



## **MEMORIA DE TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Rol del tiempo de recuperación ventilatoria post-ejercicio sobre los cambios de presión arterial y frecuencia cardiaca como factores de riesgo cardiovasculares**

**Autor:** D. Daniel Velázquez Díaz

**Tutor Académico:** D. Jesús Gustavo Ponce González

**Máster en Actividad Física y Salud**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Curso Académico: 2015 /2016

Puerto Real, Septiembre 2016



## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b>	4
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>3. MÉTODOS</b>	7
<b>3.1. Participantes y criterios de inclusión</b>	7
<b>3.2. Procedimiento</b>	9
<i>3.2.1. Variables medidas</i>	9
<b>3.3. Análisis estadístico</b>	10
<b>4. RESULTADOS</b>	11
<b>5. DISCUSIÓN</b>	15
<b>6. CONCLUSIONES</b>	17
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	18

## 1. RESUMEN

La recuperación de la tensión arterial (TA) y de la frecuencia cardíaca (FC) post-ejercicio es indicativo del nivel de salud cardiovascular. Existen varios factores conocidos que influyen en esa respuesta como es la edad, el sexo, el IMC, la FC en reposo y la capacidad aeróbica. Sin embargo, se desconoce si la recuperación ventilatoria post-ejercicio está relacionada con los cambios en la TA y FC.

**Objetivos:** (i) Analizar la relación entre el tiempo de recuperación del RER, y los cambios de la PA y FC post-ejercicio; (ii) determinar las diferencias entre hombres y mujeres, y (iii) determinar la influencia de la edad, IMC,  $VO_2\text{max}$  y FC de reposo sobre el tiempo de recuperación del RER y los cambios en TA después del ejercicio.

**Metodología:** Se realizó una prueba de esfuerzo máximo a 37 estudiantes universitarios, para determinar su  $VO_2\text{max}$ . Además se midió la composición corporal de los individuos, la PA pre y post-ejercicio, la FC en reposo, durante y post-ejercicio y el RER durante la prueba y hasta que los participantes alcanzaban el  $RER=1$  durante la recuperación.

**Resultados:** Tras analizar la muestra, no hubo diferencias significativas en las medidas de PA y FC post-ejercicio entre los sujetos que necesitaban más y menos tiempo para alcanzar el  $RER=1$ . No hubo diferencias entre hombres y mujeres cuando se analizaron los deltas de la PA y FC con respecto al pre. La edad, el sexo, el IMC, la FC en reposo y la capacidad aeróbica tampoco tuvo efectos en la recuperación de la TA post-ejercicio.

**Conclusiones:** No encontramos influencias de ninguna variable en la recuperación post-ejercicio de la TA. Esto sugiere que una vez recuperado el coeficiente respiratorio del proceso de anaerobiosis ( $RER=1$ ), también lo ha hecho el sistema cardiovascular en la muestra analizada. Futuras investigaciones son necesarias para confirmar estos hallazgos.

**Palabras claves:** recuperación de la tensión arterial, cociente respiratorio, ejercicio máximo y frecuencia cardíaca.

## 1. ABSTRACT

The recovery of blood pressure (BP) and heart rate (HR) post-exercise is an indicative of the level of cardiovascular health. There are several known factors that influence this response as age, sex, BMI, resting HR and aerobic capacity. However, it is unknown whether the ventilatory recovery after exercise is related to changes in the BP and HR.

**Objectives:** (i) To analyze the relationship between the time of RER recovery, and the changes in BP and HR post-exercise; (ii) to determine the differences between men and women, and (iii) to determine the influences of BMI, age,  $VO_2\text{max}$  and rest HR on time of RER recovery and changes of BP after exercise.

**Methods:** We performed a maximal exercise test to 37 university students to determine  $VO_2\text{max}$ . In addition, we measured body composition, pre and post-exercise BP, rest, during and post-exercise HR and RER during the test and until participants reached the  $RER=1$  during recovery.

**Results:** There were not significant differences in post-exercise BP and HR measurements between subjects who needed more and less time to recovery until RER=1. There were not differences between men and women in changes of BP and HR respect to rest. Age, sex, BMI, resting HR and aerobic capacity also had no effect on the recovery of post-exercise BP.

**Conclusions:** We found no influence of any variable in post-exercise recovery of BP. This suggests that the recuperation of cardiovascular system is established once the respiratory coefficient is recovered from anaerobic process (RER=1) in this sample. Future researches are needed to confirm these findings.

**Key words:** recovery of blood pressure, respiratory quotient, maximal exercise and heart rate.

## 2. INTRODUCCIÓN

La hipertensión arterial (HTA) es una enfermedad cardiovascular (ECV), que se caracteriza por un aumento crónico de las cifras de presión arterial (PA). Una persona debe diagnosticarse como hipertensa, cuando tiene unos valores de PA sistólica y diastólica mantenidos por encima de 140/90 (Sociedad Europea de Cardiología, 2013). La HTA es uno de los trastornos más comunes de salud, que se asocia con mayor riesgo de mortalidad por todo tipo de causas y por ECV<sup>4</sup>.

Muchos autores han estudiado la evolución de la PA durante una prueba de esfuerzo máxima<sup>8, 15, 29, 32</sup> y su asociación con mayor riesgo de padecer HTA en el futuro<sup>16</sup>, arterosclerosis carotídea y mayor riesgo de muerte por ECV<sup>20</sup>, disfunción arterial<sup>8</sup>, etc.

En cuanto a la recuperación de la presión arterial (RPA), se está utilizando desde hace unos años como una herramienta para el diagnóstico de ECV, en pacientes sometidos a una prueba de esfuerzo<sup>18, 25, 38</sup>. En muchas de estas investigaciones, una mala recuperación de la presión arterial sistólica (RPAS), se asocia con un mayor riesgo de ECV, como infarto agudo de miocardio, angina de pecho, enfermedad arterial coronaria, accidente cerebrovascular y futura HTA.

Dimka (2010)<sup>12</sup> describe que la RPAS está relacionada positivamente con la frecuencia cardíaca (FC) en reposo en ambos sexos, dónde una baja FC en reposo podría dar lugar a una recuperación de la PAS más rápida y viceversa.

Sin embargo, se necesita analizar con mayor profundidad la relación entre la PA y la FC, además de incluir otras variables que previamente se han asociado con ECV, como son edad<sup>11</sup>, sexo<sup>33</sup>, IMC<sup>28</sup> y VO<sub>2</sub>max. Este último además de ser el mejor indicador para evaluar la capacidad cardiorrespiratoria<sup>2, 23</sup>, está directamente relacionado con la salud cardiovascular, y su mejora se asocia con una disminución del riesgo de mortalidad por ECV<sup>26</sup>. En cuanto al IMC, se ha observado además de la relación con ECV, también con mortalidad por todo tipo de causas, destacando un menor riesgo de mortalidad las personas con un IMC entre 24 y 26 kg/m<sup>2-28</sup>.

