



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## **Respuesta cardiovascular durante el ejercicio submáximo: análisis de la asociación con el entrenamiento crónico (capacidad aeróbica) y la actividad física semanal**

### **Estudio observacional descriptivo en Montevideo, Uruguay, 2023.**

Bres. Manuel Ignacio Altuna <sup>1</sup>, Diego Martín Britos <sup>1</sup>, Gonzalo Gabriel Cadimar <sup>1</sup>, Matías Fermín Castro <sup>1</sup>, Rodrigo Bruno Coelho <sup>1</sup>, Juan Pablo D' Angelo <sup>1</sup>, Prof. Agdo. Dr. Daniel Bia <sup>2</sup>, Prof. Adj. Dr. Yanina Zócalo <sup>2</sup>

Integrantes del laboratorio LIEBRE que participaron del trabajo: Asist., Lic., Analía Acuña <sup>3</sup>, Asist., Lic., Adela Castro <sup>3</sup>, Dr. Pedro Chiesa <sup>5</sup>, Prof. Agdo. Dr. Andrés García-Bayce <sup>6</sup>, Asist., M.Sc., Mariana Gómez <sup>3</sup>, Prof. Agdo., Dr. Carlos Magallanes <sup>3</sup>, Asist., Dr. Santiago Rivoir <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ciclo de Metodología Científica II 2023 - Facultad de Medicina - Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

<sup>2</sup> Departamento de Fisiología - Facultad de Medicina - Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

<sup>3</sup> Instituto Superior de Educación Física, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

<sup>4</sup> Departamento de Medicina del Ejercicio y Deporte, Hospital de Clínicas, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

<sup>5</sup> Servicio de Cardiología Pediátrica, Centro Hospitalario Pereira-Rossell (CHPR), Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE) - Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

<sup>6</sup> Departamento de Imagenología, CHPR, Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE) - Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Núcleo Interdisciplinario CUiiDARTE y Laboratorio de Investigación y Evaluación Biomédica en Reposo y Ejercicio (LIEBRE), Universidad de la República.

Ciclo de Metodología Científica II, 2023

Grupo 13.

## Contenido

---

---

Índice de Figuras .....	3
Resumen .....	4
Abstract.....	5
Introducción.....	6
Objetivo general.....	8
Objetivo específico.....	8
Metodología.....	8
Personas incluidas en el estudio .....	8
Entrevista y mediciones antropométricas .....	9
Actividad física semanal.....	9
Estudio ergoespirométrico: respuesta cardiovascular y capacidad máxima cardio-respiratoria.....	10
Análisis de datos .....	13
Resultados.....	14
Características de las personas evaluadas.....	14
Asociación entre cambios cardiovasculares submáximos y nivel de entrenamiento .....	15
Asociación entre cambios cardiovasculares submáximos y actividad física semanal .....	16
Discusión .....	18
Principales resultados .....	18
Limitaciones y fortalezas.....	19
Conclusiones .....	20
Referencias bibliográficas .....	20
Agradecimientos.....	22
Anexos.....	22

## Índice de Figuras

---

**Figura 1.** Relación entre ventilación pulmonar minuto (VE) y carga (esfuerzo) realizada en una prueba en cicloergómetro, empleando test de rampa. Ver página 7.

**Figura 2.** Imágenes que ilustran los dispositivos y equipos empleados durante los registros cardiovasculares y ergoespirométricos en reposo pre-ejercicio (izquierda) y en ejercicio (derecha), obtenidos en el LIEBRE. Ver página 11.

**Figura 3.** Variables derivadas directamente del analizador de gases, o a partir de cálculos (derivadas primaria o secundariamente), cuando se realiza una prueba ergoespirométrica en cicloergómetro. Ver página 12.

## Resumen

---

**Antecedentes:** Durante el ejercicio físico las demandas metabólicas aumentan, requiriéndose una adecuada respuesta cardiovascular para realizar actividades de mayor intensidad y/o duración. El análisis integrado de variables cardiovasculares y ergoespirométricas en el ejercicio permite conocer la respuesta a la actividad, y determinar la capacidad de realizar ejercicio. Un estudio 'máximo' incremental, continuo, en rampa, permite identificar 'momentos' del ejercicio sub-máximos (ej. umbrales ventilatorios 1 y 2 [VT1, VT2]) y máximos (ej. consumo de oxígeno pico [VO2pico]), en los que se evidencia la puesta en marcha de distintos componentes o mecanismos de respuesta (y/o compensadores), o se alcanza la máxima capacidad de ejercicio, respectivamente. El principal indicador la capacidad aeróbica es el VO2 máximo (o el pico en prueba máxima), pero frecuentemente no puede medirse. En estos casos, el análisis de variables en VT1 y VT2 podría servir para evaluar la respuesta cardiovascular y la capacidad de realizar ejercicio. Se desconoce si el nivel de actividad física/semana o de entrenamiento asocia respuestas cardiovasculares diferenciales durante actividad sub-máxima.

**Objetivo:** Caracterizar si el nivel de entrenamiento o de actividad física/semana asocian respuestas cardiovasculares diferentes al alcanzarse VT1 y VT2.

**Métodos:** En 178 adultos saludables (99 hombres; 18-55 años) se evaluaron cambios cardiovasculares (volumen sistólico, gasto cardíaco, frecuencia cardíaca, presión arterial) al pasar del reposo pre-ejercicio a VT1 o VT2, durante un test ergoespirométrico máximo. El VO2pico se empleó como indicador de nivel de entrenamiento. La actividad física semanal se caracterizó por autor reporte (Formulario IPAQ).

**Resultados:** Mayor cambio absoluto y relativo cardiovascular entre reposo y VT1 (y VT2) se asoció a (i) mayor VO2pico/Kg, y (ii) mayor tiempo/semana de actividad física "vigorosa" o "moderada".

**Conclusiones:** Los cambios cardiovasculares evidenciados entre similares estados metabólicos al realizar ejercicio físico se relacionan con el nivel de entrenamiento y/o minutos/semana de actividad física vigorosa o moderada.

**Palabras claves:** Actividad física semanal; Ejercicio sub-máximo; Entrenamiento; Ergoespirometría; Respuesta cardio-respiratoria; Umbrales ventilatorios.

## Abstract

---

**Background:** During physical exercise metabolic demands increase, requiring an adequate cardiovascular response to perform activities of greater intensity and/or duration. The integrated analysis of cardiovascular and ergospirometric variables in exercise allows to know the response to the activity, and to determine the capacity to exercise. A maximal incremental, continuous, ramp study allows the identification of submaximal (e.g. ventilatory thresholds 1 and 2 [VT1, VT2]) and maximal (e.g. peak oxygen consumption [VO<sub>2</sub>peak]) exercise moments, in which different components or response mechanisms (and/or compensators) are evidenced, or the maximum exercise capacity is reached, respectively. The main indicator of aerobic capacity is VO<sub>2</sub>max (or peak in maximal test), but it often cannot be measured. In these cases, analysis of variables at VT1 and VT2 could be used to assess cardiovascular response and exercise capacity. It is not known whether the level of physical activity/week or training is associated with differential cardiovascular responses during submaximal activity.

**Aims:** To characterize whether the level of training or physical activity/week is associated with different cardiovascular responses upon reaching VT1 and VT2.

**Methods:** In 178 healthy adults (99 men; 18-55 years) cardiovascular changes (systolic volume, cardiac output, heart rate, and blood pressure) were evaluated when going from pre-exercise rest to VT1 or VT2, during a maximal, continuous (ramp) ergospirometric test. VO<sub>2</sub>peak was used as an indicator of chronic cardio-respiratory training level. Weekly physical activity was characterized by self-report (Form IPAQ).

**Results:** Greater absolute and relative cardiovascular change between rest and VT1 (and VT2) was associated with (i) greater VO<sub>2</sub>peak/kg, and (ii) greater time/week of "vigorous" or "moderate" physical activity.

**Conclusions:** The cardiovascular changes evidenced between similar sub-maximal (VT1 and VT2) metabolic states upon physical exercise are related to the level of training and/or minutes/week of vigorous or moderate physical activity.

**Keywords:** Weekly physical activity; Submaximal exercise; Training; Ergospirometry; Cardio-respiratory response; Ventilatory thresholds; Vigorous or moderate.

