

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

FACULTAD DE MEDICINA

Departamento de Medicina Física y Rehabilitación

(Hidrología Médica)



**TESIS DOCTORAL**

**Estudio de la capacidad aeróbica, variables antropométricas y sus determinantes en deportistas adolescentes de Madrid, factores diagnósticos y pronósticos de salud**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Laura García Cortés**

Directores

**Francisco Miguel Tobal**

**Maite Lara Hernández**

**Pablo Villar García**

**Madrid, 2017**





**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE  
MADRID**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**DEPARTAMENTO DE MEDICINA FÍSICA Y  
REHABILITACIÓN.HIDROLOGÍA MÉDICA**



**“Estudio de la capacidad aeróbica, variables antropométricas y sus determinantes en deportistas adolescentes de Madrid; como factores pronósticos y diagnósticos de salud.”**

Tesis Doctoral presentada por:

**Laura Cortés García**

Directores de Tesis:

Prof. Dr. Francisco Miguel Tobal

Dra. María Teresa Lara Hernández

Dr. Pablo Villar Guerra

**Madrid, 2016**

# TESIS DOCTORAL

Estudio de la Capacidad Aeróbica, variables Antropométricas y sus determinantes en Deportistas Adolescentes de Madrid; factores Diagnósticos y Pronósticos de salud.

Laura Cortés García

“Cuando emprendas tu viaje a Ítaca, pide que el camino sea largo, lleno de aventuras, lleno de experiencias,

Ítaca te brindó tan hermoso viaje.

Sin ella no habrías emprendido el camino.

Parecería no tener más que darte

Y aunque creas hallarla pobre, Ítaca no te ha engañado.

Así, sabio como te has vuelto

con tantas experiencias, habrás comprendido

lo que significan las ÍTACAS”.

Cavafis

Dedicado a mis hijos, motor de mi vida, por ellos tiene sentido mi vida y a ellos les debo todo lo que tengo y lo que soy, Laura, Silvia, Juan y Miguel.

## Agradecimientos:

Quisiera agradecer a toda la gente que me ha acompañado en el proceso que ha significado la consecución de este trabajo. Han sido compañeros en mí día a día los que me han llevado a seguir y a finalizar una etapa en la que invertí mucho tiempo y años de mi vida, sobre todo ilusiones, llevar a cabo un proyecto, gracias a su apoyo incondicional en cada momento.

Mis padres, las personas más importantes, ambos ejemplares y especiales. Mi madre, por ser la mejor que hubiera deseado cualquier hijo, impulsándome a cada momento, con una personalidad y energía que han superado cualquier duda, dignas de un reconocimiento merecido y de todo el agradecimiento y amor que merece. Mi padre, un hombre entregado a su profesión y al trabajo, al igual que a su pasión por la vida, ejemplar, que demostró toda su humanidad hasta los últimos momentos de su existencia y el que promovió mi amor por la Medicina y dedicación al esfuerzo, estudio, investigación y sacrificio diario por los sueños que él consiguió hacer realidad.

Quiero hacer un homenaje póstumo a mi padre, él me impulsó en la vía docente Universitaria, creyó y vivió para ello y quería que hiciera esta Tesis Doctoral, exigente desde el principio, sólo con el objetivo de transmitir su amor por la ciencia y las personas que quería y que siempre llevó a su lado. Además, haciendo un esfuerzo personal y privilegiado, por eso se lo debo. Para ti Papá, gracias.

Reconocer el apoyo recibí de una de las más prestigiosas personas del mundo académico y profesional, impulsándome desde que nos conocimos, ayudándome cuando la necesitaba y aconsejándome como una gran amiga que ahora es y siempre será, Ana Esquifino. Por su fe en mí. Gracias a ella empecé un proyecto en el que trabajamos muchos años, apasionado y gratificante, personal y profesionalmente hablando, que finalmente me ha llevado a este. Gracias Ana.

Quiero agradecer a mis Directores de Tesis, Francisco Miguel Tobal, Maite Lara y Pablo García, a los que a cada cual en su momento han sido imprescindibles y valiosos para seguir y, su impulso personal e incondicional, ha sido un privilegio que me ha movido, hasta a nivel personal. También a los profesores de la Escuela de Medicina del Deporte y al personal académico de la Universidad, que promueve y apoya tanto proyectos como a los individuos. También agradezco el apoyo de la Unidad de Investigación del Hospital General de Segovia, en concreto al Dr. Martín Vargas por su contribución estadística en este trabajo.

Puedo nombrar a muchas personas que me han ayudado a seguir y que me han inspirado en mi vida, con las que he compartido mis mejores momentos, hermanas, familia, amigos, de forma especial a Jero, la persona que más me ha querido y a la que yo más quiero, sin esperar nada cambio y a la que debo donde he llegado y siempre estaré en deuda con ella.

Gracias a la gente que ha estado a mi lado y ha ayudado a que yo haya podido trabajar, tanto por apoyo moral, como profesional, Alberto, Joaquín, José María, Marian, Asun, Anabelle, Goyo, Serafín, Rosa, Altagracia, Islandia, Alipio, Consuelo, Félix, Miguel, María, mi maestro Tomás,..., todos han sido amigos y maestros en mi vida.

A mis amigas del grupo “Pádel Semana”, una reunión de personas, cada una especial, auténtica y que me han dado lo mejor de cada una y a las que debo lo mejor de mí misma.

A mi querido Kobu, por todo lo que ha significado y ha trascendido en lo mejor de mi vida y en la vida de mis seres queridos, compañero del alma y amigo fiel, para siempre.

Mi gratitud más expresa a un gran profesional y amigo, Juan José Ramos, que de una forma incondicional han sido un verdadero impulso poniendo a mi disposición su conocimiento, trabajo y apoyo moral para la consecución de este trabajo.

Gracias a mi hijo Miguel empecé a escribir. Y otra vez, gracias a cada uno de mis hijos, Juan, Silvia y Laura, también acabé. Gracias hijos.

También quiero agradecer a los que ya no están aquí, pero que guían mis pasos desde el cielo y que siempre llevo en mi corazón

Todo gracias a Dios.

## Índice

I.a.- [Resumen](#)

I.b.- [Summary](#)

## **1. Introducción**

### **1.1. Capacidad Aeróbica**

1.1.1. Metabolismo energético

1.1.2. Ejercicio aeróbico

1.1.3. Patrones metabólicos de la actividad física en el deporte

1.1.4. Valoración de la Capacidad Aeróbica: Consumo máximo de Oxígeno y Métodos de evaluación

1.1.5. Factores que modifican el VO<sub>2</sub>max

1.1.6. Evolución del VO<sub>2</sub>max con la edad

### **1.2. Variables determinantes de la Capacidad Aeróbica**

1.2.1. Composición Corporal: Antropometría

1.2.2. Hábitos de vida: Actividad Física, Sedentarismo y Nutrición

1.2.3. Ejercicio Físico y Deporte

### **1.3. Población Adolescente y Deporte.**

1.3.1. Ejercicio Físico y Deporte en la población adolescente

1.3.1. Obesidad: Panorama Actual (mundial, europeo, español, Madrid)

### **1.4. Población adulta**

1.4.1. Evolución de los factores de riesgo cardiovascular. Prevención vs Erradicación

1.4.2. Medidas de salud: La salud como objetivo prioritario social

## **2. Objetivos**

## **3. Material y Métodos**

### **3.1. Población**

3.1.1. Criterios de Selección

3.1.2. Características de la muestra

### **3.2. Evaluación de los hábitos de vida**

3.2.1. Hábitos nutricionales

3.2.2. Hábitos de actividad física y sedentaria

### **3.3. Cineantropometría: Bioimpedancia eléctrica.**

3.3.1. Principios y propiedades eléctricas del cuerpo humano

- 3.3.2. Aspectos metodológicos sobre la bioimpedancia eléctrica
- 3.3.3. Recomendaciones de carácter general para el uso correcto y el análisis de los datos de bioimpedancia

### **3.4. Pruebas de esfuerzo en el” Laboratorio de Esfuerzo”**

- 3.4.1. Material Médico
- 3.4.2. Condiciones previas a la prueba
  - 3.4.2.1. Por parte del deportista
  - 3.4.2.2. Por parte del investigador
  - 3.4.2.3. Por las condiciones del laboratorio
- 3.4.3. Descripción del protocolo
- 3.4.4. Parámetros analizados
  - 3.4.4.1. Análisis de gases
  - 3.4.4.2. Análisis de parámetros cardiovasculares
  - 3.4.4.3. Análisis del protocolo
  - 3.4.4.4. Análisis de los umbrales ventilatorios

### **3.5. Análisis estadístico**

- 4. Resultados**
- 5. Discusión**
- 6. Conclusiones**
- 7. Bibliografía**
- 8. Anexos**

## I.a.- RESUMEN

Este trabajo surge de la preocupación por acercarse a una nueva realidad social que ha contribuido al cambio de hábitos de vida en la población adolescente y que se traducen en la población adulta, intentando aportar datos para su definición y evaluación, buscando la promoción de la salud como objetivo de bien individual y social.

Se ha encontrado relación entre composición corporal y la actividad física en diversas partes del mundo y se sabe que una pobre condición física es uno de los factores principales que contribuyen a la obesidad infantil. Este estudio tiene el objeto de determinar la relación entre la capacidad física en términos de consumo máximo de oxígeno, composición corporal y hábitos de vida en un grupo de deportistas de la Comunidad de Madrid. En la literatura se demandan datos y exploraciones o investigaciones que se puedan aplicar a niños y adolescentes, buscando las variables que puedan influir y objetivarlas, para poder modificarlas.

Aún se conoce poco sobre la condición física y los indicadores de composición corporal en niños que demuestre la interdependencia entre la obesidad y la actividad física, esta preocupación es lo que nos ha llevado a realizar este estudio, en el que se intenta aportar datos al conocimiento de los factores o variables importantes de este modelo social y de los hábitos de vida saludables en una población que se puede educar, para poder prevenir y garantizar el bienestar de la salud de la población, como prioridad esencial. Por tanto, partimos de la hipótesis de la influencia del VO<sub>2</sub> máx. con respecto a las variables antropométricas de grasa y masa muscular, en adolescentes. Uno de los principales objetivos del estudio ha sido contribuir con datos objetivos la necesidad de apoyar estrategias para mejorar la salud en la población de los adolescentes, que sin duda, además, sabemos que determina y repercute en la cantidad y calidad de vida de la población general.

Se han estudiado los parámetros de salud y hábitos de vida en una población deportista de niños de 12 a 18 años, para evaluarlos objetivamente y poder sacar conclusiones que puedan servir de referente a la población general.

Para ello hemos recogido datos de composición corporal, hábitos de vida y capacidad aeróbica, medida como consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max), mediante pruebas de esfuerzo en tapiz rodante, con medición de gases y de

consumo máximo de oxígeno, en una población de deportistas de la Comunidad de Madrid y evaluando los resultados. Se ha buscado la relación entre el número de horas de deporte o de un nivel mínimo de actividad física con los parámetros de salud obtenidos, valorados por cineantropometría con tecnología de bioimpedancia eléctrica.

La muestra estaba compuesta por la totalidad de los deportistas federados que acuden al Centro de Tecnificación de la Comunidad de Madrid (Centro que atiende exclusivamente a los mejores deportistas de la Comunidad), correspondientes a diferentes deportes. El total es de 113 deportistas federados de diferentes categorías deportivas, de ambos sexos y de edades comprendidas entre 12 y 18 años, todos en buen estado de salud, sin toma de medicación y sin límites para la práctica deportiva. Todos ellos y sus padres, al ser menores de edad, fueron informados de las características del estudio y firmaron el consentimiento para la realización del mismo.

Primeramente se realizó un estudio descriptivo, en el que se han tomado datos de edad, deporte practicado, peso y talla. A cada uno de ellos se les ha hecho una encuesta nutricional completa y una entrevista personal de hábitos de vida en cuanto a intensidad y dedicación de ambas categorías, para poder clasificarlos en cuatro grupos de cada categoría, siendo el nivel I el de menos horas y afición y el IV el de más intensidad y dedicación en número de horas, tanto en cuanto a hábitos sedentarios, como en cuanto a actividad física y deporte, teniendo en cuenta actividades escolares y extraescolares. La encuesta es individualizada y personal y necesitaría de validaciones posteriores para poder aplicarla, pero que a nosotros nos ha sido suficiente para el objetivo de clasificación de los deportistas en distintos niveles de hábitos de vida.

Los datos cineantropométricos se han obtenido mediante tecnología de bioimpedancia eléctrica, técnica novedosa y avalada por numerosos estudios científicos como medida objetiva, segura y fiable de datos de composición corporal. Se han escogido y recogido datos de peso, masa grasa y masa muscular, obteniendo sus porcentajes relativos al peso, índice de masa corporal y de índice cintura cadera de cada deportista.

La historia clínica y la exploración sistemática por aparatos no evidenciaron ninguna patología previa que contraindicase la realización de las pruebas en ninguno de los deportistas estudiados.

La prueba de esfuerzo se realizó en el “Laboratorio de Esfuerzo”, en las instalaciones del Centro de Medicina del Deporte de la Comunidad de Madrid, se recogía la presión arterial y un registro electrocardiográfico

previo a la prueba aeróbica máxima que se realizó sobre un tapiz rodante, previamente realizaron un calentamiento antes de la prueba de esfuerzo.

En todos los casos se obtuvieron pruebas de esfuerzo máximas para la obtención del Consumo Máximo de Oxígeno (VO<sub>2</sub> máx.). El consumo máximo de oxígeno obtenido, como índice de capacidad aeróbica, se ha relacionado con los datos de composición corporal y con los cuatro grupos que se habían establecido en cuanto a hábitos de vida sedentarios y otros cuatro grupos de actividad física. Los hábitos nutricionales no se han tenido en cuenta debido a que siempre se obtenían niveles muy adecuados debido posiblemente a las características de la muestra.

Se establecieron cuatro grupos de sedentarismo (SI a SIV) y cuatro grupos de actividad (AI a AIV) siguiendo los criterios establecidos en el apartado de material y métodos (tabla 1). La tabla 6 recoge la distribución de la muestra en los grupos de sedentarismo y la tabla 7 para los grupos de actividad.

No se encontraron diferencias significativas en la distribución de los grupos de sedentarismo y actividad en relación al sexo (p: 0,26 y p: 0,21 respectivamente), por tanto los resultados obtenidos pueden ser aplicados en ambos sexos. A medida que los hábitos son más sedentarios, los deportistas presentan significativamente una menor capacidad aeróbica (VO<sub>2</sub> máx.), un mayor porcentaje de grasa corporal y un menor porcentaje de masa muscular.

Entre dichos grupos de actividad, el porcentaje de grasa corporal va disminuyendo a medida que aumenta el nivel de actividad. Por lo cual existe una relación proporcional entre el grado de actividad y la disminución del porcentaje grasa.

Finalmente el VO<sub>2</sub> máximo aumenta significativamente a medida que disminuye el porcentaje grasa y aumenta proporcionalmente al porcentaje muscular

### **Conclusiones:**

En la población infantil deportiva:

-Existe una relación inversa entre el consumo máximo de oxígeno y el porcentaje de grasa corporal, a mayor consumo máximo de oxígeno menor porcentaje grasa.

-El porcentaje graso es la variable antropométrica que más influye en el consumo máximo de oxígeno, por lo que dicho consumo podría utilizarse como indicador de composición corporal (a menor, mayor).

-El sedentarismo y la baja actividad física se relacionan directamente con la disminución de la capacidad aeróbica. Siendo el sedentarismo el mayor indicador de la disminución del consumo máximo de oxígeno.

-Cuanta mayor es el grado de actividad física, mayor es el aumento en los valores de capacidad aeróbica; y por lo tanto, del consumo máximo de oxígeno.

-El consumo máximo de oxígeno es inversamente proporcional al porcentaje de grasa y directamente proporcional al porcentaje de masa muscular, no siendo el índice de masa muscular un indicador tan fiable como el de porcentaje de grasa corporal, que tiene una relación directa con el consumo máximo de oxígeno, de forma que se podría inferir de forma indirecta con el valor de porcentaje graso.

## I.b.- SUMMARY

This work arose from the concern of an oncoming new social reality which is contributing to the change of lifestyles among adolescents and is subsequently reflected in the adult population. This study tries to provide data for the definition and evaluation of the different variables involved, pursuing the promotion of proper health.

A direct relationship between corporal composition and physical activity has already been found all over the world, and it has been proven that a poor physical condition is one of the main factors that contributes to childhood obesity. The purpose of this study is to establish a relationship between cardiovascular fitness, body composition and lifestyle habits of a group of athletes from Madrid's Autonomous Community. The current studies and literature demand further data, examinations and investigations in order to discover in which way these variables influence one another. Through further examinations, it will be possible to assess the abovementioned variables, improving the individual and social health and lifestyles.

Even though little is known about children's physical condition and body composition indicators, there are some investigations in this regard. However, there is still a lack of information that can prove the relationship between obesity and physical activity. This concern is what led us to perform this study.

Although the consequences are not entirely perceivable, the evolution of technology is demanding a change in the behavioral pattern of society, which has led to adaptations at every level, particularly in the youth in a conclusive way. We want to contribute to the knowledge of the variables that impact directly on the healthy lifestyle of a population that can be educated, having as an essential priority the welfare and health of the general population.

Nowadays, childhood obesity is known as the "Pandemic of the XXI Century" and "Childhood Disease", which proves the existing concern about this existing international reality. This requires treatment strategies, including educational and family level policies as a first step. We want to help clarify the impact that the sports role and lifestyle of adolescence has in individual and collective health. Despite the improved management of diseases and treatment, concerns regarding the detriment of health of the general population is supported by scientific data and increasing social

demands. Given the increase in cardiovascular diseases, obesity is a problem that needs to be tackled.

We investigated indicators of health and lifestyle in a population of children of ages between 12-18 years that practiced sports, to evaluate and draw conclusions that can be a reference for general population. By improving healthiness in childhood we can modify general population lifestyles and quality life.

To perform this study, we have collected data on body composition, lifestyle and aerobic capacity, measured as maximal oxygen uptake (VO<sub>2</sub>max), through stress tests on a treadmill, with measurement of gases and maximum oxygen consumption in a sport population of the Autonomous Community of Madrid. We have been looking into the relationship between the number of hours of sport or minimum level of physical activity, with health indicators valued by cinanthropometry with electrical bioimpedance technology.

The sample was composed by the adolescents that belonged to a sports federation and attended the Sport Medicine Center of the Autonomous Community of Madrid. There were 113 federated athletes from different sports categories, of both genders and aged between 12 and 18. They all had good health, as they were not taking medication, and their parents were adequately informed and signed the consent to perform the different tests.

First of all, a descriptive study was made, taking different data such as age, practiced sports, weight and height. Each of them completed a nutritional survey and were personally evaluated through an interview of lifestyle in terms of intensity and dedication to physical activity and sedentary habits. This allowed us to classify them into four different groups in each category, taking into account school and extracurricular activities. The survey was individual and was enough to achieve the goal of classifying athletes into different levels of lifestyle habits. Then, we established four Sedentary groups (S I- S IV), and Activity four (A I- A IV), according to a well-thought criteria (Table 1). Table 6 and 7 show the distribution between Sedentary and Activity groups, respectively.

The cineanthropometry data was obtained by electrical bioimpedance technology, which is a new technique supported by numerous scientific studies. It is an objective, safe and reliable measure of technical data of body composition. After collecting the age, height and weight of the individual, but without having to define gender, the device measures every tissue, though the opposition of the body to electrical resistance. The technology is capable of distinguishing between fat, muscle, body water and bone

components. Electrical bioimpedance is based on this technology and is further detailed throughout this work. Additionally, data regarding weight, fat mass and muscle mass has been collected, obtaining percentages relative to weight, body mass index and waist-hip ratio of each athlete.

After a thorough physical examination and complete medical check-up, in which their medical condition was collected to ensure that every adolescent presented a normal and healthy case, the athletes got prepared for the maximal exercise test in the laboratory. Previously, they were informed and instructed how the tests were going to be performed, as in most cases, it was the first time for the athletes on a treadmill.

The stress test was conducted at the "Laboratory" in the Sports Medicine Center of the Community of Madrid, which ensures that the atmospheric and temperature conditions are optimal for the successful completion of the test. Blood pressure and pre-test ECG recording was collected. After the explanation of the steps of the test, the athletes stood on the treadmill, previously doing warm up before exercise testing. The mask for gas measurement was placed after being calibrated on the device previous to the beginning of the test. Continuous monitoring and ergospirometric electrocardiographic indicators were obtained using the software included in the testing facilities, which were then studied. Aerobic and anaerobic ventilatory thresholds and maximal oxygen consumption were assessed.

In all cases, maximal exercise testing was obtained, which means they fulfilled maximally criteria. Therefore, we were able to obtain maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ), which is the best indicator of individual functional capacity and aerobic capacity. It is known that data can be extrapolated to adulthood, since there are no variations except for small decreases due to the difference in age, but it seemed to depend on the training that has been discontinued.

The maximum oxygen consumption obtained, as an index of aerobic capacity, has been associated with body composition data and the four groups that had been established with regard to sedentary lifestyles and the four groups of physical activity.

Nutritional habits were not taken into account because always-adequate levels were obtained, possibly partly due to the characteristics of the sample. All of the athletes were federated and family-supported children, who receive a better attention and care than non athletic children.

The results corroborate the hypothesis which links body fat percentage with the maximum oxygen consumption, and provide original and innovative data due to the methodology used and the population studied. No significant differences were observed regarding gender in the groups that had been classified in terms of intensity, both in physical activity and sedentary lifestyle. There is a very significant correlation in the group with higher physical activity with the lowest level of inactivity.

There were no statistically differences in the distribution of groups related to gender  $p: 0,26$  and  $p: 21$  in males and females, respectively, so the results can be applied to both. The more sedentary habits, the lower maximal oxygen consumption, higher body fat percentage and lower muscular mass percentage.

In the group of physical activity, the body fat percentage decreases as the level of activity increases. Consequently, there is a direct relationship between the level of activity and the lower body fat percentage.

Finally, maximal oxygen consumption increases as body fat decreases, and increases proportionally to the muscular mass percentage.

### **Conclusions:**

In the sport childhood population:

- There is an inversely relation between maximal oxygen consumption and body fat percentage: the higher the maximal oxygen consumption, the lower body fat percentage.

- The body fat percentage is the anthropometric variable that has more influence in the levels of maximal oxygen consumption, so the latter can be used as indicator of body composition.

- The inactivity and sedentary habits are directly proportional with lower aerobic capacity. Sedentary habits are the main indicators of lower maximal oxygen consumption levels.

- The higher the physical activity, the higher the aerobic capacity, and thus, higher maximal oxygen consumption.

- The maximal oxygen consumption is inversely proportional to the body fat percentage and directly proportional to the muscular mass percentage. Muscular mass percentage is not as reliable as indicator of body composition as body fat percentage, because there is a direct correlation between fat percentage and maximal oxygen consumption. Hence, fat percentage could be used as an indirect value for assessing maximal oxygen consumption.

The purpose of this study is to contribute to society with useful data that will be helpful to endorse the need of a healthy lifestyle. Hopefully, it will help to improve health conditions from childhood to adulthood, looking forward to systems that support individuals in their development at all levels.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1.- Capacidad Aeróbica

La capacidad aeróbica se define como la capacidad del organismo (corazón, músculos, vasos sanguíneos y pulmones) para funcionar

eficientemente y llevar actividades sostenidas con poco esfuerzo, poca fatiga, y con una recuperación rápida, que consiste en la adecuada respiración celular, que utilizando oxígeno, pueda llevar a cabo las funciones elementales, de una forma fisiológica y beneficiosa para el mismo orden celular.

Fisiológicamente, es la habilidad de producir un trabajo utilizando oxígeno como combustible. La capacidad aeróbica es una función del volumen máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx.), el cual representa la capacidad máxima del organismo para metabolizar el oxígeno en la sangre (máximo transporte de oxígeno que nuestro organismo puede transportar en un minuto). (Astrand and Rodahl 1986, Byrne and Wilmore 2001, Wilmore and Costill 2004)

Dado que cuanto mayor sea el VO<sub>2</sub> máx., mayor será su resistencia cardiovascular, éste es utilizado como unidad de medida para la capacidad aeróbica o potencia aeróbica. El consumo máximo de oxígeno es la mayor cantidad de oxígeno que un individuo puede utilizar durante un trabajo físico y respirando aire atmosférico.

El VO<sub>2</sub> máx. (Consumo de oxígeno) es igual al volumen de oxígeno inspirado por minuto menos el volumen de oxígeno expirado por minuto.

$$VO_2 = V_I O_2 - V_E O_2$$

### 1.1.1.- Metabolismo energético

La **respiración aeróbica** es un tipo de metabolismo energético en el que los seres vivos extraen energía de moléculas orgánicas, como la glucosa, por un proceso complejo en el que el carbono es oxidado y cuando llega a la mitocondria forman adenosintrifosfato (ATP), en el que el oxígeno procedente del aire es el oxidante empleado. En otras reacciones, el oxidante es distinto del oxígeno (respiración), siendo en la matriz de la mitocondria donde se hacen la mayor parte de reacciones que sintetizan el ATP. En esa oxidación final, que es compleja, y en procesos anteriores se obtiene la energía necesaria para la fosforilación del ATP.

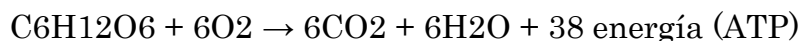
La **energía anaerobia** es la que se puede obtener de los alimentos sin utilizar oxígeno al mismo tiempo; se llama **energía aerobia** a la que solo se produce tras el metabolismo oxidativo. Los carbohidratos, las grasas y las proteínas se pueden oxidar para sintetizar trifosfato de adenosina (ATP), que es el único medio de que dispone la célula para transferir la energía de los alimentos a la mayor parte de sus sistemas funcionales (transporte de

membrana, síntesis de compuestos químicos en toda la célula y trabajo mecánico celular). Los únicos alimentos que pueden producir energía sin utilización de oxígeno son los carbohidratos, mediante el ciclo glucolítico de glucosa y glucógeno para la obtención de ácido pirúvico, obteniendo dos moléculas de ATP, por cada molécula de glucosa y si es del glucógeno, tres moléculas de ATP.

Si se suspende la respiración, hay cierta cantidad de oxígeno almacenada en el alveolo pulmonar y hemoglobina, que basta para que los sistemas metabólicos funcionen unos dos minutos. Durante un minuto más, esta fuente puede ser la glucólisis: el glucógeno intracelular se desdobra en ácido pirúvico y éste se transforma en ácido láctico que difunde a los líquidos tisulares. Se sabe que los músculos pueden realizar hazañas de fuerza sorprendente, pero no son capaces de sostenerlas mucho tiempo.

Cuando han penetrado las células, la glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos, quedan sometidos dentro del citoplasma a la acción de enzimas que convierten la glucosa en ácido pirúvico (proceso denominado glucólisis), sin precisar la presencia de oxígeno, y los ácidos grasos y la mayor parte de aminoácidos en ácido acetoacético. Estos dos acabarán por distintas rutas metabólicas en el compuesto Acetil CoA, el cual es transportado junto con el oxígeno a través de la membrana mitocondrial hacia la matriz mitocondrial, donde tiene lugar el ciclo del ácido tricarboxílico o ciclo de Krebs, que libera la energía suficiente para formar grandes cantidades de energía en forma de ATP.

En presencia de oxígeno, el ácido pirúvico, obtenido durante la fase primera aerobia o glucólisis, es oxidado para proporcionar energía, dióxido de carbono y agua. A esta serie de reacciones se le conoce con el nombre de respiración aeróbica. La reacción química global de la respiración es la siguiente:



Durante la glucólisis, una molécula de glucosa es oxidada y dividida en dos moléculas de ácido pirúvico (piruvato). En esta ruta metabólica se obtienen dos moléculas netas de ATP y se reducen dos moléculas de NAD<sup>+</sup>; el número de carbonos se mantiene constante (6 en la molécula inicial de glucosa, 3 en cada una de las moléculas de ácido pirúvico). Todo el proceso se realiza en el citoplasma de la célula. La glicerina (glicerol) que se forma en la lipólisis de los triglicéridos se incorpora a la glucólisis a nivel del gliceraldehído 3 fosfato. La desaminación oxidativa de algunos aminoácidos también obtiene piruvato y tienen el mismo destino metabólico que el obtenido por glucólisis.

El ácido pirúvico entra en la matriz mitocondrial donde es procesado por el complejo enzimático piruvato deshidrogenasa, el cual realiza la descarboxilación oxidativa del piruvato, descarboxilación porque se arranca uno de los tres carbonos del ácido pirúvico (que se desprende en forma de CO<sub>2</sub>) oxidativa porque, al mismo tiempo se le arrancan dos átomos de hidrógeno (oxidación por deshidrogenación), que son captados por el NAD<sup>+</sup>, que se reduce a NADH. Por tanto, el piruvato se transforma en un radical acetilo (-CO-CH<sub>3</sub>, ácido acético sin el grupo hidroxilo) que es captado por el coenzima A (que pasa a acetil-CoA), que es el encargado de transportarlo al ciclo de Krebs.

El ciclo de Krebs es una ruta metabólica cíclica que se lleva a cabo en la matriz mitocondrial y en la cual se realiza la oxidación de los dos acetilos transportados por el acetil coenzima A, provenientes del piruvato, hasta producir dos moléculas de CO<sub>2</sub>, liberando energía en forma utilizable, es decir poder reductor (NADH, FADH<sub>2</sub>) y GTP.

Para cada glucosa se producen dos vueltas completas del ciclo de Krebs, dado que se habían producido dos moléculas de acetil coenzima A en el paso anterior; por tanto se ganan 2 GTPs y se liberan 4 moléculas de CO<sub>2</sub>. Estas cuatro moléculas, sumadas a las dos de la descarboxilación oxidativa del piruvato, hacen un total de seis, que es el número de moléculas de CO<sub>2</sub> que se producen en respiración aeróbica (ver ecuación general).

La cadena respiratoria y fosforilación oxidativa son las últimas etapas de la respiración aeróbica o anaeróbica y tienen la finalidad de reoxidar las coenzimas que se han reducido en las etapas anteriores (NADH y FADH<sub>2</sub>) con el fin de que estén de nuevo libres para aceptar electrones y protones de nuevos substratos oxidables y producir energía utilizable en forma de ATP. Estos dos fenómenos están íntimamente relacionados y acoplados mutuamente. Se producen en una serie de complejos enzimáticos situados en la mitocondria.

La energía empleada durante un ejercicio intenso proviene del ATP que contengan las células musculares, del fosfato de creatina en ellas, de la energía anaeróbica liberada por la glucólisis y de la energía liberada continuamente por los sistemas intracelulares de oxidación. Durante un ejercicio muy intenso los mecanismos de oxidación son incapaces de liberar energía con rapidez suficiente para satisfacer las demandas; por lo tanto los periodos de ejercicio intenso son menores de uno o dos minutos, de la glucólisis anaeróbica, acabando con el glucógeno del músculo y aumentando la concentración de ácido láctico en la sangre. Cuando cede el ejercicio se reconvierte el proceso, sobre todo en la célula hepática, de donde la glucosa

pasa a la sangre y es transportada de vuelta al músculo que la almacena en forma de glucógeno. Tras el ejercicio intenso, de esta forma, los procesos metabólicos de oxidación siguen muy activos durante varios minutos para transformar de vuelta el ácido láctico en glucosa y reconstruir las reservas de ATP y fosfato de creatina. (Guyton, A)

El oxígeno que se emplea en estos procesos de energía oxidativa para resintetizar estas sustancias constituye la denominada “deuda de oxígeno”. El aumento del consumo de oxígeno tras el ejercicio fue denominado clásicamente por Hill y colaboradores “deuda de oxígeno” (Hill and Lupton 1923, Hill, Long et al. 1924).

Hill al principio del siglo pasado estudió la relación entre el metabolismo del ácido láctico y el aumento del consumo de oxígeno tras el ejercicio después de un trabajo muscular, basándose en datos experimentales obtenidos por el mismo autor (Hill 1914) y otros autores (Fletcher and Hopkins 1907, Meyerhof. 1920, Hartree and Hill 1922).

La teoría de la participación del ácido láctico en la deuda de oxígeno (Hill, Long et al. 1924), partió primeramente de los trabajos de Fletcher y Hopkins (Fletcher and Hopkins 1907). Poco tiempo después Hill postuló que los procesos de la contracción muscular se deberían a la liberación de ácido láctico por algún precursor que se reconstruye tras la contracción muscular en presencia de oxígeno. (Hill 1913).

Posteriormente, Meyerhof observó que cuando el lactato aparecía en un músculo, el glucógeno siempre desaparecía en la cantidad correspondiente, menos una cantidad que, calculada del consumo de O<sub>2</sub>, había sido perdida por oxidación. (Meyerhof. 1920). Hill y Hartree y Hill llegaron a la misma conclusión, la mayor parte del lactato formado durante la contracción se convierte en glucógeno durante la recuperación, (Hill 1910, Hill 1914, Hartree and Hill 1922), aunque había diferencias entre los autores en cuanto a la cantidad de lactato consumido en la oxidación. Tras estos estudios, la deuda de oxígeno fue definida como la “cantidad total de oxígeno consumido, tras el cese del ejercicio en la recuperación del mismo”.

En resumen, Hill postuló la hipótesis de la deuda de oxígeno sobre la base de que el volumen de oxígeno consumido tras el ejercicio estaría relacionado con el metabolismo del lactato durante el periodo de recuperación del mismo (Hill and Lupton 1923, Hill, Long et al. 1924).

Dicha hipótesis fue modificada por Margaria y colaboradores (Margaria, Edwards et al. 1933). Tras el descubrimiento del papel de los fosfatos en la

contracción muscular (Lundsgaard, 1930), Margaria demostró que el descenso del lactato en sangre no comenzaba hasta que se completaba una fase rápida de consumo de oxígeno tras el ejercicio, concluyendo que el rápido descenso del VO<sub>2</sub> debería ser aláctico, sugiriendo que el componente aláctico era el resultado de la sustitución de los fosfatos en el músculo esquelético. (Margaria, Edwards et al. 1933). Este autor dividió el periodo de la deuda de oxígeno en dos componentes, una fase rápida inicial, alactácida y la segunda, lenta lactácida. Solamente la fase lenta del metabolismo del VO<sub>2</sub> estaría relacionada con el metabolismo del lactato (Margaria, Edwards et al. 1933).

