



**Facultad de
Ciencias de la Salud
y del Deporte - Huesca**

Universidad Zaragoza

**ASOCIACIÓN ENTRE LA PARTICIPACIÓN EN CARRERAS Y
SU DOSIS CON EL RIESGO DE MORTALIDAD
CARDIOVASCULAR**

**ASSOCIATION BETWEEN RUNNING PARTICIPATION AND
ITS DOSE AND THE RISK OF CARDIOVASCULAR
MORTALITY**

Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Trabajo Fin de Grado

Curso 2021-2022

Autor: Roberto Martin Aznar

Tutor: Nuria Garatachea Vallejo

Resumen:

Introducción: La participación en carreras ha aumentado mucho su popularidad en los últimos años, lo que ha provocado un incremento en la organización de carreras tanto populares como competiciones federadas de distancias variables. La participación en este tipo de carreras puede asociarse a una serie de riesgos de mortalidad cardiovascular, los cuales se relacionan con aspectos como la distancia de la carrera o la edad de los participantes.

Objetivo: El objetivo principal de este trabajo es conocer la relación que existe entre la participación en carreras y el riesgo de muerte cardiovascular, con especial atención a las carreras de larga distancia que son las más populares a nivel mundial.

Material y métodos: Se realizó una búsqueda en PubMed, Google Scholar y Dialnet utilizando las combinaciones “Cardiovascular risk & running races”, “cardiovascular risk & maratón runners”, “mortality risk & running races”, “mortality risk & athletes”.

Resultados: Algunos estudios muestran evidencias a cerca del riesgo de mortalidad cardiovascular asociado a la participación en carreras y el entrenamiento previo debido a una remodelación estructural adversa en el sistema cardiovascular que parece provocar una serie de disfunciones que pueden suponer un riesgo para la salud de los deportistas. Esta remodelación adversa parece verse potenciada por la larga distancia y la longevidad deportiva. También encontramos el riesgo de la conocida como muerte súbita cardíaca, aunque esta parece asociarse a problemas congénitos que salen a la luz con la práctica deportiva.

Conclusiones: La actividad física moderada reduce los riesgos de mortalidad por todas las causas, pero diversos estudios parecen indicar que la participación en carreras, sobre todo de larga distancia, y su entrenamiento previo provocan una remodelación de las estructuras cardíacas que tienden a derivar en problemas cardíacos.

Palabras clave: Mortalidad cardiovascular, remodelación estructural adversa, larga distancia, muerte súbita, actividad física vigorosa.

Abstract:

Introduction: Participation in races has greatly increased in popularity in recent years, which has caused an increase in the organization of both popular races and federated competitions of variable distances. Participation in this type of race can be associated with a series of risks of cardiovascular mortality, which are related to aspects such as the distance of the race or the age of the participants.

Objective: The main objective of this work is to know the relationship between participation in races and the risk of cardiovascular death, with special attention to long-distance races, which are the most popular worldwide.

Material and methods: A search was performed in PubMed, Google Scholar and Dialnet using the combinations "cardiovascular risk & running races", "cardiovascular risk & marathon runners", "mortality risk & running races", "mortality risk & athletes".

Results: Some studies show evidence about the risk of cardiovascular mortality associated with participation in races and previous training due to an adverse structural remodeling in the cardiovascular system that seems to cause a series of dysfunctions that can pose a risk to the health of athletes. This adverse remodeling seems to be enhanced by long distance and sports longevity. We also found the risk of what is known as sudden cardiac death, although this seems to be associated with congenital problems that come to light with sports practice.

Conclusions: Moderate physical activity reduces the risks of all-cause mortality, but several studies seem to indicate that participation in races, especially long-distance races, and their previous training cause a remodeling of the cardiac structures that tend to lead to heart problems.

Key words: Cardiovascular mortality, adverse structural remodeling, long distance, sudden death, vigorous physical activity.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	12
3. HIPÓTESIS.....	15
4. OBJETIVO.....	15
5. MÉTODOS.....	16
5.1. SELECCIÓN DE ESTUDIOS.....	17
5.2. ESTUDIOS NO SELECCIONADOS.....	18
5.3. DIAGRAMA DE FLUJO.....	19
6. RESULTADOS.....	20
6.1. LA PARTICIPACIÓN EN CARRERAS Y EL ENTRENAMIENTO PREVIO.....	21
6.2. REMODELACIÓN ESTRUCTURAL ADVERSA.....	24
6.2.1 DISFUNCIÓN.....	25
6.2.2. DISFUNCIÓN ASOCIADA A LA LARGA DISTANCIA.....	27
6.2.3. RIGIDEZ ARTERIAL.....	29
6.3. CARRERAS DE LARGA DISTANCIA Y RIESGO CARDIOVASCULAR.....	31
6.3.1. ATLETAS VETERANOS Y ARRITMIAS DERIVADAS DEL EJERCICIO CONTINUO.....	32

6.3.2. FIBROSIS MIOCÁRDICA Y LA RELACIÓN CON LA LARGA	
DISTANCIA.....	34
6.4. FIBRILACIÓN AURICULAR.....	37
6.5. RIESGO DE MUERTE ASOCIADO A CORRER UN	
MARATÓN.....	41
6.6. MUERTE SÚBITA.....	43
6.6.1. MUERTE SÚBITA ASOCIADA A LA PARTICIPACIÓN EN	
CARRERAS.....	46
7. DISCUSIÓN.....	48
8. CONCLUSIONES.....	54
9. BIBLIOGRAFÍA.....	55

1. INTRODUCCIÓN

El running es una actividad deportiva que se ha convertido en los últimos años en un fenómeno social, lo cual ha dado como resultado un creciente número de carreras populares, especialmente carreras en asfalto y por montaña.

Esta gran expansión del running ha permitido que se celebren a nivel mundial muchas más carreras como maratones, distancia que antiguamente solo estaba reservada para unos pocos elegidos, y distancias más novedosas como media maratón y 10 kilómetros en ruta. Esta última se corría antiguamente en pista (10.000 metros lisos), pero con la creciente popularidad del running se adaptó a la ruta para que pudieran participar muchas más personas.

A parte de estas distancias, también ha crecido mucho en popularidad las carreras de larga distancia como los ultramaratones o la distancia Ironman en triatlón.

Los ultramaratones son carreras de llamada ultra distancia que se caracterizan por tener que cubrir una distancia superior a la de maratón, es decir, superior a 42 kilómetros y 125 metros, o bien carreras que superen las 6 horas de esfuerzo.

Es evidente que el esfuerzo aeróbico que un corredor tiene que soportar en estas carreras es muy alto, además de ser bastante mantenido en el tiempo.

La creciente organización de carreras populares en todo el mundo ha permitido que los corredores puedan iniciarse fácilmente en esta práctica, haciendo que actualmente sea considerado uno de los deportes de moda en la sociedad actual.

Pero, ¿A qué se debe este incremento de personas que participan en carreras de running?

De acuerdo con Prieto Andreu, J.L. (2016), las razones principales por las que los corredores participan en carreras populares de resistencia son divertirse durante la

competición en primer lugar, competir contra sus propias marcas, sentir el placer de correr, comprobar su condición física y cumplir las metas que se marcaron.

Evidentemente, estas razones atienden a una muestra de corredores populares, ya que si nos centrásemos en corredores con ciertas aspiraciones profesionales las razones para la participación en carreras serían el deseo de ser seleccionados para representar a su país, el deseo de obtener algún estímulo material u obtener mejor tiempo que el de sus compañeros y vencer a sus compañeros (Prieto, 2016).

Viendo las diversas razones por las que una persona estaría dispuesta a iniciarse en el mundo del running para participar en carreras, se plantea la situación de la salud de cada corredor. El running, como cualquier otra actividad física aeróbica, produce una serie de adaptaciones que, en general, son saludables. Pero existen una serie de riesgos cardiovasculares, pulmonares o metabólicos que condicionan su práctica. Las personas que participan en carreras populares, normalmente emplean un gran número de horas en la preparación para dichas pruebas a diferentes intensidades, algunas veces sin conocer los riesgos cardiovasculares que ello puede provocar en su organismo.

La presencia de enfermedades cardiovasculares, metabólicas o pulmonares, o bien de signos o síntomas de enfermedad, o los factores de riesgo cardiovascular, sitúa al deportista en un nivel de riesgo cardiovascular que condiciona su práctica (ACSM, 2009).

Por ello, se debe tener en cuenta que realizar determinado tipo e intensidad de ejercicio en personas con cierto riesgo de problema cardiovascular incrementa el riesgo de que suceda un suceso no deseado (Seijo, M. et al, 2012).

Para localizar este tipo de patologías es necesaria una evaluación previa al ejercicio, la cual, según Vora y colaboradores (2018) consiste en una historia estructurada y un

examen físico, y cuando sea necesario, un electrocardiograma y un ecocardiograma para identificar a los jóvenes y futuros atletas en peligro de enfermedad cardiovascular.

Por otro lado, Radmilovic y colaboradores (2019) indican que el protocolo de tamizaje previo a la competición se enfoca en tres puntos: historial familiar y personal, examen físico y electrocardiograma. Sin embargo, también indican que algunas patologías estructurales cardíacas como las formas incipientes de miocardiopatías y el origen anómalo de las arterias coronarias pueden pasar desapercibidas en el examen físico y el electrocardiograma, pero pueden identificarse fácilmente con la ecocardiología.

Por ello el ecocardiograma puede ser una herramienta muy útil para evaluar afecciones cardíacas en atletas y prevenir de esta manera un desenlace fatal a lo largo de la actividad física.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Durante los 4 años de Grado he podido estudiar y vivenciar diferentes contenidos que en él se incluyen como pueden ser la iniciación y práctica de diferentes modalidades deportivas, tanto individuales como colectivas e incluso en diferentes medios como el acuático o el aéreo. También he aprendido sobre diferentes formas de enseñanza y dirección de actividades, pero para mí el ámbito más motivante ha sido el rendimiento y la salud.

Dentro de este último contenido he tenido la suerte de cursar asignaturas específicas como Actividad Física y Salud u otras asignaturas con un amplio contenido en esta materia como Fundamentos Fisiológicos en la actividad física y el deporte o entrenamiento.

Gracias a dichas asignaturas y sus contenidos se han despertado en mí ciertos intereses por conocer de manera más específica cómo funciona el organismo humano durante el deporte y las adaptaciones que se producen gracias a los diferentes estímulos a los que el cuerpo es sometido con el entrenamiento. De manera paralela, también me he interesado por la salud de los deportistas, ya que, desgraciadamente, los sucesos como muertes súbitas o afectaciones cardiovasculares están presentes en el deporte tanto popular como competitivo.

Además de todo ello, en mi vida personal dedico gran parte de mi tiempo a entrenar atletismo de fondo, especialmente carreras que van desde los 5000 metros lisos, el campo a través, 10k en ruta hasta la media maratón, por lo que las posibles afectaciones cardiovasculares que puede sufrir un corredor como yo mismo es algo que deseo investigar. Por ello, el Trabajo de Fin de Grado es la oportunidad perfecta para reforzar las habilidades en la investigación científica y los conocimientos sobre la participación en carreras y su relación con el riesgo de enfermedad cardiovascular.