Existen pocos estudios que relacionen el sobrepeso y la obesidad con la respuesta de la PA tras el ejercicio<sup>12</sup>, aunque exista una alta evidencia científica, de que las personas con sobrepeso u obesidad tengan mayor riesgo de padecer ECV<sup>6, 17, 22, 37</sup>.

Una correcta recuperación de la FC post-ejercicio también resulta crucial como indicador de salud, ya que una disminución retardada de esta durante el primer minuto después de una prueba de esfuerzo máxima, puede ser un reflejo de la actividad vagal, la cual es un potente predictor de mortalidad general<sup>9</sup>. Además, una incorrecta recuperación de la FC también se asocia inversamente con los niveles de resistencia a la insulina, proteína C-reactiva<sup>24</sup>, un mayor IMC<sup>30</sup> y una respuesta exagerada de la PA durante la prueba de esfuerzo<sup>14</sup>.

Por tanto, las investigaciones hasta la fecha relacionan la lenta recuperación de la PA y FC con ECV. Sin embargo, se desconoce por completo el rol que puede tener la recuperación ventilatoria sobre estos parámetros, a pesar de haber demostrado que una buena capacidad aeróbica es un indicador de salud cardiovascular<sup>38</sup>. El cociente respiratorio (RER) es un parámetro ventilatorio resultante de la división entre el VCO<sub>2</sub>

producido entre el  $VO_2$  consumido, que va desde 0,7 en reposo, hasta 1,0 en ejercicio. Sin embargo, a medida que el ejercicio aumenta de intensidad el RER aumenta por encima de 1,0 debido principalmente a la hiperventilación y al uso del bicarbonato orgánico como sustancia tamponadora de la acidosis metabólica, aumentando así el  $VCO_2$  expulsado. Por encima del valor de 1,0 se puede traducir en la mayoría de personas como que el metabolismo principal usado durante el ejercicio es el anaeróbico. Por este motivo, este parámetro se usa como indicador de fatiga durante una prueba de esfuerzo, y sirve como parámetro ventilatorio en la recuperación post-ejercicio, ya que existe un pico de RER durante la recuperación, debido principalmente a la eliminación de hidrogeniones producidos por el metabolismo anaeróbico. Por tanto, puede resultar interesante observar si la evolución del RER durante una prueba de esfuerzo máximo y la recuperación, se asocia con la recuperación de PA y FC. Bajo nuestro conocimiento, no existe ninguna investigación que aborde esta temática hasta la fecha.

Por lo que el principal propósito de este estudio es analizar el posible efecto del tiempo de recuperación ventilatoria (hasta  $RER=1,0$ ) sobre la recuperación post-ejercicio de la PA y la FC en jóvenes estudiantes universitarios.

Por tanto, los principales objetivos que se plantean en este estudio son los siguientes:

- i. Analizar la relación que existe entre el tiempo de recuperación del RER, y la recuperación de la PA y FC post-ejercicio en jóvenes universitarios sanos.
- ii. Determinar las diferencias de género, en la recuperación del RER, PA y FC.
- iii. Determinar la influencia de la edad, IMC,  $VO_{2max}$  y FC de reposo sobre el tiempo de recuperación del RER, así como de la recuperación de la presión arterial.

Las hipótesis planteadas para el estudio son:

- i. La recuperación de la PA y de la FC dependerá del tiempo de recuperación post-ejercicio del cociente respiratorio RER.
- ii. Los hombres presentarán una recuperación de la PA y de la FC más eficaz que las mujeres.

### **3. MÉTODOS**

#### **3.1. Participantes y criterios de inclusión**

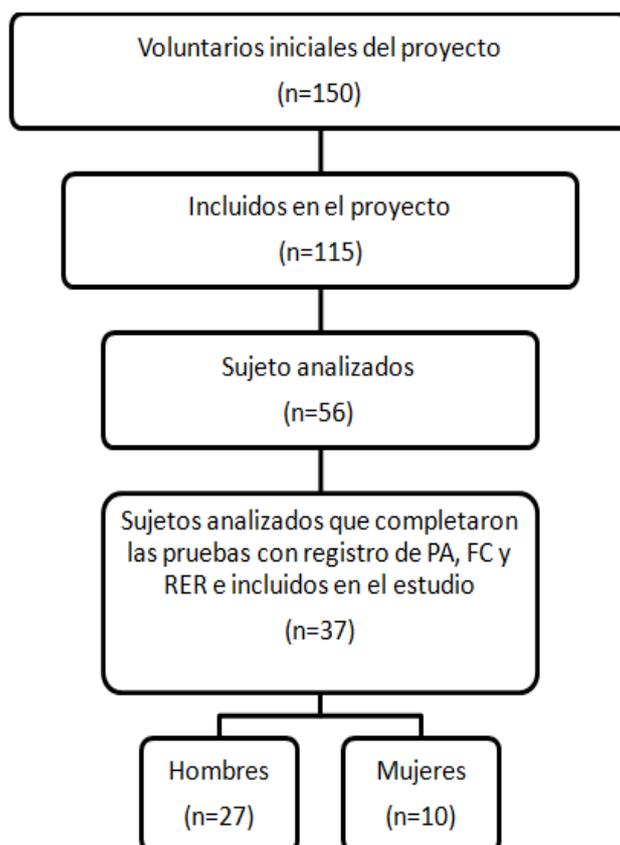
Los datos de este estudio forma parte de un proyecto denominado “Proyecto NutAF”, que se está llevando a cabo en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Cádiz, con estudiantes universitarios que pertenecen a los diferentes cursos del Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, los cuales aceptaron realizar voluntariamente el estudio. El objetivo principal de este proyecto es determinar la influencia del nivel de actividad física, condición física y los hábitos nutricionales sobre la composición corporal, capacidad de oxidar grasas y las hormonas reguladoras del apetito y del metabolismo en estos estudiantes universitarios.

Se detallaron los siguientes criterios de inclusión, que los voluntarios debían cumplir para acceder al estudio: (i) tener una edad en un rango entre 18-35 años; (ii) no haber realizado ningún tipo de dieta manteniendo su peso corporal estable durante los últimos

6 meses; (iii) no padecer o haber padecido alguna enfermedad o lesión que impida o afecte los resultados; (iv) no presentar HTA y (v) no ser fumador.

Para ser incluidos, los voluntarios debían cumplir los siguientes criterios: (1) tener una edad comprendida entre los 18 y los 35 años; (2) no haber realizado ninguna dieta específica manteniendo el peso corporal estable durante los últimos 6 meses; (3) no padecer o haber padecido ninguna enfermedad o lesión que impida la realización de las mediciones o afecte a los resultados; (4) no presentar hipertensión arterial.