El fenómeno del aumento de consumo de oxígeno al cesar el ejercicio no puede ser explicado solamente por el metabolismo del ácido láctico (Gaesser and Brooks 1984). La hipótesis clásica de la deuda de O<sub>2</sub> considera que la mayor fracción de lactato (80%) formado durante el ejercicio es convertida en glucógeno en el periodo inmediato de post-ejercicio, mientras que el restante (20%) es oxidado a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, y por tanto proporcionando la energía necesaria para la depleción de los depósitos de glucógeno (Hill and Lupton 1923), sugiriendo, también, que tras un ejercicio moderado y prolongado la fase lenta del VO<sub>2</sub> post-ejercicio se prolongaba y no necesariamente estaba relacionado con la retirada del ácido láctico. Incluso 80 minutos después del ejercicio, el VO<sub>2</sub> se encontraba un 7% por encima de los niveles en reposo antes del ejercicio, e incluso se mantenía elevado hasta 24 horas después del mismo (Benedict & Cathcart, 1913).

Otros experimentos posteriores, cuestionaron la hipótesis de la deuda de oxígeno. Alpert (Alpert and Root 1954) afirmó que el oxígeno consumido durante el ejercicio no se relaciona con el consumo de oxígeno durante la recuperación y que el exceso de lactato inyectado en reposo o producido durante el ejercicio no está casualmente relacionado con el consumo de oxígeno durante la recuperación. Segal y Brooks (Segal and Brooks 1979) pudieron demostrar que el comportamiento del VO<sub>2</sub> tras el ejercicio era independiente de las variaciones de la concentración de lactato en sangre.

Diversos autores (Bang 1936, Flock, Ingle et al. 1939, Harris, Bateman et al. 1968) (Rowell, Kraning et al. 1966) constataron que en ejercicio constante, la concentración de lactato aumentaba hasta alcanzar su máximo a los 5-10 minutos de ejercicio y luego descendía progresivamente a los niveles de reposo, incluso antes de terminar el ejercicio e independientemente de la duración del mismo. En ejercicios prolongados puede incrementarse el VO<sub>2</sub> tras el ejercicio sin ningún incremento notable del lactato en sangre (Gaesser and Brooks 1980). Si el ejercicio dura unos minutos, el lactato en sangre alcanzaba la cima al terminar el mismo y

podía mantenerse elevado hasta mucho tiempo después que el VO<sub>2</sub> hubiese vuelto a niveles normales.(Harris, Bateman et al. 1968). Sin embargo en ejercicios más intensos la concentración de lactato en sangre depende de la duración del ejercicio a diferencia del VO<sub>2</sub> que no depende de la duración del mismo (Rowell, Kraning et al. 1966).

Durante muchos años, estaba en discusión el destino metabólico del lactato tras el ejercicio. Algunos autores sugerían que el destino más probable para este metabolito fuera la glucogénesis muscular (Meyerhof 1920, Bendall and Taylor 1970, Gleeson 1982), mientras otros autores se inclinaban a afirmar que el lactato contribuye muy poco a la repleción del glucógeno tras el ejercicio y la mayor parte del mismo se oxida (Abramson, Eggleton et al. 1927, Fell, McLane et al. 1980, Brooks and Donovan 1983) (Gaesser and Brooks 1980) (Sacks and Sacks 1935).

Aunque hay evidencias que afirman que los músculos esqueléticos de los mamíferos tienen una mayor capacidad para sintetizar el glucógeno desde el lactato (McLane and Holloszy 1979, Pierce and Connet 1980). El desplazamiento del lactato en sangre tras el ejercicio, no está asociado a la síntesis neta de glucógeno en hígado y músculo (Brooks and Donovan 1983). Siendo la glucosa en sangre el mayor sustrato para la síntesis de glucógeno en el músculo tras el ejercicio (Maehlum, Felig et al. 1978, Fell, McLane et al. 1980, Pearce and Connett 1980, Ahlborg and Felig 1982).

Estos resultados favorecen la interpretación de que el principal destino metabólico del lactato tras el ejercicio máximo es la oxidación, al igual que durante el reposo y el ejercicio submáximo. (Depocas, Minaire et al. 1969, Donovan and Brooks 1983), siendo mayor la oxidación durante el ejercicio (Jorfeldt 1970, Mazzeo, Brooks et al. 1982). Durante la recuperación del ejercicio el lactato sigue diferentes caminos, entre un 55-70% del lactato presente al final del ejercicio se oxida (Brooks and Donovan 1983), hasta un 20% se transforma en glucógeno en el hígado (Bendall and Taylor 1970, Gleeson 1982), entre el 5-10% entra a formar parte de las proteínas, un 10% es utilizado como fuente de carbono en el ciclo de Krebs y en reacciones de transaminación (Brooks and Gaesser 1980) y un 2% se utiliza como precursor de la gluconeogénesis (Cori 1931, Fell, McLane et al. 1980).

El lactato ha sido considerado un producto consecuencia del metabolismo, cuya aparición en músculo y sangre durante el ejercicio indicaba metabolismo “anaeróbico”. No obstante, la producción de lactato en el músculo durante las contracciones puede ocurrir incluso cuando el músculo está bien oxigenado (Grahan, Sinclair et al. 1976). El incremento de la producción de lactato es un resultado del ejercicio a pesar de la

oxigenación muscular (Gaesser and Brooks 1984), siendo el crecimiento del lactato en sangre uno de los factores que afecta a la ventilación pulmonar (Jones and Ehrsam 1982). Bahr y col, demostraron que el consumo de oxígeno tras el ejercicio permanecía significativamente elevado desde 4 horas después del ejercicio, hasta 12 horas después del mismo, mientras que la concentración de lactato en sangre había decrecido significativamente 2 horas después del ejercicio (Bahr, Gronnerod et al. 1992).

Parece evidente que el lactato no es el único responsable del exceso del consumo de oxígeno tras el ejercicio (EPOC). En este sentido, Gaesser y Brooks, afirman que la explicación clásica de la deuda de O<sub>2</sub> es demasiado simple, y que los factores responsables del exceso de consumo de O<sub>2</sub> tras el ejercicio pueden ser el reflejo de una alteración metabólica general tras dicho ejercicio. Concluyen que el lactato por sí mismo no es el responsable del EPOC. Es evidente que la totalidad del VO<sub>2</sub> tras el ejercicio no puede ser explicada por la hipótesis tradicional de la deuda de oxígeno. Cualquier relación aparente entre el descenso del lactato en sangre tras el ejercicio y la fase lenta de descenso del VO<sub>2</sub> es probablemente coincidencia, y puede depender del tipo de ejercicio realizado (Gaesser and Brooks 1984, Gaesser and Rich 1984)..

La explicación de este fenómeno, debería encontrarse en las mitocondrias, ya que estos órganos son el lugar del consumo de oxígeno por la célula. Los cambios físicos y químicos que ocurren en células musculares durante la contracción, que son necesarias para incrementar el VO<sub>2</sub> y aumentar la producción de ATP, pudieran persistir durante algún tiempo después del cese del ejercicio. El componente rápido del VO<sub>2</sub> tras el ejercicio y parte del componente lento pudieran ser explicados por cambios en las concentraciones de ADP, ATP, Pi y CP (Harris, Edwards et al. 1976, Mahler and Homsher 1982).

Son múltiples los factores que pudieran contribuir al control indirecto de la respiración mitocondrial. Comentamos aquellos factores más relevantes indicados en la literatura que pudieran intervenir en dicho proceso, y por tanto, han sido relacionados clásicamente con la producción del exceso de consumo de oxígeno tras el ejercicio: diferentes hormonas: insulina, cortisol, hormonas tiroideas, hormona del crecimiento (GH), hormona adenocorticotropa (ACTH) y catecolaminas, el calcio intramitocondrial, la temperatura y la mioglobina.

Las catecolaminas, la tiroxina y los glucocorticoides producen un incremento de la bomba Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> (Chapler, Stainsby et al. 1980), aumentando

la permeabilidad de las membranas al  $\text{Na}^+$  y al  $\text{K}^+$  (Horwitz 1979) (Horwitz, 1979).

El consumo de los ácidos grasos durante el ejercicio también pudiera tener algún efecto en el incremento del consumo de oxígeno tras el mismo (Hittelman, Lindberg et al. 1969).

El aumento del Calcio intramitocondrial pudiera afectar a la unión entre la fosforilación y la oxidación, incrementando el ritmo de consumo de oxígeno e influyendo en la respiración mitocondrial tras el ejercicio. (Carafoli and Lehninger 1971).

También existe una relación evidente entre el descenso en el  $\text{VO}_2$  tras el ejercicio y el retorno de la temperatura a los niveles basales (Brooks, Hittelman et al. 1971, Hagberg, Mullin et al. 1980). La temperatura muscular elevada en los humanos tras el ejercicio está asociada con el  $\text{VO}_2$  elevado tras el mismo. El efecto de la temperatura podría representar un 60-70% del componente lento de la recuperación del  $\text{VO}_2$  tras el ejercicio (Claremont, Nagle et al. 1975, Hagberg, Mullin et al. 1980). La temperatura elevada incrementa la respiración y decrecen la eficacia de la fosforilación dentro de las mitocondrias, como consecuencia se requeriría un mayor consumo de oxígeno para la síntesis de una determinada cantidad de ATP (Brooks, Hittelman et al. 1971). Todo esto ayuda a comprender la importancia del entrenamiento y ejercicio físico regular para que el metabolismo celular vaya adquiriendo mayor capacidad aeróbica y por tanto mayor y más eficaz utilización del oxígeno.

La mioglobina, una proteína que se encuentra en el interior de la célula muscular, también ha sido relacionada con el exceso de consumo de oxígeno tras el ejercicio. La mioglobina fija el oxígeno y favorece su transporte hacia el interior de la célula muscular, facilitando la difusión del oxígeno desde los capilares hacia las mitocondrias en el interior de las fibras musculares. Dicha proteína se encuentra en mayor cantidad en las fibras de contracción lenta, lo que explicaría su mayor potencial aeróbico. Las reservas de oxígeno de la mioglobina proveen de una fuente muy rápida de oxígeno para los músculos. La forma de combinación del oxígeno con la mioglobina es similar a la combinación con la hemoglobina y depende de la disponibilidad de oxígeno de la sangre y los tejidos (Bowers and Fox 1993). En las fases iniciales de ejercicio se consumiría el oxígeno combinado con la mioglobina y durante la recuperación tendrían que reponerse dichos depósitos contribuyendo probablemente al exceso de consumo de oxígeno tras el ejercicio (Bersheim and Bahr 2003).

Todo eso tiene que ver con el rendimiento en términos de capacidad aeróbica con el ejercicio y a la necesidad de entrenamiento en el sentido de aumentar las reservas energéticas para ir consiguiendo aumentar la capacidad aeróbica.

### **1.1.2.- Ejercicio aeróbico**

Es el ejercicio físico que necesita de la respiración. Abarca los ejercicios más comunes como caminar, trotar, bailar, esquiar, pedalear, etc. Tienen por objetivo conseguir mayor resistencia. Para obtener la energía necesaria para realizar estas actividades es preciso quemar hidratos y grasas, y para ello se necesita oxígeno.

Los beneficios del ejercicio aeróbico son bien conocidos como la reducción de la grasa subcutánea localizada entre los músculos, dado que la utiliza como combustible o fuente principal de energía, la disminución a mediano plazo, la presión sanguínea en los hipertensos, la disminución de los niveles de colesterol total en la sangre, así como los de colesterol LDL y de los triglicéridos y aumenta el colesterol HDL, reduciendo factores de riesgo cardiovascular.

Reduce los niveles sanguíneos de glucemia en los diabéticos y es un factor terapéutico muy importante, incluyéndose ya de forma generalizada la prescripción de ejercicio físico en diabéticos.

Mejora la capacidad pulmonar, la circulación en general y el aprovechamiento del oxígeno, no solo por los músculos, incluyendo el músculo cardíaco, sino también por los órganos internos y la piel, lo cual se refleja en una mayor capacidad para realizar esfuerzos y mejoría en las funciones digestivas, renales, inmunológicas, endocrinas, el estado de ánimo, el sueño y las funciones mentales superiores. Reduce la mortalidad cardiovascular a largo plazo por los efectos beneficiosos en el sistema cardiovascular. La actividad cardiovascular (o aeróbica) mejora la circulación coronaria, favoreciendo la distribución de los capilares en el músculo cardíaco y la habilidad del corazón para desarrollar nuevos ramales de arterias sanas, que permitan llevar la sangre a lugares donde antes llegaba en forma deficiente. También se produce un aumento de volumen de la cavidad ventricular, lo que supone una disminución de la frecuencia cardíaca en reposo y el consiguiente ahorro de gasto cardíaco.

Aumenta la reabsorción de calcio por los huesos, fortaleciéndolos y disminuyendo el riesgo de fracturas. Disminuye los niveles circulantes de

adrenalina, la hormona del estrés, y aumenta los niveles de endorfinas y otras sustancias cerebrales, contribuyendo a bajar la tensión emocional y mejorar el estado anímico, lo cual se refleja en una gran sensación de bienestar físico, emocional y social.

Los cambios que el ejercicio aeróbico produce en nuestro metabolismo, no se limitan al tiempo de ejercicio sino que perduran por varias horas más. Así, si cambian las condiciones a un menor aporte de calorías y a una mayor carga de trabajo, se obliga a activar un "generador" extra que utiliza como combustible a las grasas, las cuales le brindan muchas más calorías por gramo (9 contra 4 de los carbohidratos). Al terminar el ejercicio, según hemos comentado con una base fisiológica, es posible que siga activado ese generador de energía y se multipliquen los beneficios.

La intensidad del ejercicio aeróbico se puede medir con relación al volumen de oxígeno máximo consumido por el cuerpo. De forma práctica la intensidad se calcula con la frecuencia de las pulsaciones cardíacas por minuto.

La frecuencia máxima o número máximo de pulsaciones por minuto (NPM) que puede alcanzar un corazón sano con seguridad, se calcula mediante una constante de 220 (para hombres) y 226 (para mujeres) a la cual se le resta la edad, es decir:

$$\text{NPM para hombres} = 220 - \text{Edad}$$

$$\text{NPM para mujeres} = 226 - \text{Edad}$$

$$\text{Así, un hombre de 50 años sería: } 220 - 50 = 170$$

Esta ecuación está realizada para calcular la frecuencia cardíaca máxima (FCM) y no el umbral aeróbico, el cual se sitúa en un 70% y un 80% de la FCM y que sirve de referencia para realizar los entrenamientos en base al tipo de intensidad y ejercicio que se pretenda realizar.

### **1.1.3.- Patrones metabólicos de la actividad física en el deporte**

Los estudios que analizan los movimientos de los deportistas durante una actividad física, vienen a corroborar la diversidad de intensidades creadas durante una competición (Kirkendal 1985), en el que se realizan todo tipo de esfuerzos. En determinados deportes, un deportista puede llegar a correr a velocidades muy elevadas en breves periodos de tiempo y al

instante siguiente, según las circunstancias del juego, quedarse parado e ir alternando esfuerzos a diferentes intensidades, con una gran variedad de movimientos aleatorios: Carrera lenta, rápida, saltar, caminar, correr hacia atrás... etc. (Bangsbo 1994). Por otro lado, la duración de la competición y las diferentes actividades o distancias recorridas que se realizan en una competición, dan lugar a realizar los diferentes esfuerzos en un tiempo y un espacio determinado.

#### -Metabolismo aeróbico

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto respecto a los esfuerzos realizados y según la duración del esfuerzo, es evidente que la práctica deportiva implica una gran provisión de energía para el sistema aeróbico. El jugador se encuentra la mayor parte del tiempo realizando ejercicios totalmente aeróbicos (andar, trotar, estar parados...)

Se ha estimado entre un 70-85% la contribución del metabolismo aeróbico durante un partido de fútbol (Bangsbo, Mohr et al. 2006). Esto se puede trasladar a diferentes categorías deportivas que manejan similares tipos de exigencia. La alta demanda del metabolismo aeróbico-oxidativo durante el ejercicio, se debe, por un lado a que el lactato se metaboliza a expensas del metabolismo aeróbico (Nordheim and Vollestad 1990, Tomlin and Wenger 2001) por lo que se hacen necesarios momentos de juego menos intensos. Por otro lado la resíntesis de ATP-PC se realiza inmediatamente a expensas del metabolismo aeróbico exclusivamente o conjuntamente con el glucolítico. (Connet, Honig et al. 1990)

Diferentes estudios, basados en el ejercicio intermitente de alta intensidad, han constatado que la capacidad de rendimiento en las fases de alta intensidad depende de la duración de los periodos de recuperación y de la intensidad del ejercicio realizada durante dicha fase (Gaitanos, Williams et al. 1993, Signorile, Ingalls et al. 1993, Dorado, Sanchis et al. 1999). Si la recuperación es activa permitirá aumentar el consumo de oxígeno y por tanto mejorará el rendimiento para el esfuerzo consiguiente de alta intensidad (Dorado, Sanchis et al. 1999). Durante los periodos de recuperación durante el ejercicio se produce un exceso de consumo de oxígeno (Sheppard, 1992), imponiéndose en ocasiones una gran demanda energética aeróbica. Incrementada ocasionalmente, por el hecho de que durante los intervalos de recuperación, a veces es necesario realizar un ejercicio adicional impuesto por las necesidades del juego (Ramos, Segovia et al. 1994).

#### -Metabolismo anaeróbico aláctico

Los depósitos musculares de ATP y Creatín Fosfato proporcionan la inmediata fuente de energía para los movimientos de alta intensidad y corta duración (McGilvery 1975, Shephard 1982). En general, se utiliza este tipo de energía en la mayoría de las acciones de alta intensidad y en las acciones decisivas de una competición, a veces de forma continua. No obstante al cabo de varios segundos de sprint exhaustivo o esfuerzo máximo los niveles de Fosfocreatina se agotan casi totalmente y los niveles de ATP caen entre un 15 y un 20% (Bowers and Fox 1993). La resíntesis de dichos compuestos se realiza inmediatamente a expensas de las otras dos fuentes restantes de obtención de energía (glucolítica y oxidativa) o exclusivamente a expensas del metabolismo aeróbico. (Connet, Honig et al. 1990, Bangsbo 1994). Sin haber unanimidad en los trabajos consultados. En cualquier caso, sólo podemos mantener una alta intensidad de esfuerzo durante muy poco tiempo. Es evidente, por tanto, que el deportista no puede mantener el mismo ritmo durante todo el tiempo de la competición, necesita disminuir la intensidad del esfuerzo, para recuperar los depósitos de ATP y Creatín fosfato. Aquellos jugadores con una mayor potencia aeróbica muscular, tendrían mayor capacidad de resintetizar fosfocreatina y, por tanto, mayor capacidad para realizar esprints sucesivos (Rico-Sanz, Bangsbo et al. 1995).

#### -Metabolismo anaeróbico láctico

La glicolisis es el conjunto de reacciones químicas encaminadas a obtener energía de los hidratos de Carbono, es una vía metabólica importante tanto en el metabolismo aeróbico como en el anaeróbico. En ausencia de Oxígeno, la degradación de los hidratos de carbono en la obtención de energía conduce al acumulo de ácido láctico. La concentración de lactato en sangre se relaciona con esfuerzos de alta intensidad, como ya se ha explicado abundantemente. En diferentes estudios realizados en futbolistas la concentración de lactato se encuentra alrededor de los 4 Mml.l-1 durante un partido (Carli, Bonifazi et al. 1986, Tumilty, Hahn et al. 1988, Bangsbo 1994). Ekblom (1986) obtuvo concentraciones de lactato de hasta 12 Mml.l-1 después de una serie de esprints sucesivos. Al término de la primera parte del partido la concentración era de 9,5 Mml.l-1(Ekblom 1986). Así, un factor importante para el rendimiento deportivo podría deberse a una mayor capacidad para soportar repetidas fases de sprint y por tanto una mayor capacidad para soportar determinadas concentraciones de lactato.

Los jugadores de élite pueden mantener una velocidad alrededor de 14 km.h-1 a una concentración de lactato de 4 Mmol.l-1 (Bangsbo and Lindqvist 1992), que se correspondería con el inicio de acumulación de lactato en sangre. Los valores de lactato pueden variar en función del momento de toma de las muestras, puede disminuir en los periodos menos

intensos y aumentar en determinadas acciones del juego (Reilly 1997) , ya que el lactato se metaboliza en los periodos de juego menos intensos a expensas del metabolismo aeróbico (Nordheim and Vollestad 1990).

#### -Factores neuromusculares

Finalmente, tenemos que tener en cuenta que existen otros factores que influyen en el rendimiento y en los que los substratos metabólicos estudiados no constituyen un factor limitante; muchos de los movimientos que se realizan continuamente en la actividad deportiva de que se trate, que no dependen exclusivamente de factores metabólicos, sino más bien de factores neuromusculares, como son los relacionados con la fuerza explosiva de los miembros inferiores: La capacidad de reclutamiento neuromuscular, la elasticidad muscular y el tipo de fibras musculares implicadas, cualidades con un alto contenido genético y por tanto poco entrenables. Solamente pudiera estar implicado como fuente de energía en este tipo de actividad las reservas inmediatas de utilización de la misma: ATP y Creatín fosfato.

La proporción de fibras de contracción rápida y lenta depende del grupo muscular estudiado. La proporción de fibras rápidas (FTa y b) en el músculo vasto lateral de los futbolistas, era del 50%-60% (FTa y b)((Montanari, Vecchiet et al. 1990, Andersen, Klitgaard et al. 1994) mientras que en el músculo gastronemio era del 44% (Bangsbo et al., 1988; Bangsbo & Lindqvist, 1992). Por otro lado el área de sección transversal de las fibras rápidas y la capilarización está aumentada en los futbolistas (Bangsbo, Klausen et al. 1988, Kuzon, Ropsenblatt et al. 1990).

El tipo de esfuerzo realizado durante la actividad deportiva es muy variable y todas las vías de obtención de energía son necesarias durante el mismo. Algunos autores apuntan a que los diferentes niveles de un jugador y las diferentes posiciones del juego se diferencian mejor por los componentes anaeróbicos (umbral anaeróbico, velocidad, potencia, fuerza, capacidad anaeróbica láctica) más que por su potencia aeróbica (Davis and Brewer 1992).

Las acciones decisivas se realizan a muy alta intensidad y, probablemente, sea la capacidad anaeróbica el más determinante del rendimiento, no obstante, dicha capacidad habría que utilizarla el mayor tiempo posible durante la competición, en consecuencia, también se hace necesaria la implicación del metabolismo aeróbico en la obtención de energía.

En la práctica deportiva se utilizan todas las fuentes de energía, en distintas proporciones, no siendo ninguna de ellas determinante en el

rendimiento. Todos estos aspectos previamente analizados son importantes para conocer los mecanismos fisiológicos que transcurren durante el desarrollo de la competición y en consecuencia para conocer los parámetros que debemos estudiar a la hora de evaluar la capacidad del deportista y los sistemas de entrenamiento que deberemos emplear.

#### **1.1.4.- Valoración de la capacidad aeróbica**

La Capacidad Aeróbica viene a expresar la suficiencia del corazón y sistema cardiovascular para transportar oxígeno a los músculos que trabajan, permitiendo las actividades que implican a grandes masas musculares durante un periodo prolongado de tiempo. Se ha demostrado que el valor del consumo máximo de oxígeno es un buen indicador de la capacidad aeróbica

El consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx.), como hemos dicho, se define como la cantidad máxima de volumen de oxígeno que un individuo puede absorber, transportar y consumir en un tiempo determinado durante la realización de esfuerzos máximos. Es un indicador del metabolismo aeróbico y puede expresarse en valores absolutos: mililitros de oxígeno consumidos por minuto o relativos referidos al peso del sujeto: mililitros de Oxígeno consumidos por minuto y por Kilogramo de peso corporal. (Astrand and Rodahl 1986, Byrne and Wilmore 2001, Wilmore and Costill 2004).

Para calcular el volumen máximo de consumo de oxígeno de un individuo, en relación con su masa corporal y durante un minuto, suele emplearse la expresión ml/min/kg, en la que ml representa el volumen de oxígeno consumido, min el tiempo transcurrido y kg la masa corporal. Dividiendo la expresión anterior por el peso corporal, expresado en kg, y multiplicando el resultado por 1.000, se obtiene su volumen máximo de oxígeno expresado en ml/min/kg. La valoración de la capacidad aeróbica se realiza principalmente con la medida del consumo máximo de oxígeno y de los umbrales anaeróbico y anaeróbico.

La determinación del VO<sub>2</sub> máx. ha sido estudiada desde muchos puntos de vista. Debido a la dificultad instrumental que implica su correcta medición han proliferado autores con el ánimo de predecir, estimar, de la forma más correcta el VO<sub>2</sub> máx. del individuo.

Teóricamente podríamos establecer de manera indirecta el consumo de oxígeno de un deportista en su actividad. Habitualmente un deportista alcanza durante su actividad máxima, entre 160-170 p.p.m., lo que puede

representar el 85% de su frecuencia cardiaca máxima (Ekblom 1986, Rohde and Espersen 1988, Reilly 1990, Bangsbo 1994), alcanzando el 90-95% en acciones decisivas intensas (Hoff, Wisloff et al. 2002). Si tenemos en cuenta que existe una relación lineal entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno (Astrand and Rodahl 1986, Byrne and Wilmore 2001), podríamos estimar que el deportista presenta durante el partido un consumo de oxígeno alrededor 75% de su consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ), lo que requeriría una habilidad para mantener esfuerzos alrededor del umbral anaeróbico (Bangsbo 1994).

Para calcular el  $VO_{2m\acute{a}x}$ , se utilizan diversos métodos que tratan de conseguir frecuencias cardíacas máximas o submáximas en un determinado tiempo, como el 20 meter-shuttle test, que por su facilidad de empleo es bastante utilizado, algunos entrenadores utilizan el Test de Cooper, que es muy simple: sólo se tiene que correr a la máxima velocidad durante 12 minutos sin parar. Para realizar este esfuerzo hay que estar en buenas condiciones físicas y haber realizado un chequeo médico previo. Hay una tablas de referencia que se han hecho con frecuencias de deportistas y establecen medias de consumo de oxígeno en función de tiempo recorrido, edad, sexo y FC, que sirven de referencia para acercarse a la capacidad aeróbica del individuo, aunque puede ser menos fidedigno que pruebas más objetivas. El consumo de oxígeno se obtiene mediante unas ecuaciones indirectas y se evalúa de una forma grosera, pero pudiendo hacer inferencias en muchos estudios experimentales. Hay otros tipos de mediciones que usan este tipo de medios para evaluar el consumo de oxígeno, el 20-m shuttle-run test, donde los sujetos corren en cada etapa 20 m a velocidades incrementadas, hasta que no pueden seguir (Léger and Lambert 1982).

El tiempo límite al 100% del  $VO_{2m\acute{a}x}$  suele ser de 6 a 10 minutos. En 2009 y 2010, Véronique Billat mostró que este tiempo puede ser mejorado hasta 25/30' con un protocolo de sesión basado en variaciones de velocidades sencillas y personalizadas a cada deportista. En 2010 este método fue probado por corredores vía Internet y fuera del laboratorio en el método R2PH, con el apoyo y la ayuda del portal francés "Athlete Endurance" de Jean-Pierre Monciaux y Laurent Colas. Los entrenadores de Athlete Endurance llevan más de un año elaborando modelos de sesiones y entrenando corredores de todos los niveles con este tipo de sesión, para obtener una distancia con resistencia adecuada.

También se ha podido estudiar el consumo de oxígeno de manera directa mediante un registro telemétrico (el jugador porta un equipo que va analizando los gases expirados y los valores analizados se van emitiendo a

distancia), obteniéndose por este método resultados medios entre el 45 y el 65% del consumo máximo de oxígeno (Durnin and Passmore 1967, Faina, Gallozi et al. 1988, Kawakami, Nozaki et al. 1992), datos que parecen ser más acordes con la realidad. No obstante, tenemos que tener en cuenta que por este método, existen ciertas dificultades técnicas para conocer exactamente el consumo de oxígeno durante la actividad física, ya que a pesar de realizarse una medición directa sobre el terreno de juego, los movimientos realizados no se asemejan a los reales, por imposibilidad de realizar acciones propias de la actividad física demanda, portando el analizador (Ramos, Segovia et al. 1994, Shephard 1999).

Finalmente el consumo máximo de oxígeno puede ser obtenido en el laboratorio mediante la realización de una prueba de esfuerzo. Es el método más adecuado para conocer el consumo máximo de oxígeno, ya que podemos mantener unas condiciones estándar que son fácilmente reproducibles. La prueba de esfuerzo incremental con sistema de análisis de intercambio de gases y de la ventilación pulmonar es una medida fiable y precisa del  $\text{VO}_2\text{máx}$ . Por otro lado nos permite hallar los umbrales ventilatorios ( $\text{VT}_1$  y  $\text{VT}_2$ ), utilizando criterios ergoespirométricos (Kinderman, Simon et al. 1979, Hollman 1985, Skinner 1987, Wasserman 2002).

Las pruebas de esfuerzo se hacen sobre tapiz rodante, bicicleta y se están desarrollando diferentes aparatos que reproducen deportes como piragüismo, natación, incluso,...adaptados también a minusválidos, lo que le da un valor excepcional y en auge a este tipo de pruebas.

Se van a definir los parámetros que se miden como variables en las pruebas de esfuerzo, para la validación y ejecución de los datos, con protocolos que sirven para evitar sesgos y den validez a las investigaciones que se hacen en base a ella.

### **- Parámetros ergoespirométricos**

Durante la prueba de esfuerzo máxima en laboratorio, realiza se han obtenido los siguientes parámetros ergoespirométricos: frecuencia cardiaca, tensión arterial sistólica y diastólica, ventilación, cociente respiratorio, presión end-tindal de oxígeno, presión end-tindal de  $\text{CO}_2$ , consumo máximo de oxígeno, equivalentes ventilatorios e oxígeno y  $\text{CO}_2$ , pulso de oxígeno y umbrales ventilatorios  $\text{VT}_1$  y  $\text{VT}_2$ .

#### **- Frecuencia respiratoria**

Es el número de ciclos respiratorios por minuto. Su valor oscila entre 12-14 respiraciones por minuto en reposo hasta 45-50 en máximo esfuerzo, llegando en ocasiones a 70-75. La taquipnea puede ser un índice de acidosis metabólica.

#### - Frecuencia cardiaca

Es el parámetro que cuantifica la intensidad del esfuerzo a nivel cardiovascular. Su valoración en la prueba de esfuerzo permite realizar una transferencia del esfuerzo realizado en el laboratorio al terreno deportivo. Cada vez con más frecuencia los deportistas utilizan pulsómetros para controlar la FC en sus entrenamientos. En la prueba de esfuerzo se controla la FC en cada nivel de carga de trabajo, la que corresponde a los niveles aeróbico y anaeróbico, la FC máxima y a FC en la recuperación, hasta al menos el minuto 5 postesfuerzo.

Clásicamente se conoce la existencia de una relación lineal entre los valores de la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno con respecto al aumento de las cargas de trabajo (Donald, Bishop et al. 1955). La relación lineal se mantiene hasta frecuencias cardíacas submáximas, alrededor de 170 p.p.m. Alcanzar la frecuencia cardiaca máxima teórica es un criterio de maximalidad de la prueba de esfuerzo.

Existen múltiples ecuaciones para calcular la frecuencia cardiaca máxima en función de la edad. La más utilizada es  $220 - \text{edad}$  del sujeto en años. No obstante hay que tener en cuenta que este es un valor promedio y que los valores individuales pueden variar considerablemente (Wilmore and Costill 2004).

#### - Presión arterial sistólica y diastólica

La presión arterial sistólica tiende a ascender durante el esfuerzo, mientras que la presión arterial diastólica tiende a permanecer constante y no suele modificarse con los aumentos de la carga de trabajo (Neary, MacDougall et al. 1985).

#### - Ventilación

Es el parámetro respiratorio más importante con respecto a la actividad física. Durante una prueba de esfuerzo incremental la ventilación aumenta linealmente con respecto al oxígeno consumido ( $\text{VO}_2$ ) hasta alcanzar un consumo de oxígeno determinado (Wasserman 1978). En un consumo de oxígeno determinado se observa una pérdida de linealidad de la ventilación

en su aumento con respecto al  $\text{VO}_2$ , coincidente con el concepto de umbral ventilatorio (Wasserman, Hansen et al. 1987). Si el nivel de esfuerzo es muy intenso, la ventilación experimenta un nuevo cambio de pendiente, reflejando una compensación respiratoria a la acidosis metabólica generada por el ejercicio (Wasserman, Whipp et al. 1973, Wasserman 2002).

Los analizadores de gases respiratorios tienen incorporado un sistema de medida que permite la cuantificación del volumen espiratorio por minuto (VE). Los valores de este parámetro están relacionados con la edad, el sexo, las características físicas del sujeto, el tipo de ejercicio realizado y el nivel de entrenamiento. Su análisis durante la realización de un ejercicio ergométrico aporta datos de interés acerca de la capacidad ventilatoria del individuo y de su adaptación al esfuerzo. Los valores de ventilación pulmonar oscilan entre 4-8 l/min en reposo hasta 150-160 l/min en esfuerzo, alcanzándolos y superándolos en deportistas de alto nivel y con gran capacidad ventilatoria hasta los 200 l/min.

Durante ejercicios ligeros o moderados el aumento de la ventilación se debe fundamentalmente a un incremento del volumen corriente o volumen tidal (VT). Sin embargo, en ejercicios intensos, en los que se produce una acidosis metabólica, la VE se incrementa de forma desproporcionada respecto del  $\text{VO}_2$ , momento en el que el VT tiende a estabilizarse y se produce un aumento de la frecuencia respiratoria. Por otro lado, el aumento de la ventilación durante la realización de un ejercicio incremental en una prueba de esfuerzo permite determinar dos puntos de ruptura, es decir, dos zonas en las que se produce un incremento no lineal de la VE en relación al  $\text{VO}_2$  y que van a definir diferentes umbrales ventilatorios, como veremos más adelante, que se definen como umbral VT1 y VT2, haciendo referencia a la utilización de metabolismo aerobio y anaerobio, respectivamente.

#### - Producción de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ )

La  $\text{VCO}_2$  durante el ejercicio es el resultado de la combustión de los principios inmediatos del metabolismo y de la liberación de  $\text{CO}_2$  procedente del sistema tamponador de la acidosis láctica. En ejercicios en que se produce acidosis láctica, se origina un aumento del  $\text{VCO}_2$  en exceso respecto al  $\text{VO}_2$ . Este proceso aparece a un nivel de ejercicio más intenso cuando mayor es el nivel de entrenamiento del deportista, de forma que a igual nivel de carga de eliminación de  $\text{CO}_2$  es menor en personas entrenadas y el retorno a la normalidad al cesar el ejercicio es más rápido.

