

Capacidad cardio-respiratoria y recuperación frente al ejercicio: componentes de la condición física como factores explicativos

Centro Hospitalario Pereira Rossell, Uruguay

2023

Facundo Aguirregaray¹, Belén Araújo¹, Joaquín Fernández¹, Mathías Hernández¹, Juan Manuel Milat¹, Agustina Núñez¹, Prof. Agdo. Dr. Daniel Bia², Prof. Adj. Dr. Yanina Zócalo².

Integrantes del laboratorio LIEBRE (Laboratorio de Investigación y Evaluación Biomédica en Reposo y Ejercicio) que participaron del trabajo: Asist., Lic., Analía Acuña³, Asist., Lic., Adela Castro³, Dr. Pedro Chiesa⁴, Prof. Agdo. Dr. Andrés García-Bayce⁵, Asist., M.Sc., Mariana Gómez³, Prof. Agdo., Dr. Carlos Magallanes³, Asist., Dr. Santiago Rivoir⁶.

¹Ciclo de Metodología Científica II 2023, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

²Laboratorio LIEBRE y Núcleo Interdisciplinario CUiDARTE (Centro Universitario de Investigación y Diagnóstico Arterial), Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

³Instituto Superior de Educación Física, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

⁴Servicio de Cardiología Pediátrica, Centro Hospitalario Pereira Rossell, Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE), Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

⁵Departamento de Imagenología, Centro Hospitalario Pereira Rossell, Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE), Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

⁶Departamento de Medicina del Ejercicio y Deporte, Hospital de Clínicas, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Ciclo de Metodología Científica II, 2023

Grupo 9

1. ÍNDICE DE CONTENIDOS.

1.	ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	2
2.	ÍNDICE DE FIGURAS.	3
3.	RESUMEN.	4
4.	INTRODUCCIÓN.....	6
5.	OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	8
5.1.	Objetivo general.....	8
5.2.	Objetivos específicos.....	8
6.	METODOLOGÍA.....	8
6.1.	Personas evaluadas.	8
6.2.	Evaluaciones.	9
6.2.1.	Entrevista y análisis médico.....	9
6.2.2.	Características antropométricas y composición corporal.	9
6.2.3.	Flexibilidad.....	10
6.2.4.	Condición muscular.	10
6.2.5.	Evaluación cardiovascular de reposo pre-ejercicio.	11
6.2.6.	Condición cardio-respiratoria (ergoespirometría).....	14
6.2.7.	Registros con acelerometría.....	15
6.3.	Análisis de datos.....	15
7.	RESULTADOS.	16
7.1.	Características descriptivas de las personas estudiadas.	16
7.2.	Asociación entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y componentes de la condición física: composición corporal, flexibilidad y fuerza.	16
7.3.	Asociación entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y componentes de la condición física: conducta sedentaria y actividad física.	17
7.4.	Asociación entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y características cardiovasculares pre-ejercicio.	19
7.5.	Respuesta cardio-respiratoria máxima en esfuerzo (VO_{2pico}/Kg): características de la condición física y/o cardiovasculares como variables predictivas (independientes).	20
7.6.	Recuperación post-esfuerzo de la frecuencia cardíaca: características de la condición física y/o cardiovasculares como variables predictivas (independientes).	21
8.	DISCUSIÓN.....	23
8.1.	Principales resultados: análisis bivariados.	24
8.2.	Principales resultados: análisis multivariados.....	25
8.3.	Fortalezas y limitaciones.	26
9.	CONCLUSIONES.	28
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	28
11.	AGRADECIMIENTOS.....	30

2. ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1	10
Figura 2	12
Figura 3	13
Tabla 1	18
Tabla 1 (continuación)	19
Tabla 2	20
Tabla 3	21
Tabla 4	22
Tabla 5	23
Tabla 6	23

3. RESUMEN.

Antecedentes: La respuesta cardio-respiratoria al ejercicio (evaluada mediante el consumo de oxígeno pico [VO₂pico]) y la velocidad de recuperación cardiovascular post-ejercicio (evaluada como la tasa de recuperación de la frecuencia cardíaca [FC]), son indicadores de la capacidad cardio-respiratoria de un sujeto, y guardan relación con su salud. Evaluar esas respuestas requiere complejos protocolos y equipos, limitando su indicación e implementación. Para estimar la capacidad cardio-respiratoria e identificar quiénes podrían tenerla reducida, podría ser útil conocer el nivel de otros componentes que definen la condición física de un sujeto y pueden evaluarse de forma relativamente sencilla y a bajo costo. Lo anterior requiere identificar componentes asociados con la capacidad cardio-respiratoria.

Objetivo: Identificar si el VO₂pico y la recuperación de la FC se asocian, y en qué nivel, con componentes de la condición física, actividad física y características cardiovasculares pre-ejercicio.

Métodos: En 178 adultos saludables (99 masculinos; 18-55 años) se determinó el VO₂pico y la recuperación de la FC (test ergoespiométrico máximo en rampa; cicloergómetro). Se evaluó: (i) fuerza de miembros superiores (dinamómetro manual) e inferiores (altura de salto), (ii) flexibilidad ('sit-and-reach'), (iii) composición corporal (bioimpedancia; masa grasa, muscular y no-grasa), (iv) actividad física y conductas sedentarias (acelerometría; 24 horas/8 días), y (v) características cardiovasculares pre-ejercicio (diámetros arteriales, presión aórtica y braquial, índices de reflexión de ondas, hemodinámica global).

Resultados: Entre las variables asociadas al VO₂pico/Kg se encontraron: (i) nivel de grasa corporal, (ii) tiempo de actividad física 'muy vigorosa', (iii) fuerza de miembros inferiores y (iv) diámetros femorales. Integradamente, la FC pre-ejercicio y la fuerza de miembros superiores alcanzaron mayor capacidad explicativa de la velocidad de recuperación de la FC.

Conclusiones: Componentes de la condición física obtenidos en reposo y/o mediante tests sencillos, y características cardiovasculares pre-ejercicio, contribuyen a explicar los niveles de VO₂pico y velocidad de recuperación de la FC.

Palabras claves.

Actividad física; composición corporal; conductas sedentarias; ejercicio físico; fuerza; respuesta cardio-respiratoria.

Abstract.

Background: The cardio-respiratory response to exercise (analysed as peak oxygen consumption [VO₂peak]) and post-exercise cardiovascular recovery speed (analysed as heart rate [HR] recovery rate) are measures of the individual's cardio-respiratory capacity and are associated with health. Studying these responses implicates complex protocols and devices, making its indication and implementation difficult. In order to estimate cardio-respiratory capacity and identify who may have it reduced, it could be useful to know the level of other components that define the physical condition of a person and can be evaluated in an ordinary and low-cost way. Aforementioned requires identifying components associated with cardio-respiratory capacity.

Objectives: Identify if VO₂peak and HR recovery are related to components of physical condition, physical activity and pre-exercise cardiovascular attributes, and its strength of association.

Methods: In 178 healthy adults (99 male; 18-55 years) VO₂peak and HR recovery was measured using maximal ramp ergospirometry test and cycle-ergometer test. The evaluation included: (i) upper and lower limb strength (manual dynamometer and jump height), (ii) flexibility (sit-and-reach test), (iii) body composition (bioimpedance; fat, muscle and non-fat mass), (iv) physical activity and sedentary behaviours (accelerometry; 24 hours/8 days), and (v) pre-exercise cardiovascular characteristics (arterial diameters, aortic and brachial pressure, wave reflection indices, global hemodynamics).

Results: Among variables associated with VO₂peak/Kg, there were found: (i) body fat level, (ii) 'very vigorous' physical activity time, (iii) lower limb strength, and (iv) femoral artery diameter. Instead, HR recovery speed was mostly explained by pre-exercise HR and upper limb strength.

Conclusions: Physical condition components obtained at rest and/or through simple tests, and pre-exercise cardiovascular characteristics, contribute in explaining levels of VO₂peak and HR recovery speed.

Keywords: Physical activity; body composition; sedentary behaviours; physical exercise; strength; cardiorespiratory response.

4. INTRODUCCIÓN.

La respuesta cardio-respiratoria frente a la realización de ejercicio físico máximo (ej. en bicicleta fija), tanto en términos de máxima capacidad de realizar ejercicio (máxima respuesta) como de la dinámica de recuperación al finalizar el ejercicio máximo (dinámica post-esfuerzo) se relaciona con el estado de salud ¹. Como ejemplo, niveles reducidos de consumo pico de oxígeno (VO2pico) frente al esfuerzo máximo y/o una lenta recuperación (reducción hacia valores de reposo físico) de la presión arterial y/o frecuencia cardíaca (FC) al finalizar la actividad máxima, se asocian a un peor estado de condición física y/o de salud ¹.

Realizar un test en los que se evalúe integralmente la respuesta cardio-respiratoria frente al esfuerzo máximo controlado, aplicando protocolos estandarizados, es de gran utilidad tanto para valorar la condición física, como el riesgo cardiovascular. Sin embargo, conlleva emplear complejos protocolos y costosos equipos (ej. ergoespirometría, cardiografía de impedancia adaptada a movimiento, cicloergómetros específicos), que requieren instalaciones y personal altamente calificado, lo que dificulta notablemente su empleo en la población general y/o deportistas. Por esta razón, estas evaluaciones no suelen realizarse de manera rutinaria, y no se prescriben a la población general por más que su utilidad no es discutida.

Identificar qué factores están relacionados con la condición física, (i) medibles en reposo físico y/o con test sencillos, (ii) empleando equipos de baja complejidad y costo (ej. composición corporal mediante balanzas de bioimpedancia, fuerza de miembros mediante dinamómetros, actividad física mediante acelerometría, y/o estado funcional cardio-respiratorio de reposo) ², podrían permitir predecir la respuesta máxima y/o la recuperación post-esfuerzo, facilitando identificar (seleccionar) subgrupos de personas en quienes potencialmente sería de mayor importancia relativa realizar ergoespirometrías, por estimarse que su capacidad de respuesta y/o recuperación frente al esfuerzo estarían alteradas. Sin embargo, actualmente se desconoce si la capacidad de respuesta máxima y recuperación post-esfuerzo se asocian con los principales componentes de la condición física asociados a la salud, debido a diferentes factores. **Primero**, porque un mismo componente de la condición física, puede ser evaluado con muy diversas variables (parámetros o índices), que no necesariamente guardan la misma (potencial) asociación con la respuesta frente al ejercicio. Como ejemplo, la composición corporal puede evaluarse con índices: (i) globales (todo el cuerpo) vs. segmentarios (ej. miembros superiores o inferiores, tronco), o (ii) que describen la masa grasa corporal o la visceral, la masa muscular esquelética, o la masa 'no-grasa'. Por otra parte, como otro ejemplo, la 'actividad física semanal'

puede evaluarse con diferentes índices que no necesariamente guardan relación entre sí, o similar relación con la respuesta cardio-respiratoria en el ejercicio (ej. porcentaje del tiempo en actividad física 'vigorosa', 'moderada' o 'leve', número de pasos). **Segundo**, porque algunas variables pueden medirse en diferentes sitios (ej. fuerza de miembros superiores vs. inferiores), empleando sensores colocados en diferentes sitios (ej. acelerómetros colocados en muñeca [tipo reloj] vs. cintura [tipo cinturón]). Como consecuencia una misma "variable" podría diferir en fortaleza de asociación con la respuesta cardio-respiratoria al esfuerzo y/o la recuperación, según la zona donde es evaluada (ej. miembro superior vs. inferior), el tipo de tejido que evalúa (ej. tejido graso vs. no-graso) y/o el abordaje seleccionado (ej. acelerómetros en muñeca vs. cintura).

