



ESCUELAS UNIVERSITARIAS  
**GIMBERNAT-CANTABRIA**

---

*TRABAJO DE FIN DE GRADO*

GRADO EN FISIOTERAPIA

**ESTUDIO TRANSVERSAL OBSERVACIONAL SOBRE LA  
RELACION ENTRE LA FORMA DEL TORSO HUMANO DEL  
ATLETA Y EL GASTO METABOLICO DE LA RESPIRACIÓN**

---

**CROSS-SECTIONAL OBSERVATIONAL STUDY OF THE  
RELATIONSHIP BETWEEN THE SHAPE OF THE HUMAN  
TORSO AND THE BREATHING METABOLIC COST IN  
ATHLETES.**

AUTOR  
MARIO LAMELA CALVO

DIRECTOR  
JOSE MARIA GONZALEZ RUIZ

Torrelavega  
Junio de 2022

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Por medio de la presente, yo Mario Lamela Calvo alumno/a del Grado en Fisioterapia de las Escuelas Universitarias Gimbernat-Cantabria, en relación con el Trabajo Fin de Grado (TFG) titulado Estudio Transversal Observacional sobre la Relación entre la forma del torso humano del atleta y el gasto metabólico de la respiración, declaro que es de mi autoría y original.

Asimismo, declaro que depositando este TFG y firmando el presente documento confirmo que:

- Este TFG es original y he citado las fuentes de información debidamente.
- La autoría del TFG es compartida alumno/a y director/a.
- Soy plenamente consciente de que no respetar estos extremos es objeto de sanción por el órgano civil competente, y asumo mi responsabilidad ante reclamaciones relacionadas con la violación de derechos de propiedad intelectual.

En Torrelavega, a 3 de junio de 2022

A handwritten signature in black ink, consisting of a circular loop followed by several horizontal strokes, all contained within a larger, looser circular outline.

FDO.- Mario Lamela Calvo

# **INDICE**

Resumen/Abstract.....	4
Introducción.....	7
Justificación científica.....	10
Hipótesis.....	10
Objetivos.....	11
Material y métodos.....	11
Plan de análisis de los resultados.....	18
Fortalezas y debilidades del estudio.....	18
Plan de trabajo.....	19
Aplicabilidad y utilidad práctica de los resultados.....	20
Discusión y conclusión.....	21
Anexos.....	23
Bibliografía.....	26

# **RESUMEN**

**INTRODUCCION:** Los atletas de velocidad y fondo presentan configuraciones torácicas diferentes. Si bien planteamos esta diferencia como el resultado del proceso evolutivo de nuestra especie, nos gustaría entender cuáles son las razones de dicha especialización en la forma del torso. Es decir, es posible que la forma del torso de un atleta le predisponga a rendir más en unas u otras actividades. Este estudio trata de confirmar dicha relación entre la forma del torso y el metabolismo respiratorio.

**OBJETIVOS:** a nivel morfométrico analizar los diferentes tipos de tórax, mientras que, a nivel metabólico, comprobar la validez y fiabilidad del Test Rockport para estimar el VO<sub>2</sub>máx. Adicionalmente, relacionar la hipoxia con la fatiga y la saturación junto con los diferentes patrones morfométricos y buscar si existe una relación entre forma y función.

**MATERIAL Y METODOS:** estudio transversal observacional en una población de 34 atletas, utilizando análisis morfométrico en tres dimensiones y Test de Rockport para la toma de medición metabólica. Hipoxia realizada mediante dispositivo bucal Aerofit. Se realizarán dos tomas de datos fisiológicos, una en condición normal y otra en hipoxia relacionando lo obtenido con la morfometría.

**PLAN DE ANALISIS DE LOS RESULTADOS:** Se realizará estadística descriptiva de la muestra respecto a las variables antropométricas y fisiológicas. Para medir la relación entre forma y función se realizarán análisis de regresión múltiple multivariable entre las coordenadas de forma 3D del torso y la variable metabólica VO<sub>2</sub>máx. estimada indirectamente.

**FORTALEZAS Y DEBILIDADES:** es un estudio con un enfoque nuevo de diferentes variables de forma y función, con potencial en la investigación tanto deportiva como en sanidad. Por otro lado, los medios planteados no permiten una estimación directa de la variable de estudio  $VO_{2max}$ , siendo ésta la mayor debilidad del estudio

**DISCUSION Y CONCLUSION:** si los resultados obtenidos confirman la hipótesis, el estudio presentará las bases para futuras investigaciones y creación de protocolos de rehabilitación respiratoria. Además, la hipótesis podría ser relacionada con otras investigaciones similares en campos como el deporte, la sanidad o la evolución humana.

**PALABRAS CLAVE:**  $VO_{2max}$ , Tronco, test de Rockport, Morfometría geométrica

## **ABSTRACT**

**INTRODUCTION:** Sprint and long-distance athletes have different thoracic morphological configurations. Although we consider this difference to be the result of the evolutionary process of our species, we would like to understand the reasons for this specialization in the shape of the torso. Thus, it is possible that the shape of an athlete's torso predisposes him or her to a better performance in one activity or another. This study aims to confirm this relationship between the shape of the torso and the respiratory metabolism.

**OBJECTIVES:** at a morphometric level, to analyze the different types of thorax, while at a the metabolic level, to check the validity and reliability of the Rockport Test to estimate  $VO_{2max}$ . To relate hypoxia with fatigue and saturation together with the different morphometric patterns and to look for a relationship between shape and function.

**MATERIALS AND METHODS:** Observational cross-sectional study in a population of 34 athletes, using morphometric analysis in three dimensions and the Rockport Test to take metabolic measurements. Hypoxia carried out using the Aerofit oral device. Two physiological data collection, one under normal conditions and the other under hypoxia, relating the results to the morphometry.