#### - Cociente respiratorio (RER)

Es la relación entre el volumen producido de CO<sub>2</sub> y el volumen consumido de oxígeno. ( $VCO_2/VO_2-1$ ) (Pflüger, Finkler, & Oppenheim, 1878). Su valor oscila entre 0.7-0.9 en reposo hasta valores superiores a 1.1, que expresa criterio de maximalidad ergoespirométrica. Su análisis nos informa del nivel de tolerancia al esfuerzo y del grado de acidosis láctica durante el ejercicio intenso. La magnitud del cociente respiratorio (CR) durante el ejercicio a un nivel submáximo permite conocer, en cierta medida, si es aceptable una carga aún mayor y a partir del valor obtenido al final del ejercicio y en la recuperación, se deduce el nivel de esfuerzo individual para cada sujeto. En los ejercicios realizados por encima del umbral anaeróbico el aumento desproporcionado del VCO<sub>2</sub> respecto del VO<sub>2</sub> origina un aumento brusco del cociente respiratorio, de forma que cuando este supera la unidad se puede afirmar que se trata de un esfuerzo con un componente anaeróbico importante próximo al límite del agotamiento. Al cesar el ejercicio el CR continúa inicialmente aumentado hasta valores de 1,5-2 debido a una disminución rápida del VO<sub>2</sub>, junto con una liberación del lactato de la fibra muscular y una eliminación todavía aumentada de CO<sub>2</sub>. La magnitud de este aumento y el tiempo de retorno a los valores de reposo dependen de la intensidad del esfuerzo y del grado de entrenamiento del sujeto.

#### - Presión End-tidal de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>

Representan la presión parcial de oxígeno (PETO<sub>2</sub>) y CO<sub>2</sub> (PET CO<sub>2</sub>) al final de cada espiración (Haldane and Priestley 1905). Su comportamiento durante el ejercicio incremental es utilizado como criterio de umbral aeróbico y anaeróbico por método ventilatorio, es la más parecida a la presión de gases alveolares.

#### - Consumo máximo de Oxígeno (VO<sub>2</sub>. máx.)

Se define como la cantidad máxima de volumen de oxígeno que un individuo puede absorber, transportar y consumir en un tiempo determinado durante la realización de esfuerzos máximos. Es un indicador del metabolismo aeróbico y puede expresarse en valores absolutos: mililitros de oxígeno consumidos por minuto o relativos referidos al peso del sujeto: mililitros de Oxígeno consumidos por minuto y por Kilogramo de peso corporal. (Astrand and Rodahl 1986, Byrne and Wilmore 2001, Wilmore and Costill 2004).

El consumo máximo de oxígeno depende de varios factores como son la dotación genética, la edad, el sexo, el peso y el grado de entrenamiento. (McArdle, Katch et al. 2004).

Existen datos objetivos que nos pueden indicar que el deportista ha alcanzado su consumo máximo de oxígeno:

- Presencia de una meseta en la curva incremental del  $\dot{V}O_2$  máx., de manera que aunque aumente la carga de trabajo no aumenta el  $\dot{V}O_2$  máx. o bien que el aumento del mismo sea inferior a  $150 \text{ ml}\cdot\text{mn}^{-1}$  en dos estadios sucesivos de aumento de la carga de trabajo para test incrementales (Astrand and Rodahl 1986).

- Alcanzar una concentración plasmática de ácido láctico de  $8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  (Astrand and Rodahl 1986).

- Cociente de intercambio respiratorio mayor de 1.1 (Jones, McCartney et al. 1985)

- Alcanzar la frecuencia cardiaca máxima teórica, que depende de la edad del deportista (frecuencia cardiaca máxima teórica:  $220 - \text{edad}$ ) (Astrand and Rodahl 1986).

- Equivalentes ventilatorios

El equivalente ventilatorio para el oxígeno ( $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ ), es el cociente entre la ventilación en litros por minuto y el consumo de oxígeno en litros por minuto. Es un parámetro que indica la cantidad de aire en  $\text{cm}^3$  que debe ventilarse para que el organismo pueda utilizar un  $\text{cm}^3$  de oxígeno. Expresa, por tanto, el grado de eficacia de la ventilación pulmonar. El equivalente ventilatorio para el  $\text{CO}_2$  ( $\dot{V}E/\dot{V}\text{CO}_2$ ) es el cociente entre la ventilación en litros por minuto y la cantidad de  $\text{CO}_2$  expulsado en litros por minuto. Expresa la relación entre el aire ventilado y el  $\text{CO}_2$  expulsado (Valentin, 1953; Venrath, 1953).

- Pulso de oxígeno

Es el volumen de oxígeno extraído por los tejidos por cada latido cardiaco. El pulso de oxígeno se calcula dividiendo el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca ( $\dot{V}O_2/FC$ ). Durante la realización de una prueba de esfuerzo el pulso máximo de oxígeno se alcanza al alcanzar el  $\dot{V}O_2$  máximo (Astrand and Rodahl 1986).

Representa el gasto energético o a cantidad de oxígeno consumido durante un ciclo cardiaco completo. Según la ecuación de Fick equivale al producto del volumen sistólico (VS) por la diferencia arteriovenosa (dif A-V). Esta ecuación pone de manifiesto la importancia de este parámetro en relación a la función sistólica del corazón. Los valores de pulso de  $\text{O}_2$  aumentan con la edad y con el entrenamiento. Un pulso de oxígeno elevado

significa una buena eficiencia del aparato cardiovascular, un buen aprovechamiento por el organismo del oxígeno transportado por la sangre y movilizado por el corazón en cada volumen latido. Por el contrario, valores inferiores a lo normal indican una capacidad física de esfuerzo pequeña, por lo que puede pensarse en una patología limitante del ejercicio.

### **- Umbral aeróbico y anaeróbico**

Los umbrales son los parámetros submáximos más importantes, siendo indicadores objetivos de la capacidad funcional. Son parámetros reproducibles e independientes de la motivación del sujeto. Su importancia deriva de su aplicación en la prescripción de la intensidad del ejercicio, de su utilidad en el ajuste del ritmo de competición en pruebas de larga duración y, de ser parámetros que se modifican con el entrenamiento y permiten valorar los cambios fisiológicos que se producen en dicho entrenamiento. En un test de carga progresiva se producen a nivel submáximo dos fenómenos fisiológicos claramente diferenciados:

#### **- Umbral aeróbico:**

Es la intensidad del ejercicio en la que se produce un inicio en la acumulación de lactato en sangre por encima de los valores de reposo, a la vez que la ventilación se incrementa de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido. Hasta este nivel de ejercicio los valores de lactato son similares a los basales y existe una relación lineal entre la ventilación y la carga de trabajo, todo ello indicativo de una participación predominante de la vía aeróbica en la obtención de energía. También se denomina umbral láctico y umbral ventilatorio 1 (VT1)

#### **- Umbral anaeróbico:**

Es la intensidad de ejercicio que metabólicamente corresponde a un mayor estado estable del lactato en sangre. Refleja el máximo equilibrio entre la producción y aclaramiento del lactato. A ese nivel de ejercicio la ventilación se incrementa nuevamente de forma desproporcionada en relación al oxígeno consumido. También se le denomina OBLA y umbral ventilatorio 2 (VT2).

El umbral anaeróbico fue definido por Wasserman como “la intensidad de ejercicio o trabajo físico por encima de la cual empieza a aumentar de forma progresiva la concentración de lactato en sangre, a la vez que la ventilación se intensifica de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido” (Wasserman and Mcilroy 1964, Wasserman, Van Kessel

et al. 1967). Esta definición presentó una doble perspectiva: metabólica y ventilatoria. A partir de dicho hallazgo, dependiendo de los criterios de establecimiento del umbral, han aparecido múltiples términos en la bibliografía. A continuación haremos referencia a los más comúnmente utilizados:

-OBLA: comienzo del acumulo de lactato en sangre, que podría corresponderse a una concentración de 4 mmol.l<sup>-1</sup> (Sjodin & Jacobs, 1981)

-OPLA: comienzo del acumulo de lactato en plasma ((Farrell, Wilmore et al. 1979).

-Umbral anaeróbico individual (IAT): Concentración de máximo equilibrio en la concentración de lactato previo al acumulo de lactato en sangre ((Stegmann, Kindermann et al. 1981).

Keul y Simon definieron el umbral anaeróbico individual como la carga de trabajo, el consumo de oxígeno o la velocidad de carrera correspondiente al punto de la curva de lactato en que la recta tangente tiene una inclinación de 51° (Keul, Simon et al. 1979) o 45° ((Simon, Berg et al. 1981).

-Umbral ventilatorio: Intensidad de trabajo a la cual existe una marcada hiperventilación que resulta en una disminución de la presión parcial de CO<sub>2</sub> en el aire final espirado ((Skinner and McLellan 1980). También ha sido definido por Wasserman como el punto de compensación respiratoria por acidosis metabólica (Wasserman, Whipp et al. 1981). Finalmente Davis más sencillamente lo define como el punto en el cual la ventilación se aumenta de forma desproporcionada con respecto al oxígeno consumido (Davis 1985). Orr diferenció dos umbrales respiratorios coincidentes con el umbral aeróbico y el umbral anaeróbico, denominándolos VT1 y VT2 (Orr, Green et al. 1982).

-Zona de transición aeróbica- anaeróbica de Skinner y McLellan: modelo trifásico para describir la transición del metabolismo aeróbico al anaeróbico en ejercicio incremental. Dividen el proceso de transición aeróbica-anaeróbica en tres fases en función de parámetros espirométricos y metabólicos (Skinner and McLellan 1980).

-Umbral láctico: Punto en el cual la concentración de lactato empieza a elevarse por encima de los valores de reposo (Ivy, Withers et al. 1980). Algunos autores han establecido este umbral cuando la lactacidemia presenta incrementos entre 0,2 y 2 mM.l<sup>-1</sup> sobre los valores basales(Aunola and Rusko 1984, McLellan, Jacobs et al. 1988, Boutcher, Seip et al. 1989) o bien un aumento de 1 mM.l<sup>-1</sup> sobre los valores de lactato previos entre el 40

y el 60% del VO<sub>2</sub> máximo (Hagberg and Coyle 1983)(J. M. Hagberg & Coyle, 1983; O'Toole, Douglas, & Hiller, 1989).

-Máximo estado estable de lactato: es la máxima carga de trabajo que se puede mantener por un periodo de tiempo sin una acumulación continua de lactato (Beneke 1995).

Posteriores estudios han ido definiendo otros parámetros. El umbral de catecolaminas, que coincide con un incremento del nivel de adrenalina y noradrenalina en sangre (Lehmann, Schmid et al. 1985). El umbral de saliva, que coincide con cambios en las concentraciones iónicas de la saliva (Calvo, Chicharro et al. 1997). El umbral electromiográfico de superficie que coincide con un aumento de reclutamiento de las fibras musculares tipo II (Bouissou, Estrade et al. 1989).

El umbral láctico, el OPLA, el VT1, el umbral aeróbico y el umbral anaeróbico de Wasserman, ocurren a una intensidad de trabajo similar y a una concentración de lactato alrededor de 2 mM.l<sup>-1</sup>, por lo que podrían ser términos equiparables. Por otro lado, el OBLA, el VT2 y el umbral anaeróbico en el modelo de Skinner-McLellan, también presentan una intensidad de trabajo similar, a una concentración de lactato alrededor de 4mM.l<sup>-1</sup>. Finalmente el umbral anaeróbico individual y el máximo estado estable de lactato ocurrirían a un consumo de oxígeno un poco inferior al VT2. En el modelo de Skinner y McLellan existiría entre ambos umbrales una zona de transición aeróbica-anaeróbica, a una concentración de lactato entre 2 y 4 mM.l<sup>-1</sup>.

Actualmente diversas investigaciones sugieren que no se pueden utilizar como referencia unas concentraciones estándar de lactato para determinar los umbrales y las cargas de entrenamiento. Por otro lado, para algunos autores, el consumo máximo de oxígeno es mejor predictor del rendimiento que el umbral de lactato (Wiswell, Jaque et al. 2000). No obstante, la medición de la concentración de lactato sigue siendo válida, y se sigue utilizando como procedimiento de rutina en entrenamiento y competición, pero debe utilizarse como un valor relativo que se puede comportar a distintos niveles entre los deportistas (Smith, O'Connor et al. 2002).

A veces existe una gran confusión referente a los términos previamente expuestos, hay que tener en cuenta que la terminología utilizada coincida con los parámetros que la definen para evitar dichas confusiones. Desde un punto de vista genérico, lo más comúnmente aceptado en la literatura es el término de umbral anaeróbico.

## Determinación de los umbrales ventilatorios VT1 y VT2

Para conseguir una determinación objetiva de Los umbrales VT1 y VT2, mediante el método de los equivalentes ventilatorios es aconsejable emplear una variable que decrezca o se mantenga relativamente inalterable durante unas determinadas cargas de trabajo antes de empezar a elevarse (Davis 1985). Dos variables cumplen dichas características durante una prueba de esfuerzo incremental: el equivalente de oxígeno (VE/VO<sub>2</sub>) y la presión final de oxígeno en el aire espirado (PETO<sub>2</sub>).

Estos dos parámetros decrecen durante las primeras cargas de trabajo, debido principalmente a que el espacio muerto fisiológico disminuye en relación con el volumen corriente. A medida que aumentamos la carga de trabajo el descenso en los valores de dichos parámetros se hace menos acusado, hasta que en un momento determinado comienzan sistemáticamente a elevarse. Por otro lado se produce alrededor de dicho punto un primer aumento no lineal de la ventilación y un aumento concomitante del VE/VO<sub>2</sub> y de la PETO<sub>2</sub> sin aumentar el VE/VCO<sub>2</sub>. Dichos fenómenos ventilatorios corresponderían al umbral ventilatorio 1 (VT1).

A cargas más intensas de trabajo se produciría un segundo aumento no lineal de la ventilación coincidiendo con un incremento del VE/VCO<sub>2</sub> y un descenso de la PET/CO<sub>2</sub>. Dichos fenómenos corresponderían al umbral ventilatorio 2 (VT2).

Davis (Davis, 1985) argumenta que la utilización del equivalente ventilatorio para determinar los umbrales tiene varias ventajas: una alta correlación con el umbral láctico, una alta reproductividad, el equivalente del oxígeno se calcula fácilmente al tener una respuesta trifásica y finalmente proporciona los medios para una detección más específica, ya que utiliza un doble criterio, el VE/VO<sub>2</sub> y el VE/VCO<sub>2</sub>.

### **- Respuesta fisiológica en la recuperación**

La frecuencia cardiaca (FC) durante el ejercicio ha sido uno de los parámetros fisiológicos más y mejor estudiados, debido a la facilidad de medición y es fundamental en el control del proceso de adaptación al entrenamiento a corto, medio y largo plazo

Diversos estudios que han valorado la frecuencia cardiaca durante la recuperación, han observado que dicho parámetro sigue un comportamiento inversamente proporcional a la duración de la recuperación.

Clásicamente, la recuperación de la frecuencia cardiaca se produce en dos tiempos (Calderon Montero, Brita Paja et al. 1997). En un primer tiempo que dura aproximadamente un minuto, se objetiva un descenso rápido. Posteriormente se produce un descenso más lento, que continua a lo largo de un periodo de tiempo indeterminado. Así hay una primera fase de descenso rápido de la FC y segunda fase de descenso más lento). Los dos componentes de la FCR pudieran relacionarse estrechamente con las características del ejercicio (tipo, intensidad y duración) y las condiciones fisiológicas o patológicas de las personas que realizan un ejercicio (Darr, Bassett et al. 1988, Virtanen, Nikkinen et al. 2002).

En general, la intensidad y la duración del ejercicio, pudieran condicionar la frecuencia cardiaca de recuperación. Algunos autores (Short and Sedlock 1997)(K. R. Short et al., 1996) relacionan el comportamiento del consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca durante la recuperación, indicando que tanto el exceso de consumo máximo de oxígeno postejercicio, como la frecuencia cardiaca de recuperación dependen principalmente de la intensidad y en menor medida de la duración del ejercicio. Sin embargo, otros autores (Calderon 2001)(Calderón, González, & Machota, 1994) no encontraron diferencias significativas en el comportamiento de la frecuencia cardiaca de recuperación en tres tipos de esfuerzo de diferente intensidad y duración, por lo que la frecuencia cardiaca de recuperación en la fase rápida pudiera ser independiente de la intensidad del ejercicio, mientras que la fase lenta de la recuperación de la frecuencia cardiaca podría depender más directamente de la intensidad del ejercicio (Imai, Sato et al.)

La FCR se encuentra regulada por un conjunto de mecanismos, cuya participación relativa se desconoce, pero que se pueden dividir en: intrínsecos, nerviosos y hormonales.

La fase rápida de la recuperación cardiaca se puede explicar por la interacción entre las dos subdivisiones del sistema nervioso vegetativo (SNV). Las primeras hipótesis apuntan a mecanismos intrínsecos del miocardio. Los procesos celulares por los cuales se produce una activación/desactivación de los efectos de las catecolaminas y de acetilcolina podrían ser responsables de la fase rápida de la recuperación del corazón. Ya en 1934, Rosenbluth y Simeone (Rosenbluth & Simeone, 1934) determinaron el efecto de la estimulación simultánea del nervio vago y las terminaciones simpáticas. El tono vagal se modula mediante el número de descargas sobre el nódulo sinusal. Por el contrario, el tono simpático se relaciona estrechamente con la concentración de catecolaminas. Las dos subdivisiones del sistema nervioso vegetativo se activan o desactivan gradualmente según el grado de intensidad alcanzada. Cuando termina el ejercicio y se inicia la

recuperación, ya sea de forma pasiva o activa, se produce un cambio de la actividad del SNV, motivado probablemente por señales centrales y periféricas. Uno de los mecanismos nerviosos que podrían explicar el descenso rápido de la Frecuencia cardiaca (FC) es la entrada en funcionamiento del baroreflejo. Savin y cols. (Savin, Davidson et al.), sugieren que la inhibición del SNV simpático interviene de forma decisiva en el descenso de la FC durante la fase rápida. Sin embargo, López y cols. (López, Terreros, & Aragonés, 1988) encontraron que la FC correspondiente a los 30 segundos de la recuperación es dependiente de la reactivación vagal y no se relaciona con la inhibición simpática.

Al igual que en el estudio de la fase rápida, también existen controversias en cuanto a los mecanismos fisiológicos que tienen lugar en dicha fase. Savin y cols. (Savin, Davidson et al.) consideran que la fase lenta de la recuperación de la frecuencia cardiaca se produce por un predominio de la actividad parasimpática. Otros autores (López et al., 1988) establecen que la FC correspondiente a los 120 segundos de recuperación se relaciona estrechamente con la intensidad de trabajo y con la actividad del sistema simpático.

Los factores hormonales, también juegan un papel importante en el control de la fase lenta de la frecuencia cardiaca de recuperación. El incremento de la actividad de la médula adrenal puede condicionar la respuesta cardiaca, ya que se ha constatado un aumento de la concentración de catecolaminas hasta 8 horas después de finalizado el ejercicio (Ogaki, Saito, Kanaya, & Fujino, 1995). No obstante, los deportistas entrenados presentaban una menor respuesta adrenérgica, bien por disminución de la sensibilidad adrenal a la estimulación de la ACTH o por disminución del feedback negativo del cortisol sobre el eje hipotálamo-hipofisario (Duclos, Corcuff, Rashedi, Fougere, & Manier, 1997).

En resumen, parece evidente que la observación del comportamiento de la FCR en dos fases no permite realizar un análisis fisiológico simple. Los efectos de la actividad vegetativa sobre el corazón no obedecen a conceptos matemáticos de suma algebraica ni media geométrica. Teniendo en cuenta el grado de estimulación del sistema nervioso vegetativo parasimpático, nos sugiere que su efecto sobre la FC puede ser el mismo independientemente de la presencia de catecolaminas circulantes. De la misma manera, a una concentración determinada de catecolaminas, el efecto sobre la FC puede ser independiente del grado de excitación parasimpática.

Realizando diferentes test para valorar la potencia anaeróbica algunos autores han constatado diferencias entre jugadores de diversas categorías.

Los jugadores de mayor nivel tenderían a obtener mejores resultados en dichas pruebas (Coen, Urhausen, Coen, & Kindermann, 1998; Gauffin, Ekstrand, Arnesson, & Tropp, 1989; Kinderman, Gabriel, Coen, & Urhausen, 1993; Kollath & Quade, 1993).

En los tests de salto los porteros obtendrían mejores resultados con respecto a los jugadores de campo, en el caso de jugadores de fútbol, así como en las diferentes posiciones de diferentes categorías deportivas (Bhanot, 1988; Reilly & Brooks, 1990; D Tumlilty, 1993)

En los tests de velocidad, se evalúa esta, siendo diferente según la actividad que se desarrolla en cada categoría deportiva (Chatard, 1991; Davis, Brewer, & Atkin, 1992).

#### **- Cuantificación de VO2 máx. en atletas**

Los valores más altos de VO2 relativos a su peso que se han medido pertenecen a esquiadores de fondo. Sin embargo, los valores más altos de VO2 pertenecen a remeros, ya que en su actividad el peso no tiene tanta importancia. Ello indica la necesidad de conocer las variables determinantes o que influyen en ella.

**Como referencia se usan los rangos de la Tabla Astrad para evaluar el nivel de VO2 máx. de un individuo:** (hay que tener en cuenta el sexo y la edad y para ello se han hecho tablas gracias a bases de datos inmensas, que sirven de referencia para ajustar el consumo de forma individual)

Pobre	30-35
Regular	35-40
Buena	40-45
Muy buena	45--50
Excelente	50--55
Excepcional	>55

#### **Ejemplos destacables en atletas de élite de VO2 máx.**

Ron Clarke	Corredor australiano	69
Iris vm	Corredora Rusa olímpica (RM 1500m)	71

Jarmila Krotocvilova	Corredora Checa 400M/800M	72,8
Jeff Galloway	Corredor USA	73
Zersenay Tadesse	Corredor de Eritrea	83
Joe Dombrowski	Ciclista profesional	86
Nairo Quintana (COL)	Ciclista profesional	86
Miguel Indurain	Ciclista profesional	88
Kilian Jornet	Corredor y esquiador de montaña	91
Matt Carpenter	Plus marquista de la maratón de Pikes Peak	92
Greg LeMond	Ciclista profesiona	92,5
Bjørn Dæhlie	Esquiador de fondo (8 oros olímpicos)	93

Los métodos de valoración indirecta de la capacidad de trabajo físico tienen una gran utilidad práctica, ya que permiten valorar diversos parámetros con elementos técnicos relativamente sencillos. Mediante la aplicación de diversos protocolos se evalúa la capacidad física, se obtiene una medida indirecta del consumo de oxígeno y, también, conocer la respuesta cardiovascular al ejercicio.

Como hemos referido antes, existen diversos protocolos que nos permiten de manera indirecta la medición del consumo de oxígeno. La elección del protocolo depende del deportista a estudiar, intentando que el ejercicio a realizar se aproxime lo más posible al tipo de deporte practicado.

Las pruebas ergométricas indirectas pueden ser máximas o submáximas.

Una prueba indirecta se considera máxima cuando el deportista llega al agotamiento, no siendo capaz de soportar la carga de trabajo a la que está siendo sometido. Pueden ser criterios de maximalidad de una prueba indirecta: alcanzar la FC máxima teórica o no producirse aumentos de la FC al aumentar la frecuencia de trabajo.

Las pruebas aeróbicas submáximas, son aquellas que se interrumpen cuando el deportista ha alcanzado un nivel de esfuerzo determinado de % de la FC máxima teórica del deportista.

El consumo de oxígeno de manera indirecta se obtiene extrapolándola FC a la máxima teórica estimada y correlacionándola. Hay pruebas para evaluar la capacidad anaeróbica, realizando d con el consumo de oxígeno, teniendo en cuenta la correlación lineal entre ambos parámetros.

Existen diferentes test para valorar la potencia anaeróbica algunos autores han constatado diferencias entre jugadores de diversas categorías. Los jugadores de mayor nivel tenderían a obtener mejores resultados en dichas pruebas (Coen, Urhausen, Coen, & Kindermann, 1998; Gauffin, Ekstrand, Arnesson, & Tropp, 1989; Kinderman, Gabriel, Coen, & Urhausen, 1993; Kollath & Quade, 1993).

En los tests de salto los porteros obtendrían mejores resultados con respecto a los jugadores de campo, en el caso de jugadores de fútbol, así como en las diferentes posiciones de diferentes categorías deportivas (Bhanot, 1988; Reilly & Brooks, 1990; D Tumlilty, 1993

En los tests de velocidad, se evalúa esta, siendo diferente según la actividad que se desarrolla en cada categoría deportiva (Chatard, 1991; Davis, Brewer, & Atkin, 1992).

También los estudios de ejercicios isocinéticos son muy válidos para determinar la fuerza segmentaria de diferentes grupos musculares y son muy útiles en temas de valoración de incapacidades o en minusvalías, pudiendo modificar la necesidad de entrenamiento o de inactividad.

### **1.1.5.- Factores que modifican el vo2 máx.**

El consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx.) es, como ya se ha comentado la cantidad de oxígeno utilizado por el organismo por unidad de tiempo y depende del funcionamiento integrado del aparato respiratorio, cardiovascular y metabolismo energético. Se expresa en valor absoluto (ml/min) o, relativo al peso corporal ml/Kg/min) o, en unidades metabólicas o MET (1 MET= 3,5 ml/Kg/min). Es decir, también interviene la composición corporal en cuanto a peso corporal, que podría ser relativo a la distribución de grasa corporal o masa muscular y, que habitualmente se define por el IMC. La mayoría de estos factores son susceptibles de ser modificados con la mejora de la integración de ellos mediante un entrenamiento adecuado y hábitos de vida adecuados.

El VO<sub>2</sub> máx. es un indicador del nivel energético-metabólico a que trabaja el organismo. Es un parámetro que nos indica la capacidad funcional de una persona.

El VO<sub>2</sub> máx., va a depender de “factores centrales” (corazón y pulmones) y de “factores periféricos”, como la diferencia arteriovenosa de oxígeno (A-V O<sub>2</sub>) y además es función de la masa y composición corporal. El consumo máximo de oxígeno es la cantidad máxima de oxígeno que el organismo es capaz de absorber de la atmósfera, transportar a los tejidos y consumir por unidad de tiempo.

El VO<sub>2</sub> máx., es muy variable entre individuos y, depende de la herencia, edad, sexo, peso, grado de entrenamiento y de la especialidad deportiva practicada. Los deportistas de fondo son los que presentan mayor capacidad funcional del sistema de transporte de oxígeno y, por tanto, los que alcanzan mejores valores, especialmente los remeros, esquiadores de fondo y ciclistas.

El VO<sub>2</sub> máx., oscila entre 3,5 ml/Kg/min en reposo hasta valores de 80 a 90 ml/Kg/min en deportistas de alto nivel especializado. Referirnos a los datos apuntados de valores en atletas, para comprender las diferencias tan importantes.

Se considera que el nivel esencial de VO<sub>2</sub> máx. determina el límite del potencial de desarrollo y que la intensidad y duración del ejercicio interviene en el grado de desarrollo. No obstante, siendo muy importante el VO<sub>2</sub> máx. Bullard, (1) citado por Álvarez del Villar, afirma que “no existe una correlación exacta entre este y el rendimiento”. A menudo el VO<sub>2</sub> máx. de un deportista puede ser alto y, sin embargo, sus rendimientos mediocres, señalando la influencia de otros factores menos objetivables”. Esto se puede deber a que el VO<sub>2</sub> máx. de un individuo está asociado a una acumulación de ácido láctico; en este sentido el mayor o menor rendimiento puede verse afectado por el umbral anaerobio del individuo, de forma que durante una carrera un sujeto con menor VO<sub>2</sub> máx. puede tener un mayor rendimiento que otro, simplemente porque dispone de un mayor umbral anaeróbico.

Es decir, el rendimiento, sobre todo en pruebas de resistencia, no solamente está relacionado con un buen VO<sub>2</sub> máx., ya que paralelamente se puede acumular una mayor o menor cantidad de ácido láctico. Por ello hay que tener en cuenta los factores que influyen en el rendimiento efectivo del individuo, siendo el VO<sub>2</sub> máx. un índice objetivable y fiable de la capacidad aeróbica del individuo.

El consumo máximo de oxígeno depende de varios factores como son la dotación genética, la edad, el sexo, el peso y el grado de entrenamiento. (McArdle, Katch, & Katch, 2004; Wilmore & Costill, 2004).

### - Variables cineantropométricas:

La capacidad aeróbica está directamente relacionada con el VO<sub>2</sub> máx. del individuo. Además es importante diferenciar su valoración en términos absolutos que representa el total de oxígeno consumido en el cuerpo por minuto (nº de litros por minuto) y, en términos relativos, que representa el consumo de oxígeno requerido para mover un kilogramo de peso corporal por minuto (mililitros por minuto y por kilogramos de peso del individuo).

Por ejemplo, si dos individuos tienen el mismo VO<sub>2</sub> máx., que corresponde a 4 litros por minuto, pero uno de ellos pesa 60 Kg. Y el otro 70 kg. Tenemos que deducir que el primero dispondrá de una mayor capacidad aeróbica, ya que contará con el mayor consumo relativo de oxígeno de 66 ml. X kg x min., frente a 57 ml. X kg x min. Por ello, el peso e indirectamente el IMC, influyen directamente sobre la capacidad aeróbica, aunque habría que determinar si un aumento de peso muscular se beneficiaría por un mayor rendimiento, es decir, que puede ser relativo en función del tipo de Kilos que sean, grasa o músculo.

Todo ello entendiendo que el **sistema cardiovascular** es el que transporta el oxígeno a los músculos y todos los determinantes que influyan en él, serán proporcionales a la capacidad aeróbica.

Cuadro de nivel de capacidad aeróbica para valores de VO<sub>2</sub> máx. expresados en ml.kg.min. (en individuos jóvenes) (García Manso y col (1996)

	Baja	Regular	Media	Buena	Excelente
Hombres	-25	25-33	34-42	43-52	+48
Mujeres	-24	24-30	31-37	38-48	+48

Todo ello además depende de la edad, existiendo tablas creadas estadísticamente con valores ajustados a la edad del individuo, ya que la frecuencia cardíaca también se ajusta a la edad de una forma un poco ortodoxa, disminuyendo un año por latido cada año de edad a partir de la adolescencia, suponiendo una menor capacidad cardíaca y que ha llevado a calcular el rendimiento desde una cifra de hipotética frecuencia cardíaca máxima en 220 y restando la edad, resultando una frecuencia ajustada a la edad, estando en frecuencias submáximas o máximas, según se alcance el 65-80% de la frecuencia cardíaca máxima (FCM), o a más del 85%, respectivamente.

Entrenamiento: Según el tipo de entrenamiento, como hemos visto antes la capacidad anaeróbica puede estar más o menos desarrollada y en función de ello modificar el rendimiento. Se han explicado las controversias sobre la causa del aumento del VO<sub>2</sub> máx. con el ejercicio, pero está claro que el entrenamiento mejora progresivamente la capacidad aeróbica del individuo.

Acerca del posible incremento del aumento medio del VO<sub>2</sub> máx. con el entrenamiento, según Fox et al, (3) en individuos, después de entrenar de 8 a 16 semanas el VO<sub>2</sub> máx., varía entre el 5 y el 15 %, con cambios individuales que llegan hasta el 20 a 25 %. Así, un hombre entrenado que presenta un valor medio de VO<sub>2</sub> máx. de 50 ml/kg/mn, puede esperar que el entrenamiento acreciente su VO<sub>2</sub> máx. hasta alrededor de 60 ml/kg/mn y una mujer que comience con un valor medio de 40 ml/kg/mn, puede esperar un aumento de hasta 48 ml/kg/min.

Para conocer los patrones metabólicos que intervienen en la prueba de esfuerzo máxima en tapiz rodante de distintos deportistas, tendremos que analizar las características del juego y los esfuerzos realizados por los deportistas. Son diferentes según el tipo de deporte practicado.

La distancia total recorrida durante un partido por cada jugador en fútbol, oscila actualmente, por término medio, entre 10 y 13 km (Bangsbo, 1994d; Bangsbo, Norregaard, & Thorso, 1991; Ekblom, 1986; Reilly & Thomas, 1976; Stolen, Chamari, Castagna, & Wisloff, 2005; D Tumilty, 1993; Van Gool, Van Gerven, & Boutmans, 1988; R Withers, Z Maricic, S Wasilewski, & L Kelly, 1982; Yamanaka et al., 1988). Esto se puede trasladar a deportes como el hockey, no tanto a tenis de mesa o a natación, aunque puede servir de referencia como equivalentes de esfuerzo similares. Shephard en una revisión publicada sobre el tema, sitúa la distancia recorrida entre 8 y 12 km, el límite inferior en la distancia recorrida se debe a la inclusión en la revisión de jugadores amateur de ligas no profesionales (R. Shephard, 1999). Las diferencias aportadas pueden depender principalmente de los jugadores estudiados y de los métodos empleados para la obtención de datos en los diversos estudios.

Una mayor capacidad aeróbica y el entrenamiento de resistencia están relacionados con una mayor distancia recorrida durante un partido de fútbol (Bangsbo, 1994d; Helgerud, Engen, Wisloff, & Hoff, 2001). Aunque, creemos que, fundamentalmente no debemos de olvidar que existen múltiples diferencias entre unos y otros encuentros, en los que influyen multitud de variables: dependientes del propio jugador, como serían los aspectos psicológicos, que no siempre podríamos conocer y que podrían influir en su actitud durante el encuentro. Otras ajenas al deportista: el estilo de juego, la

calidad de los oponentes, las consideraciones tácticas, el tamaño de la cancha, el estado del terreno o del medio. Todas estas variables hacen que existan diferencias en la distancia total recorrida o actividad física intensa en cada deporte (Bangsbo, Norregaard et al., 1991). No obstante dicha distancia ha aumentado considerablemente en el transcurso de los años, desde los de 3 a 5 Km por encuentro en los años 50-60 (Apor, 1988) a los 10-13 Km actuales. Esta mejora del rendimiento puede deberse, entre otras causas, a una mejora de los sistemas de entrenamiento y del control científico de los mismos (Reilly & Gilbourne, 2003).

La mayor parte del tiempo los deportistas realizan esfuerzos de baja y media intensidad, mientras que los esfuerzos de alta intensidad, son breves y están repartidos aleatoriamente durante todo el encuentro (Bangsbo, Norregaard et al., 1991; Dawson, Hopkinson, Appleby, Stewart, & Roberts, 2004; Reilly, 1990, , 2000; Winckler, 1983). El tiempo de realización de los mismos varía sustancialmente según las circunstancias del juego, del planteamiento táctico, de la capacidad de los deportistas, físicas y técnicas (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006; Chamari et al., 2005).