Por otra parte, otro abordaje potencialmente de utilidad, sería identificar si alguna característica estructural y/o funcional cardiovascular de reposo pre-ejercicio permitiría predecir la respuesta máxima del sistema cardio-respiratorio y/o de recuperación post-esfuerzo. En este contexto, también podría analizarse que no necesariamente todas las características cardiovasculares podrían tener similares niveles de asociación, ya que con la misma lógica que lo ya mencionado, los niveles de asociación podrían depender del sitio evaluado (ej. presión aórtica central vs. presión braquial periférica; arterias musculares [ej. femorales] vs. elásticas [ej. carótidas]). De hecho, trabajos previos mostraron que las características cardiovasculares de una persona (registradas en reposo), se asocian (o no) con la composición corporal o con los niveles de actividad física (evaluada por acelerometría), de una forma dependiente del parámetro cardiovascular considerado (estructural vs. funcional; central vs. periférico), de composición corporal (ej. índice grasos vs. no-grasos) y/o de acelerometría considerado (ej. en función del sitio de colocación del acelerómetro) ^{3,4}. En teoría, similares resultados podrían observarse al analizar la respuesta al ejercicio.

Así, se busca contribuir a identificar potenciales factores que puedan estar relacionados con la respuesta cardio-respiratoria en ejercicio máximo y/o en la recuperación post-esfuerzo. Esto podría posibilitar arribar a resultados preliminares, que orienten otras investigaciones, en la búsqueda de herramientas (de bajo costo y sencillo uso) para identificar personas que potencialmente presentan reducida capacidad de respuesta y/o recuperación frente al esfuerzo físico; y/o emplearlo como primer tamizaje para posteriormente evaluar con técnicas y procedimientos más complejos (ergoespiometría) a subgrupos específicos de personas.

5. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

5.1. Objetivo general.

Contribuir a identificar factores relacionados con la condición física y el estado cardiovascular de reposo pre-ejercicio, que guarden relación con la respuesta cardio-respiratoria frente al ejercicio máximo, y la dinámica de recuperación post-esfuerzo.

5.2. Objetivos específicos.

- 1) Identificar si los niveles de respuesta cardio-respiratoria frente al ejercicio máximo y/o la dinámica de recuperación post-esfuerzo de sujetos saludables, se encuentra asociada a:
 - i) Los niveles de componentes y/o sub-componentes de la condición física asociados a la salud (fuerza de miembros superiores e inferiores, flexibilidad, composición corporal global y segmentaria).
 - ii) Niveles de actividad física y conductas sedentarias.
 - iii) Características cardiovasculares de reposo pre-ejercicio.
- 2) Para aquellas variables registradas en reposo pre-ejercicio (i, ii y iii) que guarden relación con la respuesta cardio-respiratoria frente al ejercicio máximo y/o la dinámica de recuperación post-esfuerzo, analizar comparativamente sus niveles de asociación.

6. METODOLOGÍA.

6.1. Personas evaluadas.

El estudio se realizó en instalaciones del LIEBRE (<https://imagenologiachpr.edu.uy/liebre/>). Se incluyó una muestra no-probabilística de 178 personas (99 y 79 de sexo masculino y femenino, respectivamente) que fueron invitadas a participar del estudio. Para formar parte del mismo los participantes debieron cumplir los siguientes criterios: (i) edad ≥ 18 años; (ii) brindar consentimiento informado firmado; (iii) contar con aval médico para realizar el estudio propuesto, (iv) no presentar limitaciones funcionales o cognitivas que afecten la participación en el estudio (ej. no comprender las consignas), (v) no presentar limitaciones y/o afectaciones pre-ejercicio del sistema cardiovascular, respiratorio, músculo-esquelético, etc., que impida o reduzca la realización de ejercicio físico. Los procedimientos 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.

En cada persona incluida se realizaron una serie de evaluaciones: (i) entrevista y evaluación médica, a los efectos de conocer sus antecedentes y valorar su estado cardiovascular; (ii) mediciones antropométricas básicas, (iii) valoración de determinantes de la condición física:

fuerza y composición corporal, (iv) evaluación cardiovascular de reposo pre-ejercicio, y (v) prueba cardio-respiratoria de ejercicio máxima. Finalizadas estas evaluaciones, la persona se retiró del laboratorio llevando consigo un acelerómetro a nivel de la cintura, para evaluar la actividad física y conductas sedentarias que realiza en su vida habitual, durante las 24 horas de los siguientes 8 días. Transcurrido ese período, se colectaron los acelerómetros, finalizando así el período de evaluación de cada persona. Todas las evaluaciones se realizaron por la investigadora responsable del estudio, con apoyo de colaboradores específicamente seleccionados de acuerdo a los requerimientos de cada evaluación. Las modalidades de evaluación de la condición física utilizadas en el presente estudio se encuentran dentro de las más empleadas (de acuerdo con bibliografía y guías internacionales de referencia) ^{2, 5, 6, 7}.

6.2. Evaluaciones.

6.2.1. Entrevista y análisis médico.

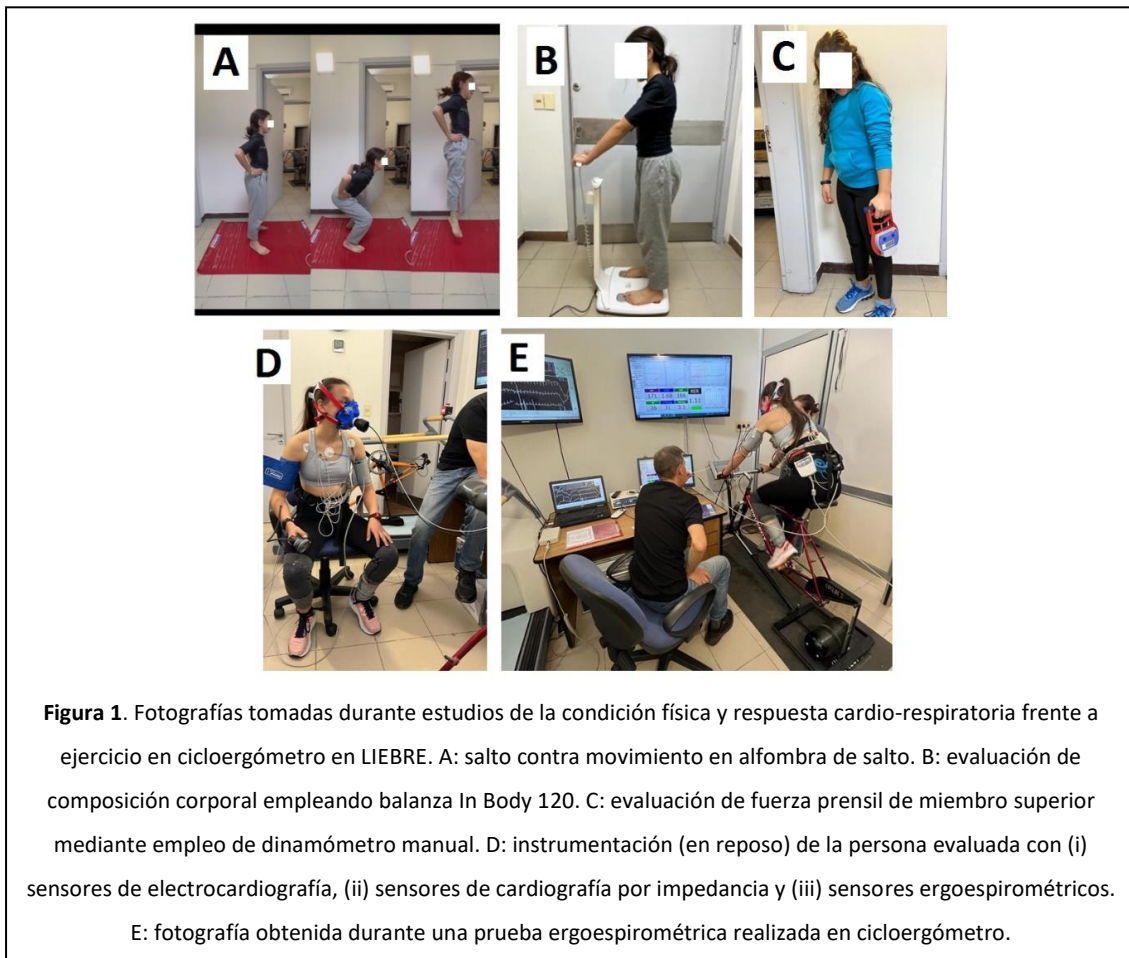
A cada persona se la entrevistó para recabar información sobre antecedentes biomédicos, nivel de exposición a factores de riesgo, consumo de fármacos, etc. Se realizó examen cardiovascular, que incluyó realización de electrocardiograma de reposo.

6.2.2. Características antropométricas y composición corporal.

La evaluación se realizó con la persona sin calzado y con vestimenta liviana. La talla corporal se midió con la persona en bipedestación utilizando un estadiómetro portátil (Modelo 217; SECA, Alemania) ³. La masa y composición corporal se determinaron empleando una balanza de bioimpedancia (InBody-120, InBody Co., Korea), que considera cinco componentes (miembros superiores e inferiores, y tronco) (Figura 1). Para la medición la persona se paró descalzo sobre una plataforma con cuatro electrodos y sostuvo con sus manos un manubrio con otros cuatro electrodos (emisores y receptores). La balanza empleada permite acceder a información (en valores absolutos y relativos) de (entre otras variables): masa grasa corporal, nivel de grasa visceral, masa muscular esquelética. Asimismo, los datos se expresaron discriminados por segmentos corporales (tronco, miembro superior derecho [MSD] e izquierdo [MSI], miembro inferior derecho [MID] e izquierdo [MII]) ³. A partir de los datos de masa y talla corporal se calculó el Índice de Masa Corporal (IMC): $IMC = Masa / Talla^2$, expresándose la masa en kilogramos y la talla en metros. Para el análisis de datos, se consideraron las siguientes variables de composición: (i) Masa libre de grasa ('fat free mass' [FFM]) de tronco, MSD, MSI, MID y MII, (ii) Masa muscular esquelética total, (iii) Masa grasa corporal total (en Kg y en % de la masa corporal total), (iv) Masa grasa ('body fat mass' [BFM]) de tronco, MSD, MSI, MID y MII, (v) Grasa visceral (expresadas en niveles de 1 a 20; mayor nivel representa mayor grasa).

6.2.3. Flexibilidad.

Se evaluó la flexibilidad mediante el test de sentarse y alcanzar (Sit and Reach Test). Tras realizar ejercicios de calentamiento, la persona se sentó en el piso, descalzo, con los miembros inferiores extendidos y los pies apoyados en el cajón de medición. Se colocó sobre el cajón una regla de manera que el borde del cajón marcara 26 cm; estando el valor 0 de la regla del lado de la persona. Una vez en posición, se le indicó que se estirase lentamente hacia adelante con ambas manos, una sobre la otra, lo más lejos posible, manteniendo esta posición aprox. 2 segundos. Las puntas de los dedos podían superponerse y debían contactar con el sector de medición (regla) del cajón. La distancia medida correspondió al punto más lejano alcanzado con las yemas de los dedos. La puntuación asignada fue la mejor de dos pruebas ^{8,9,10}.