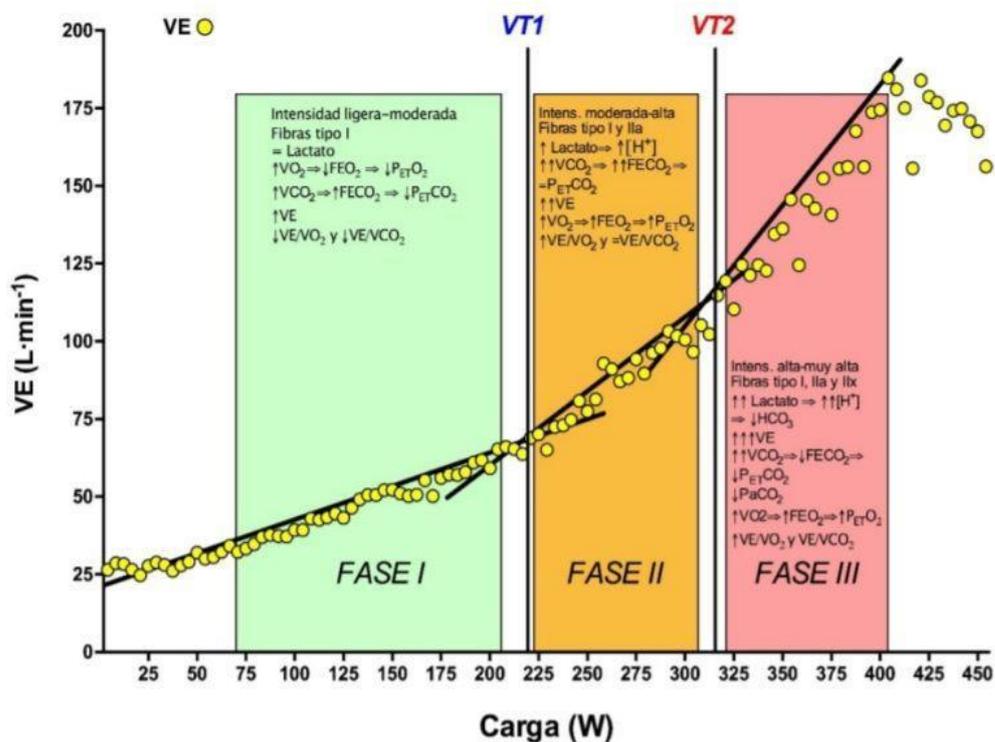
## Introducción

---

Durante la realización de ejercicio físico incremental en bicicleta las demandas metabólicas aumentan, requiriéndose una adecuada respuesta cardiovascular, para asegurar flujo sanguíneo ajustado a las necesidades tisulares crecientes, y para mantener el estado del medio interno, de manera que sea posible continuar realizando la actividad (Chicharro y col., 2001). Entre los principales cambios cardiovasculares se encuentra el aumento de la presión arterial sistólica braquial, de la frecuencia cardíaca, del volumen eyectado en cada latido y del gasto cardíaco. Sin embargo, estos cambios no se presentan de igual manera en todas las personas. Las personas crónicamente entrenadas (ej. deportistas) poseen diferentes adaptaciones cardio-respiratorias que les confieren una mejor respuesta al ejercicio físico máximo. Esto es así, ya que la actividad física regular (entrenamiento) asocia cambios en capacidad de respuesta máxima (eleva el consumo de oxígeno máximo o pico), en buena medida por una mayor capacidad de respuesta cardiovascular central (Wasserman y col., 2020). Entre estos cambios, se encuentra una mayor capacidad de incrementar el volumen eyectado y gasto cardíaco frente al esfuerzo, lo que les confiere una mayor capacidad de hacer que el flujo sanguíneo (transportando oxígeno) llegue a los tejidos cuando se alcanzan paulatinamente muy elevados (máximos) niveles de exigencias metabólicas (Bentley y col. 2019). Sin embargo, resta identificar en qué medida el entrenamiento (cambios crónicos adaptativos) y/o la actividad física que la persona realiza habitualmente, podría generar respuestas cardiovasculares diferenciales frente a la realización de ejercicios sub-máximos. En otras palabras, resta identificar si en niveles de ejercicio físico leve, moderado o intenso, pero siempre "submáximo", el entrenamiento o el nivel de actividad física que la persona realiza habitualmente se asocia con diferencias en la respuesta cardiovascular al ejercicio.

Al realizar una prueba "de laboratorio", en el que la persona realiza actividad física en bicicleta (cicloergómetro), con una intensidad (carga) gradualmente creciente ("protocolo en rampa"), es posible medir "respiración-a-respiración" y/o "latido-a-latido" los cambios en diversas variables ventilatorias, metabólicas, y cardiovasculares (ej. frecuencia ventilatoria, ventilación minuto, consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca, volumen sistólico, presión arterial) que se van generando a medida que va aumentando la carga (en Watts) de trabajo (Wasserman y col., 2020). Conocer y analizar integralmente los cambios en esas variables, permite analizar y caracterizar la respuesta (y las adaptaciones) a la actividad física que se realiza, determinar la capacidad de ejercitarse que tiene el sujeto evaluado y al mismo tiempo clasificar, en forma precisa e individualizada, la intensidad que la actividad representa (ej. en zonas y sub-zonas de intensidad ligera-moderada, moderada-alta y alta-muy alta o vigorosa) (Figura 1) (Wasserman y col., 2020). Esquemáticamente, al irse

incrementando la carga de trabajo que va realizando la persona, es posible identificar dos "momentos" en que la puesta en marcha de diferentes respuestas o mecanismos compensatorios (homeostáticos) es identificable o evidente.



**Figura 1.** Relación observada entre la ventilación pulmonar (VE) y la carga (en watts) durante una prueba ergoespiométrica, en la que se emplea un test de rampa. Las diferentes fases o estadios ("intensidad ligera-moderada" (Fase I), "intensidad moderada-alta" (Fase II) e "intensidad alta-muy alta" (Fase III), se delimitan por los umbrales ventilatorios (VT1 y VT2), identificados (entre otros criterios) por los cambios de pendiente de la relación VE/Carga. Imagen obtenida de: [https://www.sportlife.es/entrenar/mejora-tu-forma-con-modelo-trifasico\\_211660\\_102.html](https://www.sportlife.es/entrenar/mejora-tu-forma-con-modelo-trifasico_211660_102.html)

Esos dos estadios metabólicos, denominados umbrales ventilatorios (VT, por su denominación en inglés "Ventilatory Threshold") uno y dos (VT1 y VT2), son relativamente sencillos de identificar durante la actividad física de intensidad creciente (en rampa), a través de criterios que conllevan el análisis de gráficos que integran diferentes variables registradas (o calculadas) durante la prueba ergoespiométrica (MacIntosh y col., 2021). En la primera fase, la carga de esfuerzo es de baja intensidad para el sujeto que se ejercita, siendo la fuente energética predominante las grasas, y por tanto la vía aeróbica es la principal vía energética. A medida que progresa el ejercicio (aumenta intensidad), comienza a aumentar la contribución de otros sustratos y vías energéticas, que resultan en diferentes respuestas ventilatorias, las que permiten identificar los referidos umbrales. Así, VT1 traduce el "momento" de inicio de la fase de predominio aeróbico/anaeróbico, en la que la actividad glucolítica (aeróbica y anaeróbica) tiene un rol predominante, mientras que al alcanzarse VT2, se

inicia la fase de inestabilidad metabólica, con predominio de la glucólisis anaeróbica (Wasserman, 2020). Por ser VT1 y VT2 dos 'momentos o estadios', relativamente fáciles de determinar, y que desde el punto de vista fisiológico representan un "momento o estadio" metabólico similar para cualquier persona, y con independencia del nivel de entrenamiento crónico, es que en este trabajo se emplearon como 'marcadores o umbrales', de dos diferentes niveles (equiparables en todas las personas) de intensidad física sub-máxima (MacIntosh y col., 2021). Si bien estas definiciones pueden variar con la literatura considerada, VT1 se considera la transición de una actividad física de intensidad "ligera-moderada hacia moderada-alta", y VT2 como la transición de una intensidad "moderada-alta hacia alta-muy alta", es decir, niveles de intensidad siempre por debajo del máximo que puede alcanzar la persona (Figura 1).

En este contexto, en el presente trabajo se buscó identificar en qué medida las respuestas (cambios absolutos o relativos) cardiovasculares de personas adultas saludables difieren en la etapas de ejercicio sub-máximo (más precisamente al alcanzarse VT1 y VT2), en relación con sus niveles de entrenamiento (respuesta crónica, adaptativa) o con los niveles de actividad física semanal que desarrolla (auto reporte).

## Objetivo general

---

---

Caracterizar si el nivel de entrenamiento aeróbico o la actividad física semanal asocian cambios en la capacidad de respuesta cardiovascular durante ejercicio físico aeróbico de intensidad sub-máxima.