Se puede concluir que un deportista está realizando esfuerzos de baja intensidad durante la mayor parte del partido o de la competición y sólo esporádicamente realiza esfuerzos a máxima intensidad. Sin embargo esta última actividad aunque poco duradera, tiene una gran importancia en el desarrollo de la actividad, ya que la mayoría de las acciones decisivas de un partido o de una competición, en cualquier categoría de deporte se realizan a máxima intensidad.

### **1.1.6.- Evolución del vo2 máx. con la edad**

En el adolescente la duración e intensidad del ejercicio puede afectar en gran medida a los órganos locomotores, tanto desde el punto de vista morfológico como bioquímico. El entrenamiento produce efectos a nivel muscular, aumentando la fuerza contráctil del músculo, la circulación periférica se ve aumentada favoreciendo el riego sanguíneo y el sistema nervioso central permite de forma más favorable la coordinación general.

La capacidad contráctil de las fibras de cada sujeto y su mayor rendimiento están supeditados en gran medida a los caracteres genéticos, pues cada individuo nace con un cierto número fijo de fibras musculares y una tipología que, según el caso, intervendrá en mayor o menor medida en la capacidad motriz.

Hay que tener en cuenta que el corazón del niño va aumentando de tamaño de forma paralela al resto de sus dimensiones corporales, en especial respecto al peso. Existe un crecimiento acelerado desde el nacimiento hasta la pubertad, durante la cual el desarrollo es menor. Caso de que no haya entrenamiento físico el volumen del corazón permanece ya invariable a partir de los 14 años en las niñas y de los 16 en los varones.

Por su menor volumen el corazón del niño, antes de la pubertad, presenta valores muy inferiores respecto del volumen de sangre que es capaz de expulsar en cada latido. Por ello, para mantener niveles adecuados de gasto cardíaco volumen minuto cardíaco (VMC), conforme a las necesidades, tanto en condiciones de reposo como de actividad física, la frecuencia cardíaca es muy elevada, tanto más cuanto menor es la edad y especialmente en las niñas. Por estas características particulares la respuesta cardiovascular en el niño y el adolescente presenta aspectos diferenciales destacables respecto del adulto.

Ruiz Pérez (1987), en su estudio sobre el desarrollo motor consigue una recopilación de autores, nombrados a continuación, que apoyan el trabajo de larga duración de resistencia cardiovascular en esas etapas (Mandel, 1984; Karpovich, 1979; Corbin, 1980; Astrand, 1977). Existen otros autores como Dien, que indican que las prácticas de larga duración en edades tempranas deben de reducirse a 9 a 10 minutos. , para a partir de la pubertad ir aumentando progresivamente.

Por el contrario, el comportamiento aeróbico del adolescente es comparable al del adulto y, aunque en ocasiones se ha creído erróneamente que la capacidad del adolescente para realizar un trabajo “ continuado o de duración” , es superior al del adulto, ocurre que, frente a un trabajo de potencia relativa similar, el niño prima sus capacidades aeróbicas ( por su menor capacidad anaeróbica), aunque ello no significa que las posibilidades aeróbicas de las que dispone puedan en términos relativos ni absolutos, ser superiores a las del adulto.

A medida que el niño se acerca a la pubertad (11 a 16 años), estas diferencias van haciéndose menos importantes, de forma que en el transcurso de la misma, el comportamiento metabólico frente al ejercicio es muy similar al del adulto joven.

En cuanto al consumo máximo de oxígeno en el niño, es importante tener en cuenta que el niño presenta, especialmente a edades tempranas, valores de VO<sub>2</sub> máx. .relativamente inferiores a las del adulto. Existen diversas interpretaciones, por un lado un menor contenido relativo de hemoglobina circulante por la sangre (aproximadamente sólo el 80% de la

circulante del adulto), que supone una menor capacidad de fijación y de transporte por la sangre de O<sub>2</sub>. También es posible que influya la edad del individuo, de hecho, al analizar valores de VO<sub>2</sub> máx. en niños de edades distintas, pero de idéntico peso corporal y dimensiones, se obtienen valores superiores en los de mayor edad.

Ruiz Pérez analiza los perjuicios que la inactividad puede provocar en organismos infantiles y apunta valores de VO<sub>2</sub> máx. que no difieren en gran medida de los que se obtienen en la tabla de puntuación asociada a valores obtenidos con el test de Cooper (12 min) (datos de J.M. Ballesteros) (1996), anotando que el VO<sub>2</sub> máx. puede llegar hasta 60 ml/mn/kg, mientras que la media no sobrepasa los 45 ml/mn/kg.

La evolución del VO<sub>2</sub> máx. es un parámetro ligado al desarrollo puberal del sujeto, encontrándose los mayores valores individuales en este periodo de la vida. Casi todos los autores coinciden en que la existencia de algún perjuicio más bien viene dado siempre por la intensidad que por la duración del ejercicio, lo que apunta al beneficio del ejercicio aeróbico en edades tempranas.

## **1.2.- Variables determinantes de la capacidad aeróbica**

### **1.2.1.- Composición Corporal: Cineantropometría**

El consumo máximo de oxígeno, como ya se ha comentado, lleva implícita en su definición la variable de kg de peso. El peso varía en función de muchos factores genéticos, nutricionales, de hábitos de vida,..., pero en sí es una variable de la capacidad y condición aeróbica del individuo. El IMC, que relaciona el peso con la altura puede ser un indicador de capacidad aeróbica, aunque ha perdido valor en relación al porcentaje respecto del cuerpo de grasa corporal, como mejor índice de condición física.

Hasta ahora las mediciones generalizadamente se realizaban mediante ecuaciones sobre los pliegues del cuerpo, mediante estimaciones muy precisas y con personal preparado y cualificado que daban medidas muy aproximadas al porcentaje de grasa corporal. También ha habido aparatos que estimaban el porcentaje de grasa corporal de una forma ambulatoria y práctica, pero algo burda. Recientemente las nuevas tecnologías aportan mediciones seguras, fiables y válidas mediante bioimpedancia eléctrica.

Es decir la composición corporal en un sentido o en otro modifica la capacidad de utilizar el oxígeno y ello está haciendo surgir muchas investigaciones que puedan definirlo. El sedentarismo, los hábitos alimenticios, el exceso de peso, la grasa corporal, la grasa abdominal, etc...se relacionan directamente con las enfermedades cardiovasculares, especialmente con la enfermedad coronaria, hipertensión arterial y sus complicaciones cardiovasculares, diabetes, síndrome metabólico, insuficiencia cardíaca...., constituyendo el exceso de peso el factor de riesgo más prevalente y el que menos se consigue mejorar.

### **1.2.2.- Hábitos de vida, actividad física, sedentarismo y nutrición**

Se conoce la relación entre el bajo nivel de actividad física y enfermedades asociadas, que progresan y repercuten en la vida adulta, observando un incremento en enfermedades cardiovasculares asociados a un pobre condicionamiento físico, que es influido por muy diversos, pero que a la vez, son modificables. El papel de las enfermedades cardiovasculares es conocido como primera causa de morbi-mortalidad en nuestra sociedad.

Los hábitos de vida han sufrido muchos cambios en los últimos años por la aparición de nuevas tecnologías y por la evolución de los comportamientos sociales, que han provocado mayores exigencias a la vez. Ha sido un cambio tan rápido, que no ha dado tiempo a una adaptación que permita haberlas ido integrando en el contexto personal de las actividades cotidianas. De esta forma se está perjudicando un sector de la población, como son los adolescentes, que por falta de estructura social o de educación, no se ha evitado que se dispare el problema de la obesidad y de la creación de hábitos de vida no saludables.

Surge como un problema nuevo del que sólo ya empezamos a conocer las consecuencias, nefastas para garantizar el estado de bienestar y que hace falta corregir. Hace falta conocer la verdadera dimensión del problema y seguir investigando para poder objetivar unas pautas necesarias que garanticen un buena calidad de vida, de los adolescentes y de la población general.

A pesar de que se sabe que los genes determinan las características de la persona, el estilo de vida a lo largo del tiempo es el que va a determinar la evolución de la salud o de la enfermedad. En ese sentido hay estudios genéticos que siguen avanzando y ya se empiezan a conocer mecanismos por los que factores ambientales, nutrientes y determinados estados fisiológicos

o patológicos de la persona pueden influir en los genes, de forma que se puede modificar su expresión o variabilidad. La profundización del conocimiento de la genética podría avalar la necesidad de conocer la necesidad de ciertos estímulos ambientales, que sí son factores modificables.

Nosotros debemos de actuar en los factores que influyen en los hábitos de vida que son modificables, que van a condicionar nuestra composición corporal y determinar la calidad de vida, como es la nutrición, la actividad física, el desarrollo psíquico,...

La exigencia de un ritmo de vida que no deja tiempo o no valora la necesidad real de invertir en salud o considerar la salud como factor prioritario en la vida de una persona y, sobre todo, la falta de conciencia y estructura social que apoye un cambio en esta deriva, hace que exista la necesidad de aportar investigaciones sobre las que se apoye la labor de prevención que urge ejecutar, desde la base familiar y hasta los organismos oficiales, que dispongan reglas que ordenen este descontrol y aseguren o avalen el bienestar social, en términos de salud física y psíquica.

La actividad física en niños sanos y con patologías crónicas es indispensable para un adecuado desarrollo, constituyendo un aspecto fundamental de la vida diaria, tanto durante la infancia y adolescencia, relacionándose estrechamente con un crecimiento normal, como en la vida adulta, con calidad de vida y morbimortalidad.

El ejercicio físico tiene un efecto beneficioso en la prevención de las enfermedades cardiovasculares en personas sanas (prevención primaria) y también terapéutico en pacientes con procesos cardíacos, especialmente coronario (prevención secundaria), en los que se basan los programas de rehabilitación cardíaca, por ejemplo.

La intensidad y el tipo de ejercicio deben adaptarse a las condiciones de cada persona: edad, género, factores de riesgo, nivel de entrenamiento,..., para evitar a su vez el desarrollo de una patología cardíaca.

El conocimiento de todos estos factores está en progresivo desarrollo y se está actualizando con mucho interés, ya que además su conocimiento permitirá medir el impacto de hábitos, costumbres y conductas que perjudiquen el corazón y el organismo en su conjunto, sin olvidar la importancia sociosanitaria de ellos, incluso el papel que deben de jugar las Administraciones públicas, las Sociedades científicas y los medios de comunicación para transmitir a la población la necesidad de cambios de estilo de vida y de adaptación individualizada del ejercicio físico para avanzar en la prevención cardiovascular, dado el cambio de la sociedad con

los nuevos hábitos impuestos del avance de la tecnología, que repercute en hábitos no saludables y como consecuencia de ello, sedentarismo y obesidad. El mundo en que vivimos ha evolucionado muy rápidamente y se han ido creando patrones de vida diferentes, desatendiendo a las exigencias personales a cambio de un bienestar social, que muchas veces no contribuye a la salud. Quizás el plano de la salud en la vida de un individuo se desvirtúa o se aplaza, en base a alcanzar objetivos económicos o personales. Quizás la salud se percibe también en términos de consumo. En general, no se valora la inversión en calidad de vida saludable, en términos de nutrición, actividad física y desarrollo psíquico y, los patrones de comportamiento que se desarrollan mediante el conocimiento o la educación desde la infancia, no contribuyen a su desarrollo. Por otro lado, la salud siempre va a revertir en beneficio de todas las demás actividades.(Longitudinal study (2005))

### **1.2.3.- Ejercicio físico y Deporte**

El ejercicio físico es un aspecto importante en la salud y en el desarrollo de la persona. Durante la realización del ejercicio físico participan prácticamente todos los sistemas y órganos del cuerpo humano. Practicado de forma regular mejora la sensación de bienestar y puede reducir, incluso, el deterioro en enfermos con enfermedades pulmonares, como la fibrosis quística, etc.

El sistema muscular es el efector de las órdenes motoras generadas en el sistema nervioso central, participando también los sistemas cardiovascular, pulmonar, endocrino, renal y en general el organismo en su conjunto, que son fundamentales para el apoyo energético hacia el tejido muscular y mantener la actividad motora

Toda actividad física demanda oxígeno. Cuando el oxígeno consumido durante el ejercicio es menor o igual al que proporciona el torrente circulatorio se dice que el trabajo es aeróbico, existe entonces un equilibrio entre el aporte y el consumo de oxígeno.

En el entrenamiento de un músculo se debe tener presente el objetivo del entrenamiento. De ahí la diferencia entre actividad física y deporte, que ahora explicaremos. Debemos de tener en cuenta que, en función de la duración del esfuerzo intervienen diferentes procesos fisiológicos para portar energía. Los esfuerzos breves dependen prioritariamente de procesos anaeróbicos. En los esfuerzos prolongados los procesos aeróbicos desempeñan un papel fundamental

## ADOLESCENTES, OBESIDAD Y ACTIVIDAD FISICA

La obesidad infantil es un problema de salud pública en los países desarrollados. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido la obesidad como la epidemia del siglo XXI, por la dimensión que ha adquirido, su impacto sobre la morbimortalidad, la calidad de vida y el gasto sanitario. La obesidad constituye una auténtica epidemia de la edad pediátrica en los países desarrollados. Más del 14% de los niños son obesos, y otro 20% cumple criterios de sobrepeso. Los niños son cada vez menos activos y más sedentarios y han reducido su gasto energético por debajo de lo requerido. Además, se ha verificado que es un problema en expansión y que se inicia cada vez en edad más temprana. Con frecuencia, se acompaña de elevación de la presión arterial, lo que produce un efecto multiplicativo del riesgo vascular ((WHO/FAO Expert consultation on Diet 2003).

En Europa existe un sistema de vigilancia que nos ha alertado del alto porcentaje de obesidad infantil que se observa en los países del sur de Europa (3). Concretamente, España se ha situado en el tercer puesto respecto a los países europeos, afectando la obesidad al 19,1% de la población infantil y el sobrepeso a un 26,1%; según el Estudio de Alimentación, Actividad física, Desarrollo Infantil y Obesidad((CDC) 2006, WHO Regional office for Europe 2012).

El concepto de obesidad es el exceso de grasa corporal, y su valoración diagnóstica en la práctica clínica se establece por la situación del peso del paciente en la distribución de percentiles para la edad y el sexo, así como por la situación del índice de masa corporal ( $IMC = \text{peso} / \text{talla}^2$ ) en la correspondiente distribución percentilada. Por encima de 25 se corresponde con sobrepeso, y por encima de 30, con obesidad.

La obesidad infantil es una enfermedad multifactorial. Se han descrito muchos factores de riesgo relacionados con ella, si bien es cierto existen diferentes mecanismos etiopatogénicos, siendo la forma más común la exógena, relacionada con el exceso de ingesta y/o la reducción de gasto energético ((Ministerio de Sanidad 2011, WHO Regional office for Europe 2012).

En la prevención de la obesidad infantil, debe considerarse:

1. la etapa prenatal (ganancia gestacional de la madre inferior a 12 kg);
2. la etapa de lactante (lactancia materna, introducción de alimentación complementaria después del 4.º-6.º mes);

3. y la de escolar hasta la adolescencia (educación nutricional, promoción de actividad física regular, control de grupos de riesgo).

La intervención orientada a la prevención de la enfermedad cardiovascular (ECV) en niños obesos tiene por objetivo la reducción del exceso de grasa y de peso corporal. El programa para alcanzar el objetivo se basa en tres medidas (Ministerio de Sanidad 2011):

- 1) promover la pérdida de peso;
- 2) reducir la ingesta calórica;
- 3) inculcar una conducta alimentaria saludable.

La reducción de sobrepeso se alcanza a través del aumento del consumo calórico corporal, mediante un ejercicio físico regular, continuo y sistemático que consiga una reducción de peso de alrededor de 500 g semanales. Estos niños, habitualmente sedentarios, deben ser motivados para la actividad física que les resulte más atractiva, para evitar rechazos y desmotivación. Debe llevarse a cabo de forma progresiva, metódica y racional, a través de cualquiera de las actividades deportivas, con tal que se promueva una elevación de la frecuencia cardíaca y sudoración, a diario o a días alternos, durante 30-60 minutos al día. Estos parámetros se modificarán en función del aumento de la tolerancia y la capacidad para el ejercicio. La actividad se diversificará según las numerosas posibilidades disponibles (caminar, marcha, senderismo, carreras, ciclismo, natación, deportes asociativos, etc.). Con el tiempo dedicado a la actividad física, deben reordenarse los tiempos dedicados a ver televisión, usar ordenador y videojuegos (Berenson and Pckoff 1995).

Debe reducirse el 30-40% de la ingesta calórica en la dieta, manteniendo una dieta equilibrada. Es recomendable incrementar la ingesta de agua y distribuir la ingesta del día en 4-6 tomas. Además de poseer otros efectos digestivos y metabólicos, el agua no aporta calorías y es útil para calmar la sensación de hambre. La ingesta de 100-150 ml de agua antes de las comidas sacia el hambre durante 20-30 minutos y puede repetirse sin mayores inconvenientes. La distribución de los principios inmediatos en la composición calórica de la dieta debe contemplar un 25-30% de grasa, un 50-60% de hidratos de carbono y un 13-15% de proteínas (Berenson and Pckoff 1995).

La evidencia ha demostrado en adultos que la actividad física vigorosa diaria disminuye el riesgo de enfermedad cardiovascular y mejora el perfil lipídico en ayunas (Guías Clínicas 2015).

La conducta sedentaria ha sido considerada un factor de riesgo para la obesidad. A su vez, es conocido que la obesidad conlleva restricción de la actividad física, con lo que se cierra el círculo vicioso. En consecuencia, la obesidad conllevaría la pérdida de la condición física y de los potenciales beneficios que reportaría su mantenimiento. La actividad física regular debe tomarse como un hábito programado a lo largo de la vida y no como una actividad transitoria mientras se modifican ciertos parámetros de riesgo.

La obesidad emergía como un problema epidémico mundial, (38% chicos y, 63% chicas), cuando se unían criterios por el IMC, de obesidad y de sobrepeso juntos. Otro estudio de niños de Birmingham daban cifras de alrededor de 37%, uno de cada cinco niños (22 %) tenían más de un 30% de grasa corporal y el grupo de obesos era mayoritariamente de chicas (90%) (Meigs, Muller et al. 2003). Este estudio también demostró que el 71% de los niños tenían un porcentaje de exceso de grasa de un 20%, indicando también que los chicos tienen una mayor prevalencia de obesidad que las chicas (17% vs 15%), respectivamente ((Meigs, Muller et al. 2003) . Por otro lado, se ha sugerido una asociación positiva con sobrepeso y obesidad en las chicas, en relación con el proceso de maduración sexual, siendo al revés , en los chicos.((Al-Nakeeb, Duncan et al. 2007).

El problema de la obesidad es una epidemia mundial. Estudios hechos con metaanálisis muy rigurosos ahora posibilitan reconocer que se ha disparado y sigue aumentando, lo que quiere decir que, no sólo no se está corrigiendo, sino que no hay una terapia eficaz en la actualidad. Las perspectivas de futuro son alarmantes. Las previsiones que la WHO daba para EEUU en el 2005, de alcanzar los niveles de enfermedades cardiovasculares como primera causa de muerte para el 2015, se han alcanzado ya. Las consecuencias en cuanto a problemas de salud derivados de la enfermedad cardiovascular, a pesar de conocerse muy bien los factores de riesgo cardiovascular y de haber empeñado campañas divulgadoras y esfuerzo sanitario en reconocerlos y con terapias cada vez más eficaces, no consiguen dejar de alarmar.( Francisco López Jiménez, Mayo Clinic, EEUU )

La obesidad constituye una auténtica epidemia en la edad pediátrica en los países desarrollados. Alrededor del 14 % de los niños son obesos y otro 12% cumple criterio de sobrepeso. Los niños cada vez menos activos y más sedentarios han reducido su gasto energético por debajo de lo ingerido.

Es un problema en expansión y, que cada vez se inicia a edad más temprana. Con frecuencia se asocia a una elevación de la tensión arterial, lo que produce un efecto multiplicativo del riesgo cardiovascular.

El concepto de obesidad es el exceso de grasa corporal y su valoración diagnóstica se establece por distribución de percentiles para edad y sexo, así como la situación del índice de masa corporal ( $IMC = \text{peso}/\text{talla}^2$ , en la correspondiente distribución percentilada (+ 25 sobrepeso y +30 obesidad). Existen unas guías basadas en el IMC, que diferencian el sobrepeso y la obesidad en función de la edad, que son las que sirven para definirlo

La incidencia de obesidad y sobrepeso ha aumentado dramáticamente a nivel mundial ((Wang and Dietz 2002, Wang, Monteiro et al. 2002).

Diferentes estudios indican que uno de cada cuatro niños, entre 6 y 14 años ( de 11% a 39%), pertenecientes a países desarrollados y en vías de desarrollo, tienen obesidad o sobrepeso.(Ostojic, Stojanovic et al. 2011)

Por otro lado, los niveles bajos de actividad física, no solamente se relacionan con el detrimento de la condición física y de la salud, sino también con el desarrollo de hipercolesterolemia, hipertensión, síndrome metabólico, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares, tanto en niños como en adultos (King, Parkinson et al. 2011).

Se está investigando mucho y las investigaciones van teniendo sus frutos, ya que gracias también a las posibilidades tecnológicas y la creciente preocupación y concienciación que existe y a la diseminación de las enfermedades cardiovasculares, se están obteniendo datos a nivel mundial que van a permitir concretar y resolver muchas lagunas. A pesar de eso, es necesario seguir investigando y divulgando la necesidad de una responsabilidad social en beneficio de la salud de la población.

Se necesita una intervención mediante comportamientos saludables y modificación de factores de riesgo de forma activa a través de métodos de promoción de la salud y mediante campañas de afectación general de la población.

Los niños de 5 a 18 años están en la escuela, la gran mayoría de ellos y, por ello, la educación se debe realizar con propuestas aplicadas a ella. Si, por ejemplo, mediante un ejercicio continuo y sostenido, programado en el horario de actividad física del horario escolar, incluso aprovechando las actividades de descanso, se pudieran consumir un número de masa corporal en gramos de grasa de 500 a la semana, de forma progresiva, metódica y con evaluación de la frecuencia cardíaca , con el objetivo de unos 30 a 60 minutos al día, de una forma activa, ayudaría a manejar un problema que si no se enfrenta se va aumentando de una forma directamente proporcional. Con el tiempo dedicado a la actividad física, se deben de reordenar los tiempos dedicados a televisión, videojuegos, etc.

La evidencia ha demostrado en adultos que la actividad vigorosa diaria reduce el riesgo cardiovascular y mejoran el perfil lipídico. Faltan datos similares en edad pediátrica. La incidencia de obesidad y sobrepeso ha aumentado dramáticamente a nivel mundial (Wang and Dietz 2002, Wang, Monteiro et al. 2002)

Diferentes estudios indican que uno de cada cuatro niños, entre 6 y 14 años ( de 11% a 39%), pertenecientes a países desarrollados y en vías de desarrollo, tienen obesidad o sobrepeso.(Ostojic, Stojanovic et al. 2011)

Por otro lado, los niveles bajos de actividad física, no solamente se relacionan con el detrimento de la condición física y de la salud, sino también con el desarrollo de hipercolesterolemia, hipertensión, síndrome metabólico, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares, tanto en niños como en adultos (Ardura 2000, King, Parkinson et al. 2011).

Hace falta educar en los valores que puedan mejorar la calidad de vida y el futuro del individuo, en hábitos de vida saludable. Se ha demostrado que cambiar los hábitos de vida es mucho más eficaz que otras terapias (Fard et al 2011). Incluso se ha sugerido que se podrían erradicar las enfermedades cardiovasculares (Chamn et al 2006). Ello podría ir en beneficio del Sistema de Sanidad Social, lo que evitaría los elevados gastos sanitarios que se invierten en el tratamiento de esas enfermedades, es decir, que se podría aumentar la inversión en su prevención y se mejoraría a la población en general, sin olvidar lo que supone la ventaja de disminuir la morbimortalidad de la población.

### **1.3.- Población adolescente y deporte**

El ejercicio físico es un aspecto importante en la salud y el crecimiento de los niños. La habilidad para participar en las actividades físicas también determina éxito y reconocimiento y, puede influir en el desarrollo normal, tanto a nivel físico como psicológico. En la adolescencia la habilidad para participar en actividades deportivas puede ayudar a su realización personal. De la misma forma, una capacidad disminuida para realizar ejercicio puede llevar a reducir progresivamente la actividad habitual y la capacidad de ejercicio, con un efecto negativo en la salud general del niño, su bienestar y su autoestima.

El ejercicio físico y la vida activa tienen efectos beneficiosos, científicamente documentados sobre la salud en general y el sistema

cardiovascular en particular. El juego y el deporte desempeñan una función elemental en el desarrollo motor, emocional, social y cognitivo de los niños.

Pueden estar limitadas en algunas cardiopatías y enfermedades genéticas que predispongan a arritmias. A pesar de ello, con las limitaciones individuales, la práctica de actividad física, a nivel recreativo o de entrenamiento o de competición es beneficiosa. Igualmente se ha comprobado con los programas de rehabilitación cardíaca tras el infarto en el adulto

Strong et al. Demostraron los efectos beneficiosos del ejercicio físico habitual en la masa grasa de jóvenes obesos, en la hipertensión arterial en jóvenes con tensiones arteriales ligeramente elevadas y en niños con ansiedad y depresión (Ardura 2000)

## ACTIVIDAD FISICA

El ejercicio y la vida activa resultan positivos y tienen beneficios científicamente documentados sobre la salud en general y sobre el sistema cardiovascular en particular. Sin embargo, durante la práctica del ejercicio intenso y el deporte de competición se eleva el riesgo de padecer muerte súbita (Bano Rodrigo 2000, Corrado, Pelliccia et al. 2005).

Además, el juego y el deporte desempeñan una función fundamental en el desarrollo motor, emocional, social y cognitivo de los niños. Es importante diferenciar entre el deporte recreativo y el deporte de competición (Bano Rodrigo 2000, Corrado, Pelliccia et al. 2005)

Atleta de competición es aquel que participa en un deporte individual o como miembro de un equipo organizado, que requiere un enfrentamiento regular contra otros y alguna forma de entrenamiento sistemático y generalmente intenso. Algunos pacientes deberán limitarse exclusivamente a la práctica de actividades recreativas, mientras que otros podrán extender esta práctica al entrenamiento y la competición (Bano Rodrigo 2000, Corrado, Pelliccia et al. 2005).

Por todo lo anteriormente comentado, los niños poseen la necesidad innata de moverse, jugar y llevar a cabo actividades físicas. La actividad física es necesaria para el adecuado desarrollo físico, emocional y psicosocial de los niños.

Pueden definirse los distintos tipos de actividad física y ejercicio (Bano Rodrigo 2000).

– Actividad física: cualquier actividad corporal que resulte de la contracción muscular y conlleva al aumento de las necesidades metabólicas por encima de la situación de reposo. En general, la actividad física moderada comporta un aumento de las necesidades metabólicas superior a 3-6 veces la del reposo.

– Deporte recreativo: actividad física voluntaria en la que el participante tiene la libertad de parar en cualquier momento.

– Deporte de competición: actividad física organizada en la que el participante no establece la duración de la actividad y suele requerir más intensidad que la deseada.

– Entrenamiento físico: actividad desarrollada bajo un programa especializado con el objetivo de aumentar la capacidad física.

– Hábito de vida sedentario: ausencia o muy escasa actividad física. Se caracteriza por el aumento de horas dedicadas a actividades sedentarias como ver la televisión, jugar al videojuego o utilizar el ordenador.

## CLASIFICACIÓN DE LOS DEPORTES

Habitualmente, se habla de 2 tipos de ejercicio (Bano Rodrigo 2000, Corrado, Pelliccia et al. 2005):

- Dinámico o isotónico: durante su realización se producen contracciones rítmicas musculares, con cambios en la longitud de los músculos y movimientos de las articulaciones.

- Estático o isométrico: al practicarlo se genera una importante fuerza intramuscular, sin acompañarse de movimiento de las articulaciones y sin cambiar, o cambiando solo mínimamente, la longitud del músculo.

No se puede equiparar esta clasificación con la de ejercicio aeróbico y anaeróbico, ya que estos términos se refieren al tipo de metabolismo muscular durante el ejercicio. No obstante, la mayor parte del ejercicio isométrico de alta intensidad se realiza en condiciones anaeróbicas, y el ejercicio dinámico que dura algunos minutos, en forma aeróbica; aunque existen muchas excepciones. Así, por ejemplo, la carrera de velocidad o el salto son ejercicios dinámicos que se realiza en anaerobiosis.

El ejercicio dinámico conlleva un aumento importante del consumo de oxígeno. Durante su realización aumenta el gasto cardiaco, el volumen de eyección, la frecuencia cardiaca y la tensión arterial, con una elevación

moderada de la tensión media y una disminución de la diastólica, por disminución de la resistencia vascular periférica. El ejercicio estático, por el contrario, no causa una elevación importante del consumo de oxígeno, pero sí un aumento marcado de la tensión arterial sistólica, diastólica y media, sin cambios significativos en la resistencia vascular periférica.

Estos dos tipos de ejercicio pueden considerarse los extremos de un espectro continuo. La mayoría de las actividades físicas tienen tanto componentes de ejercicio estático como dinámico.

La clasificación más utilizada de los deportes es la realizada por Mitchell et al. (Mitchell, Haskell et al.) y la de Mitchell et al. modificada por Terreros et al. En ella cada deporte se valora según el tipo básico de ejercicio: estático o dinámico. Asimismo, se evalúa el grado de intensidad del ejercicio realizado durante la competición como bajo, medio o alto.

Esta clasificación también tiene en consideración el peligro de producir lesiones por colisión con otros atletas, objetos, proyectiles o el suelo. Por último, se consideran las consecuencias, tanto para el deportista como para otros, de sufrir un síncope durante la práctica.

También tiene limitaciones, como la de no poder valorar el estrés emocional añadido que supone para el atleta el participar en una competición, incluso en deportes con baja carga estática y dinámica como el golf o el tiro. Tampoco considera algunos factores del medio ambiente, como la práctica deportiva en altitudes elevadas o en lugares muy contaminados, o con temperaturas o condiciones de humedad extremas.

Por otra parte, el entrenamiento actual puede ser más demandante para el sistema cardiovascular que la competición en sí.

El grado de actividad física influye en el pronóstico a largo plazo en la edad adulta. Es en la infancia y en la adolescencia donde se establecen los patrones y niveles de actividad que se pueden mantener en el futuro, teniendo consecuencias sobre la calidad de vida y mortalidad en etapas posteriores de la vida, con un coste sanitario individual y colectivo aumentado.

## **1.4.- Población adulta**

### **1.4.1.- Evolución de los factores de riesgo cardiovascular: prevención vs Erradicación**

La promoción de la salud en el niño y adolescente, como prevención de patología que puede ser afectada en la edad adulta, ha tardado en plantearse y aún no se ha generalizado.

A lo largo del siglo XX la expectativa de vida media ha subido en 30 años. Este aumento se debe, entre otras cosas, a simples cambios en la modificación de los hábitos generales de la población. De ahí el desarrollo y la concepción de vida saludable, en particular la promoción de hábitos de vida que eviten tóxicos y que promuevan la actividad deportiva y una nutrición adecuada (Ardura 2000).

Se ha demostrado que los hechos precursores de las enfermedades cardiovasculares del adulto se establecen en la infancia. Las enfermedades cardiovasculares implican una base genética y, aunque el riesgo derivado de la edad, sexo, condición familiar, la historia personal, no son susceptibles de modificación sustancial, sí hay factores fisiológicos modificables (lípidos, tensión arterial), culturales (dieta), hábitos (tabaco, alcohol), estilos de vida (actividad física, sedentarismo), patrones de conducta y comportamiento (horas de televisión, videojuegos)

Así, puede haber una prevención primaria de las enfermedades cardiovasculares del adulto a través de la intervención en la infancia y adolescencia.

El comportamiento saludable está estrechamente relacionado con el estilo de vida general de la sociedad y afecta a amplios sectores poblacionales. Por tanto, para alcanzar cambios a largo plazo, deben programarse medidas basadas en la sociedad. La modificación de los factores de riesgo debe realizarse de forma activa, a través de métodos de educación y promoción de la salud y mediante campañas de masas, puesto que los factores reúnen características de afectación general de la población ((WHO Regional office for Europe 2012) (Guías Clínicas 2015). Las ECV, como tantas otras, implican una base genética que se evidencia por el acúmulo de prevalencia en algunas familias y/o su manifestación en edades inusualmente precoces. El riesgo derivado de la edad, el sexo, la condición familiar y la historia personal no es susceptible de modificación sustancial, pero sí lo son los llamados factores de riesgo modificables, relacionados con aspectos fisiológicos (lípidos, presión arterial) y culturales (tipo de dieta), con hábitos (tabaco, alcohol), estilos de vida (actividad física, sedentarismo), patrones de conducta y comportamiento (horas de televisión, videojuegos, ordenador, uso de automóvil).

Los programas de intervención para la profilaxis de ECV sugieren que la prevención es factible, por lo que la modificación de los factores de riesgo

como práctica de salud pública desciende la morbimortalidad. La base de la intervención se establece sobre las demostraciones de relación entre la salud del niño y la del adulto.

Es necesario la obtención de un cierto nivel de actividad física para ejercer los efectos beneficiosos de ella, por ello hay que buscar estrategias intervencionistas a nivel familiar, pero sobre todo social, ya que la población es accesible y los beneficios se prolongan en la vida adulta, pudiendo enfrentar los problemas cardiovasculares desde el punto de vista de prevención primaria.

### **1.4.2.- Medidas y modelos de salud: La salud como objetivo prioritario de bienestar social**

Los beneficios de la actividad física y del deporte son bien sabidos, pero quizás no se le da la importancia que se debiera, a la vez que se hay discrepancias en su valor relativo al de la nutrición. Además está condicionado por una estructura social que quizás no favorece o no educa. Pero es indiscutible su efecto beneficioso a corto y largo plazo.

A lo largo del siglo XX la expectativa de vida media ha subido en 30 años. Este aumento se debe, entre otras cosas, a simples cambios en la modificación de los hábitos generales de la población. De ahí el desarrollo y la concepción de vida saludable, en particular la promoción de hábitos de vida que eviten tóxicos y que promuevan la actividad deportiva y una nutrición adecuada (Ardura 2000).

La teoría de la promoción de la salud infantil se ha circunscrito preferentemente a la prevención de las enfermedades del niño a lo largo de la edad infantil. La doctrina de la promoción de la salud del niño, como prevención de la patología que puede afectarle en la edad adulta, ha tardado en plantearse y, lo que es más importante, aún no se ha generalizado (Málaga, Rey et al. 1995).

Por tanto, promover un niño sano es el fundamento para lograr un adulto más sano. Se ha demostrado que los hechos precursores de las ECV del adulto se establecen en la infancia (Ricke., et al 2012).