2. MARCO TEÓRICO

La participación en carreras es una actividad que se ha popularizado mucho en los últimos años, como hemos indicado anteriormente, debido a diversos factores y motivaciones personales de cada deportista, ya sea popular o competitivo.

Pero cuando hablamos de riesgos cardiovasculares asociados a la participación en carreras no solamente nos referimos al intervalo de tiempo que comienza con el inicio de la prueba y termina con la finalización de la misma, sino también con todo el proceso de entrenamiento que los deportistas llevan a cabo en el camino de preparación para la correspondiente carrera. Este proceso de entrenamiento está constituido por horas y horas de entrenamiento, sobre todo en distancias largas que son las más populares en el mundo del running.

El aspecto del entrenamiento es un elemento que no podemos dejar pasar desapercibido y que en este trabajo vamos a dar mucha importancia, ya que parece lógico pensar que un deportista que participa en un gran número de carreras a lo largo de su vida también realiza muchos días y horas de entrenamiento para preparar dichas competiciones, por lo que pasará gran parte de su carrera deportiva entrenando y exigiendo al máximo a su sistema cardiovascular para conseguir mejoras en el rendimiento.

Como bien sabemos, la actividad física moderada regular disminuye la mortalidad y la morbilidad cardiovascular, pero por otro lado el ejercicio prolongado y extenuante por encima de un cierto umbral individual puede resultar en un aumento del riesgo cardiovascular (Schoenfeld, et al. 2020). Otros estudios como el de O'Keefe y colaboradores (2012) recopilan distintas informaciones de diversos estudios, los cuales indican que el ejercicio físico es una de las piedras angulares en el estilo de vida para conseguir una salud cardiovascular óptima, además de una muy buena salud general.

Además, está demostrado que una rutina de actividad física diaria motiva una serie de cambios fisiológicos beneficiosos en el cuerpo y puede ser muy eficaz para la prevención y el tratamiento de muchas de las enfermedades más prevalentes en el ser humano como pueden ser la hipertensión, la cardiopatía coronaria, la depresión, la obesidad o la diabetes. Además de indicar que según algunos estudios la práctica continuada de actividad física tiene tasas de discapacidad notablemente más bajas y una expectativa de vida más alta que las personas físicamente inactivas (O'Keefe, et al. 2012).

Con estas informaciones queda claro que el ejercicio físico regular establecido en una intensidad moderada es beneficioso para la salud ya que ayuda a diversos marcadores que son perjudiciales para la salud. Pero por otro lado, estas informaciones nos hacen pensar que las personas que participan en un gran número de carreras y que, por lo tanto, pasan muchas horas entrenando para esas competiciones pueden desarrollar cierto riesgo cardiovascular, sobre todo si su objetivo con el constante entrenamiento es el de mejorar el rendimiento, el cual solo es posible entrenado por encima de cierto umbral.

Las carreras que tienen más popularidad son la maratón y, actualmente, las carreras de ultradistancia. Este tipo de carreras exigen un alto volumen de entrenamiento de intensidad física alta, lo que a lo largo del tiempo puede provocar una serie de riesgos cardiovasculares en el deportista que las practica.

Como bien se indica en el estudio de Schoenfeld y colaboradores (2020), en los últimos años, las carreras de resistencia como los maratones han disfrutado de tasas de participación crecientes en todo el mundo. Por ejemplo, en los EE. UU., el número de finalistas de maratón aumentó de 299 018 en 2000 a 507 600 en 2016. Se han observado desarrollos similares en ultracarreras de 160 km. Además, parece haber un cambio hacia los participantes mayores, con la mayoría de los corredores de 40 años o más

En base a este estudio Schoenfeld, et al (2020), podemos decir que la participación en eventos deportivos como carreras de maratón se ha vuelto muy popular recientemente. Esta creciente popularidad hace que las características de los corredores de maratón estén evolucionando, con un porcentaje creciente de corredores aficionados que no son de élite y que a menudo son de mediana edad (Lewicka-Potocka, Z., et al. 2021).

3. HIPÓTESIS

La participación en carreras de una forma habitual puede influir de una manera negativa en el sistema cardiovascular del ser humano, ya que, aunque los deportistas que participan en diversas carreras tiene una gran adaptación al esfuerzo, el ejercicio físico vigoroso y prolongado en el tiempo puede provocar una serie de adaptaciones cardiovasculares adversas que acaben suponiendo un riesgo de mortalidad cardiovascular para el deportista.

Este riesgo tiende a ser más frecuente cuanto más frecuente es también la participación en estas carreras, ya que no solamente supone para el organismo un esfuerzo de actividad física intensa la carrera, sino también todo el entrenamiento previo a dicha prueba, por lo que cuanto más prolongado sea en el tiempo la carrera de un deportista más remodelaciones cardíacas se producirán en su sistema cardiovascular, las cuales puede ser un riesgo de mortalidad.

4. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es relacionar la participación en carreras de los deportistas con los riesgos de mortalidad cardiovascular, teniendo en cuenta factores como el entrenamiento previo. La distancia es un factor al que le vamos a dar mucha importancia, ya que parece indicar que la relación entre la distancia de carrera y la remodelación cardíaca adversa que sufren los deportistas que participan en este tipo de competiciones puede derivar en algunos problemas cardíacos graves.

Relacionaremos el riesgo de mortalidad cardiovascular que tiene una de las carreras más populares a nivel mundial, el maratón, y también los factores que pueden provocar la muerte cardíaca súbita.

5. MÉTODOS

Se realizaron búsquedas de estudios relevantes en PubMed, Google Scholar y Dialnet desde 2010 hasta el presente 2022. Esta horquilla de tiempo fue determinada debido a poder realizar una búsqueda de datos más amplia que permitiera una mayor recopilación de información relevante sobre el tema elegido.

Para la búsqueda de información en estas tres bases de datos, utilizamos una combinación de términos relacionados con la temática del trabajo. Estos términos nos permitieron encontrar un gran número de estudios relacionados con el tema, a partir de los cuales pudimos sacar información relevante para poder llevar a cabo nuestro trabajo y sacar una serie de conclusiones del tema.

Los términos utilizados en PubMed fueron:

(participation in running races & cardiovascular risk) / (participation in running races & risk of cardiovascular mortality) / (risk of cardiovascular mortality & runners) / (risk of cardiovascular disease & runners) / (aerobic physical activity & cardiovascular risk) / (aerobic physical activity & risk of cardiovascular mortality) / (aerobic physical activity & cardiovascular risk) / (ultra-endurance races & cardiovascular risk) / (ultra-endurance races & risk of cardiovascular mortality) / (cardiovascular risk & distance runners) / (cardiovascular risk & maratón runners) / (risk of cardiovascular mortality & maratón runners) / (myocardial fibrosis & runners) / (myocardial fibrosis & maratón runners) / (sudden death & runners & causes) / (sudden death & running races).

Los términos utilizados en Google Scholar fueron:

(cardiovascular risk & amateur runners) / (cardiovascular risk & running races) / (risk of cardiovascular mortality & runners) / (risk of cardiovascular mortality & running races)

Los términos utilizados en Dialnet fueron:

(running & popularity) / (ultra-distance races & risk of cardiovascular mortality) / (risk of cardiovascular mortality & maratón runners) / (risk of cardiovascular mortality & popular runners) / (risk of cardiovascular mortality & running)

5.1. SELECCIÓN DE ESTUDIOS

Los Estudios seleccionados estaban dentro del corte temporal desde 2010 hasta el presente 2022, ya que de esta manera nos asegurábamos de obtener una información de carácter actual y sobre las bases de informaciones y estudios anteriores a esta.

Dentro de esta selección de estudios, incluimos como elegibles aquellos que incluían un análisis o revisión de otros estudios acerca de información relevante para nuestro estudio. Este tipo de estudios relacionaban el riesgo de mortalidad cardiovascular bien con la práctica de actividad física vigorosa y regular, o bien con la participación en carreras. Gracias a ello se obtuvo una gran cantidad de información acerca del tema del estudio.

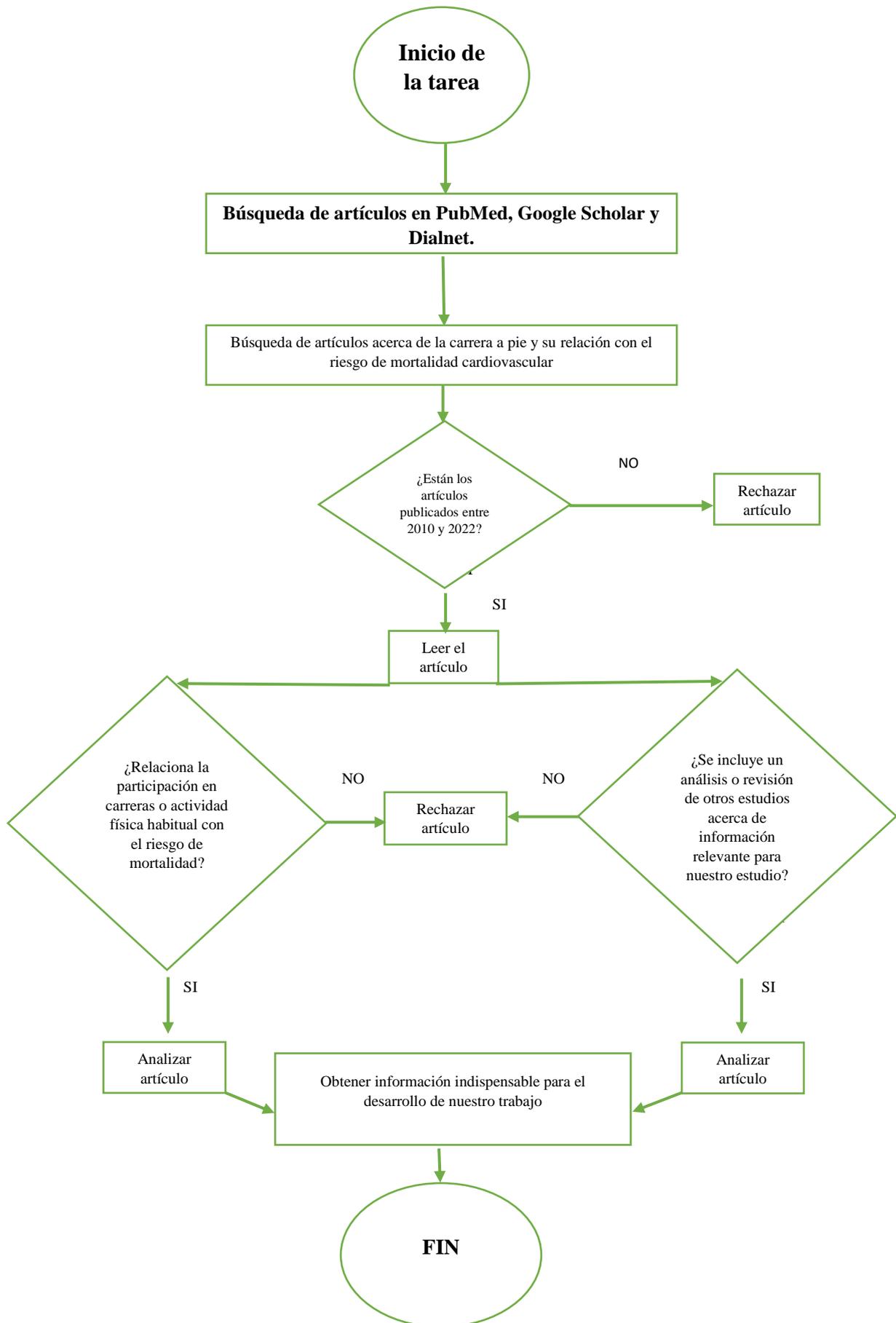
También incluimos en estudios elegibles aquellos en los que se realizaba un seguimiento o un análisis estadístico con información relevante para nuestro trabajo. Gracias a ello aparecen estudios donde se analizan una gran cantidad de deportistas y sus problemas cardíacos derivados o no de la práctica de actividad física de forma regular, así como estudios en los que se realizan análisis estadísticos que relacionan los problemas cardíacos con la posible mortalidad cardiovascular relacionada con la práctica de actividad física vigorosa y habitual.