## Objetivo específico

---

---

Caracterizar si los cambios absolutos y relativos en variables cardiovasculares ocurridos durante diferentes intensidades de ejercicio sub-máximo (en VT1 y VT2), se encuentran asociados:

- (i) al nivel de entrenamiento (rendimiento máximo) de la persona.
- (ii) al nivel de actividad física semanal que auto-reporta la persona

## Metodología

---

---

### **PERSONAS INCLUIDAS EN EL ESTUDIO**

---

Los registros se realizaron en el Laboratorio LIEBRE (Laboratorio de Investigación y Evaluación Biomédica en Reposo y Ejercicio; <https://imagenologiachpr.edu.uy/liebre/>), ubicado dentro del Departamento de Imagenología del Centro Hospitalario Pereira-Rossell (UdelaR - ASSE). Todos los procedimientos incluidos en el estudio, se realizaron de acuerdo con la Declaración de Helsinki

(1975; revisada en 1983), aplicando un protocolo aprobado por el Comité de Ética Institucional del Centro Hospitalario Pereira-Rossell.

Para formar parte del estudio se invitaron a personas allegadas a los integrantes del Laboratorio y/o a los miembros del grupo de estudiantes. Expresamente se invitaron a personas con diferentes niveles de entrenamiento crónico, desde población general hasta deportistas (ej. futbolistas, basquetbolistas, corredores profesionales) de alto rendimiento. Para ser incluidos en el estudio se debía: (i) tener edad  $\geq 18$  años, (ii) no presentar enfermedades que afecten el sistema cardio-respiratorio o muscular, (iii) tener formulario de consentimiento informado firmado por parte del participante, y (iv) contar con aval médico para realizar el estudio propuesto. Se excluyeron personas con: (i) limitaciones neuro-motoras que impedían realizar test de esfuerzo en cicloergómetro (bicicleta fija), (ii) limitaciones cognitivas que afectasen la participación en el estudio (ej. comprensión de la evaluación propuesta y sus consignas). Tras realizar los registros, y analizar la información recolectada, se definió trabajar con una muestra (no-probabilística) de 178 personas (99 varones, 79 mujeres).

Una vez que la persona invitada llegaba a laboratorio, y tras completar el formulario de consentimiento, se realizaban consecutivamente tres etapas del estudio: (1) se le entregaba un formulario para recoger información sobre la actividad física semanal, y (2) tras una evaluación biomédica que comprendió entrevista, medición de masa y talla corporal, examen cardiovascular y electrocardiograma de reposo, se pasó a la realización de una prueba (test) cardio-respiratorio de ejercicio (en cicloergómetro) con medición de gases (ergoespirometría). Finalizadas estas evaluaciones, la persona se retiró del laboratorio. Todas las evaluaciones se realizaron por el equipo (investigadores) responsable del estudio, con apoyo de colaboradores.

### **ENTREVISTA Y MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS**

---

A cada persona incluida en el proyecto se le realizó una entrevista con el fin de recabar información sobre antecedentes sanitarios, exposición a factores de riesgo, consumo de fármacos. Estando la persona sin calzado y con vestimenta liviana, la talla corporal se midió en bipedestación, con el plano horizontal de Frankfurt perpendicular al eje vertical de apoyo, utilizando un estadiómetro portátil con un error de  $\pm 0,1$  cm (SECA Modelo 217; SECA, Alemania). La masa corporal se determinó empleando una balanza de bioimpedancia multifrecuencia (InBody-120, InBody Co., Korea). Previo a los registros se solicitó al sujeto que vaciara la vejiga de manera de minimizar errores de medición. A partir de los datos de masa y talla corporal se calculó el Índice de Masa Corporal (IMC) como:  $IMC = Masa/Talla^2$ , expresándose la masa en kilogramos (Kg) y la talla en metros.

### **ACTIVIDAD FÍSICA SEMANAL**

---

El nivel de actividad física auto-reportado por la persona se evaluó mediante el formulario "International Physical Activity Questionnaire" [Short Form] (IPAQ) (Anexo 1). Este cuestionario incluye siete preguntas: (1 y 2): cantidad de días de la semana y tiempo promedio/día destinado a actividades de intensidad vigorosa; (3 y 4): cantidad de días de la semana y tiempo promedio/día destinado a actividades de intensidad moderada; (5 y 6): cantidad de días de la semana y tiempo promedio/día destinado a caminar por un período mayor a 10 minutos. (7): cantidad de tiempo promedio/día en que la persona se encuentra sentado. Tomando como sustento la información patronímica y antropométrica de la persona, y la información cruda de los siete ítems, la versión Excel del formulario ([https://drive.google.com/file/d/1TxPhtG5mV\\_96g0IDUaBm5zvNVttnILUv/view](https://drive.google.com/file/d/1TxPhtG5mV_96g0IDUaBm5zvNVttnILUv/view)) permite cuantificar diferentes variables, entre las que se incluyen los tiempos (minutos/semana, o METS/minutos/semana) de actividad física en niveles de intensidad "leve", "moderada", "vigorosa", "moderada a vigorosa".

### **ESTUDIO ERGOESPIROMÉTRICO: RESPUESTA CARDIOVASCULAR Y CAPACIDAD MÁXIMA CARDIO-RESPIRATORIA**

---

Las condiciones para el estudio cardiovascular incluyeron no haber realizado ejercicio extenuante en las 24 horas previas. Cada persona a evaluar se instrumentó con sensores para evaluar (i) electrocardiograma de doce derivaciones (Sistema CardioSoft, General Electric Inc., USA), (ii) características hemodinámicas "latido-a-latido" (Sistema de Cardiografía de Impedancia, PhysioFlow), y (iii) variables respiratorias y metabólicas "respiración a respiración" (Sistema Ergoespirometría) (Figura 2).

Antes de iniciar las mediciones se comprobó estabilidad hemodinámica (presión arterial y frecuencia cardíaca estables). Los sensores colocados permitieron que de manera continua, se estuviesen midiendo y visualizando de manera "on-line":

- **Variables cardiovasculares/hemodinámicas:** se midieron de manera continua la frecuencia cardíaca, volumen ventricular eyectado, gasto cardíaco y resistencias vasculares periféricas. Para este fin se empleó un sistema de cardiografía de impedancia (PhysioFlow PF07 Enduro, The Netherlands). Cabe señalar que la presión arterial braquial se midió mediante el método oscilométrico a intervalos regulares (aprox. 3-5 minutos). Al ingresar el valor de presión arterial al software se pudo ir actualizando el cálculo de las resistencias vasculares periféricas.
- **Variables ergoespirométricas:** se midieron de forma continua variables metabólicas y ventilatorias, tales como consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), producción de dióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>), y ventilación minuto (VE) (Figura 3). Adicionalmente, se cuantificaron variables derivadas como

la relación de intercambio respiratorio (R) y los equivalentes ventilatorios para el oxígeno ( $VE/VO_2$ ) y dióxido de carbono ( $VE/VCO_2$ ), las presiones parciales espiradas de oxígeno ( $P_{et}O_2$ ) y dióxido de carbono ( $P_{et}CO_2$ ), etc. El  $VO_2$  pico se determinó como el máximo valor obtenido en la prueba de esfuerzo, promediando 30 segundos y se expresó como valor absoluto y como valor relativizado a la masa corporal ( $VO_{2pico}/Kg$ ) (Figura 3). Para este fin se utilizó un analizador de gases que permite medir las variables 'respiración a respiración' (Cortex Metalyzer3B Biophysik Performance package; Cortex, Leipzig, Alemania).



Figura 2. Imágenes que ilustran los dispositivos y equipos empleados durante los registros cardiovasculares y ergoespirométricos en reposo pre-ejercicio (izquierda) y en ejercicio (derecha), obtenidos en el LIEBRE. 1: casco de velcro, para sujeción de la máscara ergoespirométrica. 2: brazaletes para medición de presión arterial. 3: dispositivo portable de cardiografía de impedancia, con adaptación para pruebas de esfuerzo (PhysioFlow). 4: analizador de gases. 5: cicloergómetro "Cyclus-2". 6: sistema de registro de electrocardiografía de doce derivaciones. 7: monitor para registro de electrocardiograma. 8: monitor para registro de señales hemodinámicas y ergoespirométricas.