Como objetivos en la intervención se han de considerar los estilos de vida, los hábitos nutricionales, el patrón de conducta personal, la estructura social y las variables biológicas. Sin embargo, el médico puede enfrentarse a

problemas individuales concretos; por ello, desde un punto de vista práctico, la prevención debe establecerse con dos estrategias diferentes:

1. Intervención clínica en casos individuales, por presentar factores de riesgo, por enfermedad metabólica o por antecedentes familiares.

2. Intervención de salud pública sobre la población, a través de programas de educación y promoción de la salud, para que se adopten y mantengan estilos de vida saludables.

La actividad física que mantiene los mejores índices de composición corporal supone una actividad física vigorosa y de alta intensidad, que supone una integración de esta en la vida de forma que modifica los hábitos de vida.

Cuanto mayor y más intensa es la actividad física, necesitando unos mínimos para actuar en el organismo, disminuye el porcentaje de grasa corporal y hay un mayor porcentaje de masa muscular, paralelamente al IMC y al ICC. Priorizar el estilo de vida como factor de salud necesita también unas pautas de actuación. Por eso hemos querido analizar los diversos factores que determinan la capacidad funcional del individuo y de esa manera objetivar las variables modificables, para conocerlas, poder actuar en ellas si fuera necesario y poder valorar la dimensión de su importancia.

# 2. OBJETIVOS

## 2.- OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es aportar datos novedosos y objetivos en cuanto a hábitos de vida y de actividad física, en una muestra seleccionada de deportistas adolescentes de la Comunidad de Madrid, evaluando variables objetivas cineantropométricas y de capacidad aeróbica, (mediante determinación del consumo de oxígeno en pruebas de esfuerzo máximas en tapiz rodante), para conocer la influencia o relación de factores determinantes o variables, que permitan modificar medidas adecuadas para obtener calidad de vida en términos de salud, tanto en la población

adolescente como en la población adulta, ya que, en la actualidad, hay una clara demanda de investigaciones en ese sentido para tener consenso en el sentido de modificar hábitos de conducta, desde la infancia y adolescencia, en el seno de la familia, hasta los organismos que se encargan de promover la salud de la población y promover hábitos y actividades necesarias con el objetivo de conseguir un rendimiento en términos de salud pública.

Se estudian hábitos nutricionales y de actividad física y sedentaria, mediante una encuesta individual, que permita clasificar al deportista en distintos grupos. Las variables de composición corporal y capacidad aeróbica, se miden mediante tecnología avanzada en el laboratorio del Centro de Medicina del Deporte de la Comunidad de Madrid, de forma que se los datos sean fiables y objetivos, para poder conocer y estudiar la relación de los hábitos de vida con la composición corporal y la capacidad aeróbica del deportista y así aproximarnos a conocer su influencia o relación y poder tener una base objetiva para poder plantear pautas de actuación en la educación y formación de los adolescentes, lo que repercutirá en la vida adulta y en la población general.

# **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

## **3.- MATERIAL Y MÉTODOS**

Este estudio es de tipo descriptivo, de una muestra seleccionada de una población de deportistas de la Comunidad de Madrid, sobre la que se ha intervenido para obtener datos cineantropométricos, estado nutricional y de actividad física, junto con la determinación objetiva de la capacidad aeróbica, mediante estudio de gases en pruebas de esfuerzo máximas en tapiz rodante en las instalaciones del Centro de Medicina del Deporte de la Comunidad de Madrid. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los padres y de los participantes.

La muestra de la población seleccionada es significativa y suficiente ya que los sujetos pertenecen a una muestra de población pequeña, estadísticamente significativa.

### **3.1.- Población**

Los deportistas pertenecen a distintas categorías deportivas, perteneciendo a un nivel de competición en su deporte. Se ha seleccionado la población adolescente de 12 a 18 años, en los que hemos intervenido para objetivar los datos cineantropométricos, encuesta de hábitos, historia clínica y prueba de esfuerzo en tapiz rodante con medición del consumo de gases para medición de capacidad aeróbica.

Para la realización del presente trabajo, se recogieron los resultados de las pruebas de esfuerzo realizadas a deportistas adolescentes que acudieron al Centro de Medicina de la Comunidad de Madrid, como reconocimientos médico deportivos. El periodo de recogida de datos se sitúa desde el año 2013 al año 2014, ambos inclusive. Para este estudio hemos seleccionado a 114 deportistas diferentes, realizando una prueba de esfuerzo máxima en nuestro laboratorio y que cumplieran los criterios de selección que expondremos más adelante.

A todos y cada uno de ellos se les explico verbalmente y por escrito el objetivo de la prueba y los métodos a emplear. Todos los deportistas, tras la correspondiente explicación, firmaron una autorización o consentimiento informado, siguiendo las recomendaciones vigentes (De los Reyes, Iñiguez, Goicolea, Funes, & Castro, 1998).

Antes del inicio de la prueba y a modo de criterio de inclusión, se les realizó a los 114 deportistas una historia clínica completa recogiendo sus antecedentes familiares, personales y deportivos, en los que constaba específicamente el tipo de alimentación y el nivel de entrenamiento, especificando la intensidad y la duración de los mismos. Posteriormente se realizaba una exploración protocolizada por aparatos, haciendo especial hincapié en el sistema cardiovascular y respiratorio. Dentro del apartado de exploración clínica y previamente a la realización de la prueba se les realizaba un electrocardiograma basal de doce derivaciones en decúbito supino, bipedestación e hiperventilación, una espirometría basal forzada y el registro de la tensión arterial en reposo en decúbito supino. (Anexo 1)

### **3.1.1.- Criterios de selección**

Antes de la inclusión definitiva de los datos, los deportistas debían cumplir los siguientes criterios:

-Las totalidad de las pruebas realizadas corresponden a deportistas diferentes.

-Todos los deportistas seleccionados eran en el momento de realización de la prueba deportistas federados en su categoría deportiva y a nivel de competición.

-Todas las pruebas seleccionadas se realizaron en deportistas adolescentes, en rango de edad de 12 a 18 años.

-Todas las pruebas de esfuerzo seleccionadas cumplían los criterios de maximalidad descritos, descartándose aquellas pruebas que, aunque el deportista parase por referir agotamiento subjetivo, no cumplieran dichos criterios.

-La toma de medidas se había realizado desde el comienzo de la prueba hasta al menos tres minutos después de concluida la misma.

Por otro lado los deportistas debían de cumplir los siguientes criterios de selección antes de proceder a su inclusión en el trabajo (se siguieron las recomendaciones de las Guías de Evaluación Cardiovascular Pediátricas):

-No registrar en la anamnesis y en la exploración clínica previa ninguna afectación en el momento presente que contraindicara (tanto relativa como absolutamente) la realización de una prueba de esfuerzo (Gibbons et al., 2002a, 2002b; Schlant, Friesinger, & Leonard, 1990).

-No estar bajo tratamiento de ninguna sustancia o droga que pudiera interferir en el rendimiento.

-No padecer ninguna patología aguda de vías respiratorias en el momento de realización de la prueba que pudiera interferir en el rendimiento.

-Durante la celebración de la prueba, no presentar ningún criterio de interrupción de la misma, tanto absoluto como relativo (G. Fletcher et al., 2001)

### **3.1.2.- Características de la muestra**

El total de la población estudiada corresponde a 113 deportistas de diferentes categorías deportivas, pero federados y a nivel de competición, al menos nacional, sin otra actividad física ni profesional, aparte de sus obligaciones como estudiantes.

Los deportistas provenían de diferentes deportes, aunque en su mayoría pertenecen a hockey y natación, también se han incluido deportes como tenis de mesa, fútbol, vóleybol y tiro con arco. No se ha evaluado la nacionalidad, pero en su mayoría eran españoles. La tabla 6 contiene las medias y desviaciones típicas de los datos antropométricos: peso y talla y el tamaño de la muestra.

## **3.2.- Evaluación de hábitos de vida**

### **3.2.1.- Hábitos dietéticos**

Los datos nutricionales se recogen mediante una entrevista muy completa y sobre todo personalizada, ya que se dedica un tiempo importante para que la fidelidad de los datos sea máxima. La realidad es que siendo un grupo de deportistas de élite y en un periodo de edad en que su alimentación depende de unos padres que normalmente están preocupados y dedicados al deporte y salud de sus hijos, la encuesta fue muy satisfactoria. Por ello mediante esta encuesta lo que se ha podido comprobar es un buen estado nutricional, ya que están metidos prácticamente todos en un mismo grupo de buenos hábitos alimenticios. Anexo 2

### **3.2.2.- Hábitos de actividad física y sedentarismo**

La encuesta de hábitos de vida para evaluar el nivel de sedentarismo y nivel de actividad física, que se ha realizado, ha sido de forma individual y personalizada. No hemos utilizado encuestas como las del Isak porque consideramos que éstas están más dirigidas a población general y como luego hablaremos en la discusión hemos preferido hacer una encuesta más especializada y que se acerque más a la realidad, mediante una entrevista personalizada, individual, que aunque pueda tener sesgos, hemos querido hacerla más completa de las que se hacen a nivel poblacional y de esa forma hacer grupos de distinta actividad física y de hábitos sedentarios, midiendo los tiempos dedicados a ambos, que por su dificultad ha necesitado una dedicación individual y personalizada en la entrevista, para hacer grupos de

intensidad en cuanto a niveles de sedentarismo y de actividad física. Tabla 1.

Se han clasificado los niveles por número de horas dedicadas tanto a la actividad física, como a intensidad y actitud personal y aficiones de hábitos diarios. En el apartado de actividad física se han recogido el número de horas dedicadas al deporte como a la actividad física, tanto escolares como las de su deporte y actividades extraescolares y en el apartado de hábitos sedentarios se han intentado recoger tanto las horas de televisión y de estudio, como las de ocio dedicado a ordenador y a juegos de tipo informático que les obliga a estar sentados o en inactividad, desde poco o nada a todo el tiempo que puede.

<b>Actividad Física</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
Gusto por la actividad física	+	++	+++	++++
Actitud. Intensidad	+	++	+++	++++
Actividad extraescolar	+	++	+++	++++
Nº de horas dedicadas	-5	5-10	10-15	+15

<b>Hábitos sedentarios</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
Gusto por actividades sedentarias	+	++	+++	++++
Actitud. Intensidad	+	++	+++	++++
Horas semanales dedicadas	-5	5-10	10-15	+15

**Tabla 1:** Relación de grupos de intensidad de actividad física y sedentarismo, según encuesta personal.

Este tipo de encuesta incluye un gran número de preguntas encaminadas a acercarse lo más fidedignamente a la realidad de cada deportista, teniendo en cuenta también, factores que puedan influir en las respuestas, tanto psicológicos como sociales, que pueden alterar el orden del grupo al que pertenece el deportista y que constituye un sesgo que hay que tener en cuenta. Esta encuesta podría ser objeto de validación por estudios posteriores

En un grupo de los adolescentes se recogieron datos para evaluar el nivel de fitness, utilizando una escala que se basa en valores algo subjetivos, pensando que podrían aportar algo al total de valores estudiados, mediante parámetros como fuerza, peso ideal, aspecto físico y tono muscular, clasificando a los deportistas en cuatro niveles, siendo 1 el de menos puntuación y 4 el de mejor puntuación y el mayor aspecto atlético. No habiendo nada concreto en la literatura para apoyarnos, finalmente se han desechado, ya que los datos cineantropométricos son más fiables y objetivos.

### **3.3.- Cineantropometría: Análisis de impedancia bioeléctrica o bioimpedancia**

El análisis de composición corporal hasta el avance de la tecnología aplicada a la biomedicina y que se usa de forma general en la investigación, es la medición de diferentes pliegues corporales de acuerdo con el procedimiento de Lohman y Timothy, que analiza el % de grasa corporal mediante unas ecuaciones específicas para cada género. (Eston and Thomas 2009). Son métodos que precisan de personal entrenado y mediciones precisas que aseguren su validez. Nosotros hemos prescindido de ellas y hemos preferido utilizar el análisis de composición corporal mediante bioimpedancia.

Los datos cineantropométricos se han realizado en todos los casos mediante la tecnología más avanzada en estos momentos y que ha demostrado más objetividad frente a las mediciones manuales, a pesar de que se han demostrado eficaces, pero también con el ánimo de evitar sesgos. Para ello se han utilizado la tecnología “In Body”, basada en bioimpedancia. Los resultados se presentan en modelos representativos y que recogen datos de composición corporal, agua intra y extracelular, proteínas, minerales óseos y no óseos, masa grasa corporal, masa musculoesquelética, masa magra, masa libre de grasa, peso, IMC, porcentaje de grasa corporal, relación cintura- cadera, masa y ratio de la masa segmental, evaluación nutricional, peso objetivo y control de peso, recogiendo un historial de diez resultados de mediciones. (Anexo 3).

El análisis de impedancia bioeléctrica o bioimpedancia (BIA) basa su funcionamiento en que los órganos y los tejidos del cuerpo humano funcionan como un semiconductor o un no conductor en términos de electricidad, en base a la Ley de Ohm ( $R=V/I$ ). Este método asume que el cuerpo humano es un cilindro, de donde se saca la longitud y área.

Durante la última década, la técnica que analiza la composición corporal basada en las propiedades eléctricas de los tejidos biológicos se ha ido desarrollando obteniendo notables resultados, siendo validadas por numerosos autores, (Lukaski, Bolonchuck et al. 1986, Kyle, Genton et al. 2001) (Shon et al, 2001) (Centro de Medicina Deportiva, Málaga) (Kyle, Genton et al. 2001, Chumlea, Guo et al. 2002, Sun, Chumlea et al. 2003, Alvero Cruz, Carnero et al. 2010).

Tiene ventajas importantes respecto de otros métodos, entre ellos la seguridad, su rapidez y facilidad, que requiere una formación mínima para realizar las mediciones y por ello es cada vez más utilizada en medios hospitalarios y profesionales de la salud.

La tecnología “In Body” recoge, así, los datos con una tecnología avanzada que utiliza la bioimpedancia. Los estudios de bioimpedancia eléctrica (BIA) se basan en la estrecha relación que hay entre las propiedades eléctricas del cuerpo humano, la composición corporal de los diferentes tejidos y del contenido total de agua en el cuerpo. Como todos los métodos indirectos de estimación de la composición corporal, la BIA depende de algunas premisas relativas a las propiedades eléctricas del cuerpo, de su composición y estado de maduración, su nivel de hidratación (Nyboer 1970), la edad, el sexo, la raza y la condición física (Thomasset 1962, Hoffer, Meador;C et al. 1969, Nyboer 1970).

La impedancia es la oposición contra el flujo de corrientes eléctricas. La grasa corporal, en comparación con el agua del cuerpo, así como la sangre, tiene una conductividad mucho más débil y por ello una impedancia relativamente alta. Así, en dos sujetos con un mismo peso, el sujeto con mayor índice de grasa corporal mostrará una mayor impedancia y el de menor índice de grasa, menor impedancia.

In Body realiza mediciones segmentales multifrecuencia, midiendo la impedancia de las cuatro extremidades y del tronco por separado, ofreciendo unos resultados mucho más exactos y detallados.

La BIA es una técnica simple, rápida y no invasiva que permite la estimación del agua corporal total (ACT) y, por asunciones basadas en las constantes de hidratación de los tejidos, se obtiene la masa libre de grasa (MLG) y por derivación, la masa grasa (MG), mediante la simple ecuación basada en dos componentes ( $MLG \text{ kg} = \text{peso total kg} - MG \text{ kg}$ ). En el área de las ciencias del deporte es posible medir el ACT en diferentes situaciones, tanto en estados de hidratación normal como de deshidratación, así como para evaluar la composición corporal en diversos estados clínicos y nutricionales relacionados con la actividad física y el entrenamiento.

La utilidad clínica del BIA convencional para detectar cambios agudos o crónicos en la composición corporal de ancianos, niños y atletas está limitada por la incapacidad de evaluar con precisión la distribución de agua intracelular y extracelular, ya que se hace extrapolando estimaciones empíricas que son insensibles a cambios ligeros de la composición corporal. El volumen de agua corporal se calcula a partir de la impedancia. La masa libre de grasa en un cuerpo sano se compone de un 73,3%, que es un valor fijo en todos los aparatos de impedancia, valor constante para cualquier raza o género. Así se calcula la masa grasa corporal. Esta tecnología prescinde de las variables personales como sexo, edad, tipo de cuerpo,..., evitando errores de análisis.

Conocer diferentes aspectos tanto técnicos, como prácticos, sobre la utilización de la BIA influirá en la calidad y la reproducibilidad de los datos obtenidos, así como su validez y precisión.

### **3.3.1.- Principios y propiedades bioeléctricas del cuerpo humano**

La impedancia corporal ( $Z$ ) está en función de 2 componentes o vectores: resistencia ( $R$ ) y reactancia ( $X_c$ ) (fig. 1). Estos 2 vectores estarían de acuerdo a la ecuación  $Z^2 = R^2 + X_c^2$ . La  $R$  representa la resistencia de los tejidos al paso de una corriente eléctrica y  $X_c$  es la oposición adicional debida a la capacitancia de esos tejidos y las membranas celulares (es el llamado componente dieléctrico), y estos valores dependen de la frecuencia de la corriente eléctrica. La reactancia se debe al efecto eléctrico de la carga ofrecida durante períodos cortos, por el componente lipídico de las membranas de la masa celular.

La resistencia es proporcional a la longitud del cuerpo (generalmente se considera su longitud o altura) e inversamente proporcional al área de sección (generalmente las medidas que representan los perímetros de los segmentos del tronco y de las extremidades). Por ello, un cuerpo largo tendrá una gran resistencia en relación con uno más corto, y un cuerpo con un área de sección pequeña tendrá una resistencia menor.

Matemáticamente, el volumen del conductor puede estimarse mediante una ecuación, que está en función de la longitud y el área del individuo, aplicando una constante de resistividad del cuerpo.

Esta relación volumétrica asume que el conductor tiene una forma uniforme y que la corriente también se distribuye uniformemente. La

constante de resistividad del cuerpo ( $\rho$ ) en ohms/cm es independiente del tamaño y la forma, y es similar a la gravedad específica. Si se sustituye la longitud por la estatura, obtenemos el cociente del cuadrado de la estatura por la resistencia ( $\text{estatura}^2/R$ ), en  $\text{cm}^2/\Omega$ , y este es el conocido índice de impedancia, que es proporcional al volumen corporal (Hoffer, Meador;C et al. 1969). Este índice es de gran importancia, ya que se presenta en la mayoría de las ecuaciones de predicción, como la mayor y más importante variable predictora del ACT.

Los aparatos de impedancia eléctrica introducen generalmente en el cuerpo una corriente alterna de amperaje muy bajo (imperceptible), que discurre por el cuerpo, actuando el agua corporal como elemento conductor y la resistencia que ofrece el fluido al paso de esa corriente es medida por el impedanciómetro (Hoffer, Meador;C et al. 1969, Kushner and Schoeller 1986).

La resistencia en el cuerpo no es la misma que la de los conductores no biológicos. La reactancia está causada por la resistencia ofrecida por las membranas celulares, los tejidos de sostén y los tejidos no-iónicos que retardan el paso de la corriente. Los flujos eléctricos de corriente atraviesan de forma diferente tanto los líquidos extracelulares, como los intracelulares, y son dependientes de la frecuencia de la corriente. En frecuencias de 5 Hz o menores, esta corriente fluye muy bien por el agua extracelular (AEC) con una reactancia muy baja. Con frecuencias por encima de 100 Hz,) la corriente penetra en los tejidos corporales también con una reactancia mínima.

La reactancia y el ángulo de fase describen la relación entre la bioimpedancia y el cuerpo (Lukaski and Bolonchuck 1987). Algunos estudios han mostrado la relación entre la reactancia ( $X_c$ ) y el ángulo de fase con variables fisiológicas, nutricionales y de esperanza de vida (Kyle, Genton et al. 2001, Van der Jagt, Huang et al. 2002)

La constante de resistividad ( $\rho$ ) no es igual en todos los segmentos del cuerpo humano y esto se debe a las variaciones intraindividuales e interindividuales de la composición de los diferentes tejidos, que en suma son parte de las diferencias interindividuales y de la existencia de errores de predicción en la estimación de la composición corporal mediante BIA.

### **3.3.2.- Aspectos metodológicos sobre la bioimpedancia eléctrica**

La metodología más utilizada para realizar una BIA de cuerpo entero es la tetrapolar, que consiste en la colocación de 4 electrodos: dos a través de los cuales se introduce una corriente alterna (generada por el impedanciómetro) y otros dos que recogen esta corriente midiéndose, entre estos, los valores de impedancia, resistencia y reactancia corporal. Estos electrodos deben hallarse a una distancia mayor de 4-5 cm, ya que, si no, puede haber interferencias y, por tanto, valores erróneos de la resistencia y la reactancia. Las medidas de impedancia deben tomarse en posición de decúbito supino y los electrodos deben disponerse en la mano-muñeca y el pie-tobillo. La posición de decúbito supino es para disminuir los efectos de la gravedad en la tendencia de remansar el agua en las extremidades inferiores después de la bipedestación (Lukaski and Bolonchuck 1987, Slinde, Bark et al. 2003).

Actualmente, los impedanciómetros segmentales realizan mediciones con electrodos mano-mano o pie-pie, normalmente con el individuo en posición de bipedestación y, todo ello, siempre sujeto a las instrucciones de cada modelo de bioimpedanciómetro y del fabricante.

Los primeros estudios provienen del inicio de la década de 1960, los cuales se centran en la relación de las medidas de impedancia corporal, como el índice del ACT1-3, y variables fisiológicas, como la función tiroidea, la tasa metabólica basal, la actividad estrogénica y el flujo de sangre (Spence, Baliga et al. 1979, Lukaski and Bolonchuck 1987).

Thomasset (Thomasset 1962), fue el primero en hablar de las medidas de impedancia de los tejidos corporales, como índice de ACT. Unos años más tarde, Hoffer et al relacionan la impedancia corporal total con ACT, mediante el paso de corriente a 50 Khz y utilizando el índice de impedancia ( $H^2/R$  en  $m^2/\Omega$ ) en esa estrecha relación.

A mediados de la década de 1980, se empiezan a comercializar los instrumentos de análisis de bioimpedancia eléctrica para la estimación de la composición corporal. El método del criterio de validación para estos instrumentos fue la densidad corporal y el ACT basado en el modelo de 2 componentes (masa grasa y masa libre de grasa). Estos estudios comprobaron la relación de la impedancia con ACT y MLG y grasa corporal en adultos y niños.

Autores como Baumgartner et al<sup>15</sup> también han descrito ampliamente estudios de resistividad específica, la asociación del ángulo de fase y la reactancia en relación con la composición corporal (CC), así como medidas segmentarias de CC.

Desde la década de 1990 han proliferado gran cantidad de sistemas de BIA de diferentes fabricantes, con gran difusión, y en 1994 el National Institute of Health Technology de Estados Unidos realizó una reunión clave para valorar la realidad de la BIA en torno a aspectos importantes, como la seguridad, la estandarización, la medida de parámetros bioeléctricos, la validez, su uso clínico y sus limitaciones<sup>16</sup>. Estos hacen referencia a aspectos como:

- Seguridad. En cuanto a la seguridad no se conocen actualmente efectos adversos, aunque se debe tener en cuenta que podrían afectar a la actividad eléctrica de marcapasos y desfibriladores, por lo cual en estas circunstancias se desaconseja su uso o bien se debería realizar con control electrocardiográfico.

- Estandarización. Si la realización de una BIA se realiza fuera de las normas de estandarización aceptadas, puede haber estimaciones erróneas. Son muy bien conocidas las condiciones que pueden afectar a la precisión de las medidas, como son: la posición corporal, la hidratación, el reciente consumo de comidas y/o bebidas, la temperatura ambiente y de la piel, la actividad física reciente y el estado de repleción de la vejiga urinaria. Estudios recientes analizan el efecto del ejercicio físico, la pérdida de líquidos por la sudoración y la toma de líquidos o comida (Slinde and Rosander-Hulthen 2001).

- Propiedades bioeléctricas. No se conoce de forma exacta por dónde discurre la corriente eléctrica, si es a través del agua extracelular o intracelular. Ésta varía según la composición de cada individuo, su tamaño, la composición de sus electrolitos y estas circunstancias conforman, en realidad, la esencia de la BIA. El índice de impedancia es la variable independiente que más se utiliza en las ecuaciones de regresión y no se pueden aplicar a poblaciones en las que no se hayan derivado, ya que una ecuación de BIA responde a las relaciones estadísticas encontradas con una población de referencia, de la cual fue derivada. Las ecuaciones suelen combinar variables de impedancia y antropométricas y son una norma común en todas ellas (Kyle, Genton et al. 2001, Chumlea, Guo et al. 2002, Sun, Chumlea et al. 2003, Alvero Cruz, Carnero et al. 2010). La mayoría de aparatos de BIA comerciales no suelen informar de las ecuaciones de cálculo (de la MLG y MG) que utilizan ni del error de estimación de esta predicción.

- Validez. Este es un asunto que aún permanece en discusión en cuanto a la validez y a las estimaciones de la composición corporal (Lukaski, Bolonchuck et al. 1986). La capacidad para predecir la masa grasa en grandes obesos es importante debido a la gran proporción de masa corporal

y de agua corporal que reside en el tronco, además de que la hidratación de la MLG es mayor en el sujeto obeso y la relación ECW/ICW está aumentada (Tagliabue, Andreoli et al. 2001). Recientemente, se han validado ecuaciones de BIA con un método multicomponente (Sun, Chumlea et al. 2003), para un amplio rango de edad (12-90 años) y con estas ecuaciones se han publicado valores de R, Xc e índice de impedancia (Chumlea, Guo et al. 2002).

- Uso clínico. El uso clínico de la BIA frecuentemente se relaciona a alteraciones de la distribución acuosa, como ocurre en las enfermedades graves; en este caso las asunciones de la BIA son inválidas, así como en otras situaciones, como la hemodiálisis, la prescripción y el seguimiento de la diálisis basado en el modelo cinético de la urea. También la utilización de la BIA está en constante investigación en los pacientes terminales con enfermedad renal crónica (Tagliabue, Andreoli et al. 2001).

- Limitaciones. Las alteraciones del agua intracelular son frecuentes en la desnutrición proteico-calórica y, por ello, las medidas de la MLG no reflejan exactamente la cantidad de MLG real, ni los cambios de la MLG que se producirían con la alimentación parenteral. Ellis et al, han descrito una serie de recomendaciones generales para el uso de la impedancia después de que su implantación ha sido muy extendida por parte de gran número de investigadores, y no siempre se ha utilizado bien. En general, la impedancia de piernas y brazos es menos predictiva de la MLG que la BIA de cuerpo entero.

Instrumentos de análisis por bioimpedancia eléctrica: Existen aparatos como la Bioimpedancia eléctrica monofrecuencia Bioimpedancia eléctrica multifrecuencia, Espectroscopia bioeléctrica, Bioimpedancia eléctrica segmental y Análisis del vector de bioimpedancia eléctrica, que no vienen al caso comentar, pero que suponen un avance en valoración cineantropométrica, que requieren de una adecuada selección de ecuaciones para estudios de bioimpedancia eléctrica.

Las ecuaciones de BIA no deben escogerse sin conocer en qué población se han derivado, qué método de referencia se ha utilizado y luego si se han validado de forma tanto interna como externa, es decir comprobando que no hay diferencias medias sistemáticas entre el método de referencia y los valores estimados con la ecuación de predicción, y también que no existe sesgo significativo, o sea que no hay un cambio que tenga que ver fundamentalmente con la magnitud de la medida. Esta valoración se realiza mediante los gráficos y procedimientos de Bland y Altman<sup>56</sup>, y por fin se debe valorar el grado de heterocedasticidad para comprobar la diferencia absoluta intermétodos y si ésta se asocia con la magnitud de la medida.

El cuerpo humano está compuesto de varios segmentos con diferentes geometrías y con un nivel variable de hidratación, de masa grasa, confiriendo diferentes cualidades conductivas, lo cual explicaría de forma lógica que las ecuaciones de regresión para cada población no pueden transgredirse y aplicarse a otras poblaciones sin una validación previa. Esta es la principal limitación de la BIA. El uso de la BIA para la medición de cambios en la grasa corporal no se aconseja para valorar cambios agudos, y por ello es más adecuado para valoraciones más a largo plazo.

### **3.3.3. - Recomendaciones de carácter general para uso correcto de los análisis de BIA**

La utilidad de la BIA en estudios de estimación de la composición corporal para la salud cumple un papel destacado, ya que es más precisa que los cambios de peso, talla o el índice de masa corporal y tiene una fiabilidad mayor que la toma de pliegues cutáneos, ya que no depende del explorador, porque es más fácil su estandarización, no necesita entrenamiento, pero sí necesita del cumplimiento de toda una serie de normas de obligado rigor metodológico.

1. Una metodología estricta y estandarizada mejora las medidas obtenidas y la estimación de la composición corporal, respetando las situaciones siguientes:

- No haber realizado ejercicio físico intenso 24 horas antes.
- Orinar antes de las mediciones.
- Medir el peso y la talla en cada evaluación.
- Instauración previa de un tiempo de 8-10 minutos en posición de decúbito supino.
- Correcta posición de los electrodos.
- Los brazos y las piernas deben estar separados del tronco.
- Retirar elementos metálicos.
- Consignar situaciones como obesidad abdominal marcada, masa muscular, pérdidas de peso, ciclo menstrual y menopausia.

2. Las relaciones de la BIA y los cambios de agua corporal están en general bien correlacionados, pero los gradientes de esas relaciones no siempre se cumplen y hay variaciones importantes entre individuos.

3. La BIA es un buen método para el control longitudinal de la MLG y de la MG, pero hay que ser cuidadoso en circunstancias de alteraciones de la hidratación (ejercicio, ingesta de líquidos y alimentos y/o padecimiento de enfermedades del equilibrio hidrosalino).

4. Ser cautos con la utilización de ecuaciones de predicción que no se hayan derivado en la población de estudio, y en su caso conocer la falta de concordancia.

5. Hay una gran difusión de trabajos realizados con BIA para estimar la CC en diferentes poblaciones, así como diferentes grados de concordancia con métodos de referencia, desde los validados a los no validados.

Como conclusión final, se considera que la BIA es un método aceptado para la estimación de la composición corporal y el agua corporal, para personas sanas, siempre y cuando se apliquen las correspondientes ecuaciones específicas de estimación y no sean generalizadas en todos los casos. Por ello es necesario el desarrollo constante de nuevas ecuaciones de predicción y de validación cruzada de las existentes y de las futuras.

De la gran cantidad de datos que se obtiene en el inbody se decidió recoger los datos de peso, % de grasa corporal y de masa muscular, el IMC, aunque está discutido como único índice de valor en cuanto a composición corporal. Hemos creído más interesante correlacionar la masa grasa y muscular en términos de porcentaje, queriendo acercarnos más a la objetividad, como variables cineantropométricas suficientes. Los datos siempre se han recogido antes del reconocimiento médico y con las condiciones expuestas correctamente.

### **3.4.- Exploración médica y prueba de esfuerzo**

Todos los datos fueron obtenidos en el laboratorio de fisiología del ejercicio perteneciente al Centro de Medicina del Deporte de la Comunidad de Madrid. El laboratorio está ubicado en una sala amplia que cuenta con los medios adecuados para mantener una temperatura óptima para realizar las pruebas de esfuerzo así como instalaciones anejas: sala de informes, sala de exploración física, vestuarios y duchas.

### 3.4.1.- Material Médico

-Material convencional para realizar una anamnesis y exploración física: fonendoscopios, esfingomanómetros de mercurio, depresores linguales, linternas, martillo de reflejos, otoscopios, oftalmoscopios, podoscopio, megatoscopio y camilla de exploración.

-Bascula marca “Detecto” (Lafayette Instruments Company) cuyo intervalo de medida se sitúa entre 0 y 150 kilogramos con una precisión de 200 gr.

-Tallímetro marca “Holtain” (Holtain Limited) cuyo rango de medida abarca desde 60 a 213 cm, con una precisión de un milímetro. Presenta un plano cuadrado de madera para la cabeza.

-Electrocardiografo marca “Quest. Exercise Stress System” (Burdick, Inc.). Sistema de electrocardiógrafo y monitor que puede registrar en papel 12 derivaciones de manera continua durante el desarrollo de la prueba. Cumpliendo normas muy estrictas de seguridad. Proporciona una gran facilidad de manejo al llevar incorporado una interpretación diagnóstica basándose en unos 350 valores medidos en el electrocardiograma, con control automático de selección de derivaciones. Realización automática de un informe final donde se detalla el desarrollo de la prueba y se señalan los posibles eventos detectados. El monitor nos muestra además la frecuencia cardiaca y el porcentaje sobre la máxima teórica de forma digital. Permitiendo congelar el registro cuando fuera necesario.

-Tapiz rodante marca “H.P. Cosmos”. Con velocidad y pendiente graduables. El intervalo de velocidad se sitúa desde 0,1 a 40 Km.h<sup>-1</sup>, siendo el intervalo mínimo de velocidad de 0,1 km.h<sup>-1</sup>. Nos permite controlar la velocidad kilómetros/hora, metros/minuto, metros/segundo y millas/Hora. El intervalo de pendiente oscila entre 0% y 25%, con un intervalo mínimo de 0,1%. La cinta posee dos sistemas de parado automático, para el investigador y para el paciente, así como un sistema de arnés de seguridad y una longitud y anchura suficientes para garantizar la seguridad del deportista evaluado. La cinta lleva incorporado un monitor que nos permite conocer en todo momento la velocidad, la pendiente, la distancia recorrida, la energía consumida en Mets y la frecuencia cardiaca. Podemos ir aumentando los escalones de manera manual o programar previamente el protocolo a realizar.

-Analizador de gases marca “Vmax” (Sensor Medics). Se trata de un sistema integrado en el que existe una cámara de analizador de gases, donde se analiza continuamente la fracción de CO<sub>2</sub> (por infrarrojos) y la fracción de O<sub>2</sub> (mediante célula de circonio) y un neumotacógrafo que mide los flujos espiratorios. El aparato ofrece toda la serie de parámetros ergoespirométricos en cada respiración durante la prueba (detallados en la introducción) y nos permite la realización de una espirometría basal o durante el esfuerzo con curvas de flujo-volumen. Al mismo tiempo es capaz de procesar la señal analógica procedente del registro electrocardiográfico para el cálculo de la frecuencia cardiaca.

-El “software” permite el análisis de los datos, respiración a respiración, o a intervalos de tiempo determinados, así como la conversión de los parámetros analizados a condiciones STPD (Standard Temperature Pressure Dry: 37°C, 760 mmHg, saturación de vapor de agua a 37°C para el volumen respiratorio) y BTPS (0°C, 760 mmHg y sequedad en cuanto a la medición del volumen de oxígeno consumido). También permite la representación gráfica de los parámetros analizados a lo largo del test de esfuerzo.