5.2. ESTUDIOS NO SELECCIONADOS

Excluimos del criterio de selección de estudios aquellos que no tenían como objeto de estudio el riesgo de mortalidad cardiovascular durante el ejercicio físico; el riesgo de mortalidad cardiovascular asociado a la práctica habitual de ejercicio físico vigoroso; la práctica de actividad física asociada a riesgos cardiovasculares; la práctica de actividad física que provoca una remodelación cardíaca adversa perjudicial; estudios acerca de deportistas ajenos a carreras como deportes de equipo o deportes de implementos.

A parte de estos estudios, tampoco se incluyeron estudios donde la conclusión no era clara y no se demostraba el objetivo del mismo.

5.3. DIAGRAMA DE FLUJO



6. RESULTADOS

La búsqueda bibliográfica incluyó más de un centenar de estudios en total, de los cuales 30 se evaluaron con más detalle, los cuales incluían revisiones sistemáticas y metanálisis.

Los estudios eran tanto de Europa como de los EE.UU. y la horquilla de selección de los estudios fue desde 2010 hasta el presente 2022.

Algunos estudios llevaban a cabo seguimientos a deportistas de hasta 10 años, como el de De Maria, B., et al. 2021, o el de Schoenfeld, J., et al. 2020. Ello permite observar los problemas cardíacos que pueden suponer un riesgo de muerte cardiovascular a lo largo del tiempo en deportistas que participan en carreras.

Se analizaron también estudios acerca de problemas cardiovasculares derivados de una remodelación cardíaca adversa asociada a la práctica habitual de actividad física vigorosa que puede desencadenar en una serie de enfermedades que supone un riesgo de mortalidad cardiovascular como pueden ser la rigidez arterial, la fibrosis miocárdica o la fibrilación auricular. También la asociación que puede tener este riesgo con la distancia de las carreras en las que participan los corredores.

En este trabajo incluimos también estudios que relacionan el riesgo de mortalidad con correr un maratón (Dayer, M.J., y Green, I. 2019., D'Silva, et al. 2020).

Por último, se buscó información acerca de una de las causas de mortalidad durante el ejercicio físico más populares y más temidas, como es la muerte cardíaca súbita (Markwverth, P., et al. 2021., Emery, et al. 2018). Aunque los estudios parecen indicar que el ejercicio como tal no es causante de la muerte súbita cardíaca, sino más bien el detonante, ya que es un problema congénito.

6.1. LA PARTICIPACIÓN EN CARRERAS Y EL ENTRENAMIENTO PREVIO

Cuando una persona se decide a participar en carreras, independientemente de cual sea la distancia a recorrer, se decide no solamente a la participación de la prueba, sino también a prepararla de una manera adecuada. Esta preparación se consigue a través del entrenamiento, el cual requiere de horas de esfuerzo físico.

Dependiendo de la distancia a cubrir, el entrenamiento puede ser de mayor o menor volumen, incluyendo una mayor o menor intensidad de esfuerzo.

El objetivo del entrenamiento siempre es el mismo, preparar al organismo de una manera óptima para afrontar la competición esperada. Por ello es evidente pensar que un deportista que tiene un gran número de carreras en su calendario va a pasar mucho tiempo preparando dichas competiciones. Esto es algo claro, puesto que un atleta, cuanto más compite, más tiene que entrenar para esas competiciones.

Este proceso de entrenamiento físico se acompaña de una modificación transitoria de la función cardíaca y del control neural cardiovascular (Dalla Vecchia, L. A. et al, 2019).

Este entrenamiento es fundamental en deportes como el triatlón, al igual que en atletismo o cualquier actividad de fondo que requiera ocupar un gran número de minutos y horas de entrenamiento, el atleta exitoso debe tener sistemas de transporte de oxígeno altamente desarrollados, lo cual se logra mediante sesiones de entrenamiento intensas (2 a 3 horas por sesión) y regulares (5-6 días por semana) que probablemente induzcan a una activación simpática sostenida crónica (Dalla Vecchia, L. A. et al, 2019). Aunque tal impulso simpático cardiovascular mejorado podría tener un objetivo finalista, es decir, el logro del mejor rendimiento deportivo, es convincente considerar que las modificaciones simpático-vagales cardiovasculares inducidas también podrían representar un factor de

riesgo potencial para futuros eventos cardiovasculares, como el atrial, fibrilación, enfermedad de las arterias coronarias, fibrosis miocárdica y muerte súbita.

Con estos primeros párrafos podemos sacar una conclusión inicial, y es que para un deportista que participe en carreras, ya sea a nivel profesional o amateur, su objetivo es mejorar su rendimiento personal, lo cual solo se puede lograr a través del entrenamiento. Este entrenamiento puede suponer, en algunos casos, un riesgo cardiovascular que vamos a detallar más adelante.

En el mismo estudio de Dalla Vecchia y colaboradores (2019) se destaca la gran capacidad de los atletas y triatletas para mejorar el impulso simpático cardiovascular a los niveles más altos, condición que puede favorecer el logro del mejor rendimiento atlético durante las competiciones. Sin embargo, es sabido que una actividad simpática excesiva, cuando se mantiene, está asociada con un mayor riesgo de eventos cardiovasculares. Este mantenimiento del impulso simpático es fruto del arduo entrenamiento al que los deportistas son sometidos para la mejora del rendimiento.

Un entrenamiento regular es lo necesario para poder mejorar el rendimiento deportivo y la competencia previa a las carreras y competiciones, pero este entrenamiento regular puede producir una estimulación simpática alta sostenida en el corazón, o una hemodinámica directa, lo que puede provocar unas dimensiones del corazón izquierdo más grandes (Dalla Vecchia, L. A. et al, 2019).

Estas dimensiones del corazón izquierdo más grandes son cambios generales que se producen en el corazón en edades tempranas y que pueden conducir a una “remodelación cardíaca adversa” y promover arritmias en entornos predisponentes como la cardiopatía isquémica o las miocardiopatías latentes (Dalla Vecchia, L. A. et al, 2019).

La remodelación cardíaca adversa es uno de los puntos que más vamos a tratar en este trabajo, ya que supone un cambio en las estructuras del corazón debido a la práctica habitual de ejercicio físico vigoroso, ya sea de entrenamiento o de competición. Estos cambios que se producen en las estructuras del corazón pueden desencadenar en problemas cardiovasculares con final fatal, por lo que su análisis y desarrollo será importante para nosotros.

6.2. REMODELACIÓN ESTRUCTURAL ADVERSA

Es bien sabido que el ejercicio físico regular provoca cambios estructurales en el corazón, más aun cuando este ejercicio es realizado a una elevada intensidad o a un volumen de esfuerzo muy alto.

Un deportista a lo largo de su vida puede participar en un mayor o menor número de carreras, aunque lo habitual es que cuando un atleta entrena de forma habitual sea con el objetivo de preparar adecuadamente una competición relativamente cercana. Esta búsqueda de objetivos por parte de los deportistas que participan en carreras hace que sus programas de entrenamiento estén muy estructurados en búsqueda de una mejora del rendimiento o de un rendimiento adecuado para finalizar la prueba, dependiendo obviamente de los objetivos o ambiciones del deportista.

Por ello, parece lógico pensar que una persona que realiza un gran volumen de actividad física intensa va a sufrir una reestructuración muscular y cardiovascular lógica para adaptarse a las demandas del entrenamiento y la competición.

Como bien se indica en el estudio de Arbab-Zadeh y colaboradores (2014), Hay varios cambios producidos dentro del corazón por el ejercicio de resistencia, ya que se producen alteraciones estructurales, funcionales y electrofisiológicas, además de, agrandamiento auricular e hipertrofia ventricular prácticamente sin modificaciones de la función sistólica.

6.2.1. DISFUNCIÓN

En los últimos años, algunos estudios realizados en atletas aficionados han descubierto los efectos del ejercicio extenuante sobre la función cardiovascular. Se ha demostrado que pueden ocurrir elevaciones de biomarcadores cardíacos después de ejercicios de resistencia extenuantes en ausencia de disfunción miocárdica sostenida. Por el contrario, en algunos casos se han detectado signos de deterioro diastólico transitorio del ventrículo izquierdo (VI) y/o disfunción del ventrículo derecho (VD). Estos cambios reversibles y funcionales se han atribuido a la combinación de carga de trabajo miocárdica prolongada, taquicardia y deshidratación secundaria al ejercicio extenuante (Dalla Vecchia, et al. 2014).

Por su parte, Schoenfeld y colaboradores (2020), observaron que después de una carrera de maratón puede ocurrir una disfunción diastólica cardíaca transitoria en ciertos casos, lo cual puede deberse a una carga excesiva en el corazón.

El estudio de O'Keefe y colaboradores (2012) informa que la evidencia acumulada sugiere que los efectos adversos tanto de la actividad física intensa a corto plazo como del ejercicio de resistencia acumulativo son más evidentes en las cavidades cardíacas del lado derecho. Esto podría deberse a las sesiones de entrenamiento diarias y la participación en carreras de resistencia de una manera habitual, las cuales provocan que esta actividad física de alto volumen e intensidad cause dilatación de la aurícula derecha y del ventrículo derecho. Este mismo estudio indica que un nivel de ejercicio de resistencia intenso frecuente da como resultado una disfunción del ventrículo derecho, el cual puede verse afectado por la duración de la carrera y tener efectos estructurales crónicos.

