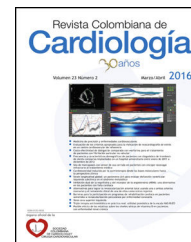




SOCIEDAD
COLOMBIANA
DE CARDIOLOGÍA Y
CIRUGÍA CARDIOVASCULAR

Revista Colombiana de Cardiología

www.elsevier.es/revcolcar



PREVENCIÓN CARDIOVASCULAR

Efecto del ejercicio aeróbico en la rigidez vascular en una población sana



Alejandro Pizano, Darío Echeverri* y Félix R. Montes

Laboratorio de Investigación en Función Vascular, Fundación Cardiolinfantil–Instituto de Cardiología, Bogotá, Colombia

Recibido el 5 de julio de 2016; aceptado el 9 de octubre de 2016

Disponible en Internet el 3 de febrero de 2017

PALABRAS CLAVE

Rigidez arterial;
Ejercicio;
Presión arterial

Resumen

Introducción: Un estilo de vida saludable es determinante para la salud cardiovascular. Existe controversia en los efectos vasculares benéficos del ejercicio físico.

Objetivo: Evaluar el comportamiento de los parámetros de rigidez vascular en una población sana que practica ejercicio aeróbico rutinario en comparación con una población sana sedentaria.

Métodos: Estudio de 32 sujetos sanos, pareados por edad y sexo: 12 hombres y 20 mujeres ($46,3 \pm 9,7$ años), en el cual se evaluaron y compararon los parámetros de rigidez arterial (presión sistólica y diastólica braquial, índices de aumentación braquial y central, velocidad de onda de pulso, presión sistólica y diastólica central, y presión de pulso braquial y central). Las mediciones se hicieron con el método no invasivo-oscilométrico, Arteriograph® (TensioMed Budapest Hungría, Ltd.).

Resultados: Se compararon los parámetros de rigidez arterial entre los dos grupos (16 sujetos activos vs. 16 sedentarios), y se encontraron diferencias significativas en los siguientes: frecuencia cardíaca de $53,25 \pm 8,0$ lpm vs. $59,75 \pm 8,6$ lpm ($p=0,034$), presión arterial diastólica braquial de $70,0$ (4,5) mm Hg vs. $77,5$ (8,3) mm Hg ($p=0,043$), presión arterial diastólica central de $70,0$ (4,5) mm Hg vs. $77,5$ (8,1) mm Hg ($p=0,043$) y velocidad de onda de pulso de $6,70$ (1,1) m/s vs. $7,75$ (1,1) m/s ($p=0,001$).

Conclusiones: La actividad física aeróbica rutinaria tiene un efecto benéfico sobre la rigidez vascular en una población sana, a expensas de una disminución significativa de la velocidad de onda de pulso, la frecuencia cardíaca y la presión arterial diastólica (braquial y central). Estos hallazgos ayudan a explicar los beneficios del ejercicio aeróbico sobre el sistema cardiovascular.

© 2016 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: decheverri@cardioinfantil.org (D. Echeverri).

KEYWORDS

Arterial stiffness;
Exercise;
Blood pressure

Effect of aerobic exercise in vascular stiffness in healthy population**Abstract**

Introduction: A healthy lifestyle is key for cardiovascular health. There is controversy about beneficial vascular effects of physical exercise.

Motivation: To assess the behaviour of vascular stiffness parameters in a healthy population group that practices routine aerobic exercise in comparison with another group of healthy population with a sedentary lifestyle.

Methods: Study of 32 healthy individuals, paired according to age and gender: 12 men and 20 women (46.3 ± 9.7 years old); the study assessed and compared arterial stiffness parameters (brachial systolic and diastolic blood pressure, brachial and central augmentation index, pulse wave velocity, central systolic and diastolic blood pressure and brachial and central pulse pressure). Measurements were conducted using the noninvasive oscillometric method Arteriograph® (TensioMed Budapest Hungary, Ltd.).