Estando la persona instrumentada, y sentada en un cicloergómetro Cyclus 2, RBM elektronik-automationGmbH, Alemania), y ya en condiciones de comenzar los registros, se realizaron de manera continua adquisiciones en diferentes etapas (Figura 2): Primeramente, se realizaron

registros en el estado de "Reposo pre-ejercicio", definido como una etapa en la que por dos minutos la persona se mantuvo sin pedalear (carga: 0 watts). Seguidamente, tras una etapa de calentamiento a muy bajas cargas (20-50 watts; 6 minutos), comenzó la aplicación de un protocolo en que la carga de la bicicleta comenzaba a incrementarse de manera continua y en rampa (25 watts/minuto), hasta el límite de tolerancia de la persona (test máximo) (Wasserman, 2020). La progresión de la carga se realizó de forma tal que el participante alcance criterios de ejercicio máximo entre los 8 y 12 minutos de actividad (ACSM, 2017). Una vez que la persona no pudo continuar la prueba por estar exhausta, la carga se bajó a 20 watts por 3 minutos, como forma que la persona realizará una recuperación activa (sin dejar de pedalear), y finalmente sin bajarse de la bicicleta, la persona se mantuvo nuevamente quieta (sin pedalear) por 3 minutos (carga 0 watts). Antes y durante la prueba, se animó a las personas evaluadas a alcanzar su máximo, es decir, que se realice un esfuerzo máximo (hasta el agotamiento muscular). Finalizada la prueba, se consignó la carga de trabajo y esfuerzo percibido por el evaluado (Borg, 1998). Todas las pruebas se realizaron de acuerdo a las recomendaciones de la (ACSM, 2017).

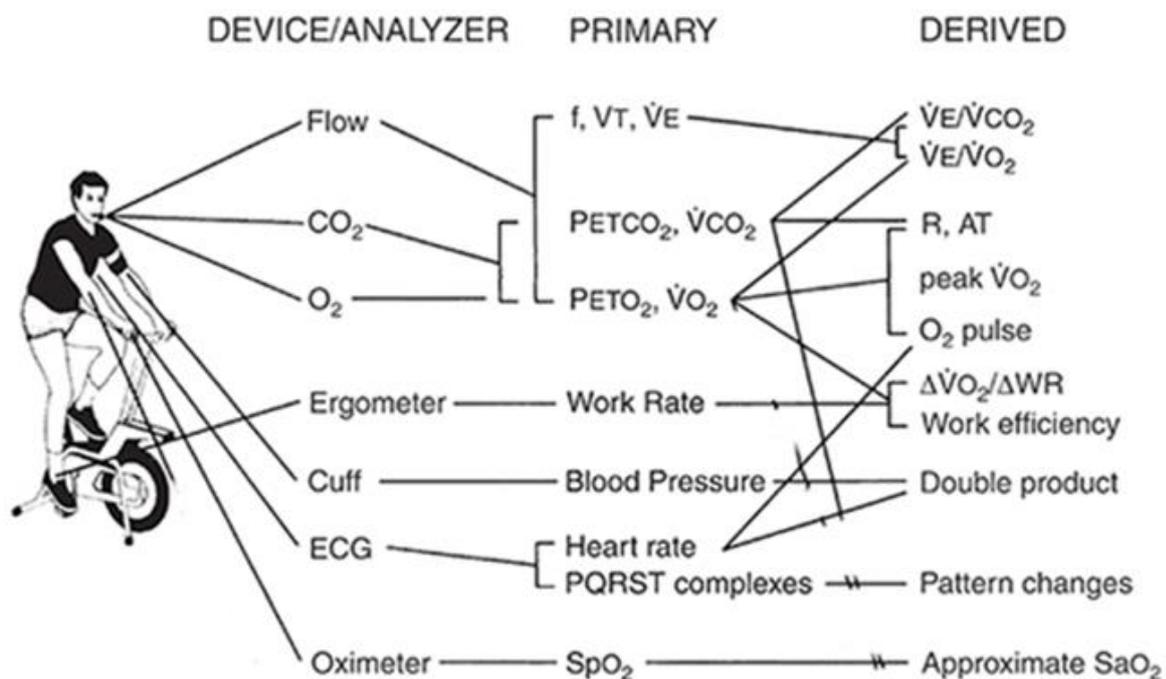


Figura 3. Variables derivadas directamente del analizador de gases, o a partir de cálculos (derivadas primaria o secundariamente, cuando se realiza una prueba ergoespirométrica en cicloergómetro (Wasserman y col., 2020). CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono. O<sub>2</sub>: oxígeno. VT: volumen corriente. VE: ventilación minuto. VCO<sub>2</sub>: producción de dióxido de carbono (medido en la ventilación). VO<sub>2</sub>: consumo de oxígeno (medido en la ventilación). PET: presión de fin de espiración SpO<sub>2</sub>: saturación de oxígeno en sangre. WR: tasa de trabajo (watts). R: relación VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>.

En todos los casos el participante recibió explicación detallada del procedimiento de la prueba y del protocolo a utilizar. A partir de las mediciones ergoespirométricas realizadas, se cuantificó:

(1)  $VO_{2pico}$  y  $VO_{2pico}/Kg$ : como indicadores de la capacidad cardio-respiratoria máxima que presenta la persona durante la prueba de esfuerzo (en cicloergómetro), considerado indicador del nivel de entrenamiento que presenta la persona (Wasserman y col., 2020).

(2)  $VT1$ : fue determinado aplicando el método "V-slope", pero a la vez chequeando que su valor fuese adecuado al analizar otros de los métodos sugeridos (método de los equivalentes metabólicos y método de las presiones parciales de oxígeno de fin de espiración) (Wasserman y col., 2020).

(3)  $VT2$ : se calculó como el momento en que, durante el ejercicio incremental, comienza a existir un incremento exponencial en la ventilación minuto (VE), en la relación  $VE/VCO_2$ ; es decir cuando VE incrementa en mayor proporción que el  $VCO_2$  (Wasserman y col., 2020).

Habiendo identificado  $VT1$  y  $VT2$ , se cuantificaron los cambios absolutos y relativos (porcentuales) de las variables cardiovasculares, entre: (i) el valor inicial pre-ejercicio y el valor en  $VT1$ , y (ii) el valor inicial pre-ejercicio y el valor en  $VT2$ . Esto se calculó para las siguientes variables: volumen sistólico, gasto cardíaco, frecuencia cardíaca y presión arterial sistólica.

### **ANÁLISIS DE DATOS**

---

Dado que se realizó un muestreo no-probabilístico, los alcances de los resultados del presente trabajo, quedan limitados a la presente muestra, independientemente de que permiten generar hipótesis sobre la relación entre nivel de entrenamiento crónico o actividad física semanal, y niveles de respuestas cardiovasculares frente a ejercicio sub-máximo.

A partir de obtener los datos cuantitativos de la variable de cada persona, se construyó una base de datos en el programa Excel. Posteriormente, esa base fue abierta con software IBM-SPSS (v.26, IBM-SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Teniendo en cuenta el teorema del límite central, y el tamaño muestral (>30 personas), se asumió distribución normal (Lumley y col., 2002). Las características descriptivas de la muestra evaluada se expresaron como valor medio y desviación estándar. Se analizó la potencial asociación entre variables (cambios cardiovasculares absolutos o relativos, y  $VO_{2pico}/Kg$  o nivel de actividad física obtenido por el empleo del IPAQ), empleando correlaciones simples y parciales, considerando para éstas últimas ajustes para edad y sexo. En todos los análisis se consideró un valor de  $p < 0,05$  como umbral de la significancia estadística, si bien en las Tablas se expresa el valor absoluto de p. El tamaño muestral, superó el mínimo necesario para los análisis realizados. Al respecto, considerando un  $\alpha=0,05$  (error de tipo I),  $\beta=0,20$  (error de tipo II), y un tamaño de efecto esperado para los análisis de asociación (r.) de 0,3 (para ser cautos), el número mínimo de sujetos a incluir se estipuló en 84 personas. Para el cálculo de tamaño muestral se empleó el software MedCalc Statistical Software (v.19.5, MedCalc Inc., Ostend, Bélgica).