De todos los participantes que se ofrecieron voluntariamente para la participación del estudio (n=150), 115 cumplían los criterios de inclusión y accedieron a la realización del estudio. Hasta el momento 56 participantes completaron todas las pruebas planteadas, aunque como podemos ver en el diagrama de flujo (Figura 1), sólo 37 voluntarios fueron incluidos en el presente estudio ya que se necesitaban haber completado las medidas de recuperación post-ejercicio de la PA, FC y RER, con un total de 27 hombres y 10 mujeres.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la muestra del estudio.

Todos los voluntarios fueron informados sobre las pruebas que se iban a realizar durante el estudio y los posibles riesgos asociados, por lo que tuvieron que cumplimentar un consentimiento informado previo a su participación en el estudio. El protocolo del estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki de estudios humanos de 1975 (revisión de Fortaleza, Brasil, 2013) y tras la aprobación del Comité de Ética de la Investigación de Cádiz (Hospital Puerta del Mar).

## 3.2. Procedimiento

El primer día que los voluntarios participaban en el estudio, cumplimentaron un cuestionario elaborado para este proyecto confirmando que cumplían con los criterios de inclusión especificados anteriormente, y donde firmaron el consentimiento informado. Los participantes seleccionados acudieron a los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Cádiz, para realizar las mediciones propuestas. Los participantes debían acudir al laboratorio tras un periodo de ayuno de al menos 8 horas, y fueron instruidos para que, el día previo, evitaran realizar actividad física vigorosa y para que consumieran su dieta habitual, evitando la ingesta de bebidas alcohólicas y cafeína.

### 3.2.1. Variables medidas

#### Talla, peso e IMC

La estatura se midió en bipedestación utilizando un estadiómetro (SECA 225; rango, 60 a 200 cm; precisión, 1 mm). El peso corporal se midió a través de una báscula digital (SECA 861; rango, 0.05 a 130 kg; precisión, 0.05 kg). Cada medición se realizó dos veces, siendo el valor medio de ambas el que se utilizó para el análisis.

A partir de los valores de la talla y del peso corporal se obtuvo el IMC. Aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{IMC} = \text{Peso Corporal} / \text{Talla}^2$$

#### Prueba de esfuerzo máximo

Para llevar a cabo la prueba de esfuerzo máximo, se utilizó un analizador de gases Jaeger MasterScreen CPX® (CareFusion, San Diego, United States of America) y se empleó una adaptación del protocolo previamente validado<sup>1</sup>. La prueba consistió en un test incremental escalonado realizado en cicloergómetro (Lode Excalibur, Groningen, The Netherlands). El test comienza con una carga de 30W, incrementando 30W cada 3 minutos hasta que el RER alcance un valor de 1.0 o superior<sup>3</sup>. Una vez alcanzado este punto, se producen incrementos de 30W cada minuto hasta alcanzar el agotamiento para conocer el VO<sub>2</sub>máx. Tras llegar al agotamiento, el sujeto realiza una recuperación activa con una carga de 25W hasta alcanzar el RER=1.

Durante toda la prueba, los participantes mantuvieron una cadencia de pedaleo de 80 r.p.m. La frecuencia cardíaca se registró de manera continua durante toda la prueba, utilizando un Polar RS400 (Polar Electro, Oulu, Finland).

#### Presión arterial y frecuencia cardíaca de reposo y tras la prueba de esfuerzo máximo

Para la determinación de la PA y la FC de reposo el voluntario se colocaba en sedestación sobre una silla con los pies firmes sobre el suelo, se tomó la PA y la FC tres veces en el brazo no dominante siempre por el mismo investigador, mediante un dispositivo Omron M3 intellisense (HEM-7051-E), previamente validado siguiendo el protocolo internacional de la Sociedad Europea de Hipertensión<sup>5</sup>. El promedio de las 3 lecturas separadas por un minuto y las 3 medidas obtenidas, para la PA sistólica (PAS)

y para la PA diastólica (PAD), se utilizaron para el análisis estadístico como valor de reposo. Además también se obtuvo la presión arterial media (PAM) a través de la siguiente fórmula:

$$PAM = PAD + (PAS - TAD) / 3$$

La medición se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones tras 5 minutos de reposo: (i) en un ambiente tranquilo; (ii) en condiciones óptimas de temperatura; (iii) sentado cómodamente con la espalda recta y bien apoyada; (iv) con el manguito a la altura del 4º espacio intercostal; (v) ni el voluntario ni el evaluador debían hablar durante la prueba; (vi) el voluntario tampoco debe ni haber fumado, ni bebido alcohol, ni cafeína, ni haber realizado deporte antes de realizar la medición. Se utilizó el mismo protocolo, tanto en el inicio del estudio y como en la mediciones posteriores.

Como ya he comentado la FC también se registró de manera continua durante toda la prueba, así como durante la medición del metabolismo basal, utilizando un Polar RS400 (Polar Electro, Oulu, Finlandia).

Tras la prueba de esfuerzo máximo, los sujetos realizaban una recuperación activa con una carga de 25W y una cadencia de pedaleo libre hasta que el RER fuese 1. Una vez que se alcanzó el RER=1, los sujetos pasaban a posición de sedestación y procedíamos a tomar de nuevo tres medidas de PA y FC separadas por un minuto. El promedio de las 3 lecturas separadas por un minuto y las 3 medidas por separado, la utilizamos para el análisis estadístico, además del cálculo de la PAM tras el ejercicio. La medición se llevó a cabo siguiendo el mismo protocolo descrito anteriormente y con el mismo dispositivo.

### **3.3. Análisis estadístico**

Se ha comprobado la distribución normal de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk. Se han transformado logarítmicamente los valores de las variables que han sido necesarias. Para los estadísticos descriptivos, los datos se han presentado como valores de la media y desviación estándar. La muestra se ha dividido en dos grupo por percentil 50 respecto al tiempo en alcanzar el RER=1, donde se obtuvo un grupo “Rápida recuperación” y otro “Lenta recuperación”. Realizamos correlaciones bivariadas para relacionar las variables estudiadas con el RER, PA y FC, también añadimos correlaciones parciales ajustando por sexo. Para analizar las diferencias entre sexo y entre el tiempo desde el final de la prueba hasta que el RER fuese 1 de las variables dependientes estudiadas de todos los voluntarios, usamos la prueba t-student de muestras independientes. También se utilizó el análisis de la covarianza (ANCOVA), para analizar las diferencias entre sexo y tiempo en alcanzar el RER=1 con respecto a las variables de la PA y FC utilizando como variable de ajuste el  $VO_2max$ .