**ANALYSIS PLAN OF THE RESULTS:** Descriptive statistics will be carried out on the sample with respect to the anthropometric and physiological variables. To measure the relationship between shape and function, multivariate multiple regression analysis will be carried out between the 3D shape coordinates of the torso and the metabolic variable VO<sub>2</sub>max, estimated indirectly.

**STRENGTHS AND WEAKNESSES:** it is a study with a new approach to different variables of shape and function, with potential in both sports and health research. On the other hand, the methods proposed do not allow a direct estimation of the study variable VO<sub>2</sub>max, being this the major weakness of the study.

**DISCUSSION AND CONCLUSION:** if the results obtained confirm the hypothesis, the study will provide the basis for future research and the creation of respiratory rehabilitation protocols. Furthermore, the hypothesis could be related to other similar research in fields such as sport, health or human evolution.

**KEY WORDS:** VO<sub>2</sub>max, Trunk, Rockport test, Geometric morphometrics

# **INTRODUCCION**

El torso está formado por los mismos elementos en todos los seres humanos (1), presentando el mismo funcionamiento para el mantenimiento de las funciones vitales. Sin embargo, el funcionamiento del torso a nivel metabólico no es el mismo debido a cambios evolutivos de su anatomía. Esta diferencia podría tener su origen en diversos factores. Por ejemplo, que no todos los seres humanos van a mostrar la misma destreza en acciones primarias como lanzamientos, empleo de la fuerza, la marcha o la carrera (2). Esta última, junto con parámetros respiratorios, es en la que se centra el estudio.

Los antepasados del ser humano actual, especialmente el *Homo Erectus* (3), parecen presentar configuraciones morfológicas más robustas y adaptadas a desarrollar un mayor rendimiento físico (4). Sin embargo, la evolución del ser humano ha presentado grandes cambios. Aplicando la idea de que el sujeto que mejor se adapta es el que aumenta sus posibilidades de supervivencia y reproducción, los cambios evolutivos que caracterizan al ser humano hoy en día deberían presentar mejores valores en el rendimiento físico que nuestros antepasados.

Si bien nuestros antepasados presentaban una morfología del torso menos erguida y cercana, filogenéticamente hablando, a la cuadrupedia, la evolución nos ha llevado a la bipedestación, con un tronco cada vez más vertical. Este cambio, la bipedestación, fomenta la posición de las cinturas escapulares mucho más posterior que lateral, dejando así, espacio para la expansión de la caja torácica por la parte anterior.

Si se retrocede a la anatomía de nuestros ancestros, con un ojo puesto en estructuras del tronco o aquellas que modifiquen su rendimiento a la hora de la carrera a nivel metabólico se pueden apreciar varias diferencias con la configuración actual.

De craneal a caudal encontramos diferencias que podrían afectar al rendimiento a nivel respiratorio ya desde las fosas nasales. Debido a similitud con chimpancés y nuestros antepasados, la comparación en tres dimensiones de sus fosas nasales en forma y función es lo más parecido para estudiar su comportamiento. En esta comparación se ve un cambio a nivel de la organización facial pasiva debido al crecimiento del cerebro y la posición anatómica de ambos. A nivel de forma en el ser humano se vuelve prominente y con orientación inferior respecto al chimpancé, donde es aplanada y coronal (1). Esta configuración derivada proporciona una mejora de la entrada de aire para cubrir nuestras necesidades. La cavidad interna es complicada de interpretar funcionalmente, pero se apreciaron varias diferencias, a mayor tamaño mayor flujo y temperatura. Así mismo, valores como velocidad media y máxima y la presión también fueron mayores en seres humanos (1).

Es aquí donde comienza a entrar la relación entre funcionalidad y forma. A la hora de realizar la carrera a pie, se asocian morfotipos diferentes en humanos actuales a diferentes características o rendimientos de la carrera.

Parece que los atletas de maratón no presentan la misma configuración estructural del torso que los atletas de velocidad o de mayor potencia. De esta forma, se desarrolla una clasificación estructural según la actividad que se realice. Y esto constituye una analogía con el estudio comparado de la anatomía de los antecesores del ser humano o los chimpancés con el ser humano actual.



Continuando hacia caudal, e interpretando un estudio en relación con el esqueleto axial del *homo antecesor*, éste no contradice los análisis fisiológicos anteriores. Anatómicamente destaca por la presencia de unas medidas mayores en las clavículas que antecesores a este. Desafortunadamente no es posible la comparación de los restos del *homo antecesor* con el ser humano (2). Esta diferencia anticipa cambios debido a la bipedestación y reorganización de la cintura escapular como dijimos anteriormente.

Los cambios más interesantes los encontramos en el tronco gracias a un estudio de la evolución de las vértebras en el ser humano y sus consecuencias (7). Para interpretar mejor los cambios se diferencian dos posiciones principales en relación con nuestros antepasados y el ser humano. La posición pronógrado y ortógrado, es decir, de la cuadrupedia a la bipedestación.

Ese cambio a bipedestación supuso una reorganización muscular de tronco y vertebras. A nivel vertebral se aprecia que antecesores poseían una vértebra más con su consiguiente par costillar, el cual se suprime. Provocando mayor movilidad lumbar y una caja torácica más corta. Sin embargo, esta caja necesita alargarse debido a que las escapulas se colocan en posterior elongando así la musculatura y facilitando una posición erecta (7,8). Por tanto, hemos pasado de un tronco más ancho en el eje anteroposterior y largo en un eje cráneo-caudal a un tronco más corto cráneocaudalmente y aplanado anteroposteriormente.