## Resultados

**Tabla 1. Características descriptivas de las personas estudiadas**

	VM	DE
Edad (años)	29	8
Talla corporal (cm)	170,4	9,9
Masa corporal (Kg)	70,1	12,0
Índice de Masa Corporal (Kg/m <sup>2</sup> )	24,1	2,9
AF 'Moderado a Vigoroso' (min/semana)	580	619
AF 'Vigoroso' (min/semana)	333	329
AF 'Moderada' (min/semana)	275	434
AF Intensidad 'Leve' [METS/min/semana]	1160	1615
AF Intensidad 'Moderada' [METS/min/semana]	1114	1747
AF Intensidad 'Vigorosa' [METS/min/semana]	2696	2631
METS totales [METS/min/semana]	5086	4374
VO <sub>2</sub> pico (litros/minuto)	2,9	0,8
VO <sub>2</sub> pico/kg (litros/minuto/Kg)	40,6	9,2
<b>Estadio Pre-ejercicio (reposo)</b>		
FC (latidos/minuto)	82	15
PAS Brazo Izquierdo (mmHg)	126	12
PAD Brazo Izquierdo (mmHg)	79	11
Volumen sistólico (ml)	87,9	19,9
Gasto cardíaco (litros/minuto)	7,09	1,52
Índice cardíaco (litros/minuto/m <sup>2</sup> )	4,35	0,89
RVS (dinas/s/cm <sup>2</sup> )	1064	204
Índice RVS (dinas/s/cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	1929	368
<b>Variable al momento de VT1</b>		
WR (watts)	125	39
WR/kg (Watts/Kg)	1,8	0,5
FC (latidos/minuto)	138	17
PAS Brazo Izquierdo (mmHg)	160	20
PAD Brazo Izquierdo (mmHg)	81	7
Volumen sistólico (ml)	106,3	25,0
Gasto cardíaco (litros/minuto)	14,45	3,16
Índice cardíaco (litros/minuto/m <sup>2</sup> )	7,87	1,69
RVS (dinas/s/cm <sup>2</sup> )	587	151
Índice RVS (dinas/s/cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	1062	267
VO <sub>2</sub> (litros/minuto)	1,72	0,49
VO <sub>2</sub> /kg (litros/minuto/Kg)	25	6
<b>Variable al momento de VT2</b>		
WR (watts)	183	51
WR/kg (Watts/Kg)	2,6	0,6
FC (latidos/minuto)	158	19
PAS Brazo Izquierdo (mmHg)	180	24
PAD Brazo Izquierdo (mmHg)	81	7
Volumen sistólico (ml)	109,6	28,6
Gasto cardíaco (litros/minuto)	17,27	4,37
Índice cardíaco (litros/minuto/m <sup>2</sup> )	9,45	2,16
RVS (dinas/s/cm <sup>2</sup> )	558	444
Índice RVS (dinas/s/cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	993	582
VO <sub>2</sub> (litros/minuto)	2,34	0,67
VO <sub>2</sub> /kg (litros/minuto/Kg)	33	8

VM: valor medio. DE: desviación estándar. AF: actividad física. METS: unidades metabólicas. VO<sub>2</sub>: consumo de oxígeno. FC: frecuencia cardíaca. PAS, PAD: presión arterial sistólica y diastólica, respectivamente. RVS: resistencias vasculares sistémicas.

WR: tasa de trabajo. VT1, VT2: primer y segundo umbral ventilatorio, respectivamente.

### CARACTERÍSTICAS DE LAS PERSONAS EVALUADAS

La Tabla 1 presenta las características descriptivas de las variables medidas en las personas estudiadas (178 voluntarios, 99 de sexo masculino y 79 de sexo femenino). Nótese que la edad media fue de 29 años y la media del Índice de Masa Corporal fue de 24,1 kg/m<sup>2</sup>. Nótese las diferencias en los valores del consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) medido en litros/minuto obtenidos en VT1 y VT2, que evidencian (como es de esperar) que cargas progresivamente mayores, los niveles de VO<sub>2</sub> consumidos por la persona también aumentan progresivamente.

**Tabla 2. Cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT1 o VT2**

	VM	Todos DE
<b>Cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT1</b>		
Δ Volumen sistólico (VT1 - Pre-ejercicio; ml)	18,8	14,13
Δ Volumen sistólico (VT1 - Pre-ejercicio; %)	22,7	21,79
Δ Gasto cardíaco (VT1 - Pre-ejercicio; litros/minuto)	7,4	2,74
Δ Gasto cardíaco (VT1 - Pre-ejercicio; %)	108,6	48,55
Δ Frecuencia cardíaca (VT1 - Pre-ejercicio; latidos/minuto)	54,7	15
Δ Frecuencia cardíaca (VT1 - Pre-ejercicio; %)	69,9	26,44
Δ Presión arterial sistólica (VT1 - Pre-ejercicio; mmHg)	36,7	17
Δ Presión arterial sistólica (VT1 - Pre-ejercicio; %)	29,5	13,86
<b>Cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT2</b>		
Δ Volumen sistólico (VT2 - Pre-ejercicio; ml)	20,4	24,20
Δ Volumen sistólico (VT2 - Pre-ejercicio; %)	24,8	28,70
Δ Gasto cardíaco (VT2 - Pre-ejercicio; litros/minuto)	9,8	4,40
Δ Gasto cardíaco (VT2 - Pre-ejercicio; %)	144,5	66,50
Δ Frecuencia cardíaca (VT2 - Pre-ejercicio; latidos/minuto)	72,2	24
Δ Frecuencia cardíaca (VT2 - Pre-ejercicio; %)	92,1	39,19
Δ Presión arterial sistólica (VT2 - Pre-ejercicio; mmHg)	56,1	20,17
Δ Presión arterial sistólica (VT2 - Pre-ejercicio; %)	44,8	16,21

VM: valor medio. DE: desviación estándar. VT1, VT2: primer y segundo umbral ventilatorio, respectivamente.

La Tabla 2 muestra la tabla descriptiva de los cambios observados en las variables cardiovasculares. Nótese que los cambios a VT2 fueron mayores que los cambios a VT1 en todos los variables hemodinámicas, lo que permite constatar que el ejercicio y la demanda metabólica era creciente (mayor en VT2 respecto de VT1) y que las respuestas cardiovasculares se mantuvieron acorde con lo esperado (aumentar ante mayor demanda metabólica). Para ver cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT1, VT2 para ambos sexos ir a Anexo 2.

### **ASOCIACIÓN ENTRE CAMBIOS CARDIOVASCULARES SUBMÁXIMOS Y NIVEL DE ENTRENAMIENTO**

En la Tabla 3 se observan las asociaciones entre el nivel de entrenamiento (evaluado como VO<sub>2</sub>pico/Kg) y los cambios cardiovasculares existentes entre el estadio pre-ejercicio y VT1 (parte superior de la tabla) y VT2 (parte inferior de la tabla). Nótese que existe asociación significativa entre el nivel de entrenamiento y los cambios absolutos y relativos en las variables cardiovasculares durante VT1 y VT2, tanto previo o luego del ajuste por las variables sexo y edad.

Nótese que las variaciones en gasto cardíaco tanto antes como después de ajustar por edad y sexo, fueron las que mostraron mayor asociación con el  $VO_2$ pico/Kg, alcanzando niveles de asociación moderadas. Por otra parte, interesa destacar que en términos generales, las asociaciones fueron mayores en el período entre el pre-ejercicio y VT1, respecto al período pre-ejercicio y VT2.

**Tabla 3. Asociación entre nivel de entrenamiento crónico (evaluado mediante nivel de rendimiento máximo cardio-respiratorio en prueba de ejercicio), y cambios hemodinámicos entre Pre-ejercicio y umbrales ventilatorios**

Correlaciones:	VO <sub>2</sub> pico/kg (litros/minuto/Kg)		
		Bivariadas simples	Parciales (Ajustes: edad y sexo)
<b>Cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT1</b>			
Δ Volumen sistólico (VT1 - Pre-ejercicio; ml)	r	0,284	0,286
	p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Δ Gasto cardíaco (VT1 - Pre-ejercicio; litros/minuto)	r	0,547	0,516
	p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Δ Frecuencia cardíaca (VT1 - Pre-ejercicio; latidos/minuto)	r	0,404	0,439
	p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Δ Presión arterial sistólica (VT1 - Pre-ejercicio; mmHg)	r	0,465	0,347
	p	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>
<b>Cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT2</b>			
Δ Volumen sistólico (VT2 - Pre-ejercicio; ml)	r	0,279	0,217
	p	<b>0,000</b>	<b>0,007</b>
Δ Gasto cardíaco (VT2 - Pre-ejercicio; litros/minuto)	r	0,477	0,395
	p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
Δ Frecuencia cardíaca (VT2 - Pre-ejercicio; latidos/minuto)	r	0,311	0,322
	p	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>
Δ Presión arterial sistólica (VT2 - Pre-ejercicio; mmHg)	r	0,478	0,349
	p	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>

r: coeficiente de Pearson. VT1, VT2: primer y segundo umbral ventilatorio, respectivamente.

## ASOCIACIÓN ENTRE CAMBIOS CARDIOVASCULARES SUBMÁXIMOS Y ACTIVIDAD FÍSICA SEMANAL

La Tabla 4 presenta los resultados de la asociación entre la actividad física semanal (autor reporte) y los cambios absolutos y relativos de las variables cardiovasculares. De los resultados se destaca que, como era de esperarse y en consonancia con los resultados obtenidos en la Tabla 3, en términos generales los cambios cardiovasculares (absolutos y relativos), tanto a VT1 como VT2, se asociaron significativamente con el nivel de actividad física global, medido en METS/min/semana (columna de la derecha).