Results: Arterial stiffness parameters were compared between both groups (16 active individuals vs. 16 sedentary ones), and the following significant differences were found: heart rate 53.25 ± 8.0 bpm vs. 59.75 ± 8.6 bpm ($p=0.034$), brachial diastolic blood pressure of 70.0 (4.5) mmHg vs. 77.5 (8.3) mmHg ($p=0.043$), central diastolic blood pressure of 70.0 (4.5) mmHg vs. 77.5 (8.1) mmHg ($p=0.043$) and pulse wave velocity of 6.70 (1.1) m/s vs. 7.75 (1.1) m/s ($p=0.001$).

Conclusions: Routine aerobic exercise has a beneficial effect on vascular stiffness in a healthy population group, at the expense of a significant decrease in pulse wave velocity, heart rate and diastolic blood pressure (both brachial and central). These findings help explain the benefits of aerobic exercise on the cardiovascular system.

© 2016 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La enfermedad cardiovascular continúa siendo la principal causa de morbilidad y mortalidad en el mundo occidental^{1,2}. Es bien conocido que un estilo de vida saludable es la clave determinante para una salud cardiovascular adecuada, y el pilar fundamental en la prevención y el tratamiento. Estudios epidemiológicos y experimentales desarrollados en los últimos 50 años han demostrado la importancia de la actividad física en la prevención y el manejo de importantes enfermedades crónicas, tales como la aterosclerosis³.

Existe un gran interés en el estudio de la rigidez vascular en las últimas dos décadas, en especial en la medición de la velocidad de onda de pulso (VOP) medida en m/s y los índices de aumentación braquial y aórtico (Aix). La VOP está determinada por el tiempo que se demora la onda de presión en recorrer la aorta hasta su bifurcación, siendo el patrón de referencia y marcador más usado para determinar la rigidez arterial, calculada de esta manera: $VOP = \text{distancia escotadura supra esternal-pubis} / \text{tiempo de retorno de la onda de pulso}$. El Aix representa el retorno (tamaño) de la onda durante la sístole influenciada por los vasos periféricos, siendo el reflejo del tono de este sistema (microcirculación), calculado como la diferencia entre la amplitud de la onda sistólica tardía (P2) y la primera onda sistólica (P1) sobre la presión del pulso (PP) y multiplicado por 100 ($\text{Aix Braquial} = (P2-P1)/PP \cdot 100$)⁴. Por su parte, la rigidez arterial se refiere a las propiedades físicas y materiales de la pared arterial, que finalmente afectan la presión arterial, el flujo sanguíneo y los cambios en

el diámetro arterial con cada latido del corazón; también es considerada la mayor determinante de la impedancia vascular⁴⁻⁶. Desde el punto de vista fisiopatológico, la edad y algunas enfermedades (ej.: hipertensión, diabetes mellitus, aterosclerosis, entre otras), reducen el componente de elastina arterial y promueven el componente inelástico (colágeno) que usualmente genera rigidez. La rigidez de las arterias centrales y periféricas tiene consecuencias hemodinámicas importantes, que incluyen una amplitud de la presión de pulso, la disminución de la tensión tangencial (shear stress) y el incremento en la transmisión del flujo pulsátil dentro de la microcirculación⁴⁻⁷, efectos que a su vez acarrear consecuencias adversas y podrían en parte explicar por qué la rigidez es un predictor de riesgo cerebrocardiovascular con el envejecimiento⁸⁻¹². De esta manera, ésta ha sido identificada desde hace varios años como un factor independiente de riesgo cardiovascular, predictor de morbilidad y mortalidad cardiovascular en varios subgrupos de pacientes; además se ha demostrado que una VOP alta se asocia con incremento del riesgo de enfermedad coronaria, accidente cerebrovascular y eventos cardiovasculares compuestos¹³⁻¹⁵.