6.2.4. Condición muscular.

La resistencia estática o isométrica de miembros superiores se determinó mediante la fuerza de prensión (contracción voluntaria máxima), utilizando un dinamómetro de mano (Handgrip, Takei: 5401) (Figura 1). Tras ajustar la barra de sujeción para que las segundas articulaciones de

los dedos estuviesen cómodas, se le solicitó a la persona que se parara con los pies ligeramente separados y sostuviera el dinamómetro alineado con el antebrazo a nivel del muslo y separado del cuerpo. Una vez en posición, la persona apretó el dinamómetro lo más fuerte posible, sin contener la respiración (para evitar la maniobra de Valsalva). Cuando el número que marcaba el dinamómetro quedaba fijo se registraba esa marca. La prueba se repitió dos veces con cada mano; para el análisis de datos se escogió la mayor de MSD y MSI.

La fuerza explosiva de miembros inferiores se evaluó mediante salto con contra movimiento (CMJ, del inglés, 'Counter Movement Jump'), utilizando una alfombra de contacto (Dina Chronojump, DINA-A3, Software 1.4.7, BOSCO SYSTEM, Uruguay) (Figura 1). Para la prueba, la persona se paró sobre la alfombra con las manos en la cintura. Partiendo de esa posición, efectuó un salto vertical después de un rápido contra movimiento hacia abajo (activación concéntrica precedida de fase excéntrica breve). Durante la fase de vuelo los miembros inferiores y tronco debían estar en completa extensión, había que saltar lo más alto posible, y finalmente aterrizar con la misma postura y en la misma posición de despegue ¹¹. A partir del tiempo de vuelo del CMJ se determinó la altura alcanzada (en cm).

6.2.5. Evaluación cardiovascular de reposo pre-ejercicio.

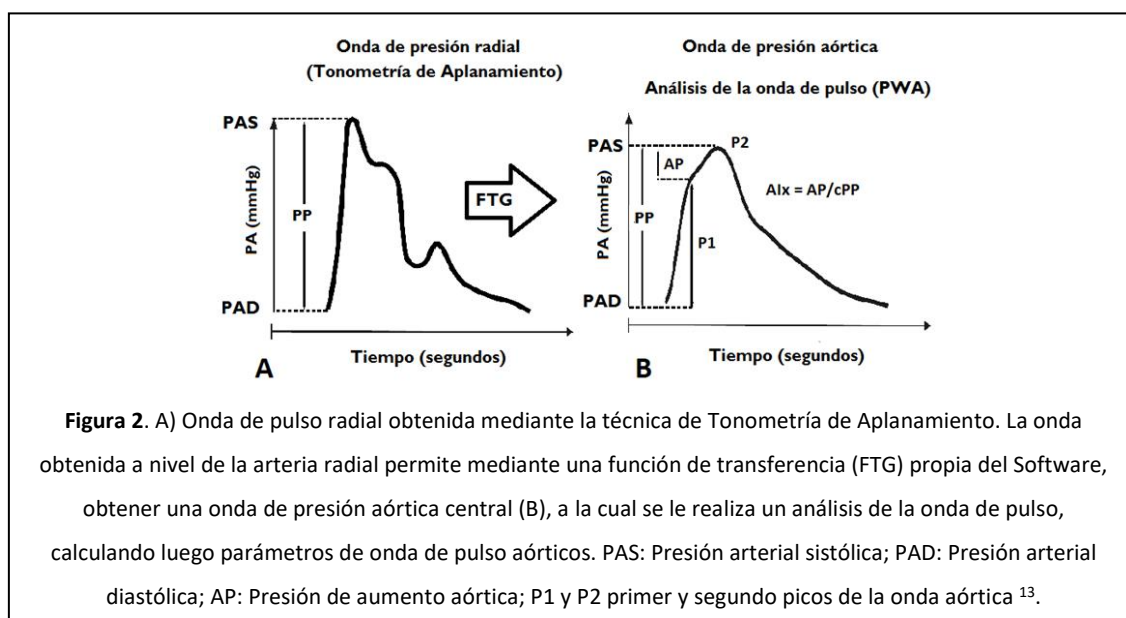
Presión arterial braquial (periférica) y aórtica (central); parámetros de la onda aórtica.

La FC, y presión arterial sistólica (PAS) y diastólica (PAD) de la arteria braquial izquierda (BI) fueron medidas a intervalos regulares de ~5 minutos (técnica oscilométrica; Hem-4030, OmronInc, Illinois, EEUU). La presión arterial media (PAM), se calculó como: $PAM = PAD + [(PAS - PAD)/3]$. La presión arterial braquial empleada para el análisis fue la registrada al medir la presión aórtica con tonometría de aplanamiento (ver a continuación).

La presión aórtica fue medida empleando tonometría de aplanamiento. Esta técnica implica la utilización de un tonómetro de aplanamiento: sensor de presión (de tipo 'lápiz') direccional que mide la presión de manera perpendicular a una superficie plana o que se puede aplanar, por ejemplo, la superficie arterial abordable desde la piel ¹². La tonometría permite obtener una excelente estimación de la forma de onda de presión intra-arterial. La onda de presión obtenida es luego calibrada por el software del equipo, a partir de introducir el valor de PAD y PAM braquial. En este trabajo, situando el tonómetro (Sphygmocor-CvMS, Atcor-Medical, Sidney, Australia) sobre la arteria radial, se obtuvo la onda de presión radial, y posteriormente el software (aplicando una función de transferencia generalizada) permitió obtener la onda de

presión aórtica, y así los valores de PAS, PAD, y presión de pulso ($PP = PAS - PAD$) aórtica. Se consideraron como válidos los registros con índice de operador (brindado por el software) $>85/100$. El valor de presión aórtica empleado, fue el promedio de tres registros.

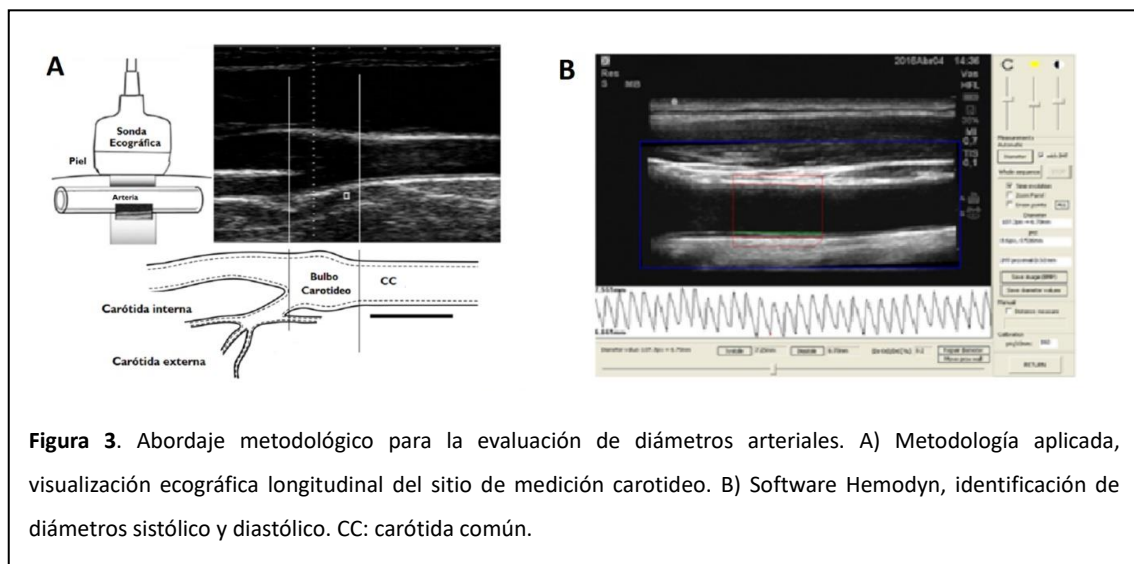
Adicionalmente, se obtuvieron parámetros derivados de la onda de pulso aórtica. Estos parámetros permiten evaluar la contribución absoluta y relativa de las reflexiones de onda, al nivel de presión aórtica, y así indirectamente valorar el estado funcional del sistema arterial, y caracterizar componentes de la poscarga ventricular ¹². En nuestro trabajo, utilizando el método del análisis de la onda de pulso en el dominio temporal (pulse wave analysis, PWA), se calculó: (i) Presión de aumento aórtica: valor neto (mmHg) de la contribución de la onda de presión reflejada (es decir la generada por el “rebote” de la onda incidente en la periferia) a la onda de presión obtenida (Figura 2); (ii) Índice de aumento aórtico (Aix): corresponde al valor relativo (en %) de la contribución de la onda reflejada a la onda de presión aórtica. Se calcula como el cociente entre la presión de aumento aórtica (AP) y la PP aórtica, multiplicando esto por cien. Dado que variaciones en la FC modifica el tiempo de sumación de la onda reflejada y la onda incidente, se calcula el Aix ajustado para una FC = 75 latidos/minuto (Aix@75). Mayor presión de aumento o Aix, indican una reflexión periférica aumentada, o un arribo precoz de las ondas reflejadas debido a una velocidad de propagación (rigidez) arterial aumentada.



Diámetros arteriales.

Se realizó evaluación ecográfica de las arterias carótida y femoral común izquierda y derecha, mediante ecografía Modo B (6-13 MHz, M-Turbo, SonositeInc, EEUU). Para ello, primero se

visualizaron las arterias en cortes longitudinales y transversales, para descartar la presencia de placas de ateroma; lo cual se realizó. Luego, se obtuvieron secuencias de imágenes (videos) de mínimo 30 segundos de duración, las que fueron almacenadas para su posterior análisis "off-line". Para evaluar las arterias carótidas comunes, se obtuvieron imágenes a un centímetro (proximal) de la bifurcación carotídea (Figura 3). En el caso de las femorales, se midió en el penúltimo centímetro proximal a la bifurcación femoral. Para calcular los diámetros arteriales se utilizó el software (Módulo 2, Hemodyn 4-M, Buenos Aires, Argentina), que permite obtener mediante detección automática de bordes, las ondas de diámetro arterial (latido-a-latido) (Figura 3), y a partir de ellas cuantificar el diámetro arterial máximo sistólico y mínimo diastólico. Para el análisis se consideró el diámetro diastólico mínimo de cada arteria evaluada, y los valores empleados fueron los promedios de al menos 6 determinaciones.



Hemodinámica global.

Empleando cardiografía de impedancia (PhysioFlow® PF07 Enduro™, ManatecBiomedical, Países Bajos) se cuantificaron los niveles de reposo pre-ejercicio, de la FC, el volumen sistólico y el gasto cardíaco (GC) (Figura 1). Además, a partir de ingresar al sistema los valores de PAS y PAD braquial, el sistema cuantificó la PAM braquial, y seguidamente las resistencias vasculares sistémicas ($RVS = PAM / GC$). El GC y RVS se expresaron antes y después de relativizarlos por el área de superficie corporal (Índice Cardíaco, Índice de Resistencias Vasculares Sistémicas). Los valores utilizados fueron los que surgieron del promedio del minuto de reposo pre-ejercicio.