En líneas generales, se destaca que el nivel de entrenamiento físico **sobre todo de intensidad “Vigorosa”** se asoció a mayores cambios hemodinámicos tanto para el estado de pre-ejercicio a VT1 (parte superior de la tabla), así como para el estado de pre-ejercicio a VT2 (parte inferior de la tabla). Por otro lado, la actividad física “Moderada” se asoció fundamentalmente a los cambios absolutos y relativos en las variables “Δ gasto cardíaco” y “Δ frecuencia cardíaca” para el estado pre-ejercicio y

VT1 (parte superior de la tabla). Mientras que, de los cambios observados en el estado pre-ejercicio y VT2 sólo se relacionó con la variable “ $\Delta$  frecuencia cardíaca” (parte inferior de la tabla). Nótese que para la “actividad física de intensidad leve” no se hallaron, prácticamente, asociaciones estadísticamente significativas con los cambios hemodinámicos estudiados tanto para el estado de pre-ejercicio a VT1, así como para el estado de pre-ejercicio a VT2.

**Tabla 4. Asociación entre nivel de actividad física semanal (medido por auto-reporte de actividad física - IPAQ -), y cambios hemodinámicos entre estado de reposo pre-ejercicio y umbrales ventilatorios**

		AF Intensidad 'Leve' [METS/min/semana]	AF Intensidad 'Moderada' [METS/min/semana]	AF Intensidad 'Vigorosa' [METS/min/semana]	METS totales [METS/min/semana]
<b>Cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT1</b>					
$\Delta$ Volumen sistólico (VT1 - Pre-ejercicio; ml)	r	0,013	0,113	0,234	0,199
	p	0,884	0,217	<b>0,010</b>	<b>0,030</b>
$\Delta$ Gasto cardíaco (VT1 - Pre-ejercicio; litros/minuto)	r	-0,025	0,195	0,314	0,268
	p	0,784	<b>0,033</b>	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>
$\Delta$ Gasto cardíaco (VT1 - Pre-ejercicio; %)	r	-0,031	0,193	0,271	0,238
	p	0,741	<b>0,035</b>	<b>0,003</b>	<b>0,009</b>
$\Delta$ Frecuencia cardíaca (VT1 - Pre-ejercicio; latidos/minuto)	r	-0,233	0,226	0,226	0,143
	p	<b>0,047</b>	<b>0,054</b>	<b>0,054</b>	0,228
$\Delta$ Frecuencia cardíaca (VT1 - Pre-ejercicio; %)	r	-0,168	0,272	0,357	0,268
	p	0,155	<b>0,020</b>	<b>0,002</b>	<b>0,022</b>
$\Delta$ Presión arterial sistólica (VT1 - Pre-ejercicio; mmHg)	r	-0,133	0,221	0,146	0,130
	p	0,262	<b>0,060</b>	0,218	0,274
$\Delta$ Presión arterial sistólica (VT1 - Pre-ejercicio; %)	r	-0,158	0,167	0,133	0,090
	p	0,181	0,159	0,260	0,449
<b>Cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT2</b>					
$\Delta$ Volumen sistólico (VT2 - Pre-ejercicio; ml)	r	-0,021	0,040	0,257	0,170
	p	0,816	0,665	<b>0,005</b>	<b>0,063</b>
$\Delta$ Gasto cardíaco (VT2 - Pre-ejercicio; litros/minuto)	r	-0,026	0,144	0,304	0,240
	p	0,775	0,117	<b>0,001</b>	<b>0,008</b>
$\Delta$ Gasto cardíaco (VT2 - Pre-ejercicio; %)	r	-0,024	0,162	0,306	0,250
	p	0,791	<b>0,077</b>	<b>0,001</b>	<b>0,006</b>
$\Delta$ Frecuencia cardíaca (VT2 - Pre-ejercicio; latidos/minuto)	r	-0,050	0,272	0,097	0,152
	p	0,672	<b>0,020</b>	0,413	0,200
$\Delta$ Frecuencia cardíaca (VT2 - Pre-ejercicio; %)	r	-0,050	0,301	0,261	0,265
	p	0,673	<b>0,010</b>	<b>0,026</b>	<b>0,023</b>
$\Delta$ Presión arterial sistólica (VT2 - Pre-ejercicio; mmHg)	r	-0,027	0,193	0,110	0,136
	p	0,820	0,102	0,355	0,250
$\Delta$ Presión arterial sistólica (VT2 - Pre-ejercicio; %)	r	-0,080	0,134	0,095	0,082
	p	0,500	0,260	0,426	0,488

r: coeficiente de Pearson. AF: actividad física. VT1, VT2: primer y segundo umbral ventilatorio, respectivamente.

## Discusión

---

### PRINCIPALES RESULTADOS

---

El propósito del presente estudio fue caracterizar si los niveles de entrenamiento (evaluado a partir del  $\text{VO}_2$  pico relativizado a la masa corporal, "estándar oro" para valorar capacidad de respuesta cardio-respiratoria (Kernizan y col., 2022) o la actividad física semanal que realiza la persona se asocia con la capacidad cardiovascular de responder (cambiar) al pasar de un estado reposo pre-ejercicio (sentado en cicloergómetro) a los estados metabólicos sub-máximos conocidos como VT1 y VT2. Del análisis de los resultados, surgen dos resultados principales.

- Primero, las personas que tienen mayor nivel de entrenamiento, es decir aquellos que alcanzaron mayor valor de  $\text{VO}_2$  pico/Kg, mostraron mayor capacidad de cambio en variables cardiovasculares al pasar del estado metabólico pre-ejercicio al propio de VT1 y VT2.

Es decir que el entrenamiento se asoció a la capacidad de respuesta cardiovascular, evidenciada por mayor valor y cambio (aumento) de variables cardiovasculares (ejemplo: del volumen eyectado y gasto cardíaco), en estadios sub-máximos. Este resultado, permitiría postular que el mayor aumento del gasto cardíaco y del volumen sistólico observados en las personas con mayor entrenamiento, son respuestas adaptativas, desarrolladas por quienes realizan ejercicio (entrenan), que posibilitan llegar a VT1 y VT2 más tardíamente (respuesta más eficiente al ejercicio), lo que a su vez supondría una mayor capacidad de ejercicio, asociada (y/o explicada por) al entrenamiento; es decir reflejo de la adaptación cardiovascular al ejercicio físico de esos sujetos. Siguiendo esta línea de investigación, una revisión halló que si bien el  $\text{VO}_2$  máximo se asocia significativamente a cambios en las variables cardiovasculares, este parámetro estaría influenciado también por el número de eritrocitos, la hemoglobina total, el volumen sanguíneo y el volumen sistólico, lo que explicaría la variabilidad y diferencias en  $\text{VO}_2$  máximo (Lundby, 2017). Por lo tanto diferentes variables contribuirían a explicar la asociación entrenamiento, cambios en la respuesta cardiovascular al ejercicio físico submáximo, y  $\text{VO}_2$  pico.

- Segundo, mayor magnitud de cambios cardiovasculares entre pre-ejercicio y VT1 o VT2, se asoció a mayor nivel semanal de actividad física de intensidad "vigorosa", y seguidamente a mayor nivel de actividad "moderada". Sin embargo, los cambios cardiovasculares no mostraron asociación significativa con los niveles de actividad "leve" que realiza la persona. Consecuentemente, los sujetos que realizan actividad física vigorosa por un mayor período de tiempo, serían aquellos que alcanzan valores mayores de  $\text{VO}_2$  en el test cardiopulmonar de ejercicio.

Asimismo, serían los mismos que presenten mayores cambios absolutos y relativos en las variables hemodinámicas. A partir de ello, se podría postular (pero sin ser concluyentes) que la realización de mayores niveles (cantidad de minutos/semana) de actividad física de intensidad vigorosa, se asocia a un estadio en que el sistema cardiovascular tendrá mayor capacidad de cambiar al realizar esfuerzo físico concreto (ejemplo en cicloergómetro). Por otra parte, también podría postularse que son aquellas personas que tienen mayores capacidades de ajustes (cambios) cardiovasculares, las que se sienten más capacitadas para realizar mayor cantidad de tiempo de actividad física "intensa" a lo largo de la semana.