- Desfibrilador marca “Lite” (Medical Research Laboratorios Inc.). Es un desfibrilador de carga inmediata, con selección manual digital de la carga cuyo rango oscila entre 2 y 360 Julios. Permite la descarga de modo sincronizado o asincrónico. Permite la monitorización del paciente a través de una pantalla y la posibilidad de imprimir el registro.

-Carro de paradas, material clínico y farmacológico complementario según las normas clásicas conjuntas de la American College of Physicians, American College of Cardiology y American Heart Association y las normas recientes de resucitación cardiopulmonar (Nolan, Kamath et al. 2005).

-Estación meteorológica: barómetro de presión, higrómetro y termómetro de mercurio.

-Material Médico fungible y accesorio: Boquillas de cartón desechables para la realización de espirometría basal, electrodos desechables, guantes desechables, camiseta de red desechable para sujetar los electrodos y boquillas de silicona de diferentes tamaños y redecillas de sujeción, como material reutilizable tras esterilización.

-Personal investigador

Todas las pruebas y la recogida de datos fue realizada por médicos especialistas en Medicina de la Educación Física y el Deporte y, dirigidos

por la supervisión del interés de recogida personal de datos por el interesado.

Durante la realización de las pruebas siempre estaban presentes, al menos, dos médicos especialistas en Medicina de la Educación Física y el Deporte.

Una persona se encargaba de la calibración del aparato, puesta en marcha y vigilancia del analizador de gases durante el desarrollo de las pruebas. Otro investigador vigilaba el registro electrocardiográfico que constantemente aparecía en el monitor y realizaba un registro en papel en cada escalón de la prueba o cuando fuera necesario en función de la visualización de la pantalla. Anotando y analizando cualquier alteración electrocardiográfica que pudiera aparecer durante la realización de la prueba.

### **3.4.2. - Condiciones previas a la prueba**

#### **- Por parte del deportista**

-Acudir al laboratorio después de cuatro horas de ayuno.

-Adecuada hidratación del deportista: tomar 400 ml de agua durante las dos horas previas a la realización de la prueba (Starkie, Hargreaves, Lambert, Proietto, & Febbraio, 1999).

-No haber realizado ningún esfuerzo físico importante en las 24 horas previas a la realización de la prueba.

-No encontrarse en tratamiento médico con fármacos que pudieran interferir en los resultados de la prueba.

#### **- Por parte del investigador**

-Comprobar las condiciones atmosféricas ambientales previamente a la realización de cada prueba.

-Calibración y puesta a punto del material a emplear antes de la realización de cada prueba.

-Esterilización y deshecho del material después de cada prueba.

-Colocación de electrodos, red de sujeción, mascarilla, redecilla al paciente previamente a la realización de la prueba.

-Registro de datos basales, durante la prueba y durante los tres minutos posteriores a la terminación de la misma.

#### **- Condiciones del laboratorio**

Todas las pruebas fueron realizadas entre las 9 y las 17 horas, cumpliendo en todos los casos los protocolos descritos.

La temperatura del laboratorio, la humedad y la presión barométrica eran calculadas automáticamente por el analizador de gases antes de la realización de cada prueba. Datos coincidentes con la estación meteorológica del laboratorio. La temperatura del laboratorio osciló siempre alrededor de 20-25° C.

### **3.4.3.- Descripción del protocolo**

Todas las pruebas se realizaron sobre tapiz rodante y solo se recogieron las que fueron máximas, descartando a cuatro deportistas por ser pruebas submáximas, no alcanzando criterios de maximalidad descritos. Cada deportista realizó una prueba máxima.

Antes del inicio de cada prueba se explicaba bien el procedimiento y se empleaba un tiempo para que el deportista se habituara con el tapiz rodante, asegurando que estuviera preparado para el incremento de la velocidad y la pendiente, advirtiéndole de que fuera indicando con la mano cualquier indisposición o problema y de que fuera avisando cuando ya estuviera en su nivel máximo de fatiga.

Se realizaba un calentamiento de 2 minutos a 4 km.h<sup>-1</sup> y a continuación se mantenía una velocidad tal que la frecuencia cardiaca del deportista se situara alrededor de 120-130 p.p.m. durante tres minutos más (Bishop and Spencer 2004).

En todos los casos la velocidad inicial varió entre 6 y 8 km/h. El calentamiento se realizaba con control electrocardiográfico, pero sin control respiratorio. Posteriormente el deportista se paraba durante un periodo de

dos a cinco minutos (Bishop, 2003a, 2003b), en el que se colocaba la mascarilla para proceder a la toma de datos espirométricos y se procedía a la toma de datos basales. Cuando el consumo de oxígeno se estabilizaba en valores cercanos al equivalente metabólico (MET: 3,5 ml/kg/mn) (Fletcher, Balady et al. 1995)(G. F. Fletcher et al., 1995), con un cociente respiratorio menor de 1 (Nowacki, Cai et al. 1988)(Novacki, 1984) se procedía a comenzar la prueba.

Posteriormente se iniciaba la prueba máxima con una velocidad inicial que variaba en función de la frecuencia cardiaca y la velocidad del calentamiento de cada deportista.

Cada dos minutos se aumentaba la velocidad en 2 km.h<sup>-1</sup> hasta el agotamiento. Tanto durante el calentamiento como durante la prueba la pendiente se mantuvo constante en 1% de inclinación.

El deportista paraba cuando alcanzaba el agotamiento. En ese momento se tomaba la tensión arterial, en un tiempo máximo de 30 segundos y se comenzaba la recuperación.

Durante los tres primeros minutos se realizaba una recuperación activa a una velocidad entre el 75 y el 90% de la velocidad en el que el deportista alcanzó su umbral aeróbico (VT1), correspondiente al entrenamiento de regeneración recomendado por algunos autores (Virus 1996). En todos los casos dicha velocidad se situó entre 8 y 10 km.h<sup>-1</sup>. Posteriormente se tomaba la tensión arterial y el deportista empezaba la recuperación pasiva durante 3 minutos más. Al comenzar la recuperación pasiva se le retiraba la mascarilla y se procedía a tomar la tensión arterial. A continuación se mantenía la monitorización cardiaca durante 3 minutos más, hasta completar seis minutos de recuperación. Al terminar la recuperación se le realizaba otra toma de la tensión arterial y se daba por finalizada la prueba.

### **3.4.4.- Parámetros analizados**

#### **- Análisis de gases**

Durante las pruebas máximas se monitorizaron los datos del intercambio gaseoso y de la ventilación de forma continua mediante un sistema automatizado respiración a respiración (Vmax, Sensor Medics) y el registro electrocardiográfico (Wasserman, Whipp et al. 1981). El neumotacógrafo se calibraba antes de cada test mediante el empleo de una jeringa de 3 litros de volumen. El sistema permite el análisis automático empleando aire ambiental (teniendo en cuenta la corrección en función de

las condiciones ambientales de presión atmosférica, temperatura y humedad relativa) y una mezcla artificial conocida de gases (16,11% O<sub>2</sub>; 3,70% CO<sub>2</sub> y el balance con nitrógeno).

El analizador se configuró para que nos permitiera visualizar en pantalla las variables ergoespirométricas en cada respiración quedando grabados los datos automáticamente en la memoria. Al finalizar la prueba se imprimía la media establecida de las variables ergoespirométricas cada 10 segundos y se archivaba en la historia clínica del paciente.

Durante la realización del test y la recuperación se recogían en la pantalla del analizador las siguientes variables:

-Frecuencia cardiaca: en latidos por minuto, registrado en la derivación precordial V<sub>5</sub>.

-Frecuencia respiratoria en respiraciones por minuto.

-Presión final espiratoria de Oxígeno (PETO<sub>2</sub>).

-Presión final espiratoria de CO<sub>2</sub> (PETCO<sub>2</sub>).

-Consumo de Oxígeno, VO<sub>2</sub> en litros por minuto y en mililitros por minuto y por Kilogramo de peso corporal (STPD).

-Producción de dióxido de carbono en mililitros por minuto y por kilogramo de peso corporal (STPD).

-Cociente respiratorio (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>).

-Ventilación en litros por minuto (BTPS).

Los valores se representan en el tiempo de forma que se obtienen dos gráficos:

-Un gráfico que iba representando los equivalentes de Oxígeno y CO<sub>2</sub> y las presiones al final de la espiración de oxígeno (PETO<sub>2</sub>) y CO<sub>2</sub> (PETCO<sub>2</sub>). En abscisas el tiempo de ejercicio en minutos y en coordenadas los valores mencionados en mmHg para la PETO<sub>2</sub> y PETCO<sub>2</sub> y los valores absolutos de los equivalentes VE/VO<sub>2</sub> y VE/VCO<sub>2</sub>.

-Un gráfico que representaba la frecuencia cardiaca, la ventilación y el consumo de oxígeno. En abscisas el tiempo de ejercicio en minutos y las coordenadas en Litros.mn<sup>-1</sup> para la ventilación, en latidos por minuto para la frecuencia cardíaca y en ml.mn<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> de peso corporal para el consumo de oxígeno.

#### **- Análisis parámetros cardiocirculatorios**

Así mismo durante el calentamiento, la prueba de esfuerzo y la recuperación se analizaba continuamente el registro electrocardiográfico (Quest. Exercise Stress System, Burdick, Inc.). Visualizándose en el monitor las derivaciones II, aVF, V1 y V5. El sistema nos permite imprimir un electrocardiograma en el momento que fuera preciso o imprimir una tira de ritmo continua con las derivaciones visualizadas. Realizábamos un registro electrocardiográfico al término de cada escalón. El sistema a su vez, va registrando continuamente la frecuencia cardiaca del sujeto, analizando automáticamente el registro y permite grabar las mediciones de la tensión arterial durante la prueba y los eventos que hayan podido ocurrir. Al finalizar se imprimía un informe final con el resumen de la frecuencia cardiaca, tensión arterial, tiempo de la prueba, los eventos producidos en cada estadio de la prueba. (Anexo 5). Almacenado en la historia clínica correspondiente dicho resumen y los registros realizados durante la misma. Entregándosele al paciente un informe completo de la prueba realizada.

#### **- Análisis del protocolo**

En todos los aparatos utilizados, se registraba a su vez la duración total de la prueba y la duración parcial de cada escalón. En el monitor de la cinta ergométrica (H.P. Cosmos), se visualizaba la velocidad en kilómetros por hora, la distancia recorrida y el tiempo. Añadiéndose dichos datos a la historia clínica del deportista.

#### **- Análisis de los umbrales ventilatorios**

El umbral ventilatorio se determinó empleando los criterios descritos en la introducción.

En el proceso de detección del umbral, siempre intervenían dos médicos especialistas de Medicina de la Educación Física y el Deporte. Si existía alguna duda se consultaba con un tercer investigador para consensuar el punto correspondiente a los umbrales respiratorios. En todos los casos supervisados por la que suscribe esta Tesis.

### **3.5.- Análisis estadístico**

Se analizan las variables cuantitativas, describiendo sus medias, Desviación típica, rango, máximos y mínimos. Las variables cualitativas se describen en porcentaje y frecuencia absoluta.

Para valorar la correlación de variables de tipo ordinales como son La actividad Física y el Sedentarismo, hemos utilizado test: D de Somers, Tau-b de Kendall, Tau-c de Kendall y Gamma.

Hemos comprobado que la distribución de las variables tiene una distribución normal mediante la prueba de Prueba de Kolmogorov-Smirnov, pudiendo utilizar estadísticos paramétricos como la prueba de T.

Para la significación estadística hemos fijado un índice de confianza del 95%, por lo que aceptamos solo  $p < 0,05$ .

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS 22.0 para Windows.

Los métodos estadísticos utilizados fueron los siguientes .(SPSS 2013):

- Estadística descriptiva de las variables cuantitativas (procedimiento DESCRIPTIVE) para la descripción de las muestras: media, desviación estándar, máximo, mínimo, mediana, desviación estándar de la media, etc. (Ferrán Aranaz 1996).

- Estadística descriptiva de las variables cualitativas (procedimiento FREQUENCIES), con la obtención de frecuencias y porcentajes de las categorías.(Ferrán Aranaz 1996).

- Test de Kolmogorv-Smirnov para una muestra (procedimiento NPAR TESTS) para determinar si las variables cuantitativas del estudio provienen de una distribución normal.(Ferrán Aranaz 1996).

- Relación bivalente entre variables continuas (procedimiento CORR), con la obtención del coeficiente de correlación de Pearson (Ferrán Aranaz 1996).

- Tablas de contingencia para la relación entre variables cualitativas (procedimiento CROSSTABS). Test Exacto de Fisher o Prueba de Chi-cuadrado para contrastar la independencia o influencia entre dos variables cualitativas, con información en cada casilla de la tabla de contingencia del porcentaje en fila y los residuos corregidos no tipificados para ayudar a descubrir las tramas en los datos que contribuyen a una influencia significativa. (Everitt 1992).

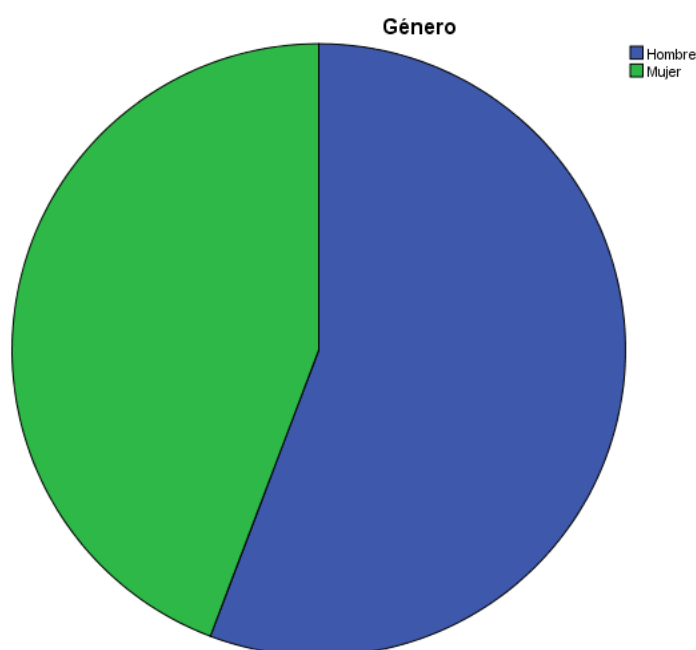
- Análisis de la varianza, ANOVA (procedimiento ONEWAY), para la comparación de múltiples medias. Cuando el valor global de la F de Snedecor es significativo nos indica que las medias en los grupos no son iguales. Se muestra el test de Bonferroni que realiza comparaciones múltiples de medias, ordenando las medias de menor a mayor y compara las diferencias entre pares (menor-mayor), conectando los grupos que no difieren significativamente. De esta manera halla subconjuntos de medias no significativamente diferentes. Si dos medias se agrupan en un mismo subconjunto no son diferentes significativamente, en otro caso serán diferentes significativamente. (Ferrán Aranaz 1996, Sanches, Frutos et al. 1996).

- Árboles de decisión (procedimiento TREE), gráficos que ilustran reglas de decisión de forma que parten de un nodo raíz que contiene todas las observaciones de la muestra y a medida que se desplaza por el árbol, los datos se ramifican en subconjuntos de datos que se excluyen mutuamente. Se realiza para segmentar, estratificar, predecir e identificar interacciones de variables en la muestra.(SPSS 2013).

## **4. RESULTADOS**

## 4.- RESULTADOS

La muestra estaba compuesta por 113 adolescentes, 63 varones (55,8%) y 50 mujeres (44,2%). La tablas 2 y 3 contiene los datos descriptivos de la



población. La distribución por género se muestra en la figura 1. La tabla 3 recoge los datos de las características antropométricas (porcentaje graso, porcentaje muscular, índice de masa corporal, índice de cintura cadera) y VO<sub>2</sub> máx. En la Tabla 4 se muestran las categorías deportivas a las que pertenecen los deportistas.

Figura1: Distribución de la muestra por sexos

---

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido Varón	63	55,8	55,8	55,8
Mujer	50	44,2	44,2	100,0

Total	113	100,0	100,0	
-------	-----	-------	-------	--

Tabla 2: Descriptivo de la población estudiada por sexo

Descripción de la población estudiada:

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Edad en años	113	6	12	18	14,30	1,690
Peso en Kg	113	64,20	32,00	96,20	57,0274	13,89233
Talla en Metros	113	,66	1,30	1,96	1,6558	,11476
IMC	113	18,3	14,7	33,0	20,512	3,1280
ICC	113	,26	,71	,97	,7932	,04538
Porcentaje de Grasa	113	42,2	4,3	46,5	15,779	7,3198
Porcentaje Muscular	113	27,5	29,4	56,9	46,495	4,4259
VO2 Máximo	113	41,26	32,84	74,10	55,2358	8,75501
N válido (según lista)	113					

		N	Media	Desviación estándar
% masa grasa	Varón	63	13,71	7,31
	Mujer	50	18,38	6,50
	Total	113	15,77	7,32
% Masa muscular(Peso muscularx100/Kg peso)	Varón	63	47,98	4,54
	Mujer	50	44,62	3,50
	Total	113	46,49	4,42
VO2 máx.	Varón	63	58,42	8,53

	Mujer	50	51,22	7,32
	Total	113	55,23	8,75
IMC	Varón	63	21,00	3,36
	Mujer	50	19,88	2,70
	Total	113	20,51	3,13
ICC	Varón	63	,81	,04
	Mujer	50	,77	,04
	Total	113	,79	,04
Edad	Varón	63	14,21	1,65
	Mujer	50	14,42	1,74
	Total	113	14,30	1,690

Tabla 3: Distribución de variables respecto al género.

---

	Edad	VO2 máx.	Peso (Kg)	% masa grasa	% Masa muscular	IMC	ICC	Talla (mts)
Media	14,30	55,23	57,03	15,78	46,49	20,51	,79	1,66
Desviación estándar	1,69	8,75	13,89	7,32	4,43	3,13	,045	0,11

VO2máx: consumo máximo de oxígeno. IMC: índice de masa corporal ICC: índice cintura cadera

Tabla 4: Características antropométricas y consumo máximo de oxígeno

---

	<b>Deporte</b>	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Atletismo	1	,9	,9	,9
	Bádminton	1	,9	,9	1,8
	Baloncesto	1	,9	,9	2,7
	Carrera	1	,9	,9	3,5
	Futbol	6	5,3	5,3	8,8
	Golf	1	,9	,9	9,7
	Hockey	64	56,6	56,6	66,4
	Montañismo	1	,9	,9	67,3
	Natación	17	15,0	15,0	82,3
	Tenis	1	,9	,9	83,2
	Tenis Mesa	11	9,7	9,7	92,9
	Tiro Arco	4	3,5	3,5	96,5
	Vóley	2	1,8	1,8	98,2
	Waterpolo	2	1,8	1,8	100,0
	Total	113	100,0	100,0	

Tabla 5: Descriptivo de la muestra por deportes

Se establecieron cuatro grupos de sedentarismo (SI a SIV) y cuatro grupos de actividad (AI a AIV) siguiendo los criterios establecidos en el apartado de material y métodos (tabla 1). La tabla 6 recoge la distribución de la muestra en los grupos de sedentarismo y la tabla 7 para los grupos de actividad.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	SI	69	61,1	61,1	61,1
	SII	23	20,4	20,4	81,4
	SIII	16	14,2	14,2	95,6
	SIV	5	4,4	4,4	100,0
	Total	113	100,0	100,0	

Tabla 6: Descriptivo de la muestra por hábitos sedentarios

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	AI	5	4,4	4,4	4,4
	AII	17	15,0	15,0	19,5
	AIII	32	28,3	28,3	47,8

AIV	59	52,2	52,2	100,0
Total	113	100,0	100,0	

Tabla 7: Descriptivo de la muestra de actividad física

Se estudió la distribución de las medidas en cada grupo de actividad y sedentarismo, observando que cumplía una distribución normal, por lo que se aplicó una ANOVA, en la que relacionamos los diferentes grupos con las variables estudiadas: porcentaje de grasa, porcentaje muscular, VO2 máx., IMC, ICC y la edad (tabla 8).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
% masa grasa (* x 100/ peso)	Entre grupos	607,641	1	607,641	12,506	,001
	Dentro de grupos	5393,188	111	48,587		
	Total	6000,829	112			
% Masa muscular(Peso muscularx100/Kg peso)	Entre grupos	316,197	1	316,197	18,667	,000
	Dentro de grupos	1880,188	111	16,939		
	Total	2196,385	112			
VO2 máx.	Entre grupos	1442,565	1	1442,565	22,419	,000
	Dentro de grupos	7142,258	111	64,345		
	Total	8584,823	112			
IMC	Entre grupos	35,238	1	35,238	3,688	,057
	Dentro de grupos	1060,619	111	9,555		
	Total	1095,857	112			
ICC	Entre grupos	,032	1	,032	17,654	,000
	Dentro de grupos	,199	111	,002		
	Total	,231	112			

Edad	Entre grupos	1,272	1	1,272	,443	,507
	Dentro de grupos	318,497	111	2,869		
	Total	319,770	112			

Tabla 8: ANOVA de distribución de variables por grupos

No se encontraron diferencias significativas en la distribución de los grupos de sedentarismo y actividad en relación al sexo ( $p: 0,31$  y  $p: 0,36$  respectivamente), por tanto los resultados obtenidos pueden ser aplicados en ambos sexos (Figuras 2 y 3).

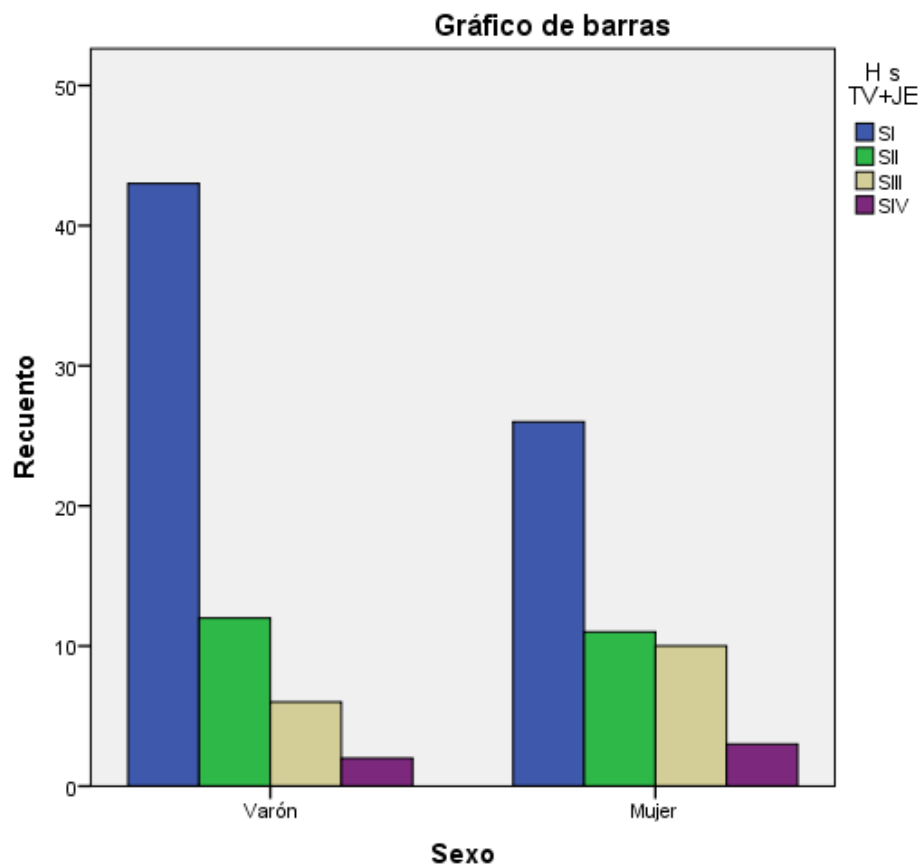


Figura 2: Relación entre los grupos de sedentarismo con respecto al sexo

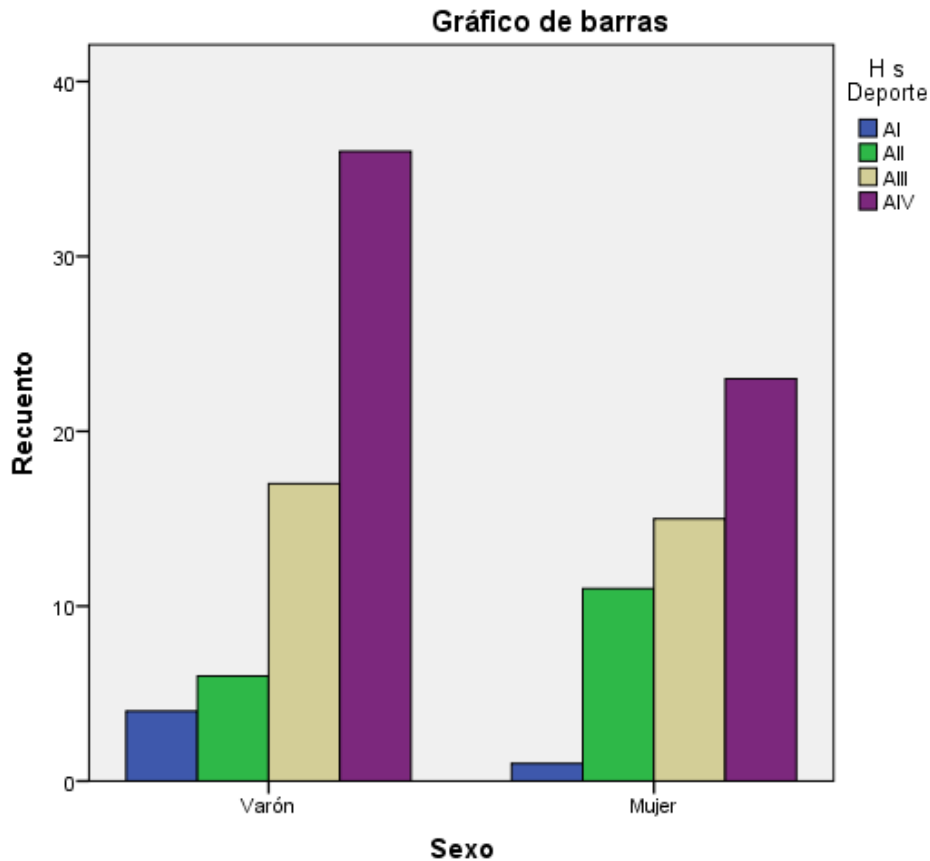


Figura 3: Relación entre los grupos de actividad con respecto al sexo

Se analizaron los distintos grupos de sedentarismo y su distribución respecto de las variables de porcentaje de grasa, porcentaje de masa muscular, IMC y VO2 máx. , dichos resultados se muestran en la Tabla 9. Dichos datos se representan en la figura 4.

### Sedentarismo

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Insignificante	69	61,1	61,1	61,1
Ligero	23	20,4	20,4	81,4
Válidos Moderado	16	14,2	14,2	95,6
Severo	5	4,4	4,4	100,0
Total	113	100,0	100,0	

		N	Media	Desviación estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
% masa grasa	SI	69	13,19	4,54	12,10	14,28
	SII	23	15,60	5,16	13,36	17,83
	SIII	16	21,94	6,46	18,49	25,38
	SIV	5	32,58	15,0	13,92	51,23
	Total	113	15,77	7,31	14,41	17,14
% Masa muscul ar	SI	69	47,88	3,22	47,10	48,65
	SII	23	46,51	3,49	45,00	48,03
	SIII	16	43,42	4,04	41,27	45,57
	SIV	5	37,05	7,82	27,33	46,76
	Total	113	46,49	4,42	45,66	47,31
VO2 máx.	SI	69	59,18	7,45	57,39	60,97
	SII	23	52,41	5,67	49,95	54,86
	SIII	16	48,03	3,98	45,91	50,15
	SIV	5	36,80	4,13	31,67	41,93
	Total	113	55,23	8,75	53,60	56,86
IMC	SI	69	19,64	2,40	19,06	20,22
	SII	23	20,48	2,29	19,49	21,47
	SIII	16	22,54	2,93	20,98	24,11
	SIV	5	26,12	6,71	17,77	34,46
	Total	113	20,51	3,12	19,92	21,09
ICC	SI	69	,7870	,039	,7775	,7964
	SII	23	,7874	,035	,7722	,8026
	SIII	16	,8069	,046	,7823	,8315

	SIV	5	,8620	,094	,7447	,9793
	Total	113	,7932	,045	,7847	,8016
Edad	SI	69	14,07	1,63	13,68	14,46
	SII	23	14,52	1,85	13,72	15,32
	SIII	16	15,06	1,48	14,27	15,85
	SIV	5	14,00	2,00	11,52	16,48
	Total	113	14,30	1,69	13,99	14,62

Tabla 9: Distribución de los grupos de sedentarios respecto de variables antropométricas y consumo máximo de oxígeno

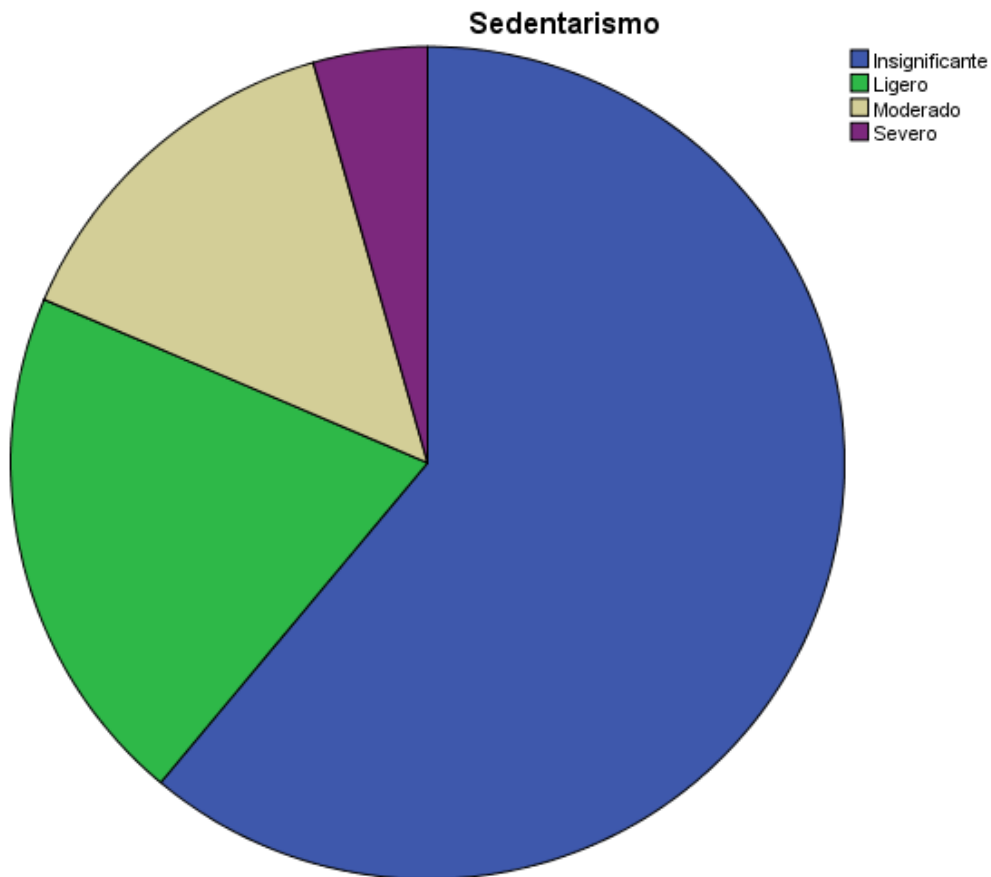


Figura 4: Distribución de los grupo de sedentarismo

Por otro lado, se analizaron los distintos grupos de actividad y su distribución respecto de las variables de porcentaje de grasa, porcentaje de masa muscular, IMC y VO2 máx., dichos resultados se muestran en la Tabla 10. Dichos datos se representan en la figura 5.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Insignificante	5	4,4	4,4	4,4
Ligera	17	15,0	15,0	19,5
Válidos Moderada	32	28,3	28,3	47,8
Severa	59	52,2	52,2	100,0
Total	113	100,0	100,0	

		N	Media	Desviación estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
					Límite inferior	Límite superior
% masa grasa	AI	5	29,48	13,21	13,07	45,88
	AII	17	19,60	9,16	14,88	24,31
	AIII	32	16,39	6,17	14,17	18,62
	AIV	59	13,18	4,51	12,00	14,35
	Total	113	15,77	7,31	14,41	17,14
% Masa muscular	AI	5	38,04	6,26	30,27	45,82
	AII	17	44,14	5,16	41,49	46,80
	AIII	32	46,03	3,89	44,63	47,44
	AIV	59	48,13	3,01	47,34	48,91
	Total	113	46,49	4,42	45,66	47,31
VO2 máx.	AI	5	42,93	8,05	32,93	52,92

	AII	17	47,45	7,00	43,84	51,05
	AIII	32	53,18	7,37	50,52	55,84
	AIV	59	59,63	6,93	57,82	61,44
	Total	113	55,23	8,75	53,60	56,86
IMC	AI	5	23,22	6,97	14,55	31,88
	AII	17	21,43	4,17	19,28	23,58
	AIII	32	20,93	2,65	19,97	21,89
	AIV	59	19,78	2,33	19,18	20,39
	Total	113	20,51	3,12	19,92	21,09
ICC	AI	5	,8560	,0808	,7557	,9563
	AII	17	,7935	,0523	,7666	,8204
	AIII	32	,8009	,0414	,7860	,8159
	AIV	59	,7836	,0372	,7739	,7933
	Total	113	,7932	,0453	,7847	,8016
Edad	AI	5	12,40	,548	11,72	13,08
	AII	17	14,18	1,741	13,28	15,07
	AIII	32	14,44	1,759	13,80	15,07
	AIV	59	14,42	1,632	14,00	14,85
	Total	113	14,30	1,690	13,99	14,62

Tabla 10: Distribución de los grupos de actividad respecto de variables antropométricas y consumo máximo de oxígeno

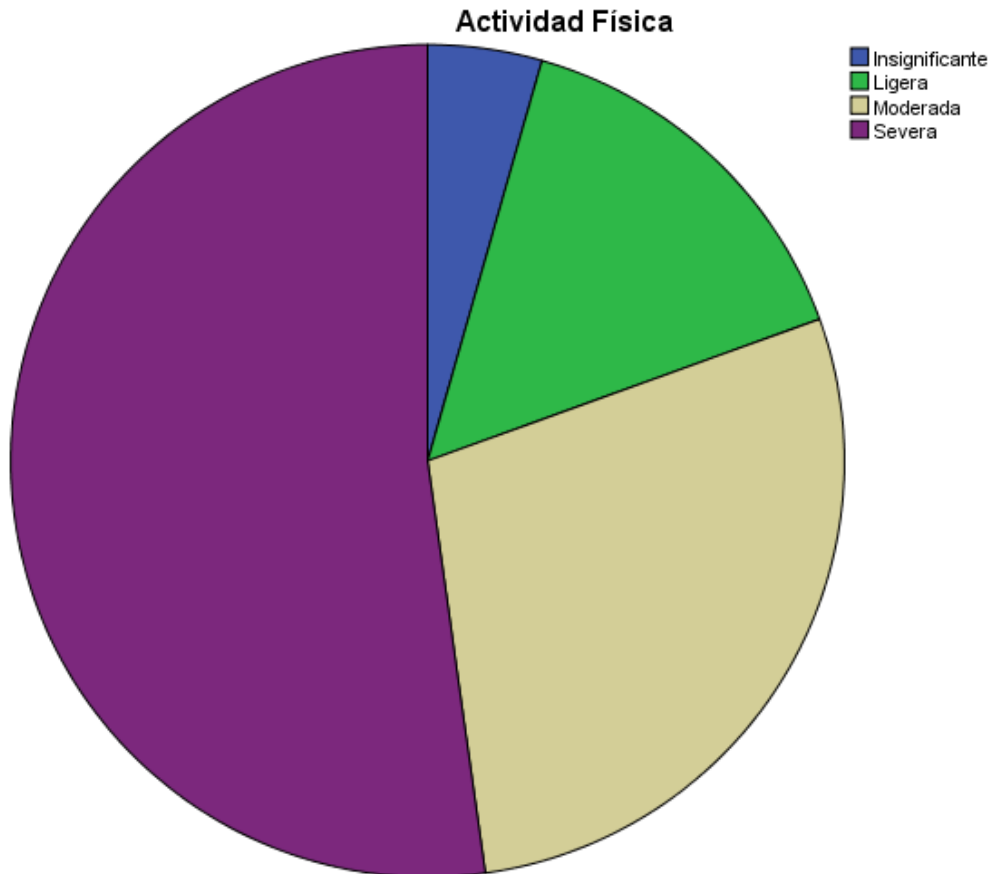


Figura 5: Distribución de los grupo de actividad

---

Pretendemos conocer si existen correlaciones entre Actividad Física y Sedentarismo. Por ser variables Ordinales utilizamos análisis estadísticos para correlaciones de variables de tipo ordinales: D de Somers, Tau-b de Kendall, Tau-c de Kendall y Gamma.