6.2.6. Condición cardio-respiratoria (ergoespiometría).

Para evaluar la respuesta cardio-respiratoria se realizó un test en cicloergómetro (Cyclus 2, RBM elektronik-automation, Alemania), aplicando un protocolo incremental, máximo, continuo, en rampa, con determinación directa del intercambio de gases ventilatorios (Figura 1). Para esto, se utilizó un analizador de gases que permite medir las variables 'respiración a respiración' (Metalyzer3B, Cortex, Alemania). Para simultáneamente valorar la FC (junto a otras variables hemodinámicas) se colocó en la persona a evaluar el sistema de cardiografía de impedancia mencionado (PhysioFlow PF07 Enduro). Antes de comenzar la rampa, y ya habiendo comenzado las mediciones, la persona pasó por una etapa de reposo (sin pedalear; 3 minutos) y una de pedaleo a baja carga (calentamiento; carga 20 watts, 5 minutos). Seguidamente la persona comenzó el pedaleo "en rampa", y la carga fue paulatinamente creciendo a una tasa de 25 watts/minuto. Cuando la persona no pudo continuar pedaleando por estar exhausta, la carga se bajó a 20 watts (3 minutos), de forma que la persona realizara una recuperación activa (sin dejar de pedalear). Finalmente, sin bajarse de la bicicleta, la persona se mantuvo sin pedalear por 3 minutos. Antes y durante la prueba, se animó a las personas evaluadas a alcanzar su máximo.

Se midieron variables metabólicas y ventilatorias (ej. consumo de oxígeno [VO₂], producción de dióxido de carbono [VCO₂], ventilación minuto [VE]). El VO₂pico se determinó considerando los 30 segundos finales de la etapa de ejercicio máximo; y se expresó su valor absoluto, así como relativizado a la masa corporal (VO₂pico/Kg). Estas variables se utilizaron para valorar el nivel de respuesta cardio-respiratoria máxima alcanzada durante el ejercicio. El análisis posterior de los registros posibilitó calcular otros parámetros derivados. Específicamente, se cuantificó la pendiente de decaimiento (recuperación) de la FC post-esfuerzo, para el período de dos minutos que se inicia al haberse alcanzado la máxima carga de ejercicio, y en el que la persona se encuentra pedaleando con una carga estable de 20 watts.

Antes y durante la evaluación se registró continuamente el trazado electrocardiográfico de doce derivaciones (Cardiosoft-v7, General Electric, España) y variables hemodinámicas como el volumen eyectado, la FC, y el gasto cardíaco (PhysioFlow; Enduro, ManatecBiomedical, Francia). Antes y durante el estudio se realizaron registros periódicos de presión arterial braquial (método auscultatorio). Tras finalizar la prueba, se evaluó el esfuerzo muscular y el respiratorio percibido por la persona mediante aplicación de la escala de Borg modificada ¹⁴.

6.2.7. Registros con acelerometría.

El movimiento del sujeto durante un período de al menos ocho días, que comenzó a correr el día de los test en el laboratorio, se evaluó mediante el empleo de acelerómetros triaxiales, colocados en la cintura de la persona, y programados para que almacenaran la información durante las 24 horas (frecuencia de muestreo: 100 Hz; acelerómetros GT3X, ActiGraph, U.S.A). Se le solicitó a la persona que durante la semana de evaluación realizara las actividades habituales ⁴. El análisis de datos de acelerometría permite el cálculo de múltiples indicadores de actividad física y conductas sedentarias. En el presente trabajo, se definió cuantificar: (1) el nivel de conducta sedentaria, mediante dos variables: el promedio de la duración de los diversos períodos sedentarios que la persona tiene a lo largo de 24 horas, y el promedio de tiempo total sedentario que la persona tiene durante cada día; (2) la actividad física se evaluó a partir de cuantificar el porcentaje de tiempo que (durante los días de registro), la persona realizó actividad física de intensidad (i) ligera, (ii) moderada, (iii) vigorosa, (iv) muy vigorosa, y (v) de moderada a muy vigorosa. Además, se evaluó la misma mediante el cálculo de la cantidad de pasos/minuto que realiza la persona. Para este fin se definieron diferentes puntos de corte (umbrales; en "counts") para clasificar la intensidad de la actividad física: actividad leve (100-1951 counts), moderada (1952-5724 counts), vigorosa (5725-9498 counts) y muy vigorosa (≥ 9499 counts) ^{15, 16}. Para considerarse un período como "conducta sedentaria", la actividad física debía de estar en un nivel de counts menor a 100, por más de 10 minutos.

6.3. Análisis de datos.

Tras realizar los registros y realizar el procesamiento de los datos registrados con los softwares de análisis de datos, se construyó una base de datos en el programa Excel. Luego, esa base fue trabajada con el programa SPSS (v.26, IBM-SPSS Inc., Chicago, USA). Teniendo en cuenta el teorema del límite central, y el tamaño muestral (>30 personas), se asumió distribución normal. Las características descriptivas de la muestra evaluada se expresaron como valor medio y desviación estándar (variables continuas) o como porcentaje de presentación en la muestra (variable ordinal). 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 estadísticos diseñados. Al respecto, para los análisis de correlación, 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 precavidos), el número mínimo de personas a incluir se estipula en 84 ¹⁷. Para el caso de las regresiones lineales múltiples, nuevamente considerando un $\alpha=0,05$, $\beta=0,20$, tamaño de efecto de 0,30, y 8 variables

predictivas, el número mínimo de personas a evaluar es 114 sujetos (Regla de Green, $n=50+8*8=114$)¹⁸. Para el cálculo de tamaños muestrales se empleó el software MedCalc Statistical Software (v.19.5, MedCalc Inc., Ostend, Bélgica).

Se realizó un análisis en etapas. Primero, se analizó la potencial asociación entre variables, empleando correlaciones simples y parciales, considerando ajustes para edad y sexo. Seguidamente, para los análisis de regresión lineal múltiple, se escogieron como potenciales variables explicativas a ser ingresadas en los modelos a las que alcanzaron significancia estadística en los análisis de correlación. Los análisis de regresión múltiple, se realizaron ingresando las variables con el método 'Forward', siempre ingresando a la edad y sexo como potenciales variables explicativas, e ingresando al resto de las variables en agrupaciones (diferentes Modelos) relacionadas con el tipo de información aportada. El Modelo 1, consideró variables antropométricas y de composición corporal. El Modelo 2 se destinó a las variables de fuerza. El Modelo 3 consideró variables de actividad física y conductas sedentarias. El Modelo 4, consideró las variables cardiovasculares de reposo pre-ejercicio. Finalmente, el Modelo 5, consideró como potenciales variables explicativas a las que alcanzaron significancia en los Modelos 1 a 4. En los modelos de regresión lineal múltiple se empleó el coeficiente estandarizado (Beta estandarizado), para realizar un análisis comparativo de la capacidad explicativa de cada una de las variables independientes que quedan ingresadas en el Modelo.

7. RESULTADOS.

7.1. Características descriptivas de las personas estudiadas.

La Tabla 1 presenta las características descriptivas de las personas estudiadas. Nótese que todas las variables estuvieron en niveles esperados para sujetos saludables. Como era de esperar, la mayoría de las personas de la muestra presentaba valores elevados de actividad sedentaria y actividad física ligera. Por las características de las personas reclutadas como voluntarios, los factores de riesgo cardiovascular estuvieron en niveles muy bajos: tabaquismo actual: 4,4%, hipertensión arterial: 2,4%, dislipemia: 4,8%, diabetes: 0%, enfermedad cardiovascular previa: 0%.

7.2. Asociación entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y componentes de la condición física: composición corporal, flexibilidad y fuerza.

En la Tabla 2 se analiza la asociación entre las variables que definen la composición corporal, la flexibilidad y la fuerza, y los niveles de VO₂pico relativizados a la masa corporal (VO₂pico/Kg) y de la pendiente de recuperación post-esfuerzo de la FC. Se destaca que mayor nivel de grasa

corporal medido en porcentaje se asocia con menor VO_{2pico}/Kg , y con una recuperación más lenta de la FC, con independencia de la edad y el sexo. Adicionalmente, se observa que la grasa corporal total medida en porcentaje es la que presenta mayor fortaleza de asociación (coeficiente de Pearson) con respecto a otras variables de grasa segmentaria o visceral, con independencia de la edad y el sexo. A su vez, mayor masa muscular esquelética (en Kg) se asocia con mayor velocidad de recuperación post-esfuerzo de la FC, y con mayor VO_{2pico}/Kg , pero únicamente antes de ser ajustado por edad y sexo.

Existe una correlación positiva entre la fuerza de miembros inferiores (evaluada por salto contra movimiento) con el VO_{2pico}/Kg , tanto antes como después de realizar ajustes. Lo que es más, mayor velocidad de recuperación de la FC se asoció a mayor fuerza de miembros inferiores, estando esto en el límite de la significancia (valor de p entre 0,05 y 0,1) cuando se analiza con independencia de la edad y el sexo. Asimismo, mayor fuerza de miembros superiores (dinamometría prensil) se asoció con mayor VO_{2pico}/Kg , y con mayor velocidad de recuperación de la FC, con independencia de la edad y el sexo para la pendiente de recuperación de la FC, y en el límite de significancia para el VO_{2pico}/Kg .

7.3. Asociación entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y componentes de la condición física: conducta sedentaria y actividad física.

En la Tabla 3, se presenta la asociación entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y los índices de conductas sedentarias y actividad física medidos por acelerometría. En primer lugar, se encontró que mayor tiempo dedicado a conductas sedentarias se asocia a menor capacidad aeróbica (VO_{2pico}/Kg). Es importante destacar que esta asociación no persiste después de ajustar por edad y sexo. Por otro lado, menor velocidad de recuperación post-esfuerzo de la FC se asoció con mayor tiempo dedicado a conductas sedentarias, independientemente de la edad y el sexo.

En segundo lugar, el estudio demostró que el porcentaje de tiempo destinado a actividades físicas de mayor intensidad está directamente relacionado a mayor VO_{2pico}/Kg y mayor velocidad de recuperación de la FC. Estas asociaciones positivas se mantienen tanto antes como después de ajustar por la edad y el sexo de los individuos. Por último, los resultados muestran que más cantidad de pasos/minuto asocia mayor capacidad aeróbica (VO_{2pico}/Kg), y velocidad de recuperación de la FC, tanto antes como después de realizar ajustes.