Asumiendo la importancia de la rigidez vascular y su componente fisiológico, se han realizado estudios en los que se ha tratado de evaluar factores que la disminuyan o la prevengan^{7,16}. Una de las líneas de investigación que en los últimos años ha tenido gran desarrollo es la relacionada con los cambios del estilo de vida y la actividad física. Se ha encontrado que el ejercicio aeróbico tiene un gran impacto en la salud cardiovascular de personas con riesgo

cardiovascular o incluso sanas¹⁷⁻²⁰, pudiéndose evidenciar que mejora la elasticidad vascular^{16,21-23}. Por el contrario, algunos autores han hallado resultados opuestos en mujeres postmenopáusicas²⁵ y obesos²⁶.

En este estudio se pretende evaluar la rigidez arterial en sujetos sanos que realizan actividad física aeróbica rutinaria y en sedentarios, utilizando el Arteriograph® (TensioMed, Budapest, Hungría, Ltd.), método oscilométrico, no invasivo y de fácil uso.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Función Vascular de la Fundación Cardioinfantil-Instituto de Cardiología, Bogotá, Colombia. Es un estudio de cohortes de muestras pareadas por edad y sexo, de 32 sujetos sanos, en el cual se evaluó y comparó la rigidez arterial en 16 sujetos activos (50%) y 16 sedentarios (50%). Las mediciones se hicieron mediante parámetros de rigidez arterial (presión sistólica y diastólica braquial, índices de aumentación braquial y central, velocidad de la onda de pulso, presión sistólica y diastólica central y presión de pulso braquial y central) obtenidas con el método no invasivo-oscilométrico; Arteriograph® (TensioMed, Budapest, Hungría, Ltd.). El estudio fue aprobado por los Comités de Investigación Clínica y Ética de la Institución. Todos los sujetos leyeron, aprobaron y firmaron el consentimiento informado.

Criterios de inclusión

Individuos sanos mayores de 30 años y menores de 60 años.

Criterios de exclusión

Condiciones como: diabetes mellitus, tabaquismo activo, hipertiroidismo, taquiarritmias, hipertensión arterial, estados de ansiedad, enfermedad renal y que no tuvieran evidencia de patología cardiovascular. Consumo de bebidas energizantes en las últimas 12 horas, betabloqueadores, antagonistas del calcio o nitratos, drogadicción, alcoholismo o consumo frecuente de alcohol (al menos una copa al día por más de 3 días a la semana), consumo de drogas estimulantes (ej: anfetaminas), enfermedad vascular en miembros superiores (ej: fístula arteriovenosa, síndrome de compresión del plexo braquial), enfermedades de alto gasto cardiaco (anemia, fiebre, fístulas arteriovenosa, insuficiencia aórtica).

Definición de conceptos

Según la Organización Mundial de la Salud²⁸, la actividad física es cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que exija gasto de energía. Abarca el ejercicio, pero también otras actividades que envuelven el movimiento corporal y se realizan como parte de los momentos de juego, trabajo, transporte activo, tareas domésticas y actividades recreativas.

El ejercicio aeróbico hace referencia a aquel que usa el oxígeno para la producción de energía muscular, siendo cualquier tipo de ejercicio que se practique a intensidad

moderada, en el que se eleve la frecuencia cardiaca (60-70% de la capacidad máxima) y la respiratoria para aumentar el aporte de oxígeno a los músculos, por ejemplo: caminar, nadar, trotar, jugar tenis y practicar ciclismo²⁹. El ejercicio de resistencia es el entrenamiento que aumenta la fuerza muscular, en el que se mueve el cuerpo en contra de una resistencia, por ejemplo levantamiento de pesas y ejercicio con máquinas de gimnasio³³.

El sedentarismo se refiere a la falta de actividad física regular, definida como menos de 30 minutos diarios de ejercicio regular aeróbico y menos de 3 días a la semana, o cuando el gasto semanal en actividad física no supera las 2.000 calorías; también se incluye efectuar sólo una actividad semanal de forma no repetitiva²⁸.

De esta manera se determinaron dos grupos de personas: activos y sedentarios. El primer grupo hace referencia a personas que practican algún tipo de ejercicio aeróbico rutinario (entre 30 y 60 minutos por día, más de tres veces a la semana por más de 12 meses). El segundo grupo hace referencia a personas sedentarias.