Las diferencias significativas encontradas entre actividad Física y sedentarismo para  $p < 0,05$ , o sea con una confianza del 95% no son debidas al azar.

		Actividad Física				Total
		Insignificante	Ligera	Moderada	Severa	
Sedentarismo	Insignificante	1	2	14	52	69
	Ligero	0	5	12	6	23
	Moderado	2	7	6	1	16
	Severo	2	3	0	0	5
Total		5	17	32	59	113

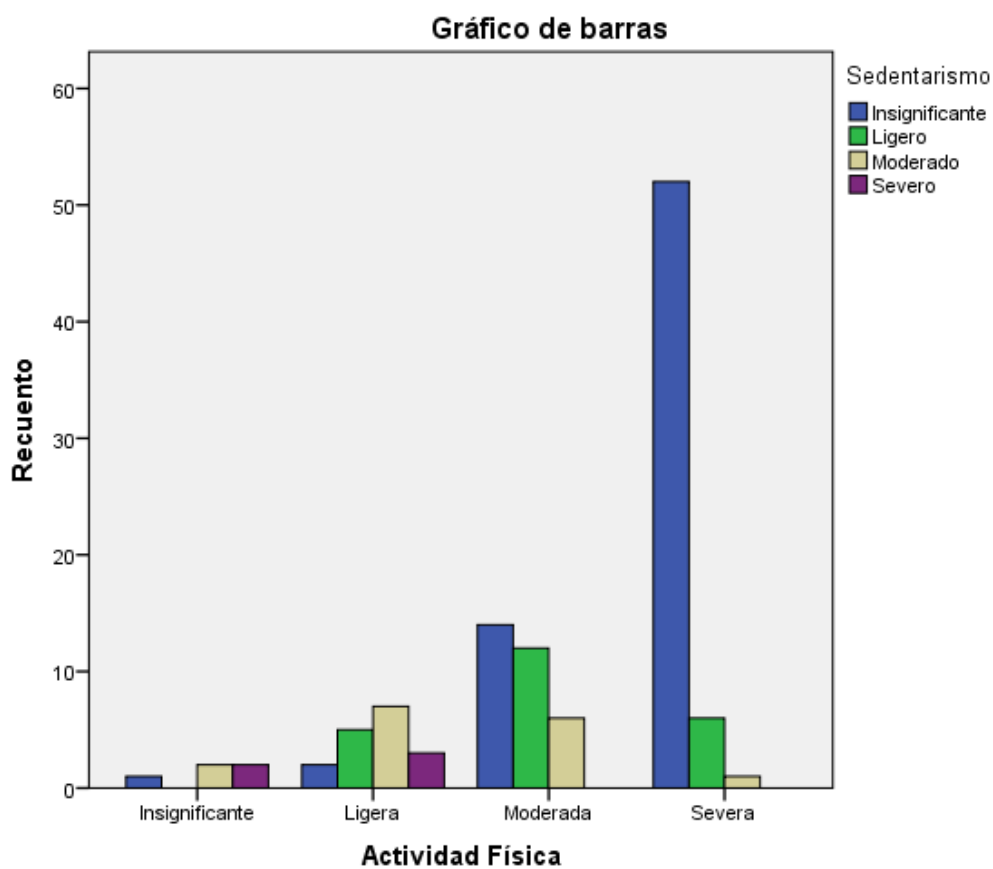


Figura 6: Descriptivo de la muestra de actividad física

		Sedentarismo				Total
		Insignificante	Ligero	Moderado	Severo	
Actividad Física	Insignificante	1	0	2	2	5
	Ligera	2	5	7	3	17
	Moderada	14	12	6	0	32
	Severa	52	6	1	0	59
Total		69	23	16	5	113

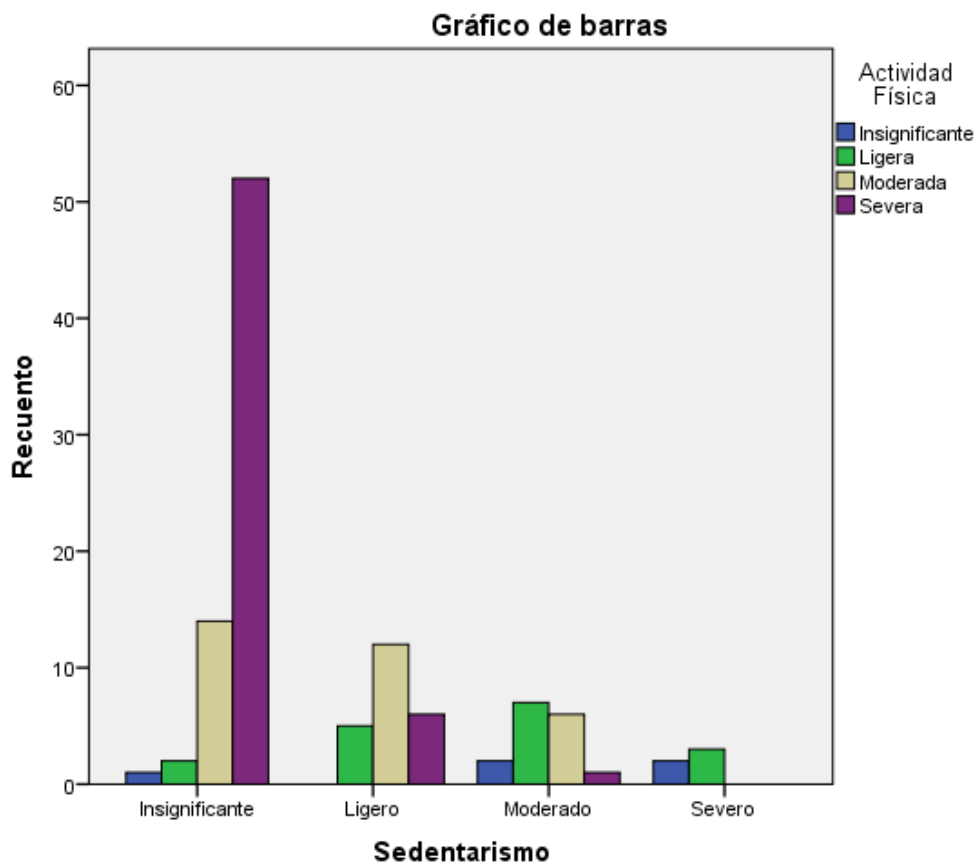


Figura 7: Descriptivo de la muestra de sedentarismo

Todos los grupos son homogéneos en relación a la edad, por lo tanto no se encontraron diferencias significativas en relación a la edad en la composición de los grupos.

Se han encontrado diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre los grupos de sedentarismo en relación al porcentaje de masa grasa.

Entre dichos grupos de sedentarismo, el porcentaje de grasa corporal va aumentando a medida que aumenta el nivel de sedentarismo. Por lo cual existe una relación proporcional entre el grado de sedentarismo y el porcentaje grasa.

Estas mismas diferencias también se observan respecto al IMC y al ICC, siendo significativamente menores en el grupo S I que en el S IV ( $p < 0,001$ ).

Por otro lado, también hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas respecto al consumo de oxígeno ( $p < 0,001$ ). Los sujetos más sedentarios han obtenido cifras significativamente menores con respecto a los demás grupos, Por lo cual también existe una relación proporcional entre el grado de sedentarismo y el consumo máximo de oxígeno.

Respecto del porcentaje de masa muscular, el grupo más sedentario tiene un porcentaje muscular inferior y así sucesivamente en los cuatro grupos, por lo cual se establece una relación inversa estadísticamente significativa entre el porcentaje muscular y el grado de sedentarismo ( $p < 0,001$ ).

En conclusión, a medida que los hábitos son más sedentarios, los deportistas presentan significativamente una menor capacidad aeróbica ( $VO_2$  máx.), un mayor porcentaje de grasa corporal y un menor porcentaje de masa muscular.

El mismo análisis se realizó en los grupos de actividad física, relacionándolos con las mismas variables: porcentaje grasa, porcentaje de masa muscular y  $VO_2$  máx.

Se han encontrado diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre los grupos de actividad en relación al porcentaje de masa grasa.

Entre dichos grupos de actividad, el porcentaje de grasa corporal va disminuyendo a medida que aumenta el nivel de actividad. Por lo cual existe una relación proporcional entre el grado de actividad y la disminución del porcentaje grasa.

Estas mismas diferencias también se observan respecto al IMC y al ICC, siendo significativamente mayores en el grupo A I que en el A IV ( $p < 0,001$ ).

Por otro lado, también hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas respecto al consumo de oxígeno ( $p < 0,001$ ). Los sujetos más activos (A4) han obtenido cifras significativamente mayores con respecto a los demás grupos, Por lo cual también existe una relación proporcional entre el grado de actividad y el consumo máximo de oxígeno.

Respecto del porcentaje de masa muscular, el grupo más activo tiene un porcentaje muscular mayor, por lo cual se establece una significativa entre el porcentaje muscular y el grado de actividad ( $p < 0,001$ ).

En conclusión, a medida que los hábitos son más activos, los deportistas presentan significativamente una mayor capacidad aeróbica (VO2 máx.), un menor porcentaje de grasa corporal y un mayor porcentaje de masa muscular.

Se ha constatado que existen diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre los grupos de sedentarismo y actividad. Lógicamente la actividad y el sedentarismo siguen una distribución opuesta, más marcada entre el grupo de mayor actividad y el grupo de menos sedentarismo

Finalmente, se establecieron los índice de correlación de Pearson entre el VO2 máx. con el porcentaje muscular y el porcentaje graso

Con respecto al porcentaje graso el VO2 máx. presentaba un índice de correlación de

$r = -0,702$  y con respecto al porcentaje muscular el índice de correlación era de  $r = 0,650$ , ambos índices eran significativos al 95% ( $p < 0,001$ ). Por lo tanto, el VO2 máximo aumenta significativamente a medida que disminuye el porcentaje graso y aumenta proporcionalmente al porcentaje muscular (Tabla 11).

		VO2 máx.	% masa grasa (* x100/peso)	% Masa muscular(Peso muscularx100/Kg peso)
VO2 máx.	Correlación de Pearson	1	-,710**	,667**

	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	113	113	113
% masa grasa (* xCorrelación de	Pearson	-,710**	1	-,918**
100/ kg peso)	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	113	113	113
% MasaCorrelación de	Pearson	,667**	-,918**	1
muscular(Peso	Sig. (bilateral)	,000	,000	
muscularx100/Kg	N	113	113	113
peso)				

Tabla 11: Índices de correlación de Pearson para las variables % de grasa, % de masa muscular, VO2 máx., IMC e ICC.

Comprobamos que las variables cuantitativas tiene una distribución normal

	Edad en años	Peso en Kg	Talla en Metros	IMC	ICC	Porcentaje de Grasa	Porcentaje Muscular	VO2 Máximo

N		113	113	113	113	113	113	113	113
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	14,30	57,02	1,65	20,5	,793	15,77	46,49	55,23
	Desviación típica	1,690	13,89	,114	3,12	,045	7,31	4,42	8,755
Diferencias más extremas	Absoluta	,160	,059	,064	,078	,125	,096	,084	,05
	Positiva	,160	,059	,056	,078	,125	,096	,054	,05
	Negativa	-,129	-,036	-,064	-,060	-,049	-,081	-,084	-,041
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,699	,632	,678	,834	1,33	1,02	,892	,54
Sig. asintót. (bilateral)		,006	,819	,748	,489	,057	,249	,404	,93

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Tabla 12: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

Hacemos prueba de T para conocer si existen correlaciones entre:

IMC e ICC

IMC y Porcentaje de Grasa Corporal

IMC y Porcentaje de Músculo Corporal

IMC y Consumo Máximo de O<sub>2</sub>

Consumo Máximo de O<sub>2</sub> y Porcentaje de Grasa Corporal

Consumo Máximo de O<sub>2</sub> y Porcentaje de Músculo Corporal

	Diferencias relacionadas				t	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		

				Inferior	Superior		
Par 1	IMC – ICC	19,71	3,09	,2913	19,14	20,29	67,67 ,000
Par 2	IMC - Porcentaje de Grasa	4,733	6,15	,5788	3,58	5,87	8,17 ,000
Par 3	IMC - Porcentaje Muscular	-25,98	6,27	,5908	-27,15	-24,81	-43,98 ,000
Par 4	IMC - VO2 Máximo	-34,72	10,43	,9818	-36,66	-32,77	-35,36 ,000
Par 5	VO2 Máximo - Porcentaje de Grasa	39,45	14,87	1,39	36,68	42,22	28,20 ,000
Par 6	VO2 Máximo - Porcentaje Muscular	8,74	6,67	,6277	7,49	9,98	13,92 ,000

Tabla 13: Prueba de muestras relacionadas

Nos percatamos que para  $p < 0,05$ , con una confianza de 95%, existen diferencias estadísticamente significativas entre el Vo2 máx. de oxígeno con el porcentaje de grasa y el porcentaje muscular.

		VO2 Máximo	Porcentaje Muscular	IMC	Porcentaje de Grasa	Edad en años	ICC
VO2 Máximo	Correlación de Pearson	1	,667**	-,411**	-,710**	-,114	-,194*

	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,227	,040
	N	113	113	113	113	113	113
	Correlación de Pearson	,667**	1	-,363**	-,918**	,037	-,311**
Porcentaje Muscular	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,695	,001
	N	113	113	113	113	113	113
	Correlación de Pearson	-,411**	-,363**	1	,557**	,437**	,683**
IMC	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,000	,000
	N	113	113	113	113	113	113
	Correlación de Pearson	-,710**	-,918**	,557**	1	,129	,458**
Porcentaje de Grasa	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,173	,000
	N	113	113	113	113	113	113
	Correlación de Pearson	-,114	,037	,437**	,129	1	,239*
Edad en años	Sig. (bilateral)	,227	,695	,000	,173		,011
	N	113	113	113	113	113	113
	Correlación de Pearson	-,194*	-,311**	,683**	,458**	,239*	1
ICC	Sig. (bilateral)	,040	,001	,000	,000	,011	
	N	113	113	113	113	113	113

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* . La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 14: Correlaciones

Especificaciones	Método de crecimiento	EXHAUSTIVE CHAID
	Variable dependiente	% masa grasa (* x 100/ kg peso)
	Variables independientes	VO2 máx., H s TV+JE, H s Deporte, Edad, Sexo
	Validación	Ninguna
	Máxima profundidad del árbol	3
	Casos mínimos en nodo padre	10
	Casos mínimos en nodo hijo	5
Resultados	Variables independientes incluidas	VO2 máx., Sexo
	Número de nodos	8
	Número de nodos terminales	6
	Profundidad	2

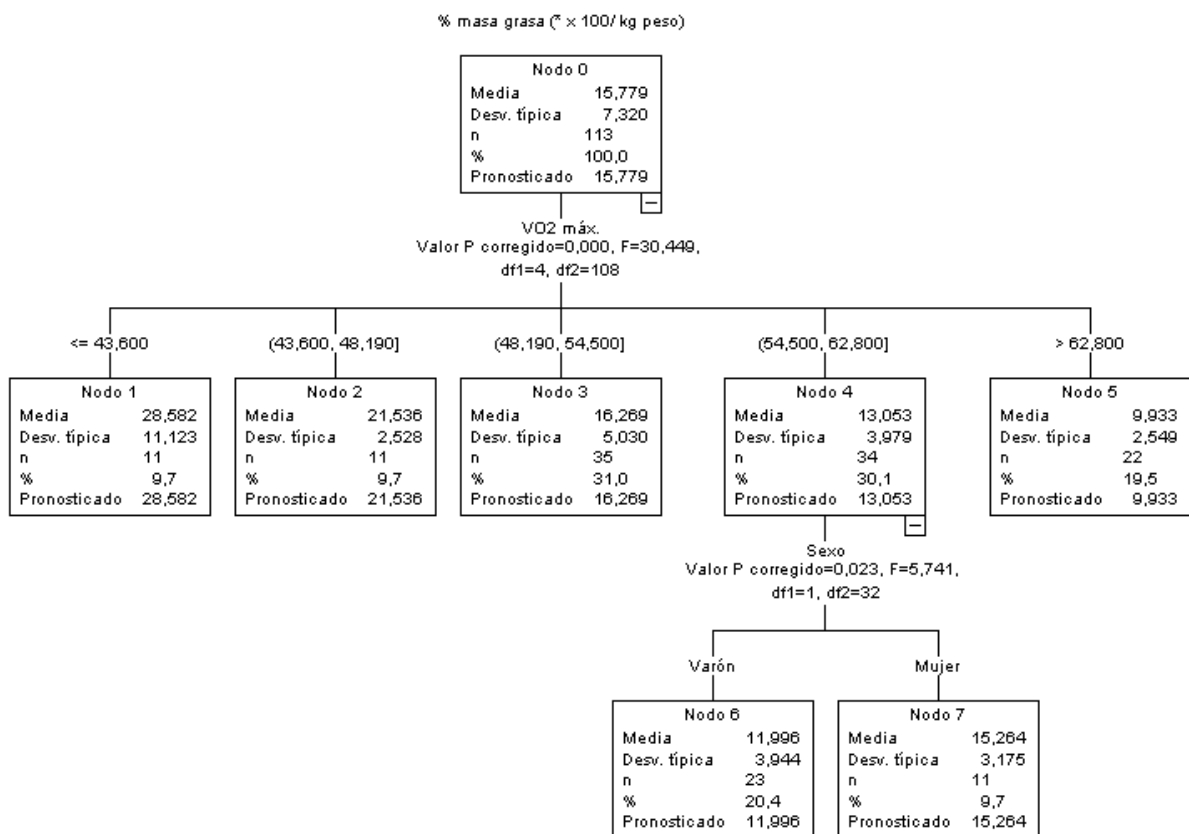


Figura 8: Árbol de decisión en función del porcentaje de grasa

## **5. DISCUSIÓN**

## 5.- DISCUSIÓN

La obesidad infantil es un problema de primer orden en las sociedades occidentales. En España el sobrepeso en la edad infantil alcanza el 40% (José-Sánchez-Cruz, Jiménez-Moleón et al. 2013), Mientras que la obesidad puede alcanzar entre el 5-8% en un estudio realizado en Aragón (Ara, Moreno et al. 2007). Esta incidencia es similar en todos los estudios realizados en distintas partes del mundo, así en Méjico el porcentaje de obesidad alcanza el 19%, en Qatar el 8% (Molnár and Livingstone 2000, King, Parkinson et al. 2011), y en Bélgica el 7,5% (Léger and Lambert 1982, Molnár and Livingstone 2000). Los niños obesos tienen un riesgo aumentado de enfermedades crónicas y agudas, concretamente osteoartritis, diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares que conllevan una pobre calidad de vida, una carga personal y financiera a las familias y a la sociedad, junto con una menor esperanza de vida (Krasas, Tzotzas et al. 2001).

Por todo ello, diferentes asociaciones profesionales y medios de comunicación de todos los países demandan la necesidad de dar unas pautas de actuación que puedan modificarlos hábitos de vida de la población, por lo que es necesario conocer los factores más importantes que intervienen en ella. Para ello hay que encontrar parámetros objetivos que se puedan aplicar para obtener resultados en términos de salud pública (Ardura 2000, Ortega, Ruiz et al. 2013, Minasian, Mohammad Marandi et al. 2015) .Faltan estudios que investiguen la relación de la actividad física con la composición corporal, en términos de índice de masa corporal y de porcentaje de masa grasa, existe una ausencia de indicadores objetivos que correlacionen la actividad física y obesidad. (Minasian, Mohammad Marandi et al. 2015).

En este sentido, hay autores que enfatizan en la necesidad de estandarizar procedimientos para clasificar a los individuos en categorías de entrenamiento o de actividad física, junto a parámetros de capacidad aeróbica para poder tener indicadores objetivos en cuanto a realización de test, terminología y entrenamiento (De Pauw, Roelans et al. 2012, Djelic, Saranovic et al. 2012). Es muy importante hacer una evaluación precisa de la actividad física del niño para obtener una epidemiología descriptiva apropiada de la relación actividad física y obesidad y así, poder diseñar intervenciones adecuadas buscando mejoras en la composición corporal, minimizando los factores de riesgo asociados y promoviendo cambios en el estilo de vida (Kain, Uauy et al. 2002, Brunet, Chaput et al. 2007), (Lee and Arslanian 2007). Los estilos de vida sedentarios se demuestran poco saludables y se relacionan con la obesidad. Cuando el ejercicio físico comienza en la adolescencia, el aumento de actividad física le llevará a

hábitos difíciles de cambiar en la edad adulta, promoviendo la salud y calidad de vida saludable (Goran, Bergman et al. 2004).

Algunos autores han confirmado que los chicos con sobrepeso y obesidad mantienen menos actividad física que los que no lo tienen (Léger and Lambert 1982, Krebs, Jacobson et al. 2003) (Brunet, Chaput et al. 2007) sin embargo no encontramos estudios que analicen la condición aeróbica con distintos parámetros de composición corporal en relación con la actividad física.

Con el presente trabajo se pretende aportar un instrumento objetivo de medición de la actividad física y el sedentarismo, correlacionándolos con los parámetros antropométricos (porcentaje graso, porcentaje muscular, índice de masa corporal) y el consumo máximo de oxígeno, en la población deportiva de alto nivel de la Comunidad de Madrid, siendo el primer estudio de este tipo realizado en población infantil deportiva de élite.

Las variables que se han estudiado de hábitos de vida se basan en una encuesta que clasifica a los individuos en grupos de intensidad y dedicación, tanto a los hábitos sedentarios como a los de actividad física. La encuesta propuesta ha quedado validada en nuestro estudio, ya que los resultados han sido estadísticamente significativos de una forma lineal e inversa en relación a los grupos de actividad y sedentarismo, en todos los parámetros estudiados (cineantropométricos y consumo máximo de oxígeno). Por lo que pudiera también ser utilizada en población general, en futuros trabajos será utilizada en población general tanto sedentarias como deportistas aficionados.

Las encuestas que se utilizan habitualmente (IPAQ 2005) están diseñadas para la población general y presentan limitaciones para valorar el grado de actividad física y sedentarismo en la población deportiva, se centran principalmente en preguntas específicas sobre actividades concretas durante la semana previa a la encuesta, lo que tiene algunas limitaciones a la hora de valorar la actividad en el transcurso de una temporada deportiva, por lo que no existen encuestas universalmente aceptadas. (Papathanasiou, Georoudis et al. 2010) y en algunos estudios no encuentran una relación de la capacidad aeróbica encontrada con los resultados de la encuesta, demandando la utilización de otros métodos más objetivos, fiables y factibles de ser utilizados en el ámbito educativo y sanitario (Ramirez-Lechuga and al 2012).

Existen diversas formas de valorar el grado de actividad física, desde pulsómetros hasta los GPS que se utilizan habitualmente durante los entrenamientos en los deportistas profesionales (F., Page et al. 2012,

Burgüi, Tomatis et al. 2015), pero que, por su complejidad instrumental y su coste está limitado su uso en la población general o en deportistas infantiles, independientemente del sesgo que produce el llevar un instrumento encima que pueden alterar el registro de los datos limitando algunas actividades o implementando otras.

Desde nuestro punto de vista, consideramos que podría ser más útil diseñar pautas metodológicas para medir los hábitos de actividad física y de sedentarismo, con unos criterios de medición unificados, por lo que uno de nuestros objetivos ha sido aportar una encuesta de fácil ejecución y reproductibilidad para medir la actividad física, mediante la valoración independiente del grado de sedentarismo y el grado de actividad. La presenta aportación puede tener sesgos, ya que las respuestas se deben ir limando con variables numéricas, que lógicamente no son infinitas, por lo que hay que limitar el número de valores para determinar la clasificación. En la encuesta se evalúa la intensidad, satisfacción y dedicación en horas a cada actividad buscando la exactitud de la clasificación en grupos, aunque la parte subjetiva y de sesgo de información por el informador sigue siendo un componente de limitación importante.

En cuanto a los hábitos nutricionales, no han sido considerados en nuestro estudio, ya que constatamos previamente que nuestra población deportiva se encontraba especialmente motivada para una alimentación saludable por sus entrenadores. No obstante realizamos una completa encuesta dietética (ver anexo) en la que detectamos unos hábitos alimenticios saludables, a diferencia con los hábitos dietéticos en la población general infantil (Aranceta, Pérez et al. 2003, López, Navarro et al. 2003). Por otro lado algunos autores han confirmado malos hábitos dietéticos en la población deportiva (Ardura 2000) dichos resultados por tanto, difieren con los obtenidos en este estudio, esto puede ser debido a que nuestra población estaba compuesta por deportistas infantiles de alto nivel, ya que son deportistas incluidos en el plan de tecnificación de la comunidad de Madrid.

Hay autores que sugieren que las diferencias entre composición corporal y el nivel de actividad física, no son consistentes en algunas investigaciones (Kain, Uauy et al. 2002). Sin embargo, en el presente estudio, se ha constatado que el consumo máximo de oxígeno es el parámetro que más parece influir en el porcentaje graso. Por otro lado, parece lógico que los mejores niveles de capacidad física de los niños reviertan en una mejor composición corporal, en esta línea, al igual que en nuestro estudio, hay algunos autores que apuntan a una correlación significativa (Pate, Saunders et al. 2007).

Los factores ambientales y de comportamiento como el sedentarismo favorecen un incremento gradual en el peso corporal y la obesidad, ya que patrones de hábitos de exceso de consumo de alimentos, comportamiento sedentario y estatus económico, creando un balance energético positivo (Wang, Monteiro et al. 2002), (Kimm, Glynn et al. 2005, Al-Nakeeb, Duncan et al. 2007). Aunque la contribución relativa de ingesta en la obesidad es controvertida, hay datos que avalan claramente que la actividad física juega un papel decisivo en la prevención de la obesidad (Krebs, Jacobson et al. 2003). En este sentido, varios autores han encontrado una asociación entre la actividad física y la composición corporal en niños (Goran, Reynolds et al. 1999, Meigs, Muller et al. 2003, King, Parkinson et al. 2011). El porcentaje graso parece guardar una relación directa con los hábitos de vida sedentarios, incluso en la población infantil que practica deporte, población diana de nuestro estudio.

Por otro lado, de los resultados del estudio se deriva que un mayor nivel de capacidad física en términos de consumo máximo de oxígeno puede ser un valor predictivo sobre la distribución y composición de grasa corporal, por encima del Índice de masa corporal, independientemente del sexo. En este sentido, Ortega et al, en un estudio longitudinal y transversal entre actividad física, condición física y sobrepeso en edades tempranas de la vida concluyen que los altos niveles de actividad física durante la infancia y la adolescencia, especialmente la actividad física intensa se relaciona con menor adiposidad total y central no solamente en esta edad, sino a lo largo de la vida. La actividad física, especialmente la aeróbica, se relaciona de forma inversamente proporcional a la adiposidad actual y futura del adolescente. Por otro lado, los niños con sobrepeso que tienen un nivel de actividad física intensa tienen un perfil cardiovascular más sano que los que tienen sobrepeso.

Estos hallazgos sugieren que la actividad física puede contrarrestar las consecuencias negativas que se atribuyen al exceso de grasa corporal, teniendo el incremento de actividad física un papel importante en la salud y en la obtención de menores porcentajes de grasa corporal (Ortega, Ruiz et al. 2013). Estos datos han sido corroborados en el presente estudio, el porcentaje graso era inversamente proporcional al consumo máximo de oxígeno como indicador del nivel de capacidad funcional. Es especialmente interesante correlacionar el porcentaje graso como indicador más fiable de la composición corporal, ya que el índice de masa corporal, utilizado ampliamente para la valoración de grandes poblaciones, no se relaciona de una forma exacta con el condicionamiento físico, por eso se deben de estudiar otros indicadores como el porcentaje de grasa corporal.(del Río Navarro, Velázquez- Monroy et al. 2004, Shaya, Flores et al. 2008).

Nuestra muestra estaba compuesta, como ya hemos indicado reiteradamente por deportistas de alto nivel, lo cual significa que su grado de actividad física estaba por encima de las recomendaciones actuales de las guías para la salud de los jóvenes, que recomiendan el desarrollo de actividad física de moderada a vigorosa, al menos por un tiempo de 60 minutos al día para la promoción de la salud y con perspectivas de control de peso (Kain, Uauy et al. 2002, Wang and Dietz 2002, Boddy, Murphy et al. 2014)

El porcentaje de grasa medio obtenido en nuestra población en varones es de 13,71 +/- 7,31 % y en mujeres 18,38 +/- 8,5 % y el muscular es de 47,98 +/-4,54 %, en varones y de 44,61 +/- 3,5 %, en mujeres. Valores también similares a los estudios en deportistas, pero diferentes de población general estudiada (Segovia, López-Silvarrey et al. 2008) (Ramos-Álvarez, Lara-Hernández et al. 2000, Aranceta, Pérez et al. 2003, López, Navarro et al. 2003, Segovia, López-Silvarrey et al. 2008).

No se han tenido en cuenta las distintas categorías deportivas, ya que el estudio se ha centrado en las variables antropométricas en general. Sería interesante continuar dichos estudios en grandes poblaciones deportivas en las que se pudieran clasificar a los sujetos por nivel deportivo, para establecer fórmulas de predicción del consumo de oxígeno en relación a las variables antropométricas.

Se ha constatado que existen diferencias significativas entre los grupos de sedentarismo y actividad. Lógicamente la actividad y el sedentarismo siguen una distribución opuesta, más marcada entre el grupo de mayor actividad y el grupo de menos sedentarismo, datos que apoyan la validez de la encuesta realizada. A su vez se ha comprobado una relación entre el grado de mayor sedentarismo y de menor actividad con el aumento del porcentaje graso, observándose una mayor significación en el mayor sedentarismo que en la baja actividad, lo cual parece indicar una mayor importancia de los hábitos sedentarios en la composición corporal. Por otro lado se ha constatado que la capacidad aeróbica del deportista (VO<sub>2</sub> máx.) aumenta en relación inversa al porcentaje de grasa y que se relaciona directamente con los hábitos sedentarios. Estos datos son similares a los encontrados por otros autores en la población general infantil.

En un estudio multicéntrico dirigido a 12.946 niños iraníes de 11 a 13 años, mediante la intervención en 30 colegios de la ciudad de Isfahán, seleccionando una población sana y sin medicación en el momento del estudio. Estos concluyen que además del desarrollo de hábitos alimentarios más saludables es necesaria la intervención en desarrollo de programas

escolares que modifiquen y mejoren la dedicación y calidad de los programas de educación física, dada la gran cantidad de niños a los que va dirigido y la accesibilidad que hay en las escuelas (Minasian, Mohammad Marandi et al. 2015). Estos autores utilizaron el 20-m shuttle test, que da una cifra estimada de VO<sub>2</sub> máx., tras un esfuerzo máximo por la frecuencia cardíaca y según unas tablas de referencia y la medición de composición corporal mediante el estudio de la medición de pliegues y la aplicación de fórmulas matemáticas de donde se obtiene el porcentaje (Ortega, Ruiz et al. 2013) de grasa, que sugieren que un bajo nivel de fitness cardiovascular, como indicador de actividad física está relacionado con el nivel de adiposidad en niños, estableciendo una relación negativa y significativa entre el porcentaje de grasa y la capacidad aeróbica tanto en chicas como en chicos (Minasian, Mohammad Marandi et al. 2015).

En el presente estudio hemos constatado también dicha relación en niños deportistas de élite, lo que parece indicar que la relación entre porcentaje grasa y consumo máximo de oxígeno es independiente del nivel deportivo.

Como hemos comentado previamente la muestra está compuesta por la totalidad de los deportistas tecnificados de la Comunidad de Madrid, siendo, por tanto, altamente significativa para la población deportiva española de este grupo de edad. El tipo de deporte practicado se ha descrito, pero no se ha tenido en cuenta, ya que para eso se ha intentado evaluar el nivel de actividad mediante la encuesta personal. El estudio se ha realizado independientemente del deporte practicado, no ha sido necesario al no encontrar diferencias intergrupos de deportes, no obstante hay algunos deportes minoritarios cuya muestra es poco significativa aunque representativa de la población. (Ver tabla 5).