Además utilizamos un ANOVA de medias repetidas, para analizar las diferencias entre sexo y entre los sujetos que tardaban más o menos tiempo en recuperar el RER, de las variables PA y FC de las medidas obtenidas en reposo, al primer, segundo y tercer minuto tras el final de la prueba. Los datos fueron analizados con el software IBM SPSS statistics para Windows (versión 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.). Se fijó el nivel de significación en 0,05.

## 4. RESULTADOS

### *Diferencias entre hombres y mujeres*

En la tabla 1 se muestra todas las características generales de los participantes. Se aprecian diferencias significativas en todas las variables estudiadas entre hombres y mujeres, excepto en el IMC, la presión arterial media en reposo (PAMr) y la presión arterial diastólica en reposo (PADr). Los hombres obtienen valores más altos de RER durante la prueba de esfuerzo y tardan más tiempo en recuperar el RER=1 frente a las mujeres ( $p=0,019$  y  $p=0,011$  respectivamente), aunque también aparecieron diferencias significativas en la intensidad, medida en vatios y el  $VO_2\text{max}$ , tanto absoluto, como relativo al peso ( $p<0,01$  en todas las medidas). Las mujeres tenían valores más bajos de presión arterial sistólica (PASr) con respecto a los hombres ( $p<0,05$ ), mientras poseían una FCr superior ( $p<0,05$ ). Por último los hombres tenían valores significativamente superiores en comparación a las mujeres en las variables edad, peso, talla y  $VO_2\text{max}$  ( $p<0,05$  en todas ellas). No hubo diferencias significativas entre sexo para la FCmax alcanzada durante la actividad ( $p=0,362$ ).

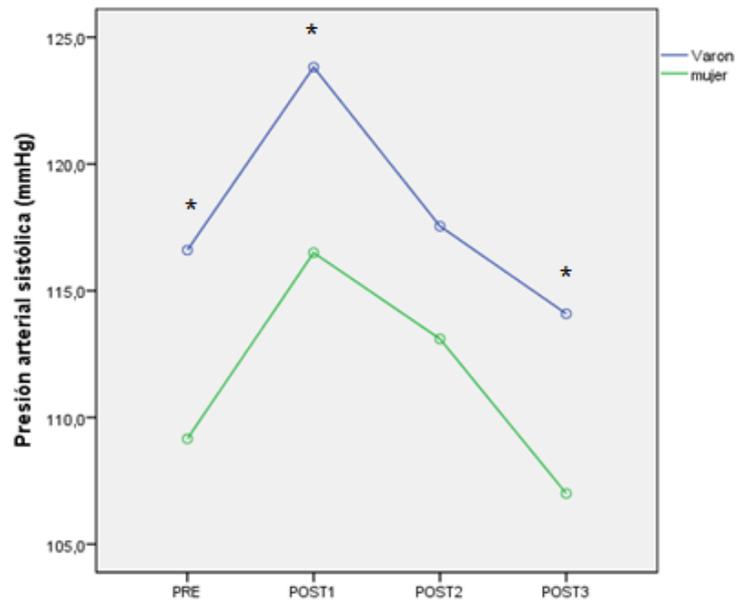
**Tabla1.** Características generales de los participantes.

Variable	Total n= 37	Hombres n= 27	Mujeres n= 10	P valor
Edad (años)	20,6±1,8	21±1,8	19,7±1,3	0,028
Talla (cm)	173,3±7,8	176,3±7	166,1±3,8	<0,001
Peso (kg)	69±10,8	72,2±10,6	61,4±6,5	0,001
IMC	22,9±2,3	23,2±2,5	22,2±1,7	0,223
RERmaxACT	1,2±0,1	1,2±0,1	1,2±0,2	0,508
RERmaxREC	1,4±0,1	1,5±0,1	1,3±0,1	0,007
tRER=1(s)	266,5±79,7	257,5±79,5	216±55,6	0,015
$VO_2\text{max}$ (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	46,9±9	49,6±9	40,5±5,3	0,002
MPAr (mmHg)	81,83±5,9	82,6±6,3	80±4,4	0,253
MPASr (mmHg)	113,7±8,8	115,6±8,7	109,2±7,5	0,039
MPADr (mmHg)	65,9±6,6	66,1±7,5	65,4±4,3	0,863
FCr (ppm)	64,1±13,2	60,7±12	72,1±12,8	0,013

Abreviaturas: FCr, frecuencia cardiaca reposo; IMC, índice de masa corporal; PAMr, presión arterial media de reposo; PADr, presión arterial diastólica de reposo; PASr, presión arterial sistólica de reposo; RERmaxACT, RER máximo alcanzado durante la prueba de esfuerzo; RERmaxREC, RER máximo alcanzado durante la recuperación; tRQ=1, tiempo en alcanzar el RQ=1 durante la recuperación;  $VO_2\text{max}$ , consumo máximo de oxígeno.

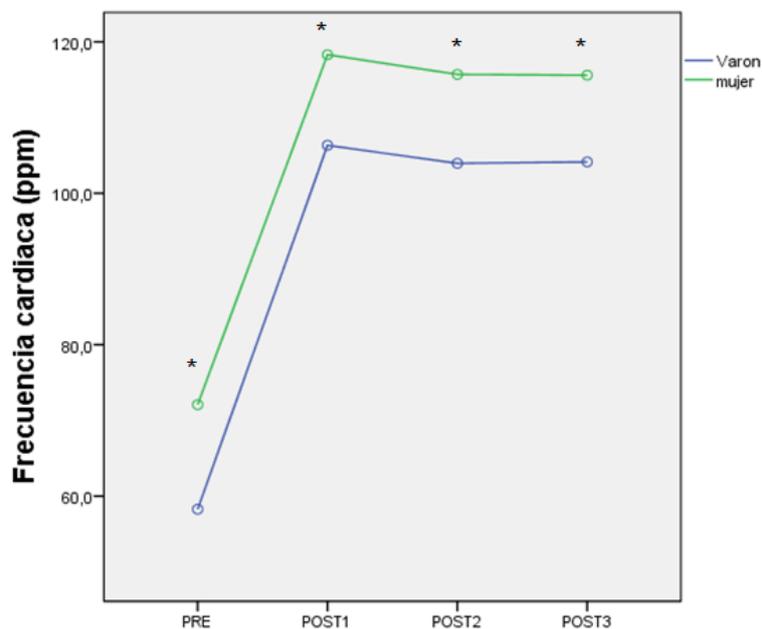
En la figura 2 podemos ver que existe diferencias significativas entre hombres y mujeres en la evolución de la PAS ( $p=0,032$ ). Además existen diferencias significativas en las medidas PRE, POST1 y POST 2 ( $p<0,05$  en todas las medidas), siendo los hombres los que obtienen valores más altos en la PAS en todos los casos. Estas diferencias significativas se pierde en todas las medidas POST, cuando incluimos el  $VO_2\text{max}$  y el tiempo en alcanzar el RER=1 como covariables. Estas diferencias también desaparecen cuando comparamos los Deltas de la PAS en los tiempos PRE, POST1, POST2 y POST3 ( $p>0,05$  en todos los casos).