Cierto es que estas variaciones en la estructura cardíaca suelen volver a restaurarse, pero como hablamos de altas dosis de esfuerzo diario, dichas variaciones pueden volverse crónicas en respuesta a la sobrecarga de volumen e intensidad de los deportistas.

Estas anomalías pueden ser asintomáticas y probablemente se acumulen durante muchos años, lo que puede provocar que se desarrollen arritmias graves como fibrilación auricular o arritmias ventriculares.

Pero no se queda ahí, de O'Keefe y colaboradores (2012) realiza un exhaustivo repaso sobre los posibles efectos cardiovasculares adversos del ejercicio de resistencia excesivo a largo plazo, ya que como indica en su estudio este ejercicio de resistencia a largo plazo puede inducir a una remodelación estructural patológica del corazón y las arterias grandes.

Los datos indican que el entrenamiento intenso prolongado necesario para la preparación de las competiciones, así como las competiciones de maratón, ultramaratón o triatlones de larga distancia como la prueba de IronMan pueden provocar una sobrecarga de volumen aguda transitoria de las aurículas y el ventrículo derecho, con reducciones transitorias en la eyección del ventrículo derecho y elevaciones de biomarcadores cardíacos, todos los cuales vuelven a la normalidad en 1 semana. Durante meses o años de lesiones repetitivas, este proceso, en algunas personas, puede conducir a:

- Fibrosis miocárdica en parches, particularmente en las aurículas, tabique interventricular y ventrículo derecho, creando un sustrato para las arritmias auriculares y ventriculares.
- Además, el ejercicio sostenido excesivo a largo plazo puede estar asociado con calcificación de la arteria coronaria, disfunción diastólica y rigidez de la pared de las arterias grandes (O'Keefe, et al. 2012).

La remodelación estructural adversa que puede aparecer tras una carrera o un esfuerzo máximo prolongado es estudiado por Dalla Vecchia y colaboradores (2014) los cuales realizan un seguimiento a corredores de media maratón, la cual es una carrera bastante menos exigente que su hermana mayor de 42 kilómetros y 125 metros. En este estudio se demostró que después de una media maratón no solo se conserva la función sistólica del ventrículo izquierdo, sino que solo se detectan signos menores de deterioro diastólico. De hecho, la carga reducida impuesta por la distancia de media maratón en comparación con una maratón completa parece preservar el corazón del estrés excesivo y del deterioro diastólico importante.

6.2.2. DISFUNCIÓN ASOCIADA A LA LARGA DISTANCIA

En términos de cambios cardíacos funcionales, el ejercicio de ultraresistencia parece suficiente para evocar de manera aguda disfunción y/o fatiga tanto del Ventrículo izquierdo como del Ventrículo Derecho (Tiller, N. B. et al. 2020).

A pesar de producirse una disfunción aguda del ventrículo izquierdo posterior a la carrera de algunos deportistas, la respuesta suele ser transitoria y benigna. Tras finalizar una prueba de ultrarresistencia también hay una reducción de la fracción de eyección del ventrículo derecho y, a diferencia del ventrículo izquierdo, esta disfunción del ventrículo derecho suele ser más pronunciada y menos reversible (Tiller, N. B. et al. 2020).

Conociendo esto, es interesante relacionarlo con el objetivo de nuestro estudio, y no es otro que saber si estos cambios crónicos en la estructura y/o función cardiovascular dan como resultado un mayor riesgo de mortalidad en personas sanas. La conclusión al respecto que Tiller, y colaboradores (2020) tienen es que es poco probable que los episodios de ejercicio de intensidad moderada provoquen un estrés fisiológico similar al

impuesto en competencias de ultramaratón, es decir, puede ser la exposición repetida al estrés de las carreras, en lugar del entrenamiento de alto volumen, lo que conduce a anomalías cardiovasculares crónicas. Ello nos indica que la participación en carreras de ultrarresistencia de forma periódica y habitual podría ser un factor determinante en los riesgos de mortalidad cardiovasculares.

La mayoría de los corredores priorizan la participación continua en ultramaratonos sobre los posibles riesgos para la salud, probablemente agravados porque, a pesar de su popularidad como deporte competitivo, la mayoría de los corredores de ultramaratonos abordan las carreras como un medio de logro personal. Es probable que los corredores de ultramaratón tengan un mayor riesgo de sufrir una patología inducida por el ejercicio en comparación con otros subgrupos que hacen ejercicio. Finalmente, aunque el riesgo de tal patología es probablemente mínimo en relación con los riesgos asociados con la inactividad física crónica, existe un término medio que probablemente maximiza los beneficios físicos y psicológicos de la participación, al mismo tiempo que mitiga las posibles contraindicaciones de los esfuerzos de resistencia extrema (Tiller, N. B. et al. 2020).

6.2.3 RIGIDEZ ARTERIAL

Los datos de diversos estudios parecen indicar que la distancia o tiempo de carrera que los deportistas hacen mientras cubren la distancia de competición es determinante en el deterioro que puede sufrir el corazón en algunas pruebas de ultradistancia. Estas pruebas actualmente tienen un gran auge, sobre todo a nivel popular y en superficies más naturales como los Pirineos u otras localizaciones con un elevado desnivel, las cuales tardan varias horas en cubrirse, incluso llegando a superar los 100 kilómetros de recorrido como la famosa Transgrancanaria, prueba llevada a cabo en Gran Canaria la cual es una de las principales carreras de esta modalidad celebradas en Europa.

Estas carreras de ultrarresistencia podríamos catalogarlas así a partir de la distancia de maratón, es decir, pruebas que son superiores a 42 kilómetros de distancia. Para dichas pruebas es necesario un elevado volumen de entrenamiento de resistencia, el cual aumenta la biodisponibilidad del óxido nítrico, lo que conduce a una reducción del tono de las células del músculo liso vascular y a una mejora de la función arterial (Jürgenson, J. et al, 2021). Ello es importante si tenemos en cuenta uno de los factores de riesgo cardiovascular más importante en personas tanto deportistas como sedentarias, la rigidez arterial.

La rigidez arterial es una manifestación importante del daño orgánico subclínico ligado al envejecimiento y proporciona un marcador bien establecido de la enfermedad cardiovascular.

Esta rigidez arterial es consecuencia de la disfunción del endotelio y se asocia de forma independiente con un riesgo elevado de enfermedad cardiovascular. Según los datos disponibles, existe una relación compleja entre el ejercicio intenso agudo y la rigidez arterial (Jürgenson, J. et al, 2021).

En el estudio de Jürgenson y colaboradores (2021) informa que diversos estudios han demostrado que el ejercicio aeróbico regular se relaciona con mejores índices de rigidez arterial en comparación con personas que llevan una vida de carácter más sedentario. Debe tenerse en cuenta que los corredores de resistencia de alto nivel pueden experimentar aumentos crónicos de la presión arterial central y rigidez arterial alterada debido a las cargas de ejercicio agudas repetidas y la inflamación inducida por el ejercicio.

Este problema cardiovascular es estudiado por Vlachopoulos y colaboradores (2010) los cuales realizan un seguimiento a 49 corredores de maratón y observan como el efecto agudo de la carrera es que los corredores que habitualmente participan en carreras como el maratón tienen una mayor rigidez y presión aórtica que las personas que no participan en estas carreras.

El estudio de Saz-Lara y colaboradores (2021) han demostrado que la intensidad y el volumen del ejercicio también pueden tener un impacto en la respuesta aguda a la rigidez arterial y que el ejercicio aeróbico agudo reduce la rigidez arterial, principalmente entre 30 y 60 minutos después del ejercicio, pero como indican en el estudio de Jürgenson y colaboradores (2021) hay menos datos acerca de un periodo de recuperación más prolongado de aproximadamente 24 horas tras finalizar el ejercicio. Además, también se indica en dicho estudio que hay menos datos sobre el exceso de actividad física de alta intensidad, que supera el umbral anaeróbico y tiene un efecto diferente sobre la rigidez arterial y debe diferenciarse de la actividad aeróbica convencional. Ello se debe a que los sujetos que llevaron a cabo en el estudio de Jürgenson y colaboradores (2021) eran corredores de medio maratón y no de maratón o ultrarresistencia.

6.3 CARRERAS DE LARGA DISTANCIA Y RIESGO CARDIOVASCULAR

Cuando participamos en una prueba de larga distancia, ya sea corriendo, en bicicleta o de triatlón, nuestro sistema cardiovascular es sometido a una gran exigencia, por lo que luego debe reestructurarse para volver a la normalidad.

En algunos casos, la participación en carreras de este tipo y sus respectivos entrenamientos de un muy elevado volumen de carrera a una intensidad por encima de ciertos umbrales puede suponer un riesgo de muerte cardiovascular al desarrollar ciertas patologías.

Varios estudios como el de Małek Łukasz, A. y colaboradores (2019) indican que el ejercicio de resistencia prolongado y extenuante con altos volúmenes de carga de trabajo durante largos períodos de tiempo puede conducir a una remodelación estructural, funcional y eléctrica, así como al daño miocárdico inducido por una mayor carga cardíaca. Siguiendo esta información, existen estudios como el de Wilson, M. y colaboradores (2011) que han demostrado que el ejercicio prolongado y extenuante podría estar relacionado con problemas cardiovasculares como arritmias, fibrosis miocárdica o arterioesclerosis prematura, con el potencial riesgo de enfermedad coronaria que ello supone para un deportista. Esta relación puede ser más evidente en atletas mayores predispuestos con factores de riesgo subyacentes y puede resultar en un mayor riesgo de muerte cardíaca súbita relacionada con el deporte.

Investigaciones como la de Tiller, N.B. y colaboradores (2020) han investigado los efectos a largo plazo del ejercicio prolongado y extenuante, particularmente porque las pruebas de ultrarresistencia son uno de los deportes fisiológicamente más exigentes que potencialmente puede conducir a problemas relacionados con la salud a largo plazo.

Existe un creciente pensamiento que indica que repetidos episodios de ejercicio extremo como una carrera de ultrarresistencia pueden tener efectos adversos en la salud del ser humano a largo plazo (Tiller, N. B. et al. 2020 & Scheer, et al. 2022).

6.3.1. ATLETAS VETERANOS Y ARRITMIAS DERIVADAS DEL EJERCICIO CONTINUO

Queda claro al observar los datos de diversos estudios que los corredores que realizan de forma muy habitual actividad física y en especial los atletas que participan en las carreras de forma continua suelen tener anomalías electrocardiográficas debido al alto volumen e intensidad de las carreras. El estudio de De Gerche y colaboradores (2012) parece indicar que la remodelación cardíaca adversa inducida por una actividad física excesiva puede crear un sustrato arritmogénico, lo que provoque unas anomalías del ritmo cardíaco o arritmias que sean los causantes de los problemas cardiovasculares más frecuentes en atletas veteranos.