Por eso, el interés del estudio de la relación entre la forma y la función. Si dos atletas de diferente torso presentan el mismo rendimiento, esto debería tener una explicación de múltiples factores: biomecánicos, entrenamiento, genética, estructura muscular, metabolismo... Este estudio se centrará en comprender la relación que existe entre la función

metabólica de la respiración y la forma del torso humano, y si esta tiene una clara relación con el consumo de oxígeno. De ahí que, si varios sujetos son sometidos a una prueba de carrera con un hándicap de déficit de oxígeno, es posible que exista una relación de rendimiento en función de su morfología. Podemos esperar diferencias en el rendimiento medido a través del consumo de oxígeno derivadas de la morfología del torso humano moderno, e inferir a partir de estos resultados interpretaciones de tipo evolutivo en nuestra especie. Es decir, es posible que determinados sujetos, sólo por la forma de su torso, sean capaces de mostrar una mayor tolerancia o adaptabilidad al esfuerzo en relación con el consumo de oxígeno debido a la evolución, y que esto tenga importancia en el desempeño deportivo de los atletas, y por tanto relevancia a nivel clínico.

Por tanto, en caso de encontrar resultados interesantes en este estudio podrían aparecer diferentes planteamientos dentro del ámbito deportivo y clínico junto con el entrenamiento de fuerza en el campo de la fisioterapia.

## **JUSTIFICACION CIENTIFICA**

En caso de verificar la hipótesis se podría plantear una aplicación directa a la profesión de la fisioterapia mediante tratamiento de patología o rendimiento respiratorio mediante la modificación estructural del torso con ejercicio de fuerza enfocado a dicha estructura.

## **HIPOTESIS**

Los torsos más aplanados en sentido antero-posterior permiten una mayor eficiencia ventilatoria en comparación con aquellos que son más cifóticos y estrechos en el plano

frontal. Esa eficiencia se verá representada por una mayor capacidad para alcanzar el volumen máximo de oxígeno durante la carrera a pie.

## **OBJETIVOS**

A nivel morfológico; caracterizar la forma del torso predominante entre los sujetos estudiados.

A nivel de monitorización del rendimiento deportivo; estudiar la calidad y facilidad de uso del Test Rockport (9–13), su reproductibilidad y validez como test de estimación del  $VO_{2max}$ .

A nivel metabólico; calcular indirectamente el  $VO_{2max}$ , correlacionar el aumento de hipoxia con la resistencia pulmonar y la fatiga mediante la Escala de Borg modificada (14–16). Los niveles de saturación se relacionarán con la hipoxia generada.

Por último, estudiar la relación entre fatiga y la saturación con los diferentes tipos de tronco que se hayan valorado.

## **MATERIAL Y METODOS**

### **- Diseño**

Se realizará un estudio transversal observacional sobre la morfología de la caja torácica en una población de atletas o corredores.  $VO_{2max}$ , pulso cardiaco final, tiempo empleado en la prueba e hipoxia se usarán como variables principales a relacionar con la forma del torso. Se utilizará la escala de Borg para medir el rango de esfuerzo percibido y garantizar la seguridad durante la prueba.

- **Población de referencia**

Los sujetos de interés para el estudio deberán presentar los siguientes criterios de inclusión: atletas adultos de 20 a 30 años. Tanto hombres como mujeres. Se admiten atletas de cualquier modalidad de carrera en atletismo, velocidad y fondo.

- Quedarían excluidos sujetos con patología cardiorrespiratoria y ósea, aquellos cuya modalidad del atletismo sean los concursos y que practiquen al menos 15h/semana de entrenamiento.

- **Tamaño muestral y potencia del estudio**

Con una potencia de estudio de 0.8 la muestra total de este protocolo de ensayo sobre una población total de 15.373, hombres y mujeres, de 20 a 30 años, y un nivel de confianza del 95% sería de 34 participantes, con una precisión de 3.

- Por otro lado, se tiene en cuenta que, con la misma potencia se podría tomar otra muestra de 299 participantes, con una precisión de 1. Sin embargo, nos permitiría una mayor toma de datos y una mejor y más significativa relación de variables que podrían representar una más clara confirmación de la hipótesis. Cualquier número de participantes entre los 34 y los 299 sería igualmente aceptable.

El cálculo muestral se ha realizado mediante el programa estadístico EPIDAT(17).

- **Seguimiento**

El estudio no consta de seguimiento, ya que se trata de un estudio observacional descriptivo que carece de direccionalidad. Su finalidad es verificar o refutar la hipótesis planteada en una

muestra poblacional en un momento determinado. Se realizará sin intervención por parte del investigador, y este se limitará a medir las variables definidas en el estudio.

## - Variables

Se estimarán las siguientes variables.

### 1. Fisiológicas.

- $VO_2\text{max}$ : cantidad máxima de oxígeno ( $O_2$ ) que el organismo puede absorber, transportar y consumir en un tiempo determinado. Se expresa en mililitros de oxígeno por kilogramo corporal y minuto (ml/kg/min). Es la manera más eficaz de medir la capacidad aeróbica de un individuo. Es marcador del rendimiento (18).
- Saturación de oxígeno en sangre ( $SPO_2\text{max}$ ): indicador objetivo del oxígeno transportado por los glóbulos rojos. Se expresa en porcentaje. Esta se ve alterado en condiciones de hipoxia (19).
- Pulsaciones por minuto ( $ppm/HR$ ): valor que indica el número de pulsaciones por minuto. Varía durante la actividad física siendo un indicador de la intensidad y del rendimiento (20).

### 2. Antropométricas.

- Estatura en centímetros.
- Peso en kilogramos.
- IMC (*Índice de Masa Corporal*): razón matemática que asocia la masa y la talla de un individuo, ideada por el estadístico belga Adolphe Quetelet, por lo que también se conoce como índice de Quetelet (21).