Tabla 1. Características descriptivas de las personas estudiadas

	Masculino		Femenino		Todos	
	VM	DE	VM	DE	VM	DE
Edad (años)	28,4	8,4	30,0	7,2	29,1	7,9
Talla corporal (cm)	177,0	6,6	162,2	6,5	170,4	9,9
Masa corporal (Kg)	76,8	9,7	62,0	9,2	70,1	12,0
Índice de Masa Corporal (Kg/m ²)	24,5	2,4	23,6	3,3	24,1	2,9
Masa muscular esquelética corporal (Kg)	36,6	4,3	24,6	3,4	31,2	7,2
FFM MSD (Kg)	3,72	0,54	2,29	0,42	3,08	0,86
FFM MSI (Kg)	3,68	0,53	2,26	0,42	3,05	0,86
FFM tronco (Kg)	28,5	3,1	20,0	2,5	24,7	5,1
FFM MID (Kg)	9,82	1,19	6,65	1,03	8,40	1,93
FFM MII (Kg)	9,72	1,15	6,64	1,03	8,34	1,88
Masa grasa corporal (Kg)	12,6	5,4	17,3	7,2	14,7	6,7
Grasa corporal (%)	16,1	5,5	27,2	8,5	21,1	8,9
BFM MSD (Kg)	0,6	0,4	1,2	0,6	0,8	0,6
BFM MSI (Kg)	0,6	0,5	1,2	0,6	0,9	0,6
BFM tronco (Kg)	6,6	3,3	8,7	4,0	7,6	3,8
BFM MID (Kg)	1,8	0,6	2,6	0,9	2,2	0,9
BFM MII (Kg)	1,8	0,6	2,6	0,9	2,2	0,9
Grasa visceral (Nivel: 1 a 20)						
	1	8,2%	1,3%		5,1%	
	2	7,2%	5,1%		6,3%	
	3	19,6%	10,1%		15,3%	
	4	22,7%	15,2%		19,3%	
	5	14,4%	10,1%		12,5%	
	6	5,2%	11,4%		8,0%	
	7	11,3%	7,6%		9,7%	
	8	2,1%	6,3%		4,0%	
	9	4,1%	7,6%		5,7%	
	10	3,1%	3,8%		3,4%	
	11	0,0%	6,3%		2,8%	
	12	0,0%	7,6%		3,4%	
	14	1,0%	0,0%		0,6%	
	16	0,0%	2,5%		1,1%	
	17	1,0%	2,5%		1,7%	
	18	0,0%	2,5%		1,1%	
Test 'Sit and Reach' (cm)	28,34	9,18	32,24	10,04	30,05	9,73
Altura Salto Contra Movimiento (cm)	32,82	5,81	21,25	4,84	27,60	7,89
Fuerza prensil MSD (Kg)	43,9	7,7	27,6	4,9	36,7	10,5
Fuerza prensil MSI (Kg)	43,0	7,3	26,7	5,0	35,8	10,3
Promedio de 'período de conducta sedentaria' (min)	21,4	1,6	22,2	2,1	21,7	1,9
Tiempo diario de 'conducta sedentaria' (min)	321,2	101,9	350,2	109,5	333,7	105,8
Actividad física 'ligera' (% tiempo en actividad)	90,7	2,3	90,5	2,9	90,6	2,6
Actividad física 'moderada' (% tiempo en actividad)	7,1	1,9	7,2	1,9	7,1	1,9
Actividad física 'vigorosa' (% tiempo en actividad)	1,4	0,6	1,5	0,7	1,5	0,7
Actividad física 'muy vigorosa' (% tiempo en actividad)	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	0,6
Actividad física 'moderada a muy vigorosa' (% tiempo en actividad)	9,3	2,3	9,5	2,9	9,4	2,6
Cantidad de pasos por minuto	7,1	2,0	7,3	2,7	7,2	2,3

VM: valor medio. DE: desviación estándar. IMC: Índice de masa corporal. FFM: masa libre de grasa. BFM: masa grasa. MSI, MSD: miembro superior izquierdo y derecho, respectivamente. MII, MID: miembro inferior izquierdo y derecho, respectivamente.

Tabla 1 (continuación). Características descriptivas de las personas estudiadas

	Masculino		Femenino		Todos	
	VM	DE	VM	DE	VM	DE
FC (latidos/minuto)	81	16	89	24	84	20
Volumen sistólico (ml)	95,2	18,3	78,5	17,9	87,9	19,9
Gasto cardíaco (litros/minuto)	7,58	1,46	6,47	1,36	7,09	1,52
Índice cardíaco (litros/minuto/m ²)	4,40	0,83	4,29	0,97	4,35	0,89
RVS (dinas/s/cm ²)	1030	185	1110	219	1064	204
Índice de RVS (dinas/s/cm ² /m ²)	1993	344	1846	385	1929	368
Diámetro diastólico CCI (mm)	6,67	0,67	6,20	0,47	6,47	0,63
Diámetro diastólico CCD (mm)	6,77	0,54	6,35	0,36	6,59	0,51
Diámetro diastólico FCI (mm)	8,69	1,05	7,12	0,92	8,03	1,26
Diámetro diastólico FCD (mm)	8,50	0,98	7,16	0,85	7,94	1,14
PAS BI (mmHg)	121	9	112	8	117	9
PAD BI (mmHg)	66	6	67	7	67	6
PAM BI (mmHg)	84	7	82	7	83	7
PAS aórtica (mmHg)	106	7	97	7	102	8
PAD aórtica (mmHg)	67	7	68	7	67	7
PP aórtica (mmHg)	39	7	29	5	35	8
Presión de aumento aórtica (mmHg)	-1	4	2	4	0	4
Índice de aumento aórtico (%)	-2	10	7	12	2	11
Aix@75 (%)	-8	11	3	12	-3	12
VO2pico durante CPET (litros/minuto)	3,42	0,56	2,14	0,45	2,85	0,82
VO2pico/kg durante CPET (litros/minuto/Kg)	45	8	35	8	41	9
Pendiente recuperación FC (Post CPET)	-18,0	3,6	-16,3	4,4	-17,2	4,0

VO2pico y VO2pico/Kg: consumo de oxígeno pico obtenido durante el test cardio-respiratorio de esfuerzo (CPET), sin y con ajuste por la masa corporal. Pendiente FC: pendiente de recuperación de la frecuencia cardíaca post-CPET. FC: frecuencia cardíaca. RVS: resistencias vasculares sistémicas. CCI, CCD: carótida común izquierda y derecha, respectivamente. FCI, FCD: femoral común izquierda y derecha, respectivamente. BI: arteria braquial izquierda. PAS, PAD, PAM: presión arterial sistólica, diastólica y media, respectivamente. PP: presión de pulso. Aix: Índice de aumento aórtico.

7.4. Asociación entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y características cardiovasculares pre-ejercicio.

La Tabla 4 describe la asociación entre variables cardiovasculares de reposo pre-ejercicio, y niveles de VO2pico/Kg y de recuperación de FC. Mayores niveles de PAD y PAM se asocian, en términos generales, con menores niveles de VO2pico/Kg. Adicionalmente, se observa que cuanto más contribuyen en términos relativos las reflexiones de onda a los niveles de PAS aórtica (mayor Aix@75), menor es el VO2pico/Kg alcanzado en la prueba, y más lenta es la recuperación de la FC una vez finalizado el máximo esfuerzo.

Cuando se analizan los diámetros arteriales, se observa que mayor diámetro arterial femoral, se asocia con mayor VO2pico/Kg y mayor velocidad de recuperación de la FC, tanto antes como después de ajustar por edad y sexo. Sin embargo, los diámetros arteriales carotídeos no mostraron una asociación estadísticamente significativa con las variables en estudio.

Nótese también que mayor FC pre-ejercicio se asocia a menor VO2pico/Kg y a una recuperación más lenta de la FC, con independencia de la edad y el sexo.

7.5. Respuesta cardio-respiratoria máxima en esfuerzo (VO2pico/Kg): características de la condición física y/o cardiovasculares como variables predictivas (independientes).

La Tabla 5 muestra los modelos de regresión para el VO2pico/Kg (variable dependiente) obtenidos al ingresar las variables de condición física y/o cardiovasculares como variables explicativas (independientes). Al considerar las variables antropométricas y de composición corporal (Modelo 1), puede notarse que la grasa corporal total medida en porcentaje fue la variable que presentó mayor capacidad explicativa del nivel de VO2pico/Kg, en términos comparativos con los demás indicadores de composición corporal, visualizadas en la Tabla 2. Al considerar las variables de fuerza (Modelo 2), fue la altura del salto (fuerza de miembros inferiores) y el sexo, en ese orden (beta estandarizado: 0,45 y -0,25, respectivamente), las que quedaron en el modelo, dejando fuera a la fuerza de miembros superiores.

Tabla 2. Asociación (correlaciones) entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y componentes de la condición física: composición corporal, flexibilidad y fuerza					
		Correlaciones (no-ajustadas)		Correlaciones ajustadas (parciales)	
		VO2pico/kg	Pendiente recuperación FC	VO2pico/kg	Pendiente recuperación FC
Talla corporal (cm)	r	0,464	-0,233	0,062	-0,123
	p	0,000	0,004	0,445	0,131
Masa corporal (Kg)	r	0,153	-0,228	-0,299	-0,119
	p	0,058	0,004	0,000	0,144
Índice de Masa Corporal (Kg/m ²)	r	-0,243	-0,098	-0,382	-0,052
	p	0,002	0,227	0,000	0,521
Grasa corporal (Kg)	r	-0,679	0,253	-0,582	0,214
	p	0,000	0,002	0,000	0,008
Grasa corporal (%)	r	-0,754	0,367	-0,596	0,334
	p	0,000	0,000	0,000	0,000
BFM MSD (Kg)	r	-0,717	0,306	-0,577	0,257
	p	0,000	0,000	0,000	0,001
BFM MII (Kg)	r	-0,716	0,305	-0,579	0,254
	p	0,000	0,000	0,000	0,002
BFM tronco (Kg)	r	-0,651	0,234	-0,582	0,205
	p	0,000	0,003	0,000	0,011
BFM MID (Kg)	r	-0,692	0,263	-0,565	0,213
	p	0,000	0,001	0,000	0,008
BFM MII (Kg)	r	-0,694	0,266	-0,563	0,216
	p	0,000	0,001	0,000	0,008
Nivel de grasa visceral	r	-0,675	0,263	-0,583	0,228
	p	0,000	0,001	0,000	0,005
Masa muscular esquelética (Kg)	r	0,513	-0,359	0,092	-0,345
	p	0,000	0,000	0,258	0,000
FFM MSD (Kg)	r	0,479	-0,361	0,047	-0,340
	p	0,000	0,000	0,562	0,000
FFM MSI (Kg)	r	0,482	-0,366	0,051	-0,349
	p	0,000	0,000	0,532	0,000
FFM tronco (Kg)	r	0,477	-0,350	0,030	-0,322
	p	0,000	0,000	0,711	0,000
FFM MID (Kg)	r	0,521	-0,348	0,124	-0,317
	p	0,000	0,000	0,129	0,000
FFM MII (Kg)	r	0,526	-0,350	0,134	-0,320
	p	0,000	0,000	0,101	0,000
Test 'Sit and Reach' (cm)	r	-0,104	0,013	-0,010	-0,020
	p	0,199	0,874	0,902	0,809
Altura de Salto Contra Movimiento (cm)	r	0,624	-0,214	0,317	-0,126
	p	0,000	0,008	0,000	0,092
Fuerza prensil MSD (Kg)	r	0,500	-0,300	0,133	-0,223
	p	0,000	0,000	0,098	0,006
Fuerza prensil MSI (Kg)	r	0,543	-0,339	0,215	-0,291
	p	0,000	0,000	0,008	0,000

r: coeficiente de Pearson. FFM: masa libre de grasa. BFM: masa grasa. MSI, MSD: miembro superior izquierdo y derecho, respectivamente. MII, MID: miembro inferior izquierdo y derecho, respectivamente. VO2pico/Kg: consumo de oxígeno pico obtenido durante el test cardio-respiratorio de esfuerzo, ajustado por la masa corporal. Pendiente FC: pendiente de recuperación de la frecuencia cardíaca post-test cardio-respiratorio de esfuerzo. FC: frecuencia cardíaca. Correlaciones parciales: ajustadas por edad y sexo.