En el estudio de Wilson, M. y colaboradores (2011) se observó una prevalencia inesperadamente alta de fibrosis miocárdica (50%) en atletas masculinos veteranos, sanos, asintomáticos y de toda la vida, en comparación con atletas de la misma edad. Estos datos sugieren un vínculo entre el ejercicio de resistencia de por vida y la fibrosis miocárdica que requiere más investigación, ya que este problema en atletas veteranos no se asoció con la edad, la altura, el peso o el área de superficie corporal, pero se asoció significativamente con la cantidad de años de entrenamiento, la cantidad de maratones competitivos y maratones de ultraresistencia (>50 millas) completado.

Estos datos parecen esclarecer uno de los principales objetivos de este estudio, que no es otro que el de asociar la dosis de participación en carreras con el riesgo cardiovascular

que ello puede suponer o desarrollarse a lo largo de una carrera deportiva como la de estos deportistas.

Bien sabemos que el envejecimiento se relaciona con cambios en el sistema cardiovascular (CV) que sustentan una capacidad funcional reducida, aunque el entrenamiento regular de ejercicios de resistencia puede retrasar esta disminución progresiva de la función CV con la edad. Los beneficios del ejercicio repetitivo de intensidad moderada a medida que envejece son bien conocidos, pero las consecuencias de la actividad de resistencia competitiva de por vida en atletas veteranos (>50 años) son menos seguras (Wilson, M. et al., 2011).

Los atletas veteranos no solamente tienen el riesgo añadido de tener una edad más avanzada que los jóvenes deportistas y que por ello existan riesgos de algún problema cardiovascular, sino que a lo largo de su vida estos atletas han participado en un gran número de carreras y han pasado muchas horas de entrenamiento.

Varios estudios han demostrado una serie de arritmias supraventriculares y ventriculares complejas en atletas veteranos entrenados en resistencia, pero el significado clínico de estas arritmias es muy variado, ya que se han identificado varias formas de arritmias ventriculares idiopáticas en atletas que, por definición, se originan en corazones sin anomalías estructurales. Sobre la base de estos datos descriptivos y un pequeño número de informes de autopsia, algunos autores han especulado que, en ausencia de cualquier otra causa, los episodios repetitivos de por vida de arduos ejercicios de resistencia pueden resultar en un reemplazo fibroso del miocardio, lo que resulta en un sustrato patológico para el desarrollo de arritmias, aunque a pesar de tal especulación, solo existe evidencia limitada de casos de fibrosis miocárdica inducida por el ejercicio en atletas veteranos de resistencia (Wilson, M. et al., 2011).

Estos estudios tienen algunas limitaciones, ya que se utiliza comúnmente como objeto de estudio a personas veteranas que participan en carreras de larga distancia pero que no han sido atletas toda la vida, por lo que los datos obtenidos tienden a ser diferentes que los datos del estudio de Wilson y colaboradores (2011), el cual tiene como objeto de estudio a atletas veteranos que han participado en carreras desde hace muchos años, o como se puede decir coloquialmente, “de toda la vida”, y siguen participando en carreras en el momento en el que se les realiza el seguimiento.

6.3.2. FIBROSIS MIOCÁRDICA Y LA RELACIÓN CON LA LARGA DISTANCIA

En el estudio de Wilson y colaboradores (2011) encontramos uno de los datos más importantes en nuestro estudio, y es que si bien el envejecimiento produjo algunas diferencias morfológicas y funcionales, estas se atenuaron parcialmente en comparación con los controles veteranos sedentarios. Excepcionalmente, seis atletas veteranos (50%) demostraron a través de LGE (una resonancia magnética cardíaca con gadolinio tardío) indicativa de fibrosis miocárdica, con la presencia de LGE asociada con la cantidad de años de entrenamiento, la cantidad de maratones y las maratones de ultraresistencia (>50 millas) completadas.

En otros estudios en los que también se encontraba fibrosis miocárdica en sus sujetos se informó que algunos de estos atletas eran fumadores anteriormente, pero en el estudio de Wilson y colaboradores (2011) solamente un atleta decía haber tenido antecedentes de tabaquismo de 15 años. Este atleta era casualmente un atleta que no presentaba LGE.

El estudio de Wilson y colaboradores (2011), de acuerdo con estudios como el de Mohlenkamp y colaboradores (2008), y el de Breuckmann y colaboradores (2009),

observó una fuerte asociación entre la presencia de LGE y el número de maratones o maratones de ultraresistencia (>50 millas por evento) previamente completados.

Este dato es muy relevante ya que podría hacernos indicar que la participación en carreras como maratón o carreras de ultradistancia de manera frecuente durante un largo tiempo que incluye muchos años de la vida del deportista se asocia con la presencia de LGE, la cual es indicativa de la fibrosis miocárdica. La presencia de LGE en atletas veteranos se asoció significativamente con la cantidad de años dedicados al entrenamiento, la cantidad de maratones competitivos y las maratones de ultraresistencia (>50 millas) completadas, lo que respalda un vínculo entre el ejercicio de resistencia de por vida y la fibrosis miocárdica, que requiere más estudio (Wilson, et al., 2011).

El estudio más reciente que relaciona este tema es el de Scheer y colaboradores (2022), en el que definen la carrera de ultrarresistencia como aquella que supera la distancia de maratón o las 6 horas de duración de la prueba, incluyendo las pruebas de varios días o varias etapas. Hasta la fecha los estudios sobre las carreras de ultrarresistencia se centraban más en lesiones agudas y problemas médicos, así como en aspectos fisiológicos, bioquímicos, nutricionales, de rendimiento y relacionados con el entrenamiento.

Como ya hemos visto anteriormente, en el estudio de Wilson y colaboradores (2011) Se ha notificado una mayor prevalencia de fibrosis miocárdica del VI en maratonianos aparentemente sanos en comparación con sus homólogos sedentarios, lo que nos hace pensar que este problema cardiovascular se relaciona con los años de práctica. En este estudio se observó como la mejora en las imágenes miocárdicas (imágenes por resonancia magnética de alta resolución) mostró que la fibrosis puede estar localizada en todas las cavidades. La fibrosis en el ventrículo derecho o las aurículas está directamente relacionada con eventos adversos (Scheer, et al. 2022).

Teniendo en cuenta estos estudios, podemos decir que la participación en carreras a lo largo de una vida, incluyendo los días de entrenamiento preparatorio para esas carreras pueden desencadenar en problemas cardiovasculares como la fibrosis miocárdica, pero paralelamente debemos observar qué ocurre en corredores novatos que corren sus primeras carreras.

Este estudio tiene como objetivo relacionar la dosis de participación en carreras, es decir, el número de carreras en las que un corredor participa, con el riesgo de mortalidad cardiovascular a través de enfermedades que pueden aparecer por el repetitivo entrenamiento a lo largo del tiempo. Este entrenamiento suele ser de un alto volumen e intensidad, por lo que el sistema cardiovascular tiende a sufrir mucho.

6.4. FIBRILACIÓN AURICULAR

Dentro de los problemas cardiovasculares que los corredores tanto populares como profesionales pueden desarrollarlo a lo largo de su carrera deportiva, se incluye la fibrilación auricular. La fibrilación auricular (FA) es la arritmia más común en atletas de mediana edad (Centurión, O.A., et al. 2019). El ejercicio físico realizado de forma regular ha demostrado ser beneficioso para la salud cardiovascular y el ejercicio físico moderado, además de producir una sensación agradable, tranquila y de bienestar, se ha asociado con un menor riesgo de FA. Sin embargo, el ejercicio de resistencia más extenuante, como el que experimentan los corredores de maratón, parece aumentar el riesgo de fibrilación auricular en atletas sanos sin cardiopatía orgánica (Centurión, O.A., et al. 2019). La fibrilación auricular (FA), se puede encontrar en atletas masculinos de resistencia altamente entrenados, y esta anomalía generalmente puede ocurrir después de varios años de entrenamiento, con un riesgo multiplicado por tres a cinco veces en comparación con individuos sedentarios (Scheer, et al. 2022).

Los deportistas, debido al entrenamiento de resistencia, pueden experimentar un aumento crónico de la presión auricular, la cual puede provocar fibrilación auricular. De hecho, De Gerche y colaboradores (2012) han concluido a través del análisis de diversos estudios que la actividad física aeróbica vigorosa sostenida a largo plazo, como el maratón o ultramaratón, se ha asociado con un aumento de hasta 5 veces en la prevalencia de problemas como la fibrilación auricular.

En el estudio de Centurión y colaboradores (2019) se indica que al igual que la actividad física de alta intensidad y alto volumen predispone al sistema cardiovascular a sufrir fibrilación auricular, la baja actividad física realizada por un sujeto y una vida sedentaria también es un riesgo de sufrir esta dolencia cardíaca.

Por lo tanto podemos decir que ambos extremos en cuanto a la realización o no de actividad física tienden a promover episodios de fibrilación auricular (Centurión, O.A., et al. 2019).

Existe evidencia acerca de que la actividad física moderada es beneficiosa para prevenir e incluso tratar la fibrilación auricular, por lo que en caso de padecerla los médicos deben recomendar un entrenamiento físico moderado a los pacientes con fibrilación auricular (Centurión, O.A., et al. 2019).

Esta acción no solo contribuiría a la reducción o prevención de fibrilación auricular, sino que también se contribuiría a un beneficio cardiovascular general. Sin embargo, el riesgo de padecer fibrilación auricular parece proceder de la práctica de actividad física en exceso tanto relacionado con el volumen como con la intensidad del mismo. Por ello los atletas de élite deben de tener especial cuidado con este tipo de enfermedad cardiovascular, ya que sus entrenamientos tienen una intensidad muy alta para poder romper la homeostasis que les permita mejorar su rendimiento una vez han alcanzado un nivel competitivo muy alto. Pero no solo los atletas de élite pueden padecer dicha enfermedad, ya que, como hemos indicado anteriormente, en la actualidad las carreras populares gozan de una gran popularidad entre los corredores amateurs, los cuales preparan dichas carreras de una forma cada vez más especializada y profesionalizada, por lo que sus entrenamientos son cada vez más específicos e intensos.

En deportistas de élite el resultado clínico puede ser diferente al de los atletas populares. En el estudio de Elliot y colaboradores (2018) se reclutó a 99 atletas de resistencia recreativos que se agruparon según las horas de entrenamiento de por vida. Los atletas se sometieron a una evaluación del tamaño auricular, la modulación autonómica y las contracciones auriculares prematuras. Fueron agrupados por horas de entrenamiento de por vida autoinformadas: baja (<3000 h), media (3000–6000 h) y alta (>6000 h). El

volumen de la aurícula izquierda (LA), las dimensiones del ventrículo izquierdo (VI) y la función sistólica y diastólica del VI se evaluaron mediante ecocardiografía. Se utilizó un monitoreo electrocardiográfico ambulatorio de 48 horas para determinar la frecuencia cardíaca, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, las contracciones auriculares prematuras y las contracciones ventriculares prematuras. Los autores encontraron que el volumen de la Aurícula Izquierda fue significativamente mayor en los grupos alto (+5,1 ml/m², IC del 95 %: 1,3–8,9) y medio (+4,2 ml/m², IC del 95 %: 0,2–8,1), en comparación con el grupo bajo. Grupo. Se observó dilatación de Aurícula Izquierda en el 19,4 %, 12,9 % y 0 % de los grupos alto, medio y bajo, respectivamente (P = 0,05). No observaron ninguna diferencia con respecto a las dimensiones o la función del VI, los índices de variabilidad de la frecuencia cardíaca o la contracción auricular y ventricular prematura.