También se analizaron los valores obtenidos en las medidas de PAD y la PAM, pero no se obtuvieron diferencias significativas entre hombres y mujeres ( $p>0,05$ ).



**Figura 2.** Cambios en la PAS post-ejercicio.

En cuanto a los cambios en la FC post-ejercicio, podemos ver su evolución en la figura 3. Existe diferencias significativas en los valores de FC entre hombres y mujeres ( $p=0,003$ ), siendo las mujeres las que alcanzan mayores cifras de FC en todas las medidas. Estas diferencias también existen en las medidas PRE, POST 1, POST 2 y POST 3 ( $p<0,05$  en todas ellas), manteniéndose incluso cuando ajustamos por  $VO_2\max$  y tiempo en alcanzar el  $RER=1$  ( $p<0,05$ ).



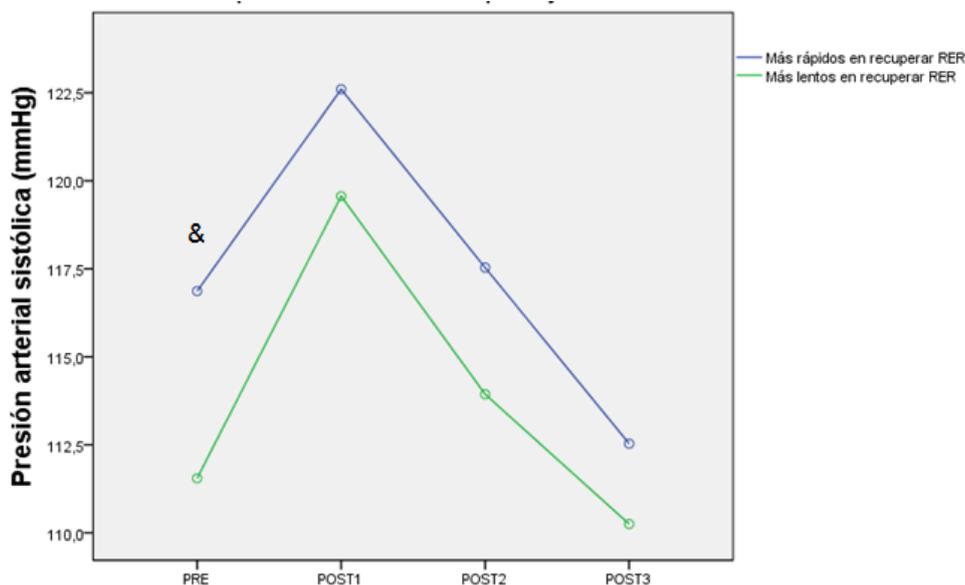
**Figura 3.** Cambios en la FC post-ejercicio.

### Diferencias entre grupos “Rápidos vs Lentos” en la recuperación del RER

Los participantes que tardan más en recuperar RER presentan valores incrementados en el RER durante el ejercicio, así como el RER durante la recuperación ( $p < 0,05$  en ambos) a pesar de que no hubo diferencias en la intensidad máxima alcanzada en el test, medido en vatios y en la FC máxima ( $p > 0,05$  en ambos). Es decir, que a pesar de llegar a los mismos vatios y a la misma frecuencia cardíaca máxima, la respuesta del RER es diferente en los dos grupos. Además, ambos grupos alcanzaron valores similares de  $VO_2\max$ , tanto en valores absolutos como en valores relativos al peso.

Interesantemente, a nivel de reposo antes de empezar el ejercicio (medida PRE), los voluntarios que recuperaban antes el RER tienden a tener un 5% más de PAS (p valor=0.06), pero no diastólica ( $p=0.97$ ), y tampoco FC ( $p=0.97$ ). Tras ajustar por edad y sexo la PAS en reposo es mayor en el grupo que recupera antes frente a los que recuperan más lento el RER ( $p=0.003$ ).

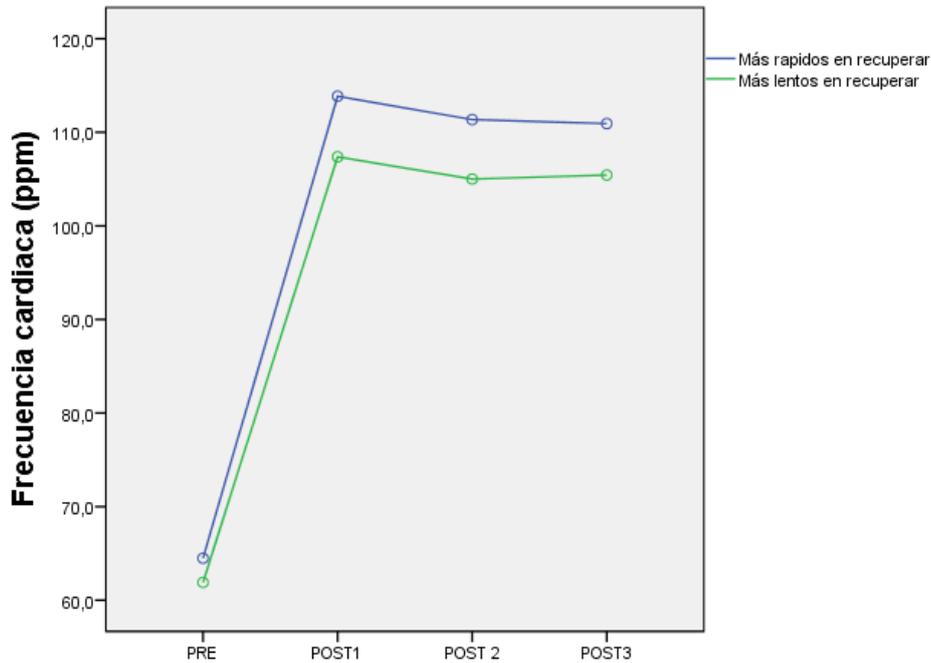
En la figura 4 podemos ver las diferencias en la PAS entre los participantes que tardan más tiempo y los que tardan menos tiempo en recuperar el RER=1. Aunque los voluntarios que son más rápidos en recuperar el RER=1, en todas las mediciones tienen valores más altos en la PAS, estas diferencias no son significativas ( $p=0,219$ ), tampoco existen diferencias significativas entre las medidas PRE, POST1, POST2 y POST3, excepto cuando ajustamos por sexo, que aparecen diferencias significativas en la medida PRE entre ambos grupos ( $p=0,023$ ).