Adicionalmente, del análisis del Modelo 3 se desprende que al considerar las variables indicadoras de conductas sedentarias y actividad física ilustradas en la Tabla 3, las que mostraron mayor significancia estadística en orden de capacidad explicativa del nivel de VO2pico/Kg, fue el porcentaje de tiempo en actividad física 'muy vigorosa', además del sexo y la edad. Por su parte, el Modelo 4 muestra que las variables cardiovasculares pre-ejercicio que poseen mayor capacidad explicativa de las variaciones en VO2pico/Kg, fueron el diámetro diastólico femoral, la PAD, y el gasto cardíaco, además del sexo y la edad.

Finalmente, el Modelo 5 muestra que cuando participan integradamente las distintas variables que quedaron ingresadas en los modelos 1 a 4, las de mayor capacidad explicativa fueron (i) la grasa corporal total (%), (ii) la actividad física 'muy vigorosa', (iii) la altura de salto, y (iv) el diámetro femoral. A pesar de que el sexo cobró gran relevancia en el Modelo 3, al compararlo integralmente con las restantes variables, pierde significancia, quedando fuera del Modelo 5.

Tabla 3. Asociación (correlaciones) entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y componentes de la condición física: conductas sedentarias y actividad física

		Correlaciones (no-ajustadas)		Correlaciones ajustadas (parciales)	
		VO2pico/kg	Pendiente recuperación FC	VO2pico/kg	Pendiente recuperación FC
Promedio de 'período de conducta sedentaria' (min)	r	-0,126	-0,088	-0,030	-0,123
	p	0,163	0,335	0,741	0,180
Tiempo diario de 'conducta sedentaria' (min)	r	-0,211	0,310	-0,112	0,294
	p	0,019	0,000	0,222	0,001
Actividad física 'ligera' (% tiempo)	r	-0,185	0,164	-0,165	0,162
	p	0,041	0,071	0,070	0,077
Actividad física 'moderada' (% tiempo)	r	0,041	-0,242	0,091	-0,267
	p	0,649	0,007	0,321	0,003
Actividad física 'vigorosa' (% tiempo)	r	0,242	-0,186	0,369	-0,201
	p	0,007	0,039	0,000	0,027
Actividad física 'muy vigorosa' (% tiempo)	r	0,357	-0,203	0,419	-0,202
	p	0,000	0,024	0,000	0,026
Actividad física 'moderada a muy vigorosa' (% tiempo)	r	0,175	-0,272	0,256	-0,294
	p	0,053	0,002	0,005	0,001
Cantidad de pasos por minuto	r	0,218	-0,286	0,318	-0,310
	p	0,016	0,001	0,000	0,001

r: coeficiente de Pearson. VO2pico/Kg: consumo de oxígeno pico obtenido durante el test cardio-respiratorio de esfuerzo, ajustado por la masa corporal.
Pendiente FC: pendiente de recuperación de la frecuencia cardíaca post-test cardio-respiratorio de esfuerzo. FC: frecuencia cardíaca.

7.6. Recuperación post-esfuerzo de la frecuencia cardíaca: características de la condición física y/o cardiovasculares como variables predictivas (independientes).

La Tabla 6 muestra los modelos explicativos de los niveles de recuperación post-esfuerzo de FC, a partir de la construcción de modelos de regresión lineal múltiple. El Modelo 1 evidencia que, entre las variables de composición corporal, la grasa corporal total (%) es la principal variable explicativa, tal como lo fue para los modelos explicativos de la VO2pico/Kg. El Modelo 2 muestra que la fuerza prensil de miembros superiores, y no la fuerza de salto, fue la variable con mayor capacidad explicativa de los niveles de recuperación post-esfuerzo de la FC.

Considerando las variables de conductas sedentarias y actividad física (Tabla 3), se generó el Modelo 3, mostrando como indicadores más predictivos a (i) los pasos/minuto, (ii) el promedio de período de conducta sedentaria y (iii) sexo. La FC pre-ejercicio mostró ser la variable explicativa de mayor preponderancia al considerar las cardiovasculares (Tabla 4), conformando el Modelo 4. Finalmente, el Modelo 5 muestra que al considerar todas las variables que quedaron ingresados en los modelos 1 a 4, las que resultaron más explicativas de la velocidad de recuperación de la FC fueron (i) la FC pre-ejercicio y (ii) la fuerza prensil de miembro superior, quedando excluida del modelo el sexo.

Tabla 4. Asociación (correlaciones) entre indicadores de respuesta al ejercicio y recuperación post-esfuerzo, y características cardiovasculares pre-ejercicio: presión arterial periférica y central, y parámetros de reflexión de onda

		Correlaciones (no-ajustadas)		Correlaciones ajustadas (parciales)	
		VO2pico/kg	Pendiente recuperación FC	VO2pico/kg	Pendiente recuperación FC
PAS BI (mmHg)	r	0,073	-0,053	-0,220	0,058
	p	0,521	0,641	0,055	0,619
PAD BI (mmHg)	r	-0,405	0,222	-0,409	0,196
	p	0,000	0,050	0,000	0,088
PAM BI (mmHg)	r	-0,249	0,137	-0,366	0,162
	p	0,027	0,230	0,001	0,158
PAS Aórtica (mmHg)	r	0,116	-0,105	-0,220	0,017
	p	0,310	0,357	0,054	0,885
PP Aórtica (mmHg)	r	0,482	-0,338	0,180	-0,243
	p	0,000	0,002	0,117	0,033
Presión de aumento aórtica (mmHg)	r	-0,341	0,229	-0,159	0,146
	p	0,002	0,042	0,167	0,205
Aix@75 (%)	r	-0,511	0,370	-0,326	0,300
	p	0,000	0,001	0,004	0,008
Diámetro diastólico CCI (mm)	r	0,078	-0,118	-0,089	-0,081
	p	0,489	0,292	0,436	0,476
Diámetro diastólico CCD (mm)	r	0,082	-0,080	-0,123	-0,015
	p	0,469	0,476	0,281	0,897
Diámetro diastólico FCI (mm)	r	0,580	-0,296	0,447	-0,226
	p	0,000	0,007	0,000	0,045
Diámetro diastólico FCD (mm)	r	0,514	-0,241	0,371	-0,162
	p	0,000	0,030	0,001	0,053
FC pre-ejercicio (latidos/minuto)	r	-0,426	0,476	-0,410	0,455
	p	0,000	0,000	0,000	0,000
Volumen sistólico (mililitros)	r	0,246	-0,292	0,040	-0,242
	p	0,001	0,000	0,611	0,002
Gasto cardíaco (litros/minuto)	r	-0,050	0,117	-0,335	0,189
	p	0,519	0,133	0,000	0,015
Índice cardíaco (litros/minuto/m ²)	r	-0,065	0,265	-0,122	0,264
	p	0,405	0,001	0,119	0,001
RVS (dinas/s/cm ²)	r	0,043	-0,173	0,217	-0,209
	p	0,578	0,025	0,005	0,007
Índice de RVS (dinas/s/cm ² /m ²)	r	0,113	-0,255	0,057	-0,221
	p	0,145	0,001	0,469	0,004

r: coeficiente de Pearson. VO2pico/Kg: consumo de oxígeno pico obtenido durante el test cardio-respiratorio de esfuerzo, ajustado por la masa corporal. Pendiente FC: pendiente de recuperación de la frecuencia cardíaca post-test cardio-respiratorio de esfuerzo.

FC: frecuencia cardíaca. BI: arteria braquial izquierda. PAS, PAD, PAM: presión arterial sistólica, diastólica y media, respectivamente. PP: presión de pulso. CCI, CCD: carótida común izquierda y derecha, respectivamente. FCI, FCD: femoral común izquierda y derecha, respectivamente. RVS: resistencias vasculares sistémicas. Aix@75: índice de aumento aórtico ajustado a 75 latidos/minuto.

Tabla 5. Modelos de regresión múltiple obtenidos para el VO2pico/Kg (variable dependiente) y componentes de la condición física y características del sistema cardiovascular (variables independientes)

Modelo	Variables incluidas en el modelo	Coeficientes no-estandarizados		Coeficientes estandarizados	p	IC 95%, Coeficiente Beta		FIV	R	R ²	R ² ajustado
		Beta	EE			Lím. Inf.	Lím. Sup.				
1	Constante	57,25	1,14		0,000	54,99	59,51				
	Grasa corporal (%)	-0,80	0,05	-0,770	0,000	-0,89	-0,70	1,000	0,770	0,593	0,590
2	Constante	28,79	3,30		0,000	22,28	35,31				
	Altura Salto Contra Movimiento (cm)	0,50	0,10	0,449	0,000	0,31	0,70	2,153	0,653	0,427	0,420
	Sexo (Femenino: 1, Masculino: 0)	-4,40	1,55	-0,248	0,005	-7,47	-1,34	2,153			
	Constante	46,44	2,66		0,000	41,17	51,71				
	Sexo (Femenino: 1, Masculino: 0)	-10,30	1,28	-0,532	0,000	-12,83	-7,76	1,002	0,667	0,445	0,432
	Actividad física 'muy vigorosa' (% tiempo)	5,40	1,00	0,357	0,000	3,42	7,37	1,000			
	Edad (años)	-0,19	0,08	-0,150	0,025	-0,35	-0,02	1,003			
	Constante	62,02	10,82		0,000	40,46	83,58				
	Diámetro diastólico FCI (mm)	3,28	0,77	0,440	0,000	1,75	4,81	1,848			
	PAD BI (mmHg)	-0,33	0,13	-0,226	0,011	-0,58	-0,08	1,312			
	Sexo (Femenino: 1, Masculino: 0)	-6,46	2,02	-0,334	0,002	-10,49	-2,43	1,894	0,762	0,580	0,552
	Gasto cardíaco (litros/minuto)	-2,28	0,62	-0,321	0,000	-3,51	-1,04	1,325			
	Edad (años)	-0,23	0,11	-0,197	0,037	-0,44	-0,01	1,491			
	Constante	23,60	6,85		0,001	9,90	37,30				
	Grasa corporal (%)	-0,37	0,10	-0,397	0,000	-0,56	-0,18	2,344			
	Actividad física 'muy vigorosa' (% tiempo en actividad)	4,08	1,05	0,269	0,000	1,98	6,19	1,085	0,860	0,739	0,721
	Altura Salto Contra Movimiento (cm)	0,35	0,11	0,298	0,003	0,12	0,57	2,066			
	Diámetro diastólico FCI (mm)	1,43	0,57	0,198	0,014	0,30	2,57	1,396			

FIV: factor de inflación de la varianza. FC: frecuencia cardíaca. PAD: presión arterial diastólica. BI: brazo izquierdo. FCI: femoral común izquierda. IC: intervalo de confianza. Variables excluidas de los modelos:

Modelo 1: Talla corporal, Masa corporal, Índice de Masa Corporal, Masa Grasa corporal, Nivel de grasa visceral, Masa muscular esquelética, Edad, Sexo.