Por lo tanto, concluyeron que el aumento del entrenamiento de por vida está asociado con la dilatación de la AI en ausencia de parámetros vagales aumentados o contracciones auriculares prematuras en atletas de resistencia recreativos, lo que puede promover la incidencia de Fibrilación auricular en esta cohorte.

Sin embargo, la relación del ejercicio con la fibrilación auricular es compleja, influenciada por la intensidad y la duración de la actividad física, y parece tener una relación en forma de U con los mayores niveles de actividad física posiblemente aumentando la incidencia de fibrilación auricular. De hecho, la relación entre la fibrilación auricular y la intensidad del ejercicio sugiere una respuesta curvilínea con un beneficio o incluso unos riesgos decrecientes con el ejercicio más intenso (Centurión, O.A., et al. 2019).

En el artículo de Myrstad, M, y colaboradores (2014) se llegó a la conclusión de que los hombres mayores con un historial de práctica de deportes de resistencia a largo plazo

tienen un mayor riesgo de FA en comparación con los hombres mayores en la población general. Esta información es muy importante, ya que nos puede dejar entrever que las personas que llevan participando en carreras durante muchos años de su vida tienen un mayor riesgo de padecer fibrilación auricular que las personas novatas en estas organizaciones.

Hay estudios que subrayan la existencia de una relación entre las horas acumuladas de práctica y el riesgo de padecer fibrilación auricular inducida por el ejercicio. Larsson y colaboradores (2016) indicaron que más de 5 h/semana de ejercicio de intensidad vigorosa a los 30 años de edad aumentó la incidencia de FA después de los 60 años de edad.

6.5. RIESGO DE MUERTE ASOCIADO A CORRER UN MARATÓN

La revisión de Dayer, M.J., y Green, I. (2019) tiene como objetivo determinar el riesgo de muerte al correr una maratón, así como la búsqueda de riesgos probables para alertar al público de estos y así poder realizar una mejor planificación para estos eventos. Es bien conocido que existe un riesgo de mortalidad por participar en un maratón, así como que diversos estudios han demostrado que los hombres parecen padecer un mayor riesgo de mortalidad que las mujeres, las cuales parecen correr menos riesgo que los hombres.

El riesgo de muerte estimado por estos estudios fue de aproximadamente 0,67 por 100 000 finalistas, es decir, 1 muerte por 149 968 participantes. De aquellos estudios que informaron muertes por sexo, la tasa de muertes masculinas fue de 0,98/100 000 (1 por 102 503) frente a 0,41/100 000 (1 por 243 879) en mujeres. Las mujeres parecen tener menos riesgo que los hombres y la mayoría de las muertes ocurren en los últimos kilómetros de la carrera. Lo que queda claro de este análisis de Dayer, M.J., y Green, I. (2019) es que las posibilidades de morir durante un maratón son muy bajas.

De las personas que fallecen en la práctica de maratones se desconoce cuántos de ellos tenían antecedentes con síntomas, pero los programas de entrenamiento generalmente no someten a los corredores al mismo tipo de estrés que experimentan el día de la carrera de maratón, con la mayoría de las "carreras largas" alcanzando un máximo de 20 millas y a un ritmo más lento. El estrés del maratón libera una serie de biomarcadores inflamatorios y también hay evidencia de hipercoagulabilidad, creando una situación en la que es más probable la ruptura de la placa y la posterior trombosis coronaria (Dayer, M.J., & Green, I. 2019).

Pero, al igual que estudiamos la respuesta cardiovascular de los corredores veteranos y que han participado en un gran número de carreras a lo largo de su dilatada carrera

deportiva, debemos pensar en los corredores novatos que no han participado en ninguna o en muy pocas carreras y que apenas acaban de comenzar con su vida deportiva.

Los corredores novatos que participan en su primera carrera de maratón parecen tener una remodelación biventricular concéntrica y una reducción de la presión arterial (D´Silva, et al., 2020).

Las reducciones en la presión arterial periférica y central demostradas en el estudio de D´Silva y colaboradores (2020) fueron acompañadas por una reducción en la velocidad de la onda del pulso aórtico, lo cual es intrigante y sugiere que una reducción en la rigidez vascular puede desempeñar un papel mecánico en individuos jóvenes normotensos que hacen ejercicio. En términos de relevancia clínica, si se mantiene, se esperaría que una reducción de la PA sistólica de 2 mmHg redujera la mortalidad por accidente cerebrovascular en un 10 % y por cardiopatía vascular e isquémica en un 7 %, incluso en una población normotensa de bajo riesgo (Lewington et al., 2002). Esto demuestra el importante papel de la actividad física en la salud.

Por otro lado, es conveniente recordad que para participar en una carrera es necesario un periodo largo de entrenamiento como ya hemos indicado anteriormente. Si los deportistas son novatos, para participar en una distancia como la maratón es necesario un entrenamiento prolongado en el tiempo de aproximadamente un años. Un año de entrenamiento de resistencia intensivo y prolongado conduce a adaptaciones morfológicas cardíacas en sujetos jóvenes previamente sedentarios similares a las observadas en atletas de resistencia de élite; sin embargo, no es suficiente para lograr niveles similares de cumplimiento y rendimiento cardíaco (Arbab-Zadeh., et al. 2014).

6.6. MUERTE SÚBITA

Dentro de las enfermedades cardiovasculares que afectan a los deportistas de todo tipo de disciplinas, se encuentra la llamada “muerte súbita” o muerte cardíaca súbita, la cual representa en torno al 50% de las muertes cardiovasculares. De hecho, cada año, unas 350.000 personas mueren de forma repentina e inesperada en Europa y entre 300.000 y 400.000 en Estados Unidos (Markwwerth, P., et al. 2021).

La muerte súbita es una tragedia sea cual sea la edad o la profesión de la víctima, pero es quizás más trágica cuando esta enfermedad se cobra la vida de un deportista, ya que se entiende a un deportista como alguien saludable con un estilo de vida activo y sano.

Cardiólogos deportivos de todo el mundo han trabajado para cuantificar la incidencia de muerte súbita cardíaca (SCD) en el atleta, identificar factores de riesgo, desarrollar herramientas de detección previas a la participación y formular planes para tratar la SCD en el campo. Se han hecho progresos, pero queda mucho por hacer para que tanto los deportes competitivos como los recreativos sean más seguros tanto para los pacientes con enfermedades cardíacas conocidas como para los atletas sin anomalías cardíacas conocidas o sospechadas (Emery, M. S., et al. 2018).

La mayoría de causas de muerte súbita en atletas y personas deportistas son trastornos cardíacos hereditarios que suelen y pueden estar inactivos pero pueden predisponer al atleta a sufrir una muerte súbita cardíaca principalmente a través de la arritmia ventricular (Markwwerth, P., et al. 2021).

Según el estudio de Emery y colaboradores (2018), la prevalencia de enfermedades cardiovasculares en la población general oscila entre el 3 y el 4 %. Especialmente entre las personas más jóvenes, las causas predominantes son las cardiopatías estructurales, como las miocardiopatías y los trastornos arritmogénicos, que pueden atribuirse en parte

a causas genéticas subyacentes. Paralelamente, encontramos en el estudio de Markwverth y colaboradores (2021) que la miocardiopatía arritmogénica del ventrículo derecho se caracteriza por el reemplazo fibroadiposo del miocardio del ventrículo derecho con expresión variable de la enfermedad que puede aumentar el riesgo de muerte cardíaca súbita, especialmente durante el esfuerzo.

Este último hecho es un factor importante en nuestro trabajo, pues el esfuerzo que una persona debe de realizar en una competición es muy alto y, por lo tanto, aumenta el riesgo de muerte cardíaca súbita si el deportista tiene una miocardiopatía arritmogénica hereditaria sin descubrir por los médicos. Por otro lado, Markwverth y colaboradores (2021) indican en su artículo que el ejercicio físico en sí mismo no se considera un riesgo, sino que el riesgo aparece cuando se combina el ejercicio físico intenso y una enfermedad cardíaca preexistente.

La miocardiopatía hipertrófica se cita a menudo como la causa de muerte más común en atletas jóvenes (Emery, M. S., et al. 2018). Esta miocardiopatía hipertrófica también se resalta como un gran riesgo cardiovascular en el estudio de Dayer, M.J., y Green, I. (2019), ya que en diversos estudios que analizaban las causas de fallecimientos en maratones parecía destacar esta enfermedad cardiovascular.

Generalmente los paros cardíacos se presentan sin signos o síntomas de advertencia por lo que el desenlace a menudo suele ser fatal (Deo, R., et al. 2012). Sabemos que la actividad física es un factor protector de enfermedades como problemas coronarios, enfermedades cerebrovasculares e insuficiencias cardíacas, pero la asociación entre la actividad física y la muerte cardíaca súbita se ha estudiado con menos frecuencia y, hasta donde sabemos, no se ha resumido en un meta-análisis previamente (Aune, D., et al. 2020).

Según el metanálisis de Aune, D. y colaboradores (2020), los deportistas que practican un nivel alto de actividad física tienen la mitad de riesgo de morir de muerte súbita cardíaca que aquellos que tienen un nivel bajo de actividad física. Esto nos conduce a uno de los puntos importantes de este trabajo, ya que tanto a nivel amateur como a nivel profesional o casi profesional es necesario realizar un alto nivel de actividad física tanto para el periodo preparatorio de las carreras como para la competición. Otro de los puntos que señala este estudio es un aspecto interesante, como es que las personas físicamente activas pueden tener un estilo de vida más saludable en general con menos obesidad, menor prevalencia de tabaquismo, una dieta más saludable y menor prevalencia de otros factores de riesgo que las personas físicamente inactivas. Es posible que estos factores pudieran haber confundido la asociación entre la actividad física y la muerte súbita cardíaca en el estudio de Aune, D. y colaboradores (2020).

Un aspecto que es importante y del que existen diversas evidencias científicas es que La actividad física es importante para reducir los factores de riesgo metabólicos, incluidos el sobrepeso, la obesidad y el aumento de peso con el tiempo, la hipertensión, la frecuencia cardíaca elevada y el colesterol alto, así como el riesgo de diabetes, enfermedad coronaria e insuficiencia cardíaca, factores de riesgo que están asociados con un mayor riesgo de muerte súbita cardíaca (Aune, D., et al. 2020). Por lo tanto podríamos decir que la práctica continuada de actividad física reduce en gran medida el riesgo de sufrir muerte súbita cardíaca debido a que la propia práctica de actividad física habitual reduce los factores de riesgo metabólicos recientemente mencionados.