**Figura 4.** Cambios en la PAS post-ejercicio.

Tampoco existen diferencias significativas en la PAD y la PAM entre los participantes que recuperan más rápido y los que recuperan más lentos el RER=1, tampoco existía diferencias cuando incluíamos el  $VO_2\max$ , el sexo, el IMC o la edad como covariables ( $p > 0,05$  en todos los casos)

A pesar de que los voluntarios más rápidos en recuperar el RER en todas las medidas tienen valores más altos de FC, no existen diferencias significativas en ninguno de los tiempos ( $p=0,217$ ) entre grupos (Figura 5).



**Figura 5.** Cambios en la FC post-ejercicio.

A su vez, existe una correlación directa entre el RER máximo tanto el alcanzado durante el ejercicio, como en la recuperación, con el tiempo de recuperación necesitado para establecer un valor de RER=1 ( $r=0,412$ ,  $p=0.014$ ;  $r=0,756$ ,  $p<0.001$ ; respectivamente).

*Diferencias en presión arterial entre grupos percentil 50 de IMC, edad, VO<sub>2</sub>max y FC de reposo*

A continuación se exponen los resultados al separar todos los participantes en dos grupos (percentil50), con respecto al IMC, la edad, el VO<sub>2</sub>max y la FC de reposo, por los que nos quedamos con los que tenían valores más altos y más bajos de cada variable. A continuación, buscamos diferencias significativas entre grupos para todas las medidas de PA analizadas (tabla 2), pero en ninguno de los casos se encontraron diferencias ( $p>0,05$  en todos los casos).

**Tabla 2.** Valores de la p valor al comparar las diferencias entre la PA y los participantes con mayor y menor IMC, edad, VO<sub>2</sub>max y FC de reposo.

Variable	PAS PRE	PAS POST	PAD PRE	PAD POST	MPA PRE	MPA POST
Grupos por IMC	0,162	0,401	0,606	0,450	0,263	0,334
Grupos por edad	0,258	0,252	0,685	0,719	0,779	0,748
Grupos por VO <sub>2</sub> max	0,057	0,79	0,849	0,605	0,407	0,612
Grupos por FCr	0,567	0,67	0,31	0,257	0,286	0,307

Abreviaturas: IMC, índice de masa corporal; FCr, frecuencia cardiaca de reposo; VO<sub>2</sub>max, consumo de oxígeno máximo.

## 5. DISCUSIÓN

Tras analizar las diferencias en la recuperación de la FC y la PA (PAS, PAD y PAM) entre hombres y mujeres, y entre los participantes que alcanzan más rápido y más lento el RER=1 durante la recuperación, nuestros hallazgos muestran que los hombres presentan mayores cifras de PAS durante la recuperación con respecto a las mujeres, aunque estas diferencias desaparecían cuando se realizaba con los deltas de la PAS. Tampoco existían diferencias en la PA cuando teníamos en cuenta los participantes que alcanzaban más rápido y más lento el RER=1. En cuanto a la FC, se obtuvo diferencias entre los participantes que alcanzan más rápido y más lento el RER=1 durante la recuperación, siendo los más rápidos los que tienen mayores cifras de FC. También hubo diferencias entre hombres y mujeres, siendo éstas últimas las que obtenían valores más altos de FC.

Se ha descrito previamente que la recuperación de la PAS se relaciona positivamente con la FC en reposo en ambos sexos<sup>12</sup>. Se cree que estos cambios se deben a cambios en la resistencia vascular periférica<sup>2</sup>, a la actividad simpática y parasimpática<sup>27</sup> o al sistema barorreflejo<sup>35</sup>, aunque estos mecanismos aún nos están claramente definidos<sup>31</sup>. En nuestros resultados, no encontramos una correlación significativa entre la recuperación de la PA y la FC de reposo entre ambos sexos. Este hecho probablemente se deba a la homogeneidad de la muestra analizada, mientras Dimka (2010)<sup>12</sup>, en su investigación, además de tener una muestra más amplia, tenía una muestra mucho más heterogénea, formada por hombres y mujeres entre 18 y 66 años, entre los que se encontraban desde sujetos inactivos a sujetos altamente activos.

Datos de una investigación reciente<sup>27</sup>, asocian la recuperación de la PAS post-ejercicio, con un mayor nivel de condición física (medido mediante el  $VO_2\max$ ); mientras que una mala recuperación de la PAS se asociaba con mayor riesgo de ECV. En el presente estudio los niveles de  $VO_2\max$ , no se asociaron con las mediciones de PA de los voluntarios participantes en el estudio. Esto tal vez se haya producido, porque la media del  $VO_2\max$  de nuestros participantes es bastante buena ( $49,6\pm 9$   $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$  para hombres y  $40,5\pm 5,39$   $ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$  para mujeres)<sup>19</sup>.

La existencia de los estudios que relacionan la obesidad y el sobrepeso con la recuperación de la PA post-ejercicio es escasa<sup>12</sup>. Aunque estudios anteriores, han mostrado que el tejido adiposo y la distribución de éste, está estrechamente relacionado con el riesgo de padecer diabetes, hiperlipidemias HTA y otras ECV<sup>21, 36</sup>. En nuestro caso tampoco encontramos diferencias entre los participantes que tenían un mayor o un menor IMC en ninguna de las medidas analizadas de la PA post-ejercicio, pudiéndose encontrar la razón, en que la mayoría de los participantes en el estudio, tenían un IMC en estado de normopeso de  $22,9\pm 2,3$   $kg/m^2$ , aunque encontramos dentro de nuestra muestra personas con un IMC por encima de  $30$   $kg/m^2$ . Esto nos hace indicar, que el IMC al igual que el  $VO_2\max$ , podrían estar afectando a la respuesta post-ejercicio de la tensión arterial si midiéramos a todos en el mismo momento la tensión arterial. Sin embargo, nuestra muestra dependía de cada recuperación individual, ya que algunos recuperaron muy pronto el RER hasta 1 (2 minutos aproximadamente), mientras otros tardaron más (6 minutos aproximadamente). Por tanto, podemos concluir que la recuperación ventilatoria parece ser determinante en la respuesta de la PA post-ejercicio, ya que el grupo que recuperó rápido mostraba una recuperación de la PA similar al grupo lento.