En relación a la medición de los parámetros antropométricos, el presente estudio se ha realizado mediante la tecnología inbody que puede eliminar los sesgos de información y de intervención, ya que este método no es investigador dependiente, aunque sería necesario realizar estudios que correlacionen las mediciones hechas con este método y con los tradicionales de medición de pliegues. Aunque hay varios estudios de validación de este método (Chumlea, Guo et al. 2002), aún no se utiliza mayoritariamente en investigaciones científicas relacionadas con el deporte, siendo este trabajo uno de los primeros en realizar este método en deportistas de alto nivel. Siendo habitual realizar la antropometría mediante la medición de pliegues en estudios en deportistas (IPAQ (2005)).

En nuestra muestra, evidentemente debido a que se trata de deportistas de alto nivel, no hemos encontrado casos de sobrepeso, lo cual viene a corroborar la necesidad de programas de actividad física durante la adolescencia, como han sugerido diversos autores (Ardura 2000, Ortega, Ruiz et al. 2013).

Algunos autores subrayan la necesidad de estudios que avalen la condición aeróbica y la actividad física en niños y adolescentes, encontrando una relación positiva entre ambas mediciones, en el presente estudio hemos correlacionado ambos parámetros, constatando que el VO<sub>2</sub> máx. era significativamente más alto en el grupo de mayor actividad física valorado mediante la encuesta propuesta, a diferencia de otros autores que han encontrado una asociación poco significativa con los cuestionarios de actividad física que desarrollaron (Armsrong 2013).

La valoración de la condición física se ha realizado mediante la obtención directa del VO<sub>2</sub>máx. Los valores de consumo de oxígeno máximos que hemos encontrado en los varones es de 58,42 +/- 8,5 ml/kg/mn y en mujeres de 51,22+ /- 7,32 ml/kg/mn). Dichos datos podrían servir de referencia para comparar con otras poblaciones e incluso podrían ser utilizados en la detección de talentos. Existe mucha disparidad en los resultados del consumo máximo de oxígeno en niños entre distintos autores. Minasian et al, en un estudio descriptivo sobre una población control de estudiantes de entre 11 y 13 años encontraron que la capacidad aeróbica (VO<sub>2</sub> máx.), en niñas era de 29,5 ml/Kg/min y en los chicos de 36,4 ml/Kg/min (Minasian, Mohammad Marandi et al. 2015), otros autores en niños de edad similar también han encontrado cifras muy dispares entre 32 y 58 ml/Kg/min, según las series utilizadas (Meigs, Muller et al. 2003, Eston and Thomas 2009))(Léger and Lambert 1982). Esto puede ser debido a la gran disparidad en la población estudiada, donde no se tiene en cuenta de una manera sistemática el nivel de actividad física de la población estudiada, en nuestro estudio se ha minimizado este efecto, ya que contamos con una muestra homogénea, ya que son deportistas cualificados en sus respectivos deportes.

El valor de la capacidad aeróbica (VO<sub>2</sub>máx) varía según el género (29.5+/- 5.6 vs. 36.4+/-7.3, para chicas y chicos respectivamente, al igual que en estudios precedentes(Meigs, Muller et al. 2003, Eston and Thomas 2009).(Léger and Lambert 1982) (Minasian, Mohammad Marandi et al. 2015). De hecho la capacidad aeróbica es mucho más alta en chicos durante la adolescencia y aumenta en la pubertad(Meigs, Muller et al. 2003). La diferencia observada se debe a diferentes factores como la composición corporal y tamaño y función cardíaca.(McArdle, Katch et al. 2004, Rowland

2007). Estudios recientes muestran que la condición física y especialmente la capacidad aeróbica es un potente factor de riesgo cardiovascular y un importante índice de salud (Nielsen and Andersen 2003, Carnethon, Gulati et al. 2005, Ruiz 2007).

# **6. CONCLUSIONES**

## **6.- CONCLUSIONES**

En la población adolescente estudiada:

1- Existe una relación directa entre el consumo máximo de oxígeno y el porcentaje de grasa corporal, a mayor consumo máximo de oxígeno menos porcentaje graso.

2- El porcentaje graso es la variable antropométrica que más influye en el consumo máximo de oxígeno, por lo que dicho consumo podría utilizarse como indicador de composición corporal.

3- El sedentarismo y la baja actividad física se relacionan directamente con la disminución de la capacidad aeróbica. Siendo el sedentarismo el mayor indicador de la disminución del consumo máximo de oxígeno.

4- Cuanta mayor es el grado de actividad física, mayor es el aumento en los valores de capacidad aeróbica.

5- El consumo máximo de oxígeno es inversamente proporcional al porcentaje de grasa y directamente proporcional al porcentaje de masa muscular, no siendo el Índice de masa muscular un indicador fiable.

# **7. BIBLIOGRAFÍA**

## **7.- BIBLIOGRAFÍA**

1. (2005). "Relation between the changes in physical activity and body-mass index during adolescence: A multicentre longitudinal study." Lancet 366: 301-307.
2. (CDC), C. f. D. C. a. P. (2006). "Overweight among students in grades K-12, Arkansas 2003-04 and 2004-05 school years." MMWR Morb Mortal Wkly Rep 55: 5-8.
3. Abramson, H. A., et al. (1927). "The utilization of intravenous sodium r-lactate. III. Glycogen synthesis by the liver. Blood sugar. Oxygen consumption. ." J Biol Chem 75: 763-778.
4. Ahlborg, G. and P. Felig (1982). "Lactate and glucose exchange across the forearm, legs, and splanchnic bed during and after prolonged leg exercise." J Clin Invest 69: 45-54.
5. Al-Nakeeb, Y., et al. (2007). "Body fatness and physical activity levels of young children." Ann Hum Biol 34: 1-12.
6. Alpert, N. R. and W. S. Root (1954). "Relationship between excess respiratory metabolism and utilization of intravenously infused sodium racemic lactate and sodium L(+) lactate." Am J Physiol 177: 455-462.
7. Alvero Cruz, J. R., et al. (2010). "A prediction equation of fat mass in Spanish Adolescents." Obesity Reviews 118 (Suppl 1): 216.
8. Andersen, J., et al. (1994). "Myosin heavy chain composition in single fibers from vastus lateralis of soccer players. Effects of strenght training." Acta Physiol Scand 150: 21-26.
9. Ara, I., et al. (2007). "Adiposity, physical activity and physical fitness among children from Aragón, Spain." Obesity (Silver Sring) 15: 1918-1924.
10. Aranceta, J., et al. (2003). "Sociodemographic and lifestyle determinans of food patterns in Spanish children and adolescents: the endKid study." Eur J Clin Nut 57 Suppl 1: s40-44.
11. Ardura, J. (2000). "Hábitos saludables en pediatría y repercusión en la edad adulta. Cardiologís preventva en pediatría. Obesidad, hipertensión y dislipidemis." An Esp Pediatr 52: 279-285.
12. Armsrong, N. (2013). "Aerobic fitness and physical activity in children." Pediatr Exerc Sci 25(4): 548-560.
13. Astrand, P. and K. Rodahl (1986). Texbook of work physiology. New York, McGraw Hill Book Company.

14. Aunola, S. and H. Rusko (1984). "Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men." Eur J Appl Physiol Occup Physiol 53(3): 260-266.
15. Bahr, R., et al. (1992). "Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O<sub>2</sub> consumption." Med Sci Sports Exerc 24(1): 66-71.
16. Bang, O. (1936). "The lactate content of the blood during and after muscular exercise in man." Skand Arch Physiol 74(suppl 10): 49-82.
17. Bangsbo, J. (1994). "Energy demands in competition soccer." Journal of Sports Sciences 12: S5-S12.
18. Bangsbo, J. (1994). Physical conditioning. Football (Soccer). B. Ekblom. Oxford, Blackwell Scientific: 124-138.
19. Bangsbo, J. (1994). Physiological demands. Football (Soccer). B. Ekblom. Oxford, Blackwell Scientific.
20. Bangsbo, J. (1994). "The physiology of soccer with special reference to intense intermittent exercise." Acta Physiol Scand 619 (Suppl): 1-155.
21. Bangsbo, J., et al. (1988). Physiological responses to acute, moderate hypoxia in elite soccer players. Science and Football. A. L. T Reilly, Davids K and Murphy WJ (eds). London, E. and FN Spon: 257-264.
22. Bangsbo, J. and F. Lindqvist (1992). "Comparison of various exercise test with endurance performance during soccer in professional players." Int J Sports Med 13: 125-132.
23. Bangsbo, J., et al. (2006). "Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player." J Sports Sci 24(7): 665-674.
24. Bano Rodrigo, A. (2000). "Aptitud para el ejercicio físico y la práctica deportiva en niños y jóvenes." Monocardio 2: 57-64.
25. Bendall, J. R. and A. A. Taylor (1970). "The Meyerhof quotient and the synthesis of glycogen from lactate in frog rabbit muscle." Biochem J 118: 887-893.
26. Beneke, R. (1995). "Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing." Med Sci Sports Exerc 27(6): 863-867.

27. Berenson, G. S. and A. S. Pckoff (1995). "Preventivwe cardiology and its potential influence on the early natural hystory of adult heart disease. The bgalusa Heart Study and the Heart Smart Program." Am J Clin Med Sci 310 Supp 1: S133-138.
28. Bersheim, E. and R. Bahr (2003). "Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption." Sports Med 33(14): 1037-1060.
29. Bishop, D. and M. Spencer (2004). "Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance-trained athletes." J Sports Med Phys Fitness 44(1): 1-7.
30. Boddy, L. M., et al. (2014). "Physical activity, cardiorespiratory fitness andclusteres cardiometabolic risk in 10-12 year-old- scool children: The REACH Y6 study." Am J Hum Biol 26(4): 446-451.
31. Bouissou, P., et al. (1989). "Surface EMG power spectrum and intramuscular pH in human vastus lateralis muscle during dynamic exercise." J Appl Physiol 67(3): 1245-1249.
32. Boutcher, S. H., et al. (1989). "The effects of specificity of training on rating of perceived exertion at the lactate threshold." Eur J Appl Physiol Occup Physiol 59(5): 365-369.
33. Bowers, R. and E. Fox (1993). Sports Physiology, Willians C. Brown Publishers.
34. Brooks, G. and G. Gaesser (1980). "End points of lactate and glucose metabolism after exhausting exercise." J Appl Physiol 49: 1057-1069.
35. Brooks, G., et al. (1971). "Temperature, liver mitochondrial respiratory functions, and oxygen debt." Med Sci Sports 2: 72-74.
36. Brooks, G., et al. (1971). "Temperature, skeletal muscle mitochondrial function, and oxygen debt." Am J Physiol 220: 1053-1059.
37. Brooks, G. A. and C. M. Donovan (1983). "Effect of endurance training on glucose kinetics during exercise." Am J Physiol 244(7): E505-E512.
38. Brunet, M., et al. (2007). "The associationbetween low physical fitness and high body mass index or waist circumference is increasing with age in children: The "Québec en Forme"." Int J Obes (Lond) 31: 647-643.

39. Burgüi, R., et al. (2015). "Localization of physical activity in primary school children using accelerometry and global positioning system." Plos One 10(11).
40. Byrne, H. K. and J. H. Wilmore (2001). "The effects of a 20-week exercise training program on resting metabolic rate in previously sedentary, moderately obese women." Int J Sport Nutr Exerc Metab 11(1): 15-31.
41. Calderon, F. (2001). Fisiología aplicada al deporte. Madrid, Tebar.
42. Calderon Montero, F., et al. (1997). "Estudio de la recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de élite." Selección 6(3): 101-105.
43. Calvo, F., et al. (1997). "Anaerobic threshold determination with analysis of salivary amylase." Can J Appl Physiol 22(6): 553-561.
44. Carafoli, E. and A. Lehninger (1971). "A survey of the interaction of calcium ions with mitochondria from different tissues and species." Biochem J 122: 681-690.
45. Carli, G., et al. (1986). "Hormonal and metabolic effects following a football match." Int J Sports Med 7: 36-38.
46. Carnethon, M. R., et al. (2005). "Prevalence and cardiovascular disease correlates of low cardiorespiratory fitness in adolescents and adults." JAMA 294: 2981-2988.
47. Claremont, A., et al. (1975). "Comparison of metabolic, temperature, heart rate and ventilatory responses to exercise at extreme ambient temperatures (0° and 35°)." Med Sci Sports 7: 150-154.
48. Connet, R., et al. (1990). "Defining hypoxia: a systems view of VO<sub>2</sub>máx: glycolysis, energetics and intracellular PO<sub>2</sub>." J Appl Physiol 68: 833-842.
49. Cori, C. F. (1931). "Mammalian carbohydrate metabolism." Physiol Rev 11: 143-275.
50. Corrado, D., et al. (2005). "Cardiovascular preparticipation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death." Eur Heart J 26: 56-24.
51. Chapler, C., et al. (1980). "Effect of changes in blood flow, norepinephrine, and pH on oxygen uptake by resting skeletal muscle." Can J Physiol Pharmacol 58: 93-96.

52. Chumlea, W. C., et al. (2002). "Body composition estimates from NHANES III bioelectrical impedance data." Int J Obes Relat Metab Disord 26: 1596-1609.
53. Darr, K. C., et al. (1988). Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise.
54. Davis, J. (1985). "Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research " Med Sci Sports Exerc 17: 6-18.
55. Davis, J. and J. Brewer (1992). "Physiological characteristics of an international female soccer squad." Journal of Sports Sciences 10: 142-143.
56. De Pauw, K., et al. (2012). "Guidelines to classify subject groups in sport- science research." Dep Hum Physiol and Sports Med.
57. del Río Navarro, B. E., et al. (2004). "The high prevalence of overweight and obesity in Mexican children." Obes Res 12: 21.
58. Depocas, F., et al. (1969). "Rate of formation and oxidation of lactic acid in dogs at rest and during moderate exercise." Can J Physiol Pharmacol 47: 603-610.
59. Djelic, M., et al. (2012). "Physiological adaptation of antropometric and cardiovascular parameters on physical activity of elite athletes." Srp Arh Celok Lek 140(7-8): 431-435.
60. Donald, D., et al. (1955). "The effects of exercise on the cardiac output and central dynamics of normal subjects." Clin Sci 14: 37-73.
61. Donovan, C. M. and G. A. Brooks (1983). "Endurance training affects lactate clearance, not lactate production." Am J Physiol 244(7): E83-E92.
62. Dorado, C., et al. (1999). "Efectos de la recuperación activa sobre la capacidad de rendimiento y el metabolismo energético durante el ejercicio de alta intensidad." Arch Med Deporte 16(73): 397-413.
63. Durnin, J. and R. Passmore (1967). Energy work and leisure. London, Heinem. Educational Books LTD.
64. Ekblom, B. (1986). "Applied physiology of soccer." J Sports Med 3: 50-60.
65. Eston, R. and R. Thomas (2009). Kineantropometry and exercise phisology laboratry manual. Antropometry. Abingdon, Oxon, UK. 1.

66. Everitt, B. S. (1992). The Analysis of contingency tables, Chapman and Hall.
67. F., S. E., et al. (2012). "Contribution of the school journey to daily physical activity in children aged 11-12 years." Am J Prev Med 43(2): 201-204.
68. Faina, M., et al. (1988). Definition of the physiological profile of the soccer players. Science and Football. A. L. T Reilly, Davids K and Murphy WJ (eds). London, E. and FN Spon: 158-163.
69. Farrell, P., et al. (1979). "Plasma lactate accumulation and distance running performance." Med Sci Sports 11: 338-344.
70. Fell, R., et al. (1980). "Preferential resynthesis of muscle glycogen in fasting rats after exhausting exercise." Am J Physiol 238(7): R328-R332.
71. Ferrán Aranaz, M. (1996). SPSS para Windows. Programación y Análisis Estadístico, Mc Graw Hill.
72. Fletcher, G. F., et al. (1995). "Exercise standard : a for healthcare professional from the American Heart Association Writing Group: Special report." Circulation 91: 580-615.
73. Fletcher, W. M. and F. G. Hopkins (1907). "Lactic acid in amphibian muscle." J Physiol 35: 247-309.
74. Flock, E. V., et al. (1939). "Formation of lactic acid an initial process in working muscle." J Biol Chem 129: 99-110.
75. Gaesser, G. A. and G. A. Brooks (1980). "Glycogen repletion following continuous and intermittent exercise to exhaustion." J Appl Physiol 49: 722-728.
76. Gaesser, G. A. and G. A. Brooks (1984). "Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review." Medicine and Science in Sports and Exercise 16(1): 29-43.
77. Gaesser, G. A. and R. G. Rich (1984). "Effects of high- and low-intensity exercise training on aerobic capacity and blood lipids." Med Sci Sports Exerc 16(3): 269-274.
78. Gaitanos, G., et al. (1993). "Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise." J Appl Physiol 75: 712-719.

79. Gleeson, T. (1982). "Lactate and glycogen metabolism during and after exercise in the lizard *sceloporus occidentalis*." J Comp Physiol 147: 79-84.
80. Goran, M.I, et al. (1999). "Role of physical activity in the prevention of obesity in children." Int J Obes Relat Metab Disord 23 Suppl 3: S18-33.
81. Goran, M. I., et al. (2004). "Impaired glucose tolerance and reduced beta-cell function in overweight latino children with a positive family history for type 2 diabetes." J Clin Endocrinol Metab. 89: 207-212.
82. Grahan, T. E., et al. (1976). "Metabolic intermediates and lactate diffusion in active dog skeletal muscle." Am J Physiol 231: 766-771.
83. Hagberg, J., et al. (1980). "Effect of work intensity and duration on recovery O<sub>2</sub>." J Appl Physiol 48: 540-544.
84. Hagberg, J. M. and E. F. Coyle (1983). "Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers." Med Sci Sports Exerc 15(4): 287-289.
85. Haldane, J. and J. Priestley (1905). "The regulation of the lung-ventilation." J Physiol 32: 225-266.
86. Harris, P., et al. (1968). "Observations on the course of the metabolic events accompanying mild exercise." Q J Exp Physiol 53: 43-64.
87. Harris, R., et al. (1976). "The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man." Pflugers Arch 367: 137-142.
88. Hartree, W. and A. V. Hill (1922). "The recovery heat-production in muscle." J Physiol 56: 367-381.
89. Hill, A. V. (1910). "The heat produced in contracture and muscular tone." J Physiol 40: 389-403.
90. Hill, A. V. (1913). "The energy degraded in the recovery processes of stimulated muscles." J Physiol 46: 28-80.
91. Hill, A. V. (1914). "The oxidative removal of lactic acid." Proc Physiol Soc X-XI 48: 28-80.
92. Hill, A. V., et al. (1924). "Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. Pt I-III." Proc Roy Soc B 96: 438-475.

93. Hill, A. V., et al. (1924). "Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. Pt VII-VIII
94. " Proc Roy Soc B 97: 155-176.
95. Hill, A. V. and H. Lupton (1923). "Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen." Q J Med 16: 135-171.
96. Hittelman, K., et al. (1969). "Oxidative phosphorylation and compartmentation of fatty acid metabolism in brown fat mitochondria." Eur J Biochem 11: 183-192.
97. Hoff, J., et al. (2002). "Soccer specific aerobic endurance training." British J Sports Med 36(3): 218-221.
98. Hoffer, E., et al. (1969). "Correlatio of whole-body impedance whith total water volume." J Appl Physiol 27: 531-534.
99. Hollman, W. (1985). "Historial remarques on the development of the aerobic-anaerobic thersholdup to 1966." Int J Sports Med 6: 109-116.
100. Horwitz, B. (1979). "Metabolioic aspects of thermogenesis: neuronal and hormonal control." Fed proc 38: 2147-2149.
101. Imai, K., et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure.
102. IPAQ (2005). "Guidelines for data processing and analysis of the International PhysicalActivity Questionnaire. Short and long forms."
103. Ivy, J. L., et al. (1980). "Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold." J Appl Physiol 48(3): 523-527.
104. mportant role in determining the relative lactate threshold.
105. Jones, N. and R. Ehram (1982). "The anaerobic threshold." Exerc Sport Sci Rev 10: 49-83.
106. Jones, N. L., et al. (1985). "Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds." J Appl Physiol 59(1): 132-136.
107. Jorfeldt, L. (1970). "Metabolism of tactate in human skeletal muscle during exercise." Acta Physiol Scand Suppl: 338.

108. José-Sánchez-Cruz, J., et al. (2013). "Prevalence of Child and Youth Obesity in Spain in 2012." Revista española de Cardiología 66(5): 371-376.
109. Kain, J., et al. (2002). "Trends in overweight and obesity prevalence in Chilean children: Comparison of three definitions." Eur J Clin Nutr 56: 200-204.
110. Kawakami, Y., et al. (1992). "Reliability of measurement of oxygen uptake by a portable telemetric system." Eur J Appl Physiol 65: 409-414.
111. Keul, J., et al. (1979). "Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 30: 212-218.
112. Kimm, S. Y., et al. (2005). "Relation between the changes in physical activity and body mass index during adolescence: A multicentre longitudinal study." Lancet 366: 301-307.
113. Kinderman, W., et al. (1979). "The significance of the aerobic/anaerobic threshold transition for the determination of work load intensities during endurance training." Eur Appl Physiol Occup 42: 25-34.
114. King, A. C., et al. (2011). "Correlates of objectively measured physical activity and sedentary behavior in English children." Eur J Public Health 21: 276-280.
115. Kirkendall, D. T. (1985). "The applied sport science of soccer." Physician Sportsmed 13: 53-59.
116. Krasas, G. E., et al. (2001). "Prevalence and trends in overweight and obesity among children and adolescents in Thessaloniki, Greece." J Pediatr Endocrinol Metab. 14 (Suppl5): 19-26.
117. Krebs, N. F., et al. (2003). "Prevention of pediatric overweight and obesity." Pediatrics 112: 424-430.
118. Kushner, R. and D. Schoeller (1986). "Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis." Am J Clin Nutr 44: 417-424.
119. Kuzon, W., et al. (1990). "Skeletal muscle fiber type, fibre size, and capillary supply in elite soccer players." Int J Sports Med 11: 99-102.
120. Kyle, U. G., et al. (2001). "Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20-94 years." Nutrition 17: 248-253.

121. Kyle, U. G., et al. (2001). "Fat free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years." Nutrition 17: 534-541.
122. Lee, S. J. and S. A. Arslanian (2007). "Cardiorespiratory fitness and abdominal adiposity in youth." Eur J Clin Nutr 61: 561-565.
123. Léger, L. A. and J. A. Lambert (1982). "A maximal multistage 20 m shuttle-run test to predict V02 max." Eur J Appl Physiol Occup Physiol 49: 1-12.
124. Lehmann, M., et al. (1985). "Plasma catecholamine and blood lactate cumulation during incremental exhaustive exercise." Int J Sports Med 6: 78-81.
125. López, E., et al. (2003). "Adecuación a la dieta mediterránea y actividad física en adolescentes de Canarias." Arch Med Deporte 30(4): 208-214.
126. Lukaski, H. C. and W. W. Bolonchuck (1987). "Theory and validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to asses human body composition." The institute of Physivcal Sciences in Medicine.
127. Lukaski, H. C., et al. (1986). "Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to asses human bodycomposition." J Appl Physiol 60: 1327-1332.
128. Maehlum, S., et al. (1978). "Splanchnic glucose and muscle glycogen metabolism after glucose feeding during postexercise recovery." Am J Physiol 235(4): E255-E260.
129. Mahler, M. and E. Homsher (1982). "Metabolic rate changes in parallel with creatine level during non-stady states in frog skeletal muscle." Fed Proc 41: 979.
130. Málaga, S., et al. (1995). "Factores de riesgo cardiovascular enla infancia y adolescencia en España. Estudio RICARDIN." An Esp Pediatr 71: 255-258.
131. Margaria, R., et al. (1933). "The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt contraction in man." J Appl Physiol 18: 371-377.
132. Mazzeo, R. S., et al. (1982). "Pulse injection C13 tracer studies of lactate metabolism in human during rest and two levels of exercise." Biomed Mass Spect 9: 310-314.

133. McArdle, N., et al. (2004). Essentials of exercise physiology. Lippincott, Williams and Wilkins.
134. McGilvery, R. (1975). The use of fuels for muscular work. Metabolic adaptation to prolonged physical exercise. H. Wowald and J. Poortmans. Basel: Birkhauser Verlag.
135. McLane, J. A. and J. O. Holloszy (1979). "Glycogen synthesis from lactate in the three types of skeletal muscle." J Biol Chem 254: 6548-6553.
136. McLellan, T., et al. (1988). "Acute altitude exposure and altered acid-base states. II. Effects on exercise performance and muscle and blood lactate." Eur J Appl Physiol Occup Physiol 57(4): 445-451.
137. Meigs, J. B., et al. (2003). "The natural history of progression from normalglucose tolerance to type 2 diabetes in the Baltimore Longitudinal Study of Aging." Diabetes 52: 1475-1484.
138. Meyerhof, O. (1920). "Die Energieumwandlungen im Muskel. III. Kohlehydrat und Milchsäureumsatz im Froschmuskel." Pflugers Arch ges Physiol 185: 11-32.
139. Meyerhof, O. (1920). "Die Energieumwandlungen im muskel. I. Über die beziehungen der Milchsäure zur Wärmebildung und Arbeitsleistung des muskels in der anaerobiose." Pflugers Arch ges Physiol 182: 232-283.
140. Minasian, V., et al. (2015). "Correlation between Aerobic Fitness and Body Composition in Middle School Students." Int J of Preventive Medicine 5(Suppl 2): S102-107.
141. Ministerio de Sanidad, P. S. y. d. I. (2011). "Estudio de prevalencia de obesidad infantil ALADINO."
142. Mitchell, J. H., et al. "Task Force 8: classification of sports." J Am Coll Cardiol 45: 1364-1367.
143. Molnár, D. and B. Livingstone (2000). "Physical activity in relation to overweight and obesity in children and adolescents." Eur J Pediatr 159(Suppl 1): S45-55.
144. Montanari, G., et al. (1990). Structural adaptations of the muscle soccer players. Medicine applied to football. G. Santilli. Roma, CONI: 169-179.

145. Neary, P. J., et al. (1985). "The relationship between lactate and ventilatory thresholds: coincidental or cause and effect?" Eur J Appl Physiol Occup Physiol 54(1): 104-108.
146. Nielssen, G. A. and L. B. Andersen (2003). "The association between high blood pressure, physical fitness and body mass in adolescents." Prev Med 36: 2229-2234.
147. Nolan, R. P., et al. (2005). "Heart rate variability biofeedback as a behavioral neurocardiac intervention to enhance vagal heart rate control." Am Heart J 149(6): 1137.
148. Nordheim, K. and N. Vollestad (1990). "Glycogen and lactate metabolism during low-intensity exercise in man." Acta Physiol Scand 139: 475-484.
149. Nowacki, P., et al. (1988). Biological performance of german soccer players (professional and junior) tested by special ergometry and treadmill methods. Science and football. T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W. Murphy. London, E. and F.N.Spon: 145-157.
150. Nyboer, E. (1970). "Electroheometric properties of tissues and fluids." Ann NY Acad Sci 170: 410-420.
151. Orr, G. W., et al. (1982). "A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold." J Appl Physiol 52(5): 1349-1352.
152. Ortega, F. B., et al. (2013). "Physical activity, physical fitness and overweight in children and adolescents, evidence from epidemiologic studies." Endocr Nutr 60(458-69).
153. Ostojic, S. M., et al. (2011). "Correlation between fitness and fatness in 6-14 Serbian school children." J Health Popul Nutr 29: 53-60.
154. Papathanasiou, G., et al. (2010). "Criterion- related validity of the short International Physical Activity Questionnaire against exercise capacity yn young adults." Eur J Cardiovasc Prev rehabil 17(4): 380-386.
155. Pate, R. R., et al. (2007). "Long-term effects of a physical activity intervention in high school girls." Am J Prev Med 33: 276-280.
156. Pearce, F. and R. Connett (1980). "Effect of lactate and palmitate on substrate utilization of isolated rat soleus." Am J Physiol 238(7): C149-C159.

157. Pierce, F. and R. Connet (1980). "Effect of lactate and palmitate on substrate utilization of isolated rat soleus." Am J Physiol 238(7): C149-C159.
158. Ramirez-Lechuga, J. and e. al (2012). Archivos de medicina del deporte.
159. Ramos-Álvarez, J. J., et al. (2000). "Características antropométricas del futbolista adolescente de élite." Arch Med Deporte 75: 25-30.
160. Ramos, J., et al. (1994). "Estudio de diversos aspectos fisiológicos del futbolista." Selección 3(2): 70-81.
161. Reilly, T. (1990). Football. Physiology of Sports. T. Reilly, N. Secher, P. Snell and C. Willians. London, E and FN Spon: 371-426.
162. Reilly, T. (1997). "Energetics of high intensive exercise (soccer) with particular reference to fatigue." J Sports Sci 15(3): 257-262.
163. Rico-Sanz, J., et al. (1995). Decreased glycolitic rate during repeated intense dynamic exercise is not compensated by an increased rate of phosphocreatine breakdown. Proceeding Third Scientific meeting of the Society of Magnetic Resonance, Nice (France).
164. Rohde, H. and T. Espersen (1988). Work intensity during soccer training and match-play. Science and Football. A. L. T Reilly, Davids K and Murphy WJ (eds). London, E. and FN Spon.
165. Rowell, L., et al. (1966). "Splachnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man." J Appl Physiol 21: 1773-1783.
166. Rowland, T. W. (2007). "Evolution of maximal uptake in children." Med Sport Sci 50: 200-209.
167. Ruiz, J. R. (2007). "La condición física como determinante de salud en personas jóvenes." Tesis Doctoral Universidad de Granada.
168. Sacks, J. and W. Sacks (1935). "Carbohydrate changes during recovery from muscular contraction." Am J Physiol 112: 565-572.
169. Sanches, M., et al. (1996). Estadística y matemáticas aplicadas.
170. Savin, W. M., et al. Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans.

171. Segal, S. S. and G. A. Brooks (1979). "Effects of glycogen depletion and workload on postexercise O<sub>2</sub> consumption and blood lactate." J Appl Physiol 47: 514-521.
172. Segovia, J. C., et al. (2008). Manual de valoración funcional, Elsevier.
173. Shaya, F. T., et al. (2008). "School-based obesity interventions: A literature review." J. Sch Health 78: 189-196.
174. Shephard, R. (1982). Physiology and biochemistry of exercise. New York, Praeger.
175. Shephard, R. (1999). "Biology and medicine of soccer: An update." Journal of Sports Sciences 17: 757-786.
176. Short, K. and D. Sedlock (1997). "Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects." J Appl Physiol 83(1): 153-159.
177. Signorile, J., et al. (1993). "The effects of active and passive recovery on short-term high intensity power output." Can J Appl Physiol 18(1): 31-42.
178. Simon, G., et al. (1981). "Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit vom Alter und von der Leistungsfähigkeit." Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 32: 7-14.
179. Skinner, J. (1987). Exercise testing and exercise prescription for special cases. Theoretical basic and clinical application. Philadelphia.
180. Skinner, J. and T. McLellan (1980). "The transition from aerobic to anaerobic metabolism." Res Q Exerc Sports 51: 234-248.
181. Slinde, F., et al. (2003). "Bioelectrical impedance variation in healthy subjects during 12 h in the supine position." Clin Nutr 22: 153-157.
182. Slinde, F. and L. Rosander-Hulthen (2001). "Bioelectrical impedance: effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition." Am J Clin Nutr 74: 474-478.
183. Smith, J. C., et al. (2002). "Emotional responsiveness after low- and moderate-intensity exercise and seated rest." Med Sci Sports Exerc 34(7): 1158-1167.

184. Spence, J., et al. (1979). "Changes during hemodialysis in total body cardiac output and chest fluids as detected by bioelectrical impedance analysis." Transactions Am Society Artif Inter Organs 25: 51-55.
185. SPSS, I. (2013). SPSS 22.0 Command Syntax Reference, SPSS Inc.
186. Stegmann, H., et al. (1981). "Lactate kinetics and individual anaerobic threshold." Int J Sports Med 2: 160-165.
187. Sun, S. S., et al. (2003). "Impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys." Am J Clin Nutr 77: 331-340.
188. Tagliabue, A., et al. (2001). "Prediction of lean body mass from multifrequency segmental impedance: influence of adiposity." Acta Diabetol. 38: 93-97.
189. Thomasset, A. (1962). "Bioelectrical properties of tissue impedance measurements." Lyon Medical 207: 107-118.
190. Tomlin, D. L. and H. A. Wenger (2001). "The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise." Sports Med 31(1): 1-11.
191. Tumilty, D., et al. (1988). Is lactic acid tolerance an important component of fitness for soccer. Science and Football. L. A. Reilly T, Davids K and Murphy WJ (eds). London, E. and FN Spon.
192. Van der Jagt, D. J., et al. (2002). "Phase angle and h 3 polyunsaturated fatty acids in sickle cell disease." Arch Dis Child 87: 252-254.
193. Virtanen, K. S., et al. (2002). "Myocardial fatty acid utilisation during exercise induced ischemia in patients with coronary artery disease." Nuklearmedizin 41(3): 157-161.
194. Viru, A. (1996). "Postexercise recovery period: carbohydrate and protein metabolism." Scand J Med Sci Sports 6: 2-14.
195. Wang, G. and W. Dietz (2002). "Economic burden of obesity in youths aged 6 to 17 years." Pediatrics.
196. Wang, Y., et al. (2002). "Trends of obesity and underweight in older children and adolescents in the United States, Brazil, China and Russia." Am J Clin Nutr 75: 971-977.

197. Wasserman, K. (1978). "Breathing during exercise." New Engl J Med 298: 780-785.
198. Wasserman, K. (2002). "Anaerobic threshold and cardiovascular function." Monaldi Arch Chest Dis 58(1): 1-5.
199. Wasserman, K., et al. (1987). Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia, Lea and Febiger.
200. Wasserman, K. and M. C. Mcilroy (1964). "Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardio patients during exercise." Am J Cardiol 14: 844-853.
201. Wasserman, K., et al. (1967). "Interaction of physiological mechanism during exercise." J Appl Physiol 22: 71-85.
202. Wasserman, K., et al. (1981). Respiratory physiology of exercise: metabolism, gas exchange and ventilatory control. International review of physiology. Respiratory physiology III. W. Icombe. Baltimore, University Park Press: 149-211.
203. Wasserman, K., et al. (1973). "Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise." J Appl Physiol 35: 236-243.
204. WHO Regional office for Europe, p. s. (2012). "European Childhood Obesity Surveillance Initiative, COSI."
205. WHO/FAO Expert consultation on Diet, N. a. t. P. o. C. D. W. (2003). "European Childhood Obesity Surveillance Initiative, COSI."
206. Wilmore, J. and D. Costill (2004). Physiology of sports and exercise. Baltimore, Human kinetics Publishers.
207. Wiswell, R. A., et al. (2000). "Maximal aerobic power, lactate threshold, and running performance in master athletes." Med Sci Sports Exerc 32(6): 1165-1170.

## **8. ANEXOS**