### 3. Carga.

- Escala de Borg: escala subjetiva validada (14) para la percepción del esfuerzo percibido (15,16) por el participante. Se utilizará también como marcador de seguridad durante la fase de hipoxia. Se considerará un valor Borg cercano al límite, junto el resto de constantes vitales, la razón para suspender la prueba en aquellos sujetos que puedan poner en riesgo su salud.

### 4. Morfométricas.

Forma 3D del torso esquelético obtenida mediante un escaneado de superficie con escáner óptico ARTEC siguiendo el procedimiento de González-Ruiz et al. en el estudio de la escoliosis idiopática en adolescentes mediante morfometría 3D (22).

### - **Medidas**

Para el registro de variables se utilizará un pulsómetro, un cronometro, un pulsioxímetro y escala de Borg en forma de EVA. Para facilitar la reproductibilidad y generalización del estudio del VO<sub>2</sub>max el test de Rockport será el escogido por su fácil realización y demostrada evidencia en diferentes campos de estudio (9–13,23). Se realizará en terreno llano, pista de atletismo. La longitud de la pista estándar de atletismo será de 400m. La pista tendrá dos rectas paralelas y dos curvas de igual radio. Las calles serán todas de igual anchura, 1.22m (+/- 1mm). Los sujetos realizaran la prueba por la calle interior de la pista, iniciando la carrera 9.34m por detrás de la línea de llegada y completando 4 vueltas para completar la milla. No podrán correr ni trotar, sólo caminar a la máxima velocidad posible

Es un protocolo de obtención del VO<sub>2</sub>max teórico y, dada su simplicidad, se puede hacer al aire libre o en pista. Es posible su aplicación en tapiz rodante. Se debe completar una milla (1,60934km) lo más rápido posible.

Para la simulación de la hipoxia se empleará un dispositivo bucal (Aerofit) (24,25) con restricción de entrada de aire. El grado de hipoxia será el mínimo, (-8 cm<sup>2</sup> de H<sub>2</sub>O) (24). Será preciso el cierre de la cavidad nasal.

En cuanto al estudio de la forma del tronco se empleará un escáner 3D, como se indicó en el apartado anterior. Los sujetos estarán de pie en una plataforma giratoria mientras un ayudante hace girar dicha plataforma, al mismo tiempo que uno de los investigadores realiza la topografía de superficie del torso. La población seleccionada no presentará grupo control dado que se quiere buscar un patrón entre morfología y consumo de VO<sub>2</sub>max de toda la población.

- La ejecución de la prueba será en las mismas condiciones para todos los sujetos. Mismo momento del día, pista o tapiz rodante y altitud de la localización donde se realice. La altitud es un gran factor a tener en cuenta a la hora de recoger los valores. Una toma de valores a diferente altitud implicaría diferentes cantidades de oxígeno disponible para el sujeto, no pudiendo relacionar así todas las variables y sujetos (26,27). Dado que el estudio se plantea para su fácil reproductibilidad y aplicación, la altitud no será nunca significativa salvo en deportes de alto rendimiento. Dado que el territorio español tiene una media de 600m de altitud, no se encuentra evidencia científica relevante que muestre cambios respiratorios a tan baja altitud, de

consideración en este estudio, ya que los principales cambios de oxígeno están pasando los 2100m (28).

- **Recogida de información**

MORFOMETRIA GEOMÉTRICA 3D

Se utilizarán los puntos de referencia o landmarks descritos en el estudio observacional de morfometría geométrica en escoliosis idiopática para adolescentes (22) para medir la forma del torso, que habrá sido editado después de su escaneado.

Junto con el escáner se tomarán medidas antropométricas:

1. Talla
2. Peso
3. IMC

Estos datos serán necesarios para la interpretación morfométrica, además de para el cálculo posterior del consumo de oxígeno.

TEST ROCKPORT (9–13,23,29,30) – recorrer una milla, sin correr, lo más rápido posible.

Terreno llano, sin obstáculos.

- Toma de variables:
  - Pulso: inicial y final.
  - Tiempo empleado.
  - Escala Borg final.
  - Grado de hipoxia



La prueba se realizará dos veces. La primera de ellas en condiciones normales para tomar valores de referencia. Posteriormente y con el sujeto recuperado se llevará a cabo la segunda prueba en condiciones de hipoxia.

- Cálculo de resultados: para obtener el  $VO_2\text{max}$ , el test aplica los valores obtenidos en una fórmula que clasifica el resultado en unos parámetros que interpretan el nivel de consumo de oxígeno (29,30).

$$VO_2\text{máx} = 132,6 - (0,17 \times PC) - (0,39 \times \text{Edad}) + (6,31 \times S) - (3,27 \times T) - (0,156 \times FC)$$

Donde PC: Peso corporal

S: Sexo (0: mujeres, 1: hombres)

- T: Tiempo en minutos; FC: Frecuencia cardiaca final. Posteriormente, con todos los valores tomados se procede a relacionar las variables antropométricas y de metabolismo respiratorio con la forma 3D del torso. Se analizará la covariación de la forma 3D respecto a la variación de  $VO_2$  estimado provocada por la hipoxia para testar la hipótesis principal del estudio. La ecuación nos dará el valor de  $VO_2\text{max}$  en ml/kg/min.

- **Aspectos éticos del estudio**

El estudio cumplirá con todos los requisitos de carácter ético para la investigación en seres humanos de la Declaración de Helsinki (31) y se presentará para su aprobación ante el comité ético correspondiente.

## **PLAN DE ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

Se realizará estadística descriptiva de la muestra para todas las variables antropométricas y fisiológicas del estudio, utilizando media ( $\pm$  desviación estándar) o mediana y percentiles, dependiendo de la distribución de los datos.

