, ofrezca mi información de contacto si representantes del Departamento de Salud o de los sistemas de rastreo municipales se comunican con usted.
- Igualmente, de ser esa mi situación, comunicaré las personas con las que tuve contacto, incluyéndolo a usted, a representantes del Departamento de Salud o de los sistemas de rastreo municipales así como al Comité COVID-19 del Recinto de Río Piedras.
- La información de las personas para el rastreo de contactos es **confidencial**.

12. Preguntas o dudas:

- Por favor, aclare sus dudas antes de aceptar participar en esta investigación.

13. Información de contacto del investigador:

- Diego Rosario Díaz
- 787-422-2363
- diego.rosario1@upr.edu

14. Información adicional:

- Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) :
<https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/index.html>
- Departamento de Salud de Puerto Rico:
<http://www.salud.gov.pr/Pages/coronavirus.aspx>
- Universidad de Puerto Rico: <https://www.upr.edu/covid19/>
- Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras:
<http://www.uprrp.edu/coronavirus/>

RESUMEN BIOGRÁFICO DEL AUTOR

Diego Rosario Díaz

Hijo de Diego Luis Rosario Candelaria y Sandra Liz Díaz Plaza, Diego O.

Rosario Díaz nació un 24 de Julio del 1992 en el pueblo de Manatí, PR. A los 14 años Diego decide intentar practicar el deporte de atletismo y entra al Club de Atletismo Loraf de Barceloneta, PR. Sin saber que ese deporte cambiaria su vida.

En el 2010, Rosario Díaz se gradúa de la Escuela Superior Juan Ponce de León obteniendo su diploma de 4to año y estudios en Mercadeo. Este logra una beca deportiva para estudiar en la Universidad de Puerto Rico recinto de Río Piedras. Luego de eso logra ser parte de 3 equipos nacionales en donde representó a Puerto Rico a nivel NACAC y Panamericano corriendo Campo Traviesas, obteniendo 2 medallas de bronce.

En el 2016 obtiene su diploma de bachillerato en Biología Integrativa. En el 2017 decide comenzar estudios graduados en Ciencias del Ejercicio con Especialidad en Fisiología del Ejercicio en la Universidad de Puerto Rico recinto de Río Piedras. Este obtiene su licencia como entrenador de atletismo especializado por el Departamento de Recreación y Deportes. En el 2019, crea su negocio llamado RENLUD, dirigido al acondicionamiento físico de cualquier deportista y a mejorar la calidad de vida de la población general. En el 2021, surgió la oportunidad y Rosario Díaz se convierte en el entrenador del Club de Atletismo Loraf de Barceloneta donde todo comenzó para él. En mayo del 2021, obtuvo su grado de Maestría en Ciencias del Ejercicio con Especialidad en Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Puerto Rico, recinto de Río Piedras, presentando su investigación: Economía de Carrera y su Relación con Medidas Antropométricas en Corredores de Larga Distancia. Contacto: diego.rosario1@upr.edu.