Por otro lado, se ha demostrado que una mala recuperación de la FC tras el primer minuto puede ser un reflejo de una disminución la actividad vagal, la cual es un potente predictor de mortalidad general<sup>9</sup>, además también se asocia con un aumento de resistencia a la insulina y la proteína C-reactiva<sup>24</sup>, mayor IMC<sup>30</sup> y una respuesta hipertensiva de la PA durante el ejercicio<sup>14</sup>. En nuestros hallazgos se encontraron diferencias destacadas entre hombres y mujeres en la recuperación de FC un minuto después de alcanzar un RER igual a 1,0 tras la prueba de esfuerzo, siendo las mujeres las que tienen valores más altos de FC durante la recuperación. **Esto puede ser debido a la diferencia de género desde reposo en la frecuencia cardiaca, confirmandose al comparar los deltas de FC, sin encontrar ninguna diferencia entre grupos, y demostrando que tiene un comportamiento similar en la recuperación post-ejercicio.** En cuanto a los grupos que recuperan más rápido y más lento el RER=1, tampoco existen diferencias significativas entre ambos grupos para la FC de reposo ni durante la recuperación.

El principal propósito de este estudio ha sido analizar si la recuperación del RER, se asocia también con la recuperación de la PA y de la FC; debido a la escasez de investigaciones que aborden este tema y la importancia que tienen los valores de PA y FC durante la recuperación post-ejercicio. Nuestros resultados muestra una correlación directa entre el RER máximo tanto el alcanzado durante el ejercicio, como en la recuperación, con el tiempo de recuperación necesitado para establecer un valor de RER=1, lo cual parece lógico que los voluntarios que alcanzan mayores niveles de RER durante la prueba de esfuerzo y la recuperación, necesiten más tiempo para recuperar el RER=1. Por otro lado no se han presentado diferencias significativas en las medidas de PA (PAS, PAD y PAM) y FC entre los sujetos que tardan más y los que tardan menos en recuperar el RER=1 tras la actividad. Estos hallazgos nos pueden estar indicando que una vez que se recupera el coeficiente respiratorio RER de la actividad física, nuestro sistema cardiovascular ya esté recuperado (medido mediante las medidas de PA y FC) de la actividad en adultos jóvenes aparentemente sanos.

#### Líneas de investigación futuras

Sería interesante en estudios posteriores que se tenga en cuenta el RER, PA y FC, estudiando la evolución de los 3 parámetros desde el momento que se alcanza el VO<sub>2</sub>max durante la prueba de esfuerzo, para analizar minuciosamente como se recuperan los tres parámetros y desde el primer momento. Por otro lado, se pretende reclutar para un futuro estudio a personas más heterogéneas, para poder tener una variabilidad adecuada en cuanto a condición física, nivel de actividad física, composición corporal y especialmente de tensión arterial, temática de este trabajo.

En el ámbito clínico, también sería interesante añadir el análisis de la evolución del RER, en personas con enfermedades respiratorias como asma o enfermedad obstructiva crónica.

#### Limitaciones del estudio

En cuanto a las limitaciones del estudio, la principal ha sido el tamaño muestral (37 personas). La proporción de mujeres también es muy reducida (tan solo 10) y por último la muestra ha sido muy homogénea, ya que todos los voluntarios pertenecían a los

diferentes cursos del Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, y por tanto podrían estar sesgando nuestros resultados.

Por otro lado, no tuvimos en cuenta ni el nivel de actividad física ni la dieta de los participantes, factores que se han asociado previamente a las cifras de PA<sup>8, 34</sup>. No obstante, estas variables están disponibles en el proyecto NutAF, proyecto al cual pertenece este estudio, habiéndose registrado la actividad física tanto de manera objetiva (acelerometría) como subjetiva (cuestionario internacional de actividad física “IPAQ”) y la dieta utilizando un registro dietético de 5 días. Por lo tanto, una vez que se finalice la exportación y análisis de estos registros, podremos examinar el papel que juegan estas dos variables en la PA de la muestra analizada.

## **6. CONCLUSIONES**

Tras analizar las diferencias entre género en la recuperación de las medidas de PA (PAS, PAD y PAM), RER y FC post-ejercicio, no se han encontrado diferencias en la evolución de las medidas de PA tras el ejercicio, ni en las medidas de FC entre hombres y mujeres. Tampoco se encontraron diferencias entre los grupos que presentaban más o menos IMC, edad, VO<sub>2</sub>max y FC de reposo con respecto a las medidas de PA. En cambio sí que se encontraron diferencias significativas en el tiempo en recuperar el RER=1 tras la prueba de esfuerzo, siendo las mujeres las que necesitaban más tiempo.

En cuanto a las diferencias en las medidas de PA y FC para los grupos que necesitaban más y menos tiempo en recuperar el RER=1, tampoco se encontraron diferencias significativas en la muestra analizada, pudiéndonos indicar, que cuando se recupera el coeficiente respiratorio del proceso de anaerobiosis tras el ejercicio, ya se ha recuperado el sistema cardiovascular, medidos a través de la PA y FC. Sería interesante para futuras investigaciones analizar la recuperación del RER, la FC y la PA en una muestra más heterogénea, para poder identificar las diferencias en la recuperación en diferentes perfiles de población y poder identificar los mecanismos que producen estos cambios.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34(1): 92–7.
2. Adams KJ. Exercise physiology. ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins. 2014; 57–8.
3. Ara I, Larsen S, Stallknecht B, Guerra B, Morales-Alamo D, Andersen JL, et al. Normal mitochondrial function and increased fat oxidation capacity in leg and arm muscles in obese humans. *Int J Obes.* 2011; 35(1): 99–108.
4. Arboleda-Serna VH, Vélez EF, Gómez-Arias RD, Feito Y. Effects of a high intensity interval training program versus a moderate-intensity continuous training program on maximal oxygen uptake and blood pressure in healthy adults: study protocol for a randomized controlled trial. *BioMed Central.* 2016; 17: 413.
5. Akpolat T, Erdem E, Aydogdu T. Validation of the Omron M3 Intellisense (HEM-7051-E) Upper Arm Blood Pressure Monitor, for Self-Measurement, according to the European Society of Hypertension International Protocol Revision 2010 in a Stage 3–5 Chronic Kidney Disease Population. 2012; 35: 82-88.
6. Baker JL, Olsen LW, Sørensen TIA. Childhood body-mass index and the risk of coronary heart disease in adulthood. *N Engl J Med.* 2007; 357: 2329-2337.
7. Blair SN, Kampert JB, Kohl HW, Barlow CE, Macera CA, Gibbons LB. Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *JAMA.* 1996; 276(3): 205–10.
8. Chang HJ, Chung J, Choi SY, Yoon MH, Hwang GS, Shin JH, et al. Endothelial dysfunction in patients with exaggerated blood pressure response during treadmill test. *Clin Cardiol.* 2004; 27: 421–425.
9. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *The New England of Medicine.* 2016; 341 (18): 1351.
10. Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L. Best Practice Methods to Apply to Measurement of Resting Metabolic Rate in Adults: A Systematic Review. *J Am Diet Assoc.* 2006; 106(6): 881–903.
11. Daviglius ML, Pirzada A, Durazo-Arvizu R, Chen J, Allison M et al. Prevalence of Low Cardiovascular Risk Profile Among Diverse Hispanic/Latino Adults in the United States by Age, Sex, and Level of Acculturation: The Hispanic Community Health Study/Study of Latinos. *Journal of the American Heart Association.* 2016; 5(8).
12. Dimka U, Ugwu AC. Independent multiple correlates of post-exercise systolic blood pressure recovery in healthy adults. *Int J Exe Sci.* 2010; 3(1): 25-35.
13. Dimka U, Ugwu AC. Aged-related differences in systolic blood pressure recovery after a maximal effort exercise test in non-athletic adults. *Int J Exerc Sci.* 2008; 1(4): 142-152.
14. Dogan U, Duzenli MA, Ozdemir K, Gok H. Blunted heart rate recovery is associated with exaggerated blood pressure response during exercise testing. *Heart and Vessels.* 2013; 28(6): 750-756.
15. Everson SA, Kaplan GA, Goldberg DE, Salonen JT. Anticipatory blood pressure response to exercise predicts future high blood pressure in middle-aged men. *Hypertension.* 1996; 27:1059–1064.