A continuación, realizaremos en MorphoJ (32) un análisis de regresión múltiple multivariable de las coordenadas de forma 3D y la variable estimada de VO<sub>2</sub>máx. Se considerará un p-valor  $< 0.05$  como correlación significativa entre forma y función y se tomará el coeficiente de determinación (coeficiente de correlación o r, elevado al cuadrado) como intensidad de la relación entre ambas variables principales del estudio.

Para visualizar los cambios en la forma en relación con el VO<sub>2</sub>máx. se hará en EVAN (<https://www.evan-society.org/>) la deformación de los torsos siguiendo el procedimiento de Bastir M, García-Martínez D, Torres-Tamayo N, Palancar CA, Fernández-Pérez FJ, Riesco-López A, et al. Workflows in a virtual morphology lab: 3D scanning, measuring, and printing. Journal of Anthropological Sciences. 2019;97:107–34. (33). Sólo en caso de que la correlación sea significativa tendrá interés la visualización de la relación entre forma y función.

## **FORTALEZAS Y DEBILIDADES**

- Fortalezas: el protocolo del que este trabajo trata presenta una relación de conceptos totalmente nueva. Su planteamiento desde la base evolutiva hasta el rendimiento o patología bajo el marco de funcionamiento pulmonar no se contemplaba hasta ahora. Otro potencial del estudio se encuentra en el nuevo abanico de hipótesis, estudios o ámbitos que podrían generarse en caso de una confirmar la hipótesis, llevándose

desde el deporte hasta en campo hospitalario en el marco respiratorio, Estos aspectos son ampliados en el apartado de aplicabilidad y utilidad práctica del estudio.

Por otro lado, la reproductibilidad del protocolo es muy sencilla, se ha empleado un test sencillo y una dinámica que ayude a la ejecución de la toma de VO<sub>2</sub>max de forma fácil en cualquier campo que se requiera.

- Debilidades: a pesar de la fácil reproductibilidad del test, el método empleado presenta un hándicap. El test empleado toma el valor de forma teórica por lo que no es cien por cien objetivo. Reproducir una prueba de VO<sub>2</sub>max sería muy complicado de realizar porque se precisa de una aparatología muy específica y costosa en términos económicos, aunque los resultados serian de mucha mayor precisión. La variable morfométrica en parte también un hándicap ya que los medios empleados no son de fácil acceso en todos los ámbitos al que este estudio podría aspirar.

## **PLAN DE TRABAJO**

La investigación se llevará a cabo durante el tiempo que llevase recoger e interpretar la información para obtener los resultados mediante el siguiente cronograma:

- Octubre 2021: búsqueda bibliográfica para tratar la mejor evidencia al metabolismo y forma del torso y elaborar preguntas de investigación.
- Noviembre-diciembre 2021: desarrollo de un plan de investigación,
- Diciembre: 2021: redacción de introducción e hipótesis tras la lectura crítica de la bibliografía encontrada.
- Enero-marzo 2022: desarrollo y diseño de la metodología y plan de análisis de los resultados de la investigación.

- Abril-junio: redacción completa y definitiva del trabajo de fin de grado.

Estas fases son anteriores a la realización de la investigación que, posteriormente podría plantearse con las siguientes fases:

- Julio 2021: búsqueda de atletas en clubs y equipos para la explicación del estudio y su disponibilidad.
- Agosto 2021: recogida de datos.
- Septiembre 2021: relación y análisis de los resultados obtenidos.
- Octubre 2021: redacción final del artículo.

## **APLICABILIDAD Y UTILIDAD PRACTICA**

En caso de verificarse la hipótesis, además de ampliar el conocimiento sobre el funcionamiento y evolución humana, esto sentaría las bases para otras hipótesis y ámbitos. La principal vertiente que puede tomar este estudio se enfoca a la mejora a la hora de abordar la rehabilitación en pacientes con problemas a nivel respiratorio.

A nivel de fisioterapia se podría trasladar al estudio de nuevos protocolos de rehabilitación en pacientes con secuelas covid-19, en las cuales se podría plantear trabajo de fuerza a nivel de tronco. Hoy en día, dentro de la fisioterapia, este planteamiento es poco frecuente en este tipo de pacientes, aunque esa tendencia está cambiando (34). De ser confirmada la hipótesis se plantearía modificar la forma del torso de estos pacientes para aumentar sus niveles de  $VO_2max$ , entre otros beneficios. Esto podría complementar la intervención de fisioterapia convencional y las técnicas invasivas que, en los casos más graves, se emplean en pacientes ingresados (35), además de unirse a nuevas tendencias que enfocan el tratamiento entorno a

estilos de vida y hábitos del paciente (36). Del mismo modo sería interesante plantearlo a nivel deportivo en deportistas con secuelas covid-19 atendiendo siempre a las necesidades específicas de cada deporte, así como en cualquier afección respiratoria, siendo cual sea el origen y con potencial para beneficiarse de estas teorías.

## **DISCUSION**

Debido a la imposibilidad de ejecutar el protocolo del estudio en una población real se describirán los posibles resultados esperados respecto a la hipótesis y en relación con la bibliografía actual.

La idea del estudio es confirmar si existe una relación de carácter evolutivo entre la forma de torso de los atletas y su capacidad pulmonar, utilizando el  $VO_2max$  como marcador de rendimiento. Teniendo en cuenta que presentaremos dos tipos de torso, uno plano anteroposteriormente y alargado y otro ancho y más corto. El primero para atletas de fondo y el segundo para los especialistas en velocidad o con mayor potencia. A priori, y por lo que planteaba esta hipótesis, es una relación obvia que se aprecia en los atletas según la modalidad en la que destaquen, y el protocolo del estudio trataría de confirmarlo.