Modelo 2: Edad, HGD1, HGI1.

Modelo 3: Promedio diario de 'períodos de sedentarismo' (min), Actividad física 'ligera' (% tiempo), Actividad física 'vigorosa' (% tiempo), Actividad física 'moderada a muy vigorosa' (% tiempo), Cantidad de pasos por minuto.

Modelo 4: Presión arterial media, Presión de pulso aórtica, Presión de aumento aórtica, Índice de aumento aórtico, Índice de viabilidad subendocárdica, Diámetro diastólico FCD, Frecuencia cardíaca, Volumen sistólico, Resistencias vasculares periféricas.

Modelo 5: Edad, Sexo, Presión arterial diastólica, Gasto cardíaco.

Tabla 6. Modelos de regresión múltiple obtenidos para la recuperación de la frecuencia cardíaca (variable dependiente) y componentes de la condición física y características del sistema cardiovascular (variables independientes)

Modelo	Variables incluidas en el modelo	Coeficientes no-estandarizados		Coeficientes estandarizados	p	IC 95%, Coeficiente Beta		FIV	R	R ²	R ² ajustado
		Beta	EE			Lím. Inf.	Lím. Sup.				
1	Constante	-20,77	0,75		0,000	-22,25	-19,29				
	Grasa corporal (%)	0,17	0,03	0,378	0,000	0,11	0,24	1,000	0,378	0,143	0,137
2	Constante	-12,39	1,07		0,000	-14,49	-10,28				
	Fuerza prensil MSI (Kg)	-0,13	0,03	-0,353	0,000	-0,19	-0,08	1,000	0,353	0,125	0,119
	Constante	-17,07	1,56		0,000	-20,17	-13,97				
	Cantidad de pasos por minuto	-0,54	0,14	-0,316	0,000	-0,82	-0,27	1,024	0,487	0,237	0,218
	Promedio de 'período de conducta sedentaria' (min)	0,01	0,00	0,238	0,005	0,00	0,02	1,055			
	Sexo (Femenino: 1, Masculino: 0)	2,00	0,70	0,235	0,005	0,61	3,38	1,049			
	Constante	-29,36	2,36		0,000	-34,07	-24,65				
	FC pre-ejercicio (latidos/minuto)	0,14	0,03	0,515	0,000	0,09	0,20	1,000	0,515	0,265	0,255
	Constante	-24,26	2,08		0,000	-28,38	-20,15				
	FC pre-ejercicio (latidos/minuto)	0,13	0,02	0,520	0,000	0,09	0,17	1,050	0,637	0,406	0,395
	Fuerza prensil MSI (Kg)	-0,10	0,03	-0,272	0,000	-0,16	-0,05	1,050			

FIV: factor de inflación de la varianza. FC: frecuencia cardíaca. IC: intervalo de confianza. MSI: miembro superior izquierdo. Variables excluidas de los modelos:

Modelo 1: Edad, Sexo, Talla corporal, Masa corporal, Masa corporal, Nivel de grasa visceral, Masa muscular esquelética.

Modelo 2: Edad, Sexo, CMJ1, HGD1.

Modelo 3: Edad, Actividad física 'ligera' (% tiempo), Actividad física 'moderada' (% tiempo), Actividad física 'vigorosa' (% tiempo), Actividad física 'moderada a muy vigorosa' (% tiempo).

Modelo 4: Edad, Sexo, Presión arterial diastólica, Presión de pulso aórtica, Presión de aumento aórtica, Índice de aumento aórtico, Índice de viabilidad subendocárdica, Diámetro diastólico FCI y FCD, Volumen sistólico, Gasto cardíaco, Índice cardíaco, Resistencias vasculares periféricas, Índice de resistencias vasculares periféricas.

Modelo 5: Sexo, Grasa corporal (%), Cantidad de pasos por minuto, Promedio de cada 'período de sedentarismo'.

8. DISCUSIÓN.

El presente trabajo se diseñó buscando contribuir, como un primer paso, a identificar variables que permitan explicar, y en el futuro predecir, los niveles de respuesta cardio-respiratoria máxima alcanzada en una prueba de esfuerzo en cicloergómetro, y/o los niveles de velocidad de recuperación de la FC al finalizar el esfuerzo máximo. Lejos de querer aportar datos

concluyentes, se busca identificar aspectos que deberán ser tenidos en cuenta en futuros trabajos, que con un mayor tamaño muestral y diversidad de personas, a la vez que con otros abordajes estadísticos, permitan identificar ecuaciones predictivas y puntos de corte. El análisis de los resultados, y su interpretación, permite llegar a cinco resultados principales.

8.1. Principales resultados: análisis bivariados.

- **Primero**, se evidencia que a menor grasa corporal total y mayor fuerza de miembros superiores e inferiores (como componentes indicadores de condición física), mayor es el VO₂pico/Kg, y la velocidad de recuperación de la FC.
- **Segundo**, cuanto mayor es la actividad física en nivel de intensidad ‘vigorosa’, o mayor sea la cantidad de pasos/minuto que realiza la persona, mayor se espera sea el nivel de VO₂pico/Kg y la velocidad de recuperación de la FC.
- **Tercero**, a menor PAD, y en este contexto a mayor PP, mayor VO₂pico/Kg y velocidad de recuperación de la FC. En otras palabras, a expensas de una menor PAD, mayor PP pre-ejercicio, se asocia a mayor VO₂ pico/Kg y velocidad de recuperación de la FC.

Estos resultados son concordantes con el trabajo de Yáñez-Sepúlveda y col. (2023) en el que se concluye que el tejido graso total tiene una relación negativa con la capacidad cardio-respiratoria, mientras que el tejido muscular presenta una relación positiva con dicha capacidad ¹⁹. Por otra parte, concuerda con lo reportado por Azam y col. (2019), quienes trabajando en una población pakistaní encontraron que la grasa corporal total se correlaciona negativamente con la recuperación de la FC dos minutos después de terminado el ejercicio, lo que es comparable con los resultados obtenidos ²⁰.

Además, los resultados permiten evidenciar que en términos de capacidad predictiva de la respuesta cardio-respiratoria máxima y/o de su velocidad de recuperación, el contenido de masa grasa, más que de masa no-grasa, podría tener un mayor valor. En otras palabras, que el nivel de masa grasa de la persona fuese lo que más describe su capacidad de realizar o recuperarse del ejercicio aeróbico. Sin embargo, cabe señalar que, en nuestro trabajo, nos ceñimos a las variables aportadas por el dispositivo de bioimpedancia (balanza InBody 120), no habiendo realizado cálculos adicionales. Consecuentemente, no se utilizó como variable la cantidad de músculo esquelético relativo (porcentual), como si se hizo con la masa grasa. En este contexto, futuros trabajos deberán analizar si otras formas de cuantificar la

‘composición corporal’ podrían tener similar o mayor capacidad explicativa que los niveles de masa grasa porcentual.

Adicionalmente, esto es concordante con lo reportado por Cornelissen y col. (2010), quienes encontraron que los planes de entrenamiento que incluyen actividad física de intensidad ‘elevada’, resultaron en una significativa mejora de la recuperación de la FC ²¹. Por otra parte, nuestros análisis de correlaciones permiten llegar a resultados concordantes con los de Azam y col. (2019), quienes describieron que pacientes con hábito sedentario recuperaron más lentamente la FC que aquellos que no lo tenían ²⁰.

Finalmente, mayor VO₂pico y una más rápida recuperación de la FC, en un contexto de menor PAD (y mayor PP) podría relacionarse con la existencia de menor resistencia vascular periférica y/o mayor capacidad de respuesta vasodilatadora; factores determinantes de mayor “facilidad” de aporte (menor carga o resistencia), y mayor y más eficiente consumo de oxígeno muscular.

8.2. Principales resultados: análisis multivariados.

- **Cuarto**, entre las principales variables que se asocian integralmente a mayor VO₂pico/Kg, se encontraron las (i) variaciones en grasa corporal total, (ii) los niveles de actividad física ‘muy vigorosa’, (iii) la fuerza de miembros inferiores (altura del salto), y (iv) las características cardiovasculares relacionadas con diámetros de arterias de miembros inferiores (femoral); siendo las dos primeras, las de mayor peso estadístico.
- **Quinto**, integradamente, la FC pre-ejercicio y la fuerza prensil de miembros superiores, fueron las variables que conjuntamente alcanzaron la mayor capacidad explicativa (predictiva) de los niveles de recuperación post-esfuerzo de la FC.

Con respecto al primer punto, conjuntamente, es claro que en términos de capacidad explicativa del VO₂pico/Kg, (i) la grasa corporal supera a la masa muscular, (ii) los niveles de actividad física de intensidad vigorosa, superan a la cantidad de actividad física realizado en cualquier otro nivel de intensidad o incluso a la conductas sedentarias, (iii) la fuerza de miembros inferiores supera a la de miembros superiores, y que (iv) una característica estructural, como lo son los diámetros arteriales femorales, supera a cualquier otra característica cardiovascular funcional, o incluso a la estructura de arterias carótidas. Sin embargo, claramente, ninguna de estas variables se encontró entre las que permiten alcanzar los mayores niveles explicativos de las variaciones en

la velocidad de recuperación de la FC. Es más, contrariamente a lo reportado para el VO2pico/Kg, fue la fuerza de miembros superiores, y no de miembros inferiores, la que se asoció con más fuerza a la capacidad de recuperación de la FC. De hecho, llama la atención, que entre dos variables relacionadas con la "capacidad aeróbica", que inicialmente podrían considerarse muy estrechamente relacionadas (capacidad de rendimiento máximo y de recuperación post-ejercicio), no haya existido solapamiento en las variables explicativas. En términos prácticos, esto podría conllevar que al menos en teoría, en caso de valorarse las características de la condición física de una persona con el objetivo de 'predecir' su capacidad de rendimiento (VO2pico/Kg) y de recuperación (pendiente de la FC), un estudio de fuerza de miembros superiores e inferiores, aportaría información complementaria.

El gran valor predictivo de la grasa corporal total sobre el VO2pico/Kg objetivado en nuestros resultados, condice con lo evidenciado por Mondal y col (2017), quienes encontraron una relación inversa entre grasa corporal y VO2 máximo ²². A igual que nuestros resultados, estos autores encontraron que la grasa corporal supera al índice de masa corporal en su capacidad de explicar los niveles de VO2 máximo ²². Por otro lado, Ozaki y col (2017) evidenciaron correlación positiva entre el ejercicio de alta intensidad y el VO2pico/Kg en mujeres adultas no entrenadas²³. Esto fortalece el rol preponderante de la actividad física de alta intensidad como factor predictivo del VO2pico/Kg, siendo esta más relevante que el nivel de sedentarismo. Las correlaciones encontradas en nuestro trabajo respecto a que mayor fuerza prensil de miembros superiores se relacionan con la recuperación post-esfuerzo, se encuentra en concordancia con lo sugerido en el estudio realizado por Cristiane Silva y col (2018). En el mismo, se compararon dos grupos de mujeres categorizadas según su fuerza prensil; los resultados mostraron que las mujeres con mayor fuerza relativa de presión manual presentaron una recuperación más rápida de FC post ejercicio ²⁴.