El hallazgo de que los niveles de fortaleza de asociación entre cambios cardiovasculares y minutos/semana de intensidad de actividad física, son mayores al considerar la actividad "vigorosa", respecto de la "moderada" y respecto de la "ligera", concuerda con la evidencia científica disponible (Swain y col., 2005, 2006), que indica que el mayor impacto en la salud y la adaptación cardiovascular se debe a relaciona con la prescripción y realización de actividad física vigorosa, más que moderada, poniendo en tela de juicio que la actividad física "moderada" *per se* tenga un efecto significativamente beneficioso sobre el sistema cardiovascular, además de provocar un cambio en la adaptación cardiovascular y mejoras en la salud de las personas. También se ha propuesto en estudios anteriores que el ejercicio vigoroso lleva a una reducción de la mortalidad (Lee y col., 2000), esto podría ser objeto de revisiones para los programas de salud pública que apuntan a la realización de actividad física "moderada" por un tiempo considerable, pudiéndose considerar tal vez, la recomendación de actividad física "vigorosa", así sea, durante un menor período de tiempo.

En relación con lo anterior, cabe señalar que la definición de una relación de "causa y efecto" escapa a los objetivos y alcances de este estudio.

### **LIMITACIONES Y FORTALEZAS**

---

El análisis de los resultados debe hacerse teniendo presente diversas fortalezas y limitaciones. Primero, se destaca cómo fortaleza de la investigación a la hora de definir una estrategia de análisis de datos, que se definió trabajar con el "entrenamiento" como un continuo, evitando la construcción de "grupos estancos" de "entrenados vs. no-entrenados", que por un lado pierden la riqueza de la variabilidad intra-individual presente en la población general, además de requerir puntos de corte para separar grupos, que necesariamente son discrecionales. Esto es una riqueza a la hora de analizar posibles asociaciones entre el nivel de entrenamiento físico crónico de la persona, y los cambios en las variables cardiovasculares. A manera de ejemplo, esto evita trabajar solo con "grupos extremos", lo que puede sobre-magnificar el impacto del entrenamiento. Segundo, una

limitantes del estudio es que la intensidad de la actividad física semanal, y el tiempo destinada a ella, es autorreportada por la persona, mediante el cuestionario IPAQ. Esto claramente está sujeto a la percepción que tiene cada persona sobre el tipo y cantidad de ejercicio que realiza, por lo que no es una medida 'objetivable'. Una opción para "paliar" esta carencia podría ser la utilización de acelerometría, es decir, emplear dispositivos que cuantifican la aceleración del organismo. Sin embargo, el empleo de acelerómetros no necesariamente soluciona la valoración de la actividad física, ya que el nivel de intensidad "registrado", dependerá (i) del sitio de colocación del acelerómetro, (ii) que realmente lo use en todo momento (ej. los deportistas profesionales no desean usarlo en competencias, no puede usarse en actividades acuáticas), (iii) necesariamente requiere criterios para clasificar las "intensidades" de las actividades, que no necesariamente coinciden con lo que percibe la persona, etc. Tercero, los niveles de VO<sub>2</sub>pico que se obtuvieron surgen de realizar ejercicio en bicicleta (cicloergómetro), y consecuentemente, no son idénticos a los que se obtendrían en otro tipo de pruebas (ejemplo, correr en una cinta o tapiz rodante); si bien existe una relación estrecha entre los valores obtenidos en ambas modalidades de test.

## Conclusiones

---

Como conclusiones generales del trabajo se destaca que los mayores cambios absolutos y relativos en variables cardiovasculares ocurridos en niveles de ejercicio de intensidad sub-máxima (entre reposo y VT1, y entre reposo y VT2) se observaron en personas: (i) con mayores niveles de VO<sub>2</sub>pico/Kg, que definen mayor nivel de entrenamiento aeróbico, y (ii) en quienes describieron que realizan mayor cantidad de tiempo/semanal de actividad física de intensidad "vigorosa" y "moderada" (en ese orden de fortaleza de asociación). Sin embargo, los niveles semanales (minutos/semana) de actividades físicas de actividad ligera no mostraron estar asociados a cambios diferenciales en el sistema cardiovascular. En suma, los cambios cardiovasculares que se evidencian entre similares estados metabólicos, frente a la realización de ejercicio físico sub-máximo de intensidad creciente (cicloergómetro) guardan relación con el nivel de entrenamiento y/o minutos/semana de actividad física de intensidad vigorosa o moderada, que realiza la persona.

## Referencias bibliográficas

---

- ACSM, D. Riebe, J. K. Ehrman, G. Liguori and M. Magal (2017). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Wolters Kluwer.

- Bentley RF, Jones JH, Hirai DM, Zelt JT, Giles MD, Raleigh JP, Quadrilatero J, Gurd BJ, Neder JA, Tschakovsky ME. Submaximal exercise cardiac output is increased by 4 weeks of sprint interval training in young healthy males with low initial  $\dot{Q}$ - $\dot{V}O_2$ : Importance of cardiac response phenotype. *PLoS One*. 2019 Jan 23;14(1):e0195458. doi: 10.1371/journal.pone.0195458. PMID: 30673702; PMCID: PMC6343875.
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL, US, Human Kinetics. Tonelli, A. R., Alkukhun, L., Arelli, V., Ramos, J., Newman, J., McCarthy, K., Pichurko, B., Minai, O. A., & Dweik, R. A. (2013). Value of impedance cardiography during 6-minute walk test in pulmonary hypertension. *Clinical and translational science*, 6(6), 474–480. <https://doi.org/10.1111/cts.12090>
- Kernizan D, Glass A, D'Aloisio G, Hossain J, Tsuda T. A Combined Analysis of Peak and Submaximal Exercise Parameters in Delineating Underlying Mechanisms of Sex Differences in Healthy Adolescents. *Pediatr Cardiol*. 1 de junio de 2022;43(5):1122-30.
- Lee IM, Paffenbarger RS Jr. Associations of light, moderate, and vigorous intensity physical activity with longevity. The Harvard Alumni Health Study. *Am J Epidemiol*. 2000 Feb 1;151(3):293-9. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a010205. PMID: 10670554.
- López Chicharro, José., y Almudena Fernández Vaquero. *Fisiología Del Ejercicio*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2001.
- Lumley T, Diehr P, Emerson S, Chen L. The Importance of the Normality Assumption in Large Public Health Data Sets. *Annual Review of Public Health*. 2002;23(1):151-69. 10.1146/annurev.publhealth.23.100901.140546 [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Lundby C, Montero D, Joyner M. Biology of  $\dot{V}O_2$  max: looking under the physiology lamp. *Acta Physiol (Oxf)*. 2017 Jun;220(2):218-228. doi: 10.1111/apha.12827. Epub 2016 Nov 25. PMID: 27888580.
- MacIntosh BR, Murias JM, Keir DA, Weir JM. What Is Moderate to Vigorous Exercise Intensity? *Frontiers in Physiology* [Internet]. 2021 [citado 11 de noviembre de 2023];12. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2021.682233>
- Swain DP, Franklin BA. Comparison of Cardioprotective Benefits of Vigorous Versus Moderate Intensity Aerobic Exercise. *American Journal of Cardiology*. 1 de enero de 2006;97(1):141-7.
- Swain DP. Moderate or Vigorous Intensity Exercise: Which Is Better for Improving Aerobic Fitness? *Preventive Cardiology*. 2005;8(1):55-8.
- Wasserman & Whipp's. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications 6th Edición*. Autores: Kathy E. Sietsema, Darryl Y. Sue, William W. Stringer MD, 2020. Editorial Wolters Kluwer.

## Agradecimientos

---

Se agradece a todas las personas que aceptaron participar voluntariamente de este estudio de investigación. Los autores también agradecen al personal del laboratorio LIEBRE y a los docentes del Ciclo Metodología Científica II de la Facultad de Medicina.

## Anexos

---

Anexo 1. Para determinar el nivel de actividad física autorreportada semanal de las personas se utilizó el: “CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FÍSICA IPAQ: FORMATO CORTO AUTOADMINISTRADO DE LOS ULTIMOS 7 DIAS”.

Visitar: <https://sites.google.com/view/ipaq/score>

Argentina, 2002 de Agosto

[www.ipaq.ki.se](http://www.ipaq.ki.se) y en Booth, M.L (2000). *Assessment of Physical Activity: An International Perspective. Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71(2):s114-20. Otras presentaciones y publicaciones científicas sobre el uso de IPAQ se resumen en el sitio Web.