Los resultados esperados verificarían la hipótesis, es decir, se encontrarían dos grupos de atletas con torso diferente entre ellos y un rendimiento del  $VO_2max$  más alto en uno que otro, permitiendo clasificar a los atletas de cada grupo en fondista o velocista según se plantea en la hipótesis. Por tanto, el grupo de torso ancho tendría un pico mayor de  $VO_2max$ , pero en la fase de hipoxia no lo mantendría con la misma calidad que el otro grupo. Sin embargo, el otro grupo con torso plano y mayor capacidad de fondo podrían presentar un  $VO_2max$  menor, pero presentarían la capacidad de mantenerlo más aun con restricción de entrada de aire.

Aun con la hipótesis verificada en el estudio se tendría en cuenta el hecho de que la relación debería ser realmente significativa como para plantear la diferencia como un hecho importante a nivel evolutivo y diferenciador en atletas y en la población general.

La posibilidad de comparar los resultados de este estudio con la evidencia actual es muy limitada por no decir imposible. Toda la bibliografía con cierta relación no trata en ningún caso la comparación del torso con valores metabólicos de rendimiento. O bien hay estudios del tronco con temas totalmente indiferente al estudio o relaciona valores diferentes sobre la carrera, como coste energético y aceleración de tronco (37).

Sin embargo, en la búsqueda bibliográfica para comparar este protocolo si ha dado la posibilidad de plantear nuevos caminos a este trabajo. Resaltando así el potencial que presenta este estudio. De existir una relación significativa entre las variables principales, esta relación podría extrapolarse a otros ámbitos o test para la estimación de  $VO_{2max}$ . Sería interesante la relación de este estudio junto con otros que evalúan la capacidad pulmonar junto patologías cardiacas (38). Esto podría suponer un crecimiento de la información sobre desarrollo y evolución de esas patologías asociadas, así como la mejora de la evaluación tanto medica como de abordaje fisioterapéutico bajo un enfoque de evolución y tratamiento según la morfometría del torso de los pacientes.

Desde el punto de vista de la evolución humana, sería un buen estudio para combinar con la última evidencia desarrollada sobre el comportamiento muscular del torso de nuestros antepasados bajo el análisis en tres dimensiones (39) pudiendo así reforzar las hipótesis de ambos estudios.

Además, en el caso de confirmar la hipótesis, realizar futuras investigaciones con el mismo concepto de base de este estudio y enfocado a distintos test o patologías, ampliaría y mejoraría el campo de intervención de los profesionales sanitarios.

## **ANEXOS**

### **HOJA DE RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN**

#### **DATOS PERSONALES**

- Nombre:
- Apellidos:
- Edad:
- Domicilio:
- Teléfono de contacto:
- Email:

#### **Nº DE IDENTIFICACIÓN DEL PARTICIPANTE:**

#### **MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS**

- Estatura:
- IMC:
- Peso (kg):

#### **MEDIDAS FISIOLÓGICAS:**

- $VO_{2max}$  1:
- $VO_{2max}$  2 (hipoxia):
- $SpO_{2max}$  1:
- $SpO_{2max}$  2 (hipoxia):
- Pulso 1:
- Pulso 2:

#### **MEDIDAS DE CARGA:**

- Borg 1:
- Borg 2:

CLASIFICACIÓN MORFOMETRÍA 3D:  Grupo A  Grupo B

OBSERVACIONES:

---

### **HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE**

**TÍTULO DEL ESTUDIO:** “ESTUDIO TRANSVERSAL OBSERVACIONAL SOBRE LA RELACION ENTRE LA FORMA DEL TORSO HUMANO DEL ATLETA Y EL GASTO METABOLICO DE LA RESPIRACIÓN”

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:** Mario Lamela Calvo

#### **INTRODUCCIÓN**

Nos dirigimos a usted para informarle sobre un estudio de investigación en el que se le invita a participar.

Nuestra intención es proporcionarle información adecuada y suficiente para que pueda evaluar y juzgar si quiere o no participar en el estudio. Para ello, lea con atención esta hoja informativa y luego podrá preguntar cualquier duda que le surja relativa al estudio. Además, puede consultar con cualquier persona que considere oportuno.

#### **PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA**

Debe saber que su participación en este estudio es voluntaria y puede decidir no participar. En caso de que decida participar en el estudio puede cambiar su decisión y retirar su consentimiento en cualquier momento, sin repercusión ninguna.

#### **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO**

Este estudio pretende demostrar mediante un test de carrera aeróbico y un escaneado 3d del torso la relación entre el torso y el rendimiento que este pueda generar desde un punto de vista evolutivo, con el fin de establecer las bases de futuras investigaciones y/o protocolos para la sanidad en áreas como la rehabilitación y el rendimiento deportivo.

#### **BENEFICIOS Y RIESGOS DERIVADOS DE SU PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO**

##### **Beneficios de la participación en el estudio**

Se espera mejorar el conocimiento científico relativo a la evolución humana y el comportamiento metabólico del torso humano, permitiendo que otros pacientes y los mismos participantes se beneficien en función de la información obtenida y los resultados que esta proporcione. Es posible que usted no reciba ningún beneficio directo en su salud por su participación en este estudio.

Es posible que el beneficio se vea repercutido en mayor medida a la población general por el sistema sanitario o en el propio participante por una mayor infamación del funcionamiento y capacidades de su cuerpo.



### **Riesgos de la participación en el estudio**

Tanto la prueba aeróbica como el escaneado no suponen ningún riesgo para la salud del participante. El único riesgo será el que el propio participante quiera asumir por sí mismo en la prueba aeróbica reservando el derecho a detener la prueba a cualquiera de los investigadores si estos consideraran que existe un peligro para la salud.