6.6.1. MUERTE SÚBITA ASOCIADA A LA PARTICIPACIÓN DE CARRERAS

El estudio de Nilson, F. y Börjesson (2018), realiza un seguimiento durante 10 años a cerca de la mortalidad en carreras de larga distancia en Suecia. Este se introduce de la misma forma que nuestro trabajo, resaltando la creciente popularidad de las carreras populares, en especial del maratón como distancia estrella, e indicando que la práctica de actividad física es un factor positivo para la salud, aunque la muerte súbita es un riesgo al que se exponen los corredores. Los resultados de este seguimiento de 10 años fueron los siguientes:

Un total de 1.156.271 corredores participaron en una carrera a pie de larga distancia (21-42 km) en Suecia entre 2007 y 2016, y 834.412 corredores terminaron las carreras (72,2%). Una gran mayoría de los finalistas (677.050 (81%)) compitieron en distancias bajo un maratón completo. Se produjeron dos muertes durante el período de tiempo, lo que significa que la tasa de mortalidad fue de 0,24 (intervalo de confianza del 95 %: 0,04–0,79) por cada 100 000 finalistas.

El estudio de O'Keefe y colaboradores (2012) realiza un exhaustivo análisis de la muerte súbita en carreras de resistencia a través del análisis de diversos estudios, los cuales indican que la muerte cardíaca súbita en pruebas como la maratón es muy rara, con 1 evento por cada 100.000 participantes aproximadamente. En el mismo estudio se ha indicado que, aunque este riesgo por participante no ha cambiado a lo largo de las décadas, las tasas de mortalidad absolutas han aumentado a medida que aumentan también el número de participantes.

Parece lógico pensar, por lo tanto, que si uno de cada 100.000 participantes en maratón sufre una muerte cardíaca súbita, de cada 200.000 habrá 2 participantes que sufran dicho accidente cardiovascular. Ello nos hace pensar que la creciente popularidad que las

carreras populares están viviendo en los últimos años y que ya hemos indicado anteriormente en este trabajo traen consigo un mayor número de muertes súbitas cardíacas.

El análisis de otros estudios por parte de O'Keefe y colaboradores (2012) destaca un aspecto al que podemos darle especial atención, y es que hasta el 50% de los eventos cardiovasculares durante la carrera suceden en la última milla de la carrera de maratón.

Debemos destacar un aspecto de suma importancia, y es que los riesgos de mortalidad cardiovascular durante o después de un esfuerzo extremo en carrera en atletas con una edad inferior a 30 años suelen ser causas genéticas como:

- Miocardiopatía hipertrófica.
- Arterias coronarias anómalas.
- Miocardiopatía dilatada.
- Otro problema congénito.

Por su parte, los atletas mayores de 30 años tienen como riesgos principales de mortalidad cardiovascular durante o después de la carrera la cardiopatía coronaria y el infarto agudo de miocardio (O'Keefe, et al. 2012).

7. DISCUSIÓN

En el presente trabajo, realizamos una búsqueda exhaustiva de información a través de la lectura de un gran número de estudios y revisiones relacionados con la actividad física realizada de forma habitual, sobre todo de manera competitiva en carreras de todo tipo de modalidades y distancias, y con una intensidad por encima de ciertos umbrales, con el objetivo de establecer la relación entre la participación en carreras y el riesgo de mortalidad cardiovascular.

En este trabajo se estableció, en primer lugar, la remodelación estructural adversa que puede causar la práctica de ejercicio físico intenso de forma habitual en el sistema cardiovascular y los riesgos que esta remodelación estructural pueden tener en nuestra salud.

La participación en carreras implica que el deportista debe preparar dichas competiciones a través de arduos entrenamientos, lo que conlleva a una práctica de actividad física habitual en sus vidas. Una práctica de ejercicio físico regular es lo necesario para poder mejorar el rendimiento deportivo y la competencia previa a las carreras y competiciones, pero este entrenamiento regular puede producir una estimulación simpática alta sostenida en el corazón, o una hemodinámica directa, lo que puede provocar unas dimensiones del corazón izquierdo más grandes (Dalla Vecchia, L. A. et al, 2019). Dichas dimensiones más grandes del corazón izquierdo suponen una remodelación cardíaca debido al ejercicio y pueden conducir a una “remodelación cardíaca adversa” y promover arritmias en entornos predisponentes como la cardiopatía isquémica o las miocardiopatías latentes (Dalla Vecchia, L. A. et al, 2019).

Por su parte hay otros estudios como el de O’Keefe y colaboradores (2012) el cual indica que los efectos adversos de la actividad física prolongada e intensa debida al entrenamiento diario y a la participación de carreras de forma habitual pueden

desencadenar en una dilatación de la aurícula derecha (AD) y el ventrículo derecho (VD). Este mismo estudio indica que un nivel de ejercicio de resistencia intenso frecuente da como resultado una disfunción del ventrículo derecho, el cual puede verse afectado por la duración de la carrera y tener efectos estructurales crónicos.

No solo eso, sino que el mismo estudio indica que el ejercicio de resistencia excesivo a largo plazo puede inducir a una remodelación estructural patológica del corazón y las arterias grandes.

Esta remodelación estructural cardíaca del lado derecho puede desencadenar en una de las causas de mortalidad cardiovascular en deportistas, como es la fibrosis miocárdica (O'Keefe, et al. 2012).

Existen estudios como el de Wilson, M. y colaboradores (2011) que sugieren un vínculo entre el ejercicio de resistencia de por vida y la fibrosis miocárdica, aunque requieren de mayor exploración. En este mismo estudio parecen asociarse la cantidad de años de entrenamiento, la cantidad de maratones y las maratones de ultradistancia con la presencia de fibrosis miocárdica en los deportistas.

Cabe destacar que estas pruebas de ultradistancia, en términos de cambios cardíacos funcionales, parecen suficiente para evocar de manera aguda disfunción y/o fatiga tanto del Ventrículo izquierdo como del Ventrículo Derecho (Tiller, N. B. et al. 2020).

Según este mismo estudio de Tiller, y colaboradores (2020), se indica que es poco probable que los episodios de ejercicio de intensidad moderada provoquen un estrés fisiológico similar al impuesto en competencias de ultramaratón, es decir, puede ser la exposición repetida al estrés de las carreras, en lugar del entrenamiento de alto volumen, lo que conduce a anomalías cardiovasculares crónicas. Ello nos indica que la participación

en carreras de ultrarresistencia de forma periódica y habitual podría ser un factor determinante en los riesgos de mortalidad cardiovasculares.

Otro de los riesgos de mortalidad cardiovascular derivados del ejercicio a alta intensidad y alta frecuencia es la rigidez arterial.

La rigidez arterial es una manifestación importante del daño orgánico subclínico ligado al envejecimiento y proporciona un marcador bien establecido de la enfermedad cardiovascular.

Esta rigidez arterial es consecuencia de la disfunción del endotelio y se asocia de forma independiente con un riesgo elevado de enfermedad cardiovascular.

Según los datos disponibles, existe una relación compleja entre el ejercicio intenso agudo y la rigidez arterial (Jürgenson, J. et al, 2021).

Por lo tanto, podemos decir que la reestructuración cardíaca adversa tiene el riesgo cardiovascular de que dilaten partes del corazón y provoquen problemas cardiovasculares como la fibrosis miocárdica, rigidez arterial o, como indican De Gerche y colaboradores (2012) puede crearse un sustrato arritmogénico, lo que provoque unas anomalías del ritmo cardíaco o arritmias que sean los causantes de los problemas cardiovasculares más frecuentes en atletas veteranos.

A parte de la remodelación cardíaca y las consecuencias que puede conllevar, y de la rigidez arterial, uno de los factores de riesgo de mortalidad cardiovascular asociados a la práctica de actividad física de forma habitual es la fibrilación auricular.

La fibrilación auricular (FA) es la arritmia más común en atletas de mediana edad (Centurión, O.A., et al. 2019). Esta fibrilación auricular (FA), se puede encontrar en atletas masculinos de resistencia altamente entrenados, y esta anomalía generalmente

puede ocurrir después de varios años de entrenamiento, con un riesgo multiplicado por tres a cinco veces en comparación con individuos sedentarios (Scheer, et al. 2022).

Según el interesante estudio de Elliot y colaboradores (2018), en el que reclutaron a 99 atletas recreativos de larga distancia, la práctica de actividad física intensa está asociada con una dilatación de la aurícula izquierda (AI), lo que puede promover la incidencia de fibrilación auricular.

Teniendo estos datos en cuenta, parece claro que la práctica continuada de actividad física a lo largo de la vida puede provocar fibrilación auricular en los deportistas que participan de forma habitual en las carreras, aumentando de esta manera el riesgo de padecer un problema cardiovascular grave. Esta actividad física mantenida en el tiempo provoca que los hombres mayores con un historial de práctica de deportes de resistencia a largo plazo tengan un mayor riesgo de FA en comparación con los hombres mayores en la población general (Myrstad, M., et al. 2014).

Si nos atenemos a las competiciones única y exclusivamente, el mayor riesgo de mortalidad cardiovascular que encontramos es la llamada muerte cardíaca súbita, la cual representa en torno al 50% de las muertes cardiovasculares.

La mayoría de causas de muerte súbita en atletas y personas deportistas son trastornos cardíacos hereditarios que suelen y pueden estar inactivos pero pueden predisponer al atleta a sufrir una muerte súbita cardíaca principalmente a través de la arritmia ventricular (Markwirth, P., et al. 2021). En este estudio también encontramos un dato importante, y es que la miocardiopatía arritmogénica del ventrículo derecho se caracteriza por el reemplazo fibroadiposo del miocardio del ventrículo derecho con expresión variable de la enfermedad que puede aumentar el riesgo de muerte cardíaca súbita, especialmente durante el esfuerzo.

Otro factor de riesgo de muerte cardíaca súbita es la miocardiopatía hipertrófica, la cual según el estudio de Dayer, M.J., y Green, I. (2019) se muestra como un gran riesgo cardiovascular ya que en diversos estudios que analizaban las causas de fallecimientos en maratones parecía destacar esta enfermedad cardiovascular.

Aunque la muerte cardíaca súbita en carrera no supone un gran riesgo para el corredor, ya que no parece asociarse esta con la actividad física, sino con las miocardiopatías latentes, solamente que el ejercicio físico puede provocar que estas salgan a la luz.

En competición, el riesgo de muerte súbita es relativamente bajo. Según estudios como el de Nilson, F. y Börjesson (2018), la tasa de mortalidad fue de 0,24 (intervalo de confianza del 95 %: 0,04–0,79) por cada 100 000 finalistas. Y en el estudio de de O´Keefe y colaboradores (2012), después de un exhaustivo análisis de diferentes estudios, se determinó que el riesgo de mortalidad en carrera de maratón era de aproximadamente 1 de cada 100.000.