8.3. Fortalezas y limitaciones.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo deben analizarse a la luz de diversas fortalezas y limitaciones del abordaje metodológico. Primero, con respecto a los registros cabe señalar que a la hora de evaluar los determinantes de la respuesta cardio-respiratoria, los determinantes de la condición física y los niveles de actividad física, definimos un protocolo que necesariamente influye sobre los resultados obtenidos. A manera de ejemplo, los niveles de VO2pico son los obtenidos en una prueba en cicloergómetro (bicicleta fija), los que se conoce que son, en términos generales, algo inferiores a los obtenidos en pruebas realizadas cuando la persona

corre sobre un tapiz rodante. Sin embargo, con respecto a las pruebas en tapiz rodante, el empleo de pruebas en bicicleta permite (i) minimizar el riesgo de caídas, (ii) controlar con mayor precisión la carga externa impuesta a la persona (ya que no se agrega la carga determinada por el propio peso de la persona), y de esta manera (iii) estandarizar más fácilmente los protocolos, lo que aumenta la capacidad de comparar entre individuos, (iv) incrementar la calidad de las señales biológicas obtenidas (ej. por minimizarse el ruido). Como otro ejemplo, la información de acelerometría fue recogida a nivel de la cintura, y no a partir del empleo de acelerómetros de muñeca. Claramente, la información de actividad física recogida por acelerómetros es dependiente del sitio de registro. Nuestra selección de la cintura obedeció a ser el sitio que más se relaciona con el centro de masa corporal, y a partir del cual se han validado la mayoría de las ecuaciones que permiten cuantificar la intensidad de la actividad física. Finalmente, como otro ejemplo, empleamos una balanza de bioimpedancia que incluye algoritmos propios para calcular la composición corporal, no visibles para el usuario; lo que podría diferir con los algoritmos (y resultados) obtenidos con otras balanzas.

Segundo, a la hora de definir nuestra muestra, se escogió trabajar con un grupo de personas sanas, voluntarias, que se vieran interesadas en participar de un estudio en que se valora su condición física. Esto conllevó a que las personas evaluadas prácticamente no presentasen exposición a factores de riesgo cardiovascular tradicionales. Por esta razón, no fue necesario, debido al extremadamente bajo número, realizar ajustes estadísticos ajustando por estos potenciales co-factores (ej. diabetes). Sin embargo, futuros trabajos con un mayor tamaño muestral y mayor diversidad de personas, debería establecer en qué medida los factores de riesgo cardiovascular tradicionales se relacionan con las variables estudiadas. Más, teniendo en cuenta que algunas de las características evaluadas, como ejemplo porcentaje de grasa corporal, puede asociarse con otros factores de riesgo (ej. hipertensión arterial).

Tercero, a la hora de realizar las correlaciones, no se realizaron ajustes del valor de probabilidad, aunque se realizaron múltiples correlaciones. Sin embargo, a la hora de presentar los resultados se escogió presentar el valor de r y p (y no sólo si la p es mayor o menor a un umbral), como forma de que el lector pueda sacar sus propias conclusiones con respecto a la fortaleza y significancia de la asociación. Por último, nuestro trabajo no incluyó análisis de ‘modulación o moderación’, lo que impidió analizar si, por ejemplo, la capacidad explicativa de una variable con respecto al VO_{2pico}/Kg o la velocidad de recuperación de la FC, podría ser dependiente del

valor de otro cofactor (ej. que a mayor o menor edad, la masa grasa porcentual o la fuerza explique en mayor o menor medida el VO₂pico/Kg).

9. CONCLUSIONES.

En persona adultas saludables, diversos componentes de la condición física obtenidos con tests en reposo y/o sencillos, así como características cardiovasculares pre-ejercicio, permiten explicar el nivel de VO₂pico y la velocidad de recuperación de la FC post-ejercicio. Específicamente, menor grasa corporal total, y mayor fuerza de miembros superiores e inferiores, asocian mayor VO₂pico/Kg y velocidad de recuperación de la FC. Cuanto mayor sea la cantidad de actividad física en intensidad 'vigorosa', o mayor sea la cantidad de pasos/minuto que realiza la persona, mayor fue el VO₂pico/Kg y la velocidad de recuperación de la FC. A menor PAD, y en este contexto mayor PP, mayor fue el VO₂pico/Kg y la velocidad de recuperación de la FC. Entre las principales variables que se asocian integralmente con un mayor VO₂pico/Kg, se encontraron (i) la grasa corporal total, (ii) los niveles de actividad física 'muy vigorosa', (iii) el nivel de fuerza de miembros inferiores, y (iv) los diámetros de arterias femorales. Integradamente, la FC pre-ejercicio y la fuerza prensil de miembros superiores, fueron las variables que conjuntamente alcanzaron mayor capacidad explicativa (predictiva) de la velocidad de recuperación post-esfuerzo de la FC.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. 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.
2. ACSM, D. Riebe, J. K. Ehrman, G. Liguori and M. Magal (2017). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Wolters Kluwer.
3. Gómez-García, M., Torrado, J., Pereira, M., Bia, D., & Zócalo, Y. (2022). Fat-Free Mass Index, Visceral Fat Level, and Muscle Mass Percentage Better Explain Deviations From the Expected Value of Aortic Pressure and Structural and Functional Arterial Properties Than Body Fat Indexes. *Frontiers in nutrition*, 9, 856198. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.856198> (A)
4. Gómez-García, M., Torrado, J., Bia, D., & Zócalo, Y. (2022). Influence of Epoch Length and Recording Site on the Relationship Between Tri-Axial Accelerometry-Derived Physical Activity Levels and Structural, Functional, and Hemodynamic Properties of Central and Peripheral Arteries. *Frontiers in sports and active living*, 4, 799659. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.799659> (B)
5. Balady, G. J., R. Arena, K. Sietsema, J. Myers, L. Coke, G. F. Fletcher, D. Forman, B. Franklin, M. Guazzi, M. Gulati, S. J. Keteyian, C. J. Lavie, R. Macko, D. Mancini and R. V. Milani (2010). "Clinician's Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults." *Circulation* 122(2): 191-225.
6. Heyward VH, Gibson AL. Advanced fitness assessment and exercise prescription. 7th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2014.

7. Manonelles, P (2016). Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte. ArchMed Deporte 33(1):5-83
8. Fjotoft, I. (2000). "Motor Fitness in Pre-Primary School Children: The EUROFIT Motor Fitness Test Explored on 5-7-Year-Old Children." *PediatricExerciseScience* 12(4): 424.
9. Tsigilis, N., H. Douda and S. P. Tokmakidis (2002). "TEST-RETEST RELIABILITY OF THE EUROFIT TEST BATTERY ADMINISTERED TO UNIVERSITY STUDENTS." 95(3f): 1295-1300.
10. ACSM. Manual para la valoración y prescripción del ejercicio. Indianapolis, EEUU: Wolters Kluwer; 2022.
11. Markovic GD. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of strength and conditioning research*. 2004.
12. Zócalo Y, Bia D. Presiónaórtica central y parámetrosclínicosderivados de la onda del pulso: evaluación no invasiva en la prácticaclínicaImportanciaclínica y análisis de las bases metodológicas de los equipos disponibles para su evaluación. *Rev.Urug.Cardiol*. 2014,29(2): 215-230.
13. Castro JM, García-Espinosa V, Zinoveev A, Marin M, Severi C, Chiesa P, Bia D, Zócalo Y. Arterial Structural and Functional Characteristics at End of Early Childhood and Beginning of Adulthood: Impact of Body Size Gain during Early, Intermediate, Late and Global Growth. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2019 Sep 6;6(3):33. doi: 10.3390/jcdd6030033. PMID: 31489955; PMCID: PMC6787690.
14. Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL, US, Human Kinetics.
15. Kamada, M., E. J. Shiroma, T. B. Harris and I. M. Lee. "Comparison of physical activity assessed using hip- and wrist-worn accelerometers." *Gait&Posture* 44: 23-28. 2016.
16. Mueller M, Chimenti R, Merkle S, Frey-Law L. Accelerometry analysis options produce large differences in lifestyle physical activity measurement. *Physiological Measurement*. 2020;41(6).
17. Hulley SB, C. S. (2013). *Designing clinical research: an epidemiologic approach*. 4th ed. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins, 79.
18. Green SB. How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis. *Multivariate Behav Res*. 1991 Jul 1;26(3):499-510. doi: 10.1207/s15327906mbr2603_7. PMID: 26776715.
19. Yáñez-Sepúlveda R, Cortés-Roco G, Olivares Arancibia J, Reyes-Amigo T, Hurtado-Almonacid J, Vargas-Silva J, et al. Relación entre la Composición Corporal, Condición Física y Capacidad Operativa en Militares Chilenos. *International Journal of Morphology* [Internet]. 2023 Oct [cited 2023 Nov 9];41(5):1323–9. Available from: <https://search.ebscohost-com.proxy.timbo.org.uy/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=172966106&lang=es&site=eds-live>
20. Azam F, Shaheen A, Irshad K, Liaquat A, Naveed H, Shah SU. Association of postexercise heart rate recovery with body composition in healthy male adults: Findings from Pakistan. *Ann Noninvasive Electrocardiol* [Internet]. 2019;25(3). Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/anec.12711>
21. Cornelissen VA, Verheyden B, Aubert AE, Fagard RH. Effects of aerobic training intensity on resting, exercise and post-exercise blood pressure, heart rate and heart-rate variability. *Journal of Human Hypertension* [Internet]. 2010 Mar [cited 2023 Nov 9];24(3):175–82. Available from: <https://search.ebscohost-com.proxy.timbo.org.uy/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=48012293&lang=es&site=eds-live>
22. Mondal H, Mishra SP. Effect of BMI, Body Fat Percentage and Fat Free Mass on Maximal Oxygen Consumption in Healthy Young Adults. *J Clin Diagn Res*. 2017 Jun;11(6):CC17-CC20.

- doi: 10.7860/JCDR/2017/25465.10039. Epub 2017 Jun 1. PMID: 28764152; PMCID: PMC5535345.
23. Ozaki H, Kitada T, Nakagata T, Naito H. Combination of body mass-based resistance training and high-intensity walking can improve both muscle size and VO₂ peak in untrained older women. *Geriatr Gerontol Int* [Internet]. 2017;17(5):779–84. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/ggi.12786>
24. Silva CR, Saraiva B, Nascimento DDC, Oliveira SC, Neto IS, Valduga R, et al. Relative Handgrip Strength as a Simple Tool to Evaluate Impaired Heart Rate Recovery and a Low Chronotropic Index in Obese Older Women. *International journal of exercise science*. 2018;11(2):844–55.

11. AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, se agradece a las personas que accedieron voluntariamente a participar del estudio, realizándolo de la mejor manera posible y brindándonos su tiempo para poder realizar este estudio. Sin ellos, esto no hubiese sido posible.

En segundo lugar, a los docentes del Curso de Metodología Científica II, que nos guiaron a lo largo del todo el proceso brindándonos las herramientas necesarias para llevar a cabo este estudio, logrando el objetivo propuesto.

Finalmente, agradecer a los orientadores de este trabajo, los cuales fueron un pilar clave en esta investigación.