### **CONFIDENCIALIDAD**

El procesamiento de los datos personales se realizará según el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos, y su regulación en España a través de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre de protección de datos personales y garantía de los derechos digitales.

Los datos recogidos para el estudio estarán identificados mediante un código de forma que no sea posible la identificación del paciente. Sólo el investigador y personas autorizadas relacionadas con el estudio tendrán acceso a dicho código y se comprometen a usar esta información exclusivamente para los fines planteados en el estudio. Los miembros del Comité Ético de Investigación Clínica o Autoridades Sanitarias pueden tener acceso a esta información en cumplimiento de requisitos legales. Se preservará la confidencialidad de estos datos y no podrán ser relacionados con usted, incluso aunque los resultados del estudio sean publicados.

### **DATOS DE CONTACTO**

Si tiene dudas en cualquier momento puede contactar con el investigador principal del estudio:

- MARIO LAMELA CALVO

- Tfno: 620039035

- E-mail: [mariolamela98@gmail.com](mailto:mariolamela98@gmail.com)

---

### **CONSENTIMIENTO INFORMADO**

**Título del estudio:** “ESTUDIO TRANSVERSAL OBSERVACIONAL SOBRE LA RELACION ENTRE LA FORMA DEL TORSO HUMANO DEL ATLETA Y EL GASTO METABOLICO DE LA RESPIRACIÓN”

**Investigador principal:** Mario Lamela Calvo

D. /Dña. \_\_\_\_\_

He leído y comprendido la hoja de información que se me ha entregado sobre el estudio.

He recibido suficiente información sobre el estudio.

He realizado todas las preguntas que he precisado sobre el estudio.

He hablado con D. /Dña. Mario Lamela Calvo con quien he clarificado las posibles dudas.

Comprendo que la participación es voluntaria.

Comprendo que puedo abandonar el estudio:

- Cuando quiera

- Sin dar explicaciones
- Sin que repercusiones

Comprendo que la información personal que apporto será confidencial y no se mostrará a nadie sin mi consentimiento.

Y presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Firma del investigador:

Firma del participante:

Fdo: MARIO LAMELA CALVO

Fdo:

Fecha:     /     /

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Alzate-Mejía OA, Giraldo-Hoyos N, Alvarán-Arango LV. Human skeleton bones recount. Vol. 64, Revista Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia; 2016. p. 331–8.
2. Capacidades físicas básicas. Evolución, factores y desarrollo. Sesiones prácticas [Internet]. [cited 2022 May 26]. Available from: <https://www.efdeportes.com/efd131/capacidades-fisicas-basicas-evolucion-factores-y-desarrollo.htm>
3. Antó SC. Natural History of Homo erectus A VIEW OF THE SPECIES. Yrbk Phys Anthropol [Internet]. 2003;46:126–70. Available from: [www.interscience.wiley](http://www.interscience.wiley).
4. Bastir M, García-Martínez D, Torres-Tamayo N, Palancar CA, Beyer B, Barash A, et al. Rib cage anatomy in Homo erectus suggests a recent evolutionary origin of modern human body shape. Nature Ecology & Evolution 2020 4:9 [Internet]. 2020 Jul 6 [cited 2022 May 4];4(9):1178–87. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41559-020-1240-4>
5. Bastir M, Daniel Sanz-Prieto |, Burgos M, Group P. Three-dimensional form and function of the nasal cavity and nasopharynx in humans and chimpanzees. The Anatomical Record [Internet]. 2021; Available from: <https://www.flowgy.com/>
6. Carretero JM, Lorenzo C, Arsuaga JL. Axial and appendicular skeleton of Homo antecessor. Journal of Human Evolution. 1999;456–99.
7. Williams SA, Middleton ER, Villamil CI, Shattuck MR. Vertebral Numbers and Human Evolution.

8. Williams SA, Middleton ER, Villamil CI, Shattuck MR. Vertebral numbers and human evolution. *American Journal of Physical Anthropology*. 2016 Jan 1;159:S19–36.
9. Kim K, Lee H young, Lee D youn, nam ChW. Changes in cardiopulmonary function in normal adults after the Rockport 1 mile walking test: a preliminary study.
10. Dolgener FA, Hensley LD, Marsh JJ, Fjelstul JK. Validation of the rockport fitness walking test in college males and females. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1994;65(2):152–8.
11. Byars A, Greenwood M, Greenwood L, Simpson W, Simpson JEPonline W. Walking Technique and Estimated VO 2 max Values Fitness and Training THE EFFECT OF ALTERNATING STEADY-STATE WALKING TECHNIQUE ON ESTIMATED VO 2 MAX VALUES OF THE ROCKPORT FITNESS WALKING TEST IN COLLEGE STUDENTS THE EFFECT OF ALTERNATING STEADY-STATE WALKING TECHNIQUE ON ESTIMATED VO 2 MAX VALUES OF THE ROCKPORT FITNESS WALKING TEST IN COLLEGE STUDENTS. *International Electronic Journal*. 2003;6.
12. George JD, Fellingham GW, Fisher AG. A modified version of the rockport fitness walking test for college men and women. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1998;69(2):205–9.
13. Seneli RM, Ebersole KT, O’connor KM, Snyder AC. ESTIMATED VO2MAX FROM THE ROCKPORT WALK TEST ON A NONMOTORIZED CURVED TREADMILL [Internet]. Available from: [www.nasca.com](http://www.nasca.com)
14. Garcia Lopez D, Herrero Alonso JA, de Paz Fernandez JA. Validez de la Escala de Esfuerzo Percibido de Borg para Monitorizar la Intensidad en Esfuerzo Anaerobicos. *Facultad de Ciencias de la Actividad Fisica y del Deporte, Universidad de Leon*. :351–6.
15. Zamunér AR, Moreno MA, Camargo TM, Graetz JP, Rebelo AC, Tamburús NY, et al. Evaluación del Esfuerzo Percibido Subjetivo en el Umbral Anaeróbico con la Escala de Borg CR-10. *PubliCE 1 PubliCE*; 2010.
16. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg’s rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*. 2013 Jan;113(1):147–55.
17. *Revista Panamericana de Salud Publica*. El Programa Epidat: Usos y Perspectivas [Internet]. Vol. 27, *Rev Panam Salud Publica*. 2010. Available from: <http://dxsp.sergas.es>.
18. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance [Internet]. Vol. 32, *Med. Sci. Sports Exerc*. 2000. Available from: <http://www.msse.org>
19. Constantini K, Bouillet AC, Wiggins CC, Martin BJ, Chapman RF. Ventilatory Responsiveness during Exercise and Performance Impairment in Acute Hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2021 Feb 1;53(2):295–305.