[www.ipaq.ki.se](http://www.ipaq.ki.se)

---

Argentina, 2002 de Agosto

## **CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FISICA**

### **IPAQ: FORMATO CORTO AUTOADMINISTRADO DE LOS ULTIMOS 7 DIAS**

#### **PARA SER UTILIZADO CON ADULTOS JOVENES Y DE MEDIANA EDAD(15- 69 años)**

Los cuestionarios internacionales sobre actividad física (IPAQ) comprenden una serie de 4 cuestionarios. Las versiones disponibles son: largos (5 campos de actividad sobre los que se pregunta individualmente) y cortos (4 ítems genéricos), para ser utilizados por vía telefónica o autoadministrados. La finalidad de estos cuestionarios es proporcionar instrumentos comunes que puedan usarse para obtener información internacional comparable sobre la actividad física relacionada con la salud.

#### **Antecedentes de IPAQ**

El desarrollo de un sistema de medición internacional de la actividad física comenzó en Ginebra en 1998, y continuó con ensayos extensivos de confiabilidad y validación llevados a cabo en 12 países (14 lugares), en 6 continentes durante el 2000. Los resultados finales sugieren que estas mediciones tienen atributos aceptables de medición para aplicar en muchos escenarios y en diferentes idiomas, y son adecuados para los estudios de prevalencia basados en poblaciones nacionales sobre la participación en la actividad física.

#### **El uso de IPAQ**

Se alienta el uso de los instrumentos de IPAQ a nivel mundial para fines de monitoreo e investigación. Se recomienda no cambiar el orden o lenguaje de las preguntas, ya que esto afectaría las propiedades psicométricas de los instrumentos.

#### **Traducción del Inglés y Adaptación Cultural**

Se apoya la traducción del inglés para facilitar el uso mundial de IPAQ. La información sobre la disponibilidad de IPAQ en diferentes lenguas puede obtenerse en [www.ipaq.ki.se](http://www.ipaq.ki.se) Si se emprende una nueva traducción, recomendamos fuertemente el uso de los métodos de retro traducción disponibles en el sitio Web. De ser posible, por favor piense en hacer que su versión traducida de IPAQ esté disponible para otros como contribución al sitio Web de IPAQ. Detalles adicionales sobre la traducción y la adaptación cultural pueden descargarse desde el sitio Web.

#### **Desarrollos Adicionales de IPAQ**

La colaboración internacional con IPAQ está en marcha, y un ***Estudio Internacional de Prevalencia de Actividad Física*** está en progreso. Para información adicional vea el sitio Web.

#### **Más Información**

Información más detallada sobre el proceso de IPAQ y los métodos de investigación utilizados para desarrollar los instrumentos de IPAQ se encuentran disponibles en

Argentina, 2002 de Agosto

## CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FISICA

Estamos interesados en averiguar acerca de los tipos de actividad física que hace la gente en su vida cotidiana. Las preguntas se referirán al tiempo que usted destinó a estar físicamente activo en los **últimos 7 días**. Por favor responda a cada pregunta aún si no se considera una persona activa. Por favor, piense acerca de las actividades que realiza en su trabajo, como parte de sus tareas en el hogar o en el jardín, moviéndose de un lugar a otro, o en su tiempo libre para la recreación, el ejercicio o el deporte.

Piense en todas las actividades **intensas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades físicas **intensas** se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucho más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuantos realizó actividades físicas **intensas** tales como levantar pesos pesados, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o andar rápido en bicicleta?

\_\_\_\_\_ **días por semana**

Ninguna actividad física intensa



**Vaya a la pregunta 3**

2. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **intensa** en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ **horas por día**

\_\_\_\_\_ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

---

Piense en todas las actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense *solo* en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos días hizo actividades físicas **moderadas** como transportar pesos livianos, andar en bicicleta a velocidad regular o jugar dobles de tenis? **No** incluya caminar.

\_\_\_\_\_ **días por semana**

Ninguna actividad física moderada



**Vaya a la pregunta 5**

4. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física **moderada** en uno de esos días?

Argentina, 2002 de Agosto

\_\_\_\_\_ **horas por día**

\_\_\_\_\_ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

---

Piense en el tiempo que usted dedicó a **caminar** en los **últimos 7 días**. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.

5. Durante los **últimos 7 días**, ¿En cuántos **camino** por lo menos **10 minutos** seguidos?

\_\_\_\_\_ **días por semana**

Ninguna caminata



**Vaya a la pregunta 7**

6. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?

\_\_\_\_\_ **horas por día**

\_\_\_\_\_ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

---

La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted **sentado** durante los días hábiles de los **últimos 7 días**. Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que pasó sentado ante un escritorio, visitando amigos, leyendo, viajando en ómnibus, o sentado o recostado mirando la televisión.

7. Durante los **últimos 7 días** ¿cuánto tiempo pasó **sentado** durante un **día hábil**?

\_\_\_\_\_ **horas por día**

\_\_\_\_\_ **minutos por día**

No sabe/No está seguro

Anexo 2. Tabla 2 con los cambios absolutos y relativos entre Pre-ejercicio y VT1, VT2 en función del sexo.

**Tabla 2. Cambios absolutos y relativos entre reposo y VT1 o VT2**

	Masculino		Femenino		Todos	
	VM	DE	VM	DE	VM	DE
<b>Cambios absolutos y relativos entre reposo y VT1</b>						
Δ Volumen sistólico (VT1 - Reposo; ml)	<b>19,4</b>	14,53	<b>18,0</b>	13,66	<b>18,8</b>	14,13
Δ Volumen sistólico (VT1 - Reposo; %)	<b>21,3</b>	18,64	<b>24,5</b>	25,23	<b>22,7</b>	21,79
Δ Gasto cardíaco (VT1 - Reposo; litros/minuto)	<b>7,9</b>	2,96	<b>6,7</b>	2,28	<b>7,4</b>	2,74
Δ Gasto cardíaco (VT1 - Reposo; %)	<b>110,2</b>	54,97	<b>106,7</b>	39,53	<b>108,6</b>	48,55
Δ Frecuencia cardíaca (VT1 - Reposo; latidos/minuto)	<b>54,7</b>	17	<b>54,7</b>	11	<b>54,7</b>	15
Δ Frecuencia cardíaca (VT1 - Reposo; %)	<b>71,5</b>	28,28	<b>67,8</b>	23,83	<b>69,9</b>	26,44
Δ Presión arterial sistólica (VT1 - Reposo; mmHg)	<b>43,1</b>	17	<b>27,8</b>	13	<b>36,7</b>	17
Δ Presión arterial sistólica (VT1 - Reposo; %)	<b>33,9</b>	14,20	<b>23,3</b>	10,73	<b>29,5</b>	13,86
Δ Presión arterial diastólica (VT1 - Reposo; mmHg)	<b>2,2</b>	5	<b>2,6</b>	6	<b>2,4</b>	5
Δ Presión arterial diastólica (VT1 - Reposo; %)	<b>3,1</b>	7,36	<b>3,7</b>	7,77	<b>3,4</b>	7,51
<b>Cambios absolutos y relativos entre reposo y VT2</b>						
Δ Volumen sistólico (VT2 - Reposo; ml)	<b>22,6</b>	29,20	<b>18,2</b>	17,58	<b>20,4</b>	24,20
Δ Volumen sistólico (VT2 - Reposo; %)	<b>24,6</b>	25,64	<b>25,1</b>	31,74	<b>24,8</b>	28,70
Δ Gasto cardíaco (VT2 - Reposo; litros/minuto)	<b>10,8</b>	4,85	<b>8,8</b>	3,64	<b>9,8</b>	4,40
Δ Gasto cardíaco (VT2 - Reposo; %)	<b>150,1</b>	71,75	<b>138,9</b>	60,65	<b>144,5</b>	66,50
Δ Frecuencia cardíaca (VT2 - Reposo; latidos/minuto)	<b>74,8</b>	20	<b>69,6</b>	27	<b>72,2</b>	24
Δ Frecuencia cardíaca (VT2 - Reposo; %)	<b>96,8</b>	36,14	<b>87,4</b>	41,78	<b>92,1</b>	39,19
Δ Presión arterial sistólica (VT2 - Reposo; mmHg)	<b>65,6</b>	17,57	<b>42,5</b>	15,31	<b>56,1</b>	20,17
Δ Presión arterial sistólica (VT2 - Reposo; %)	<b>51,5</b>	14,94	<b>35,1</b>	12,79	<b>44,8</b>	16,21
Δ Presión arterial diastólica (VT2 - Reposo; mmHg)	<b>1,8</b>	13,25	<b>3,6</b>	5,87	<b>2,5</b>	10,85
Δ Presión arterial diastólica (VT2 - Reposo; %)	<b>3,6</b>	10,23	<b>5,1</b>	8,51	<b>4,2</b>	9,56

VM: valor medio. DE: desviación estándar. VT1, VT2: primer y segundo umbral ventilatorio, respectivamente.