16. Farah R, Shurtz-Swirski R, Nicola M. High blood pressure response to stress ergometry could predict future hypertension. *Eur J Intern Med.* 2009; 20:366–368.
17. Franks PW, Hanson RL, Knowler WC, Sievers ML, Bennett PH, Looker HC. Childhood obesity, other cardiovascular risk factors, and premature death. *N Engl J Med.* 2010; 362: 485-49.
18. Hashimoto M, Okamoto M, Yamagata T, Yamane T, Watanabe M et al. Abnormal systolic blood pressure response during exercise recovery in patients with angine pectoris. *JACC.* 1993; 22(3): 659-664.
19. Herdy AH, Caixeta A. Brazilian Cardiorespiratory Fitness Classification Based on Maximum Oxygen Consumption. *Arq Bras Cardiol.* 2016; 106(5): 389-395.
20. Jae SY, Fernhall B, Heffernan KS, Kang M, Lee MK, Choi YH, et al. Exaggerated blood pressure response to exercise is associated with carotid atherosclerosis in apparently healthy men. *J Hypertens.* 2006; 24: 881–887.
21. Jousilahti P, Toumilehto J, Vartiainen E, Pekkanen J, Puska P. Body weight, cardiovascular risk factors, and coronary mortality. 15 year follow - up of middleaged men and women in Eastern Finland. *Circulation.* 1996; 93:1372-1379.
22. Juonala M, Magnussen CG, Berenson GS, Venn A, Burns TL, Sabin MA, et al. Childhood adiposity, adult adiposity, and cardiovascular risk factors. *N Engl J Med.* 2011; 365: 1876-1885.
23. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. Adaptations to aerobic and anaerobic training. *Physiology of sport and exercise. Human Kinetics.* 2015; 261–90.
24. Kuo HS, Gore JM. Relation of heart rate recovery after exercise to insulin resistance and chronic inflammation in otherwise healthy adolescents and adults: results from the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 1999-2004. *Clinical Research in Cardiology.* 2015; 104(9):764-772.
25. Kurl S, Laukkanen JA, Rauramaa R, Lakka TA, Sivenius J, Salonen JJ. Systolic blood pressure response to exercise stress test and risk of stroke. *Stroke.* 2001; 32: 2036-2041.
26. Laukkanen JA, Mäkikallio TH, Rauramaa R, Kiviniemi V, Ronkainen K, Kurl S. Cardiorespiratory Fitness Is Related to the Risk of Sudden Cardiac Death A Population-Based Follow-Up Study. *Journal of the American College of Cardiology.* 2010; 56(18).
27. Laukkanen JA, Kurl S, Salonen R, Lakka TA, Rauramaa R, Salonen JT. Systolic blood pressure during recovery from exercise and the risk of acute myocardial infarction in middle aged men. *Hypertension.* 2004; 44: 820-825.
28. Li K, Chonghua Y, Yang X, Di X, Li N et al. Body Mass Index and the Risk of Cardiovascular and All-Cause Mortality Among Patients With Hypertension: A Population-Based Prospective Cohort Study Among Adults in Beijing, China. *J Epidemiol.* 2016.
29. Lima SG, Hatagima A, Silva NL. Renin-angiotensin system: is it possible to identify hypertension susceptibility genes? *Arq Bras Cardiol.* 2007; 89: 427–433.
30. Lins TC, Valente LM, Sobral-Filho DC, Silva OB. Relation between heart rate recovery after exercise testing and body mass index. *Portuguese Journal of Cardiology.* 2015; 34 (1): 27-33.
31. Millar PJ, McGowan CL, Swaine IL. Evidence for the Role of Isometric Exercise Training in Reducing Blood Pressure: Potential Mechanisms and Future Directions. *2014; 345–356.*
32. Miyai N, Arita M, Miyashita K, Morioka I, Shiraishi T, Nishio I. Blood pressure response to heart rate during exercise test and risk of future hypertension. *Hypertension.* 2002; 39: 761–766.

33. Mosca L, Barrett-Connor E, Kass Wenger N. Sex/gender differences in cardiovascular disease prevention: what a difference a decade makes. *Circulation*. 2011; 124: 2145–2154.
34. Ndanuko RN, Tapsell LC, Charlton KE, Neale EP, Batterham MJ. Dietary Patterns and Blood Pressure in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Adv Nutri*. 2016; 7 (1): 76-89.
35. Raven PB, Potts JT, Shi X. Baroreflex regulation of blood pressure during dynamic exercise in humans. *Exerc Sport Sci Rev*. 1997; 25: 365-389.
36. Sakurai M, Miura K, Takamura T, Ota T, Ishizaki M, Morikawa Y, et al. Gender differences in the association between anthropometric indices of obesity and blood pressure in Japanese. *Hypertension*. 2006; 29: 75-80.
37. Park MH, Falconer C, Viner RM, Kinra S. The impact of childhood obesity on morbidity and mortality in adulthood: a systematic review. *Obes Rev*. 2012; 13: 985-1000.
38. Williams HL, BL Willis, Barlow CE, CE Finley, Levine BD, Cooper KH. La actividad física en comparación con la capacidad cardiorrespiratoria: dos (parcialmente) los distintos componentes de la salud cardiovascular? *Prog Cardiovascular Dis*. 2015; 57 : 324-329.
39. Zaukkanen JA, Kurl S, Rauramaa R, Salomen JT. The predictive value of cardiorespiratory fitness for cardiovascular events in men with various risk profiles: a prospective population-based cohort study. *Eur Heart J*. 2004; 25(16): 1428-1437.