Ambos estudios muestran datos muy bajos de mortalidad asociada a eventos cardiovasculares durante una carrera.

En conclusión, en este trabajo, tras un elaborado análisis de diferentes estudios, podemos decir que el riesgo de mortalidad cardiovascular asociado a la participación en carreras debe relacionarse con la longevidad de la práctica y también con el entrenamiento. Podemos indicar que la remodelación estructural del corazón es el principal resultado de la práctica de actividad física intensa prolongada a lo largo del tiempo, y que esta remodelación cardíaca supone un riesgo de mortalidad cardiovascular debido a los problemas que genera como fibrosis miocárdica, rigidez arterial, fibrilación auricular o arritmias ventriculares.

A parte de la remodelación de la estructura cardíaca, factores ajenos al ejercicio como la miocardiopatía arritmogénica o la cardiopatía hipertrófica pueden provocar muerte cardíaca súbita durante una carrera.

8. CONCLUSIONES

En este Trabajo de Fin de Grado se ha realizado una exhaustiva búsqueda de información acerca de la relación entre la participación en carreras y el riesgo de mortalidad cardiovascular.

Los resultados encontrados indican que la actividad física regular y de alta intensidad puede provocar una remodelación estructural adversa del sistema cardiovascular, lo cual deriva en problemas cardíacos como disfunción, rigidez arterial o arritmias derivadas del ejercicio continuo.

Además, encontramos evidencias de que la duración de las carreras y la longevidad deportiva parecen afectar más a los deportistas, haciendo que con el tiempo aparezca esta remodelación estructural y provoque problemas cardiovasculares que pueden derivar en un final fatal.

Las carreras de larga distancia son muy populares a nivel mundial, con una gran participación de deportistas de todos los niveles en ellas, y aunque en ellas pueden aparecer desenlaces fatales, el riesgo de sufrir un accidente cardiovascular durante la carrera es muy bajo.

La muerte súbita es uno de los riesgos más temidos por los deportistas, aunque esta no parece asociarse al número de carreras en las que el deportista participa, o la distancia de la carrera. El carácter congénito parece ser la principal causa en deportistas jóvenes, pero en deportistas más mayores las causas suelen ser adquiridas.

Este trabajo nos permite la posibilidad de plantear otros trabajos con el objetivo de conocer, quizá, cuál es la dosis máxima de competiciones o la distancia de carrera a partir de la cual aumentan los riesgos de mortalidad cardiovascular en los deportistas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- De Maria, B., de Oliveira Gois, M., Catai, A. M., Marra, C., Lucini, D., Porta, A., Pagani, M., & Dalla Vecchia, L. A. (2021). Ten-year follow-up of cardiac function and neural regulation in a group of amateur half-marathon runners. *Open heart*, 8(1), e001561.
- Dalla Vecchia, L., Traversi, E., Porta, A., Lucini, D., & Pagani, M. (2014). On site assessment of cardiac function and neural regulation in amateur half marathon runners. *Open heart*, 1(1).
- Seijo Bujía, M. A., Giráldez García, M. A., Tuimil, J. L. 2012. Intensidad de carrera y riesgo cardiovascular en corredores populares de Galicia. *European Journal of Human Movement*. Núm. 29 Pág. 61-73.
- Prieto Andreu, J.L. (2016). Reasons for running in popular runners. *International Journal of Social Sciences of Physical Activity, Game and Sport*. Vol XI.
- Vora, A., Burkule, N., Contractor, A., & Bhargava, K. (2018). Prevention of sudden cardiac death in athletes, sportspersons and marathoners in India. *Indian heart journal*, 70(1), 137–145.
- Radmilovic, J., D'Andrea, A., D'Amato, A., Tagliamonte, E., Sperlongano, S., Riegler, L., Scarafile, R., Forni, A., Muscogiuri, G., Pontone, G., Galderisi, M., & Russo, M. G. (2019). Echocardiography in Athletes in Primary Prevention of Sudden Death. *Journal of cardiovascular echography*, 29(4), 139–148.

Aune, D., Schlesinger, S., Hamer, M., Norat, T., & Riboli, E. (2020). Physical activity and the risk of sudden cardiac death: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *BMC cardiovascular disorders*, 20(1), 318.

Dalla Vecchia, L. A., Barbic, F., De Maria, B., Cozzolino, D., Gatti, R., Dipaola, F., Brunetta, E., Zamuner, A. R., Porta, A., & Furlan, R. (2019). Can strenuous exercise harm the heart? Insights from a study of cardiovascular neural regulation in amateur triathletes. *PloS one*, 14(5), e0216567.

Deo, R., & Albert, C. M. (2012). Epidemiology and genetics of sudden cardiac death. *Circulation*, 125(4), 620–637.

Karppi J, Laukkanen JA, Makikallio TH, Ronkainen K, Kurl S. 2013. Serum beta-carotene and the risk of sudden cardiac death in men: a population-based follow-up study. *Atherosclerosis*. 226(1):172–177.

Saz-Lara, A., Cavero-Redondo, I., Álvarez-Bueno, C., Notario-Pacheco, B., Ruiz-Grao, M. C., & Martínez-Vizcaíno, V. (2021). The Acute Effect of Exercise on Arterial Stiffness in Healthy Subjects: A Meta-Analysis. *Journal of clinical medicine*, 10(2), 291.

Jürgenson, J., Serg, M., Kampus, P., Kals, J., Zagura, M., Zilmer, K., Zilmer, M., Eha, J., Unt, E. (2021). Effect of Half-Marathon Running on Arterial Stiffness and Blood Biomarkers in High-Level and Recreational Male Athletes. *Sports Science & Medicine*. 20 (4): 548-556.

- Małek Łukasz A, Barczuk-Falęcka M, Werys K, et al. 2019. Resonancia magnética cardiovascular con mapeo paramétrico en corredores de ultramaratón a largo plazo . *Eur J Radiol.* 117 :89–94.
- Wilson, M., O'Hanlon, R., Prasad, S., Deighan, A., Macmillan, P., Oxborough, D., Godfrey, R., Smith, G., Maceira, A., Sharma, S., George, K., & Whyte, G. (2011). Diverse patterns of myocardial fibrosis in lifelong, veteran endurance athletes. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 110(6), 1622–1626.
- Schoenfeld, J., Johannes Schindler, M., Haller, B., Holdenrieder, B., Christopher Nieman, D., Halle, M., La Gerche, A., Scherr, J. (2020). Prospective long-term follow-up analysis of the cardiovascular system in marathon runners: study design of the Pro-MagIC study. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine.* 6 (1).
- Lewington S., Clarke R., Qizilbash N., Peto R., Collins R., Collaboration P. S. (2002). Age-specific relevance of usual blood pressure to vascular mortality: a meta-analysis of individual data for one million adults in 61 prospective studies. *Lancet* 360 1903–1913.
- Arbab-Zadeh, A., Perhonen, M., Howden, E., Peshock, R. M., Zhang, R., Adams-Huet, B., Haykowsky, M. J., & Levine, B. D. (2014). Cardiac remodeling in response to 1 year of intensive endurance training. *Circulation*, 130(24), 2152–2161.
- D'Silva, A., Bhuvu, A. N., van Zalen, J., Bastiaenen, R., Abdel-Gadir, A., Jones, S., Nadarajan, N., Menacho Medina, K. D., Ye, Y., Augusto, J., Treibel, T. A., Rosmini, S., Ramlall, M., Scully, P. R., Torlasco, C., Willis, J., Finocchiaro, G.,

- Papatheodorou, E., Dhutia, H., Cole, D., ... Sharma, S. (2020). Cardiovascular Remodeling Experienced by Real-World, Unsupervised, Young Novice Marathon Runners. *Frontiers in physiology*, *11*, 232.
- Elliott, A. D., Mahajan, R., Linz, D., Stokes, M., Verdicchio, C. V., Middeldorp, M. E., La Gerche, A., Lau, D. H., & Sanders, P. (2018). Atrial remodeling and ectopic burden in recreational athletes: Implications for risk of atrial fibrillation. *Clinical cardiology*, *41*(6), 843–848.
- Myrstad, M., Løchen, M. L., Graff-Iversen, S., Gulsvik, A. K., Thelle, D. S., Stigum, H., & Ranhoff, A. H. (2014). Increased risk of atrial fibrillation among elderly Norwegian men with a history of long-term endurance sport practice. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *24*(4), e238–e244.
- Larsson Susanna C, Drca Nikola, Jensen-Urstad Mats, Wolk Alicja. 2016. Combined impact of healthy lifestyle factors on risk of atrial fibrillation: Prospective study in men and women. *International Journal Cardiology*. Jan 15;203 ():46–9.
- Centurión, O. A., Candia, J. C., Scavenius, K. E., García, L. B., Torales, J. M., & Miño, L. M. (2019). The Association Between Atrial Fibrillation and Endurance Physical Activity: How Much is too Much?. *Journal of atrial fibrillation*, *12*(3), 2167.
- Markwerth, P., Bajanowski, T., Tzimas, I., & Dettmeyer, R. (2021). Sudden cardiac death-update. *International journal of legal medicine*, *135*(2), 483–495.

- Emery, M.S., Kovacs, R.J. (2018). Sudden Cardiac Death in Athletes. *JACC: Heart Failure*. 6 (1). 30-40.
- Dayer, M.J., y Green, I. 2019. Mortality during marathons: a narrative review of the literatura. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 5 (1).
- Tiller, N. B., Stewart, G. M., Illidi, C. M., Levine, B. D. 2020. Exercise Is Medicine? The Cardiorespiratory Implications of Ultra-marathon. *Current Sports Medicine Reports*. 19 (8). 290-297.
- Scheer, V., Tiller, N. B., Doutreleau, S., Khodaei, M., Knechtle, B., Pasternak, A., Rojas-Valverde, D. 2022. Potential Long-Term Health Problems Associated with Ultra-Endurance Running: A Narrative Review. *Nature Public Healthh Emergency Collection*. 52 (4). 725-740.
- La Gerche, A., Burns, A. T., Mooney, J., Inder, W. J., Taylor, A. J., Bogaert, J., MacIsaac, A. I., Heidbüchel, H., Prior, D. L. 2012. Exercise-induced right ventricular dysfunction and structural remodelling in endurance athletes, *European Heart Journal*, Volume 33, Issue 8. Pages 998–1006.
- Vlachopoulos, C., Kardara, D., Anastasakis, A., Baou, K., Terentes-Printzios, D., Tousoulis, D., Stefanadis, C. 2010. Arterial Stiffness and Wave Reflections in Marathon Runners, *American Journal of Hypertension*, Volume 23, Issue 9. Pages 974–979.

O'Keefe, J. H., Patil, H. R., Lavie, C. J., Magalski, A., Vogel, R. A., McCullough, P.A. 2012. Potential Adverse Cardiovascular Effects From Excessive Endurance Exercise. *Mayo Clinic Proceedings*. 87 (6). 587-595.