20. Karvonen J, Vuorimaa T. Heart Rate and Exercise Intensity During Sports Activities Practical Application. Vol. 5, Sports Medicine. 1988.
21. Busto Caballero A, del Carmen Escribano Ródenas M, Fernández Barberis GM, Victoria Kent I. LA HUELLA DE QUETELET EN LA ESTADÍSTICA ESPAÑOLA.
22. González-Ruiz JM, Pérez-Núñez MI, García-Alfaro MD, Bastir M. Geometric morphometrics of adolescent idiopathic scoliosis: a prospective observational study. *European Spine Journal*. 2021 Mar 1;30(3):612–9.
23. Laura Weiglein Mse, Jeffery Herrick P, Stacie Kirk P, Erik P. Kirk P. The 1-Mile Walk Test is a Valid Predictor of VO<sub>2</sub>max and is a Reliable Alternative Fitness Test to the 1.5-Mile Run in U.S Air Force Males [Internet]. Available from: <https://academic.oup.com/milmed/article/176/6/669/4345458>
24. Jensen MR. The effect of two months training with the AEROFIT-system on exercise performance in healthy, normal conditioned people measured by the standard Cooper running test.
25. Stavrou VT, Turlakopoulos KN, Daniil Z, Gourgoulianis KI. Respiratory Muscle Strength: New Technology for Easy Assessment. *Cureus*. 2021 May 2;
26. Parker DL. Efectos de la Altura y de la Hipoxia Aguda sobre el VO<sub>2</sub> máx. *PubliCE 1 PubliCE*; 2004.
27. Clark SA, Bourdon PC, Schmidt W, Singh B, Cable G, Onus KJ, et al. The effect of acute simulated moderate altitude on power, performance and pacing strategies in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 2007 Dec;102(1):45–55.
28. West JB. Highest permanent human habitation. *High Altitude Medicine and Biology*. 2002;3(4):401–7.
29. Estimation\_of\_V\_O2max\_from\_a\_one\_mile\_track\_walk,.12.
30. Rockport Fitness Walking Test [Internet]. [cited 2022 May 25]. Available from: <https://www.brianmac.co.uk/rockport.htm>
31. Declaración De Helsinki AF. 48 a Asamblea General, Somerset West, Sudáfrica, Octubre 1996 y la 52 a Asamblea General.
32. Klingenberg CP. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*. 2011 Mar;11(2):353–7.
33. Bastir M, García-Martínez D, Torres-Tamayo N, Palancar CA, Fernández-Pérez FJ, Riesco-López A, et al. Workflows in a virtual morphology lab: 3D scanning, measuring, and printing. *Journal of Anthropological Sciences*. 2019;97:107–34.
34. Lee AJY, Chung CLH, Young BE, Ling LM, Ho BCH, Puah SH, et al. Clinical course and physiotherapy intervention in 9 patients with COVID-19. *Physiotherapy* [Internet]. 2020 Dec 1 [cited 2022 May 9];109:1–3. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32791333/>

35. Righetti RF, Onoue MA, Politi FVA, Teixeira DT, de Souza PN, Kondo CS, et al. Physiotherapy Care of Patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) - A Brazilian Experience. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)* [Internet]. 2020 [cited 2022 May 9];75:1–18. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32578825/>
36. Sun T, Guo L, Tian F, Dai T, Xing X, Zhao J, et al. Rehabilitation of patients with COVID-19. *Expert Rev Respir Med* [Internet]. 2020 Dec 1 [cited 2022 May 9];14(12):1249–56. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32799694/>
37. Schütte KH, Sackey S, Venter R, Vanwanseele B. Energy cost of running instability evaluated with wearable trunk accelerometry. *J Appl Physiol (1985)* [Internet]. 2018 Feb 1 [cited 2022 May 11];124(2):462–72. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28751372/>
38. Giallauria F, Fuentes-Abolafio IJ, Escriche-Escuder A, Rosa Bernal-López M, Gómez-Huelgas R, Ricci M, et al. Estimation of Functional Aerobic Capacity Using the Sit-to-Stand Test in Older Adults with Heart Failure with Preserved Ejection Fraction. *Journal of Clinical Medicine* 2022, Vol 11, Page 2692 [Internet]. 2022 May 10 [cited 2022 May 13];11(10):2692. Available from: <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/10/2692/htm>
39. Gómez-Recio M, Bastir M, Biteau D, Beyer B. Estimating breathing behavior of intercostal muscles fibers in Homo erectus using 3D hybrid modelling approach (XXEJIP) Neandertal\_3D View project In vivo thorax joints modelling View project [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/360498884>