Equipos utilizados

El Arteriograph® -TensioMed, Budapest, Hungría, Ltd., versión 3.0.0.3, es un equipo que permite grabar y analizar la onda de pulso arterial de forma no invasiva, sencilla, fiable y precisa. Utiliza métodos oscilométricos para lograr la evaluación total de la función arterial central y periférica, a partir de un algoritmo matemático basado en el tiempo que recorre la onda de pulso entre la escotadura supraesternal y el pubis, para obtener así la velocidad de la onda de pulso.

Procedimiento

Se seleccionaron 32 sujetos que a su vez fueron pareados por sexo y edad en dos grupos (máximo un año de diferencia, siendo el caso, menor la persona no activa): activos y sedentarios. Se evaluó la rigidez arterial de todos los sujetos de cada grupo en condiciones basales y luego se compararon.

Método de mediciones hemodinámicas no invasivas

Todos los individuos seleccionados fueron citados en horas de la mañana, en condiciones de ayuno. Se registró: peso (kg), talla (cm) e índice de masa corporal (IMC) y se completó el formulario de recolección de datos (FRD) de cada uno de los participantes. Posteriormente, el mismo operador midió la presión arterial sistólica (mm Hg), la diastólica (mm Hg) y la media (mm Hg), la frecuencia cardiaca (lpm) y los parámetros de rigidez arterial, mediante el sistema Arteriograph® (TensioMed Budapest, Hungría, Ltd). Diez minutos antes de las mediciones, cada sujeto permaneció acostado en una camilla, en condiciones medioambientales confortables en cuanto a temperatura, luz, humedad y ruido; además, se tuvieron en cuenta las recomendaciones de Nikolic, para la toma correcta de la presión arterial²⁷.

Definición de variables

- Presión sanguínea sistólica braquial (PAS-B, mm Hg)
- Presión sanguínea diastólica braquial (PAD-B, mm Hg)

Tabla 1 Datos demográficos. 32 sujetos sanos

Variable	Activos. n (16)	Sedentarios. n (16)	Valor p
Edad (años)*	52 (19,3)	52 (20)	0,780
Sexo masculino n (%)	6 (37,5%)	6 (37,5%)	>0,999
Peso (kg)°	63,4 ± 10,4	66,8 ± 11,8	0,424
Talla (cm)°	164,8 ± 8,9	167,8 ± 9,7	0,524
Índice de masa corporal*	23,9 (2,4)	22,8 (5,4)	0,929

* Resultados expresados en mediana (rango intercuartil)° Resultados expresados en media ± desviación estándar.

Tabla 2 Comparación de parámetros hemodinámicos basales entre sujetos activos y sedentarios

Variable	Activos. n (16)	Sedentarios. n (16)	Valor p
PAS-B (mm Hg)°	116,0 ± 11,2	119,75 ± 11,4	0,356
PAD-B (mm Hg)*	70,0 (4,5)	77,5 (8,3)	0,043
PP-B (mm Hg)°	44,5 (7,5)	44,0 (9,8)	0,780
PAM B (mm Hg)°	86,06 ± 8,3	91,31 ± 8,7	0,168
FC (lpm)°	53,25 ± 8,0	59,75 ± 8,6	0,034
Aix Braquial (%)°	-10,2 ± 33,0	-7,89 ± 27,9	0,832
PAS-C (mm Hg)°	114,19 ± 15,4	118,76 ± 12,9	0,369
PAD-C (mm Hg)*	70,0 (4,5)	77,5 (8,1)	0,043
PP-C (mm Hg)°	40,75 (10,7)	41,25 (8,8)	0,696
Aix aórtico (%)°	32,47 ± 16,7	33,64 ± 14,1	0,832
VOP (m/s)*	6,70 (1,1)	7,75 (1,1)	0,001

* Resultados expresados en mediana (rango intercuartil). °Resultados expresados en media ± desviación estándar. B: representa mediciones braquiales o periféricas. C: representa mediciones en aorta o centrales. PAS: presión arterial sistólica, PAD: presión arterial diastólica, PP: presión de pulso, FC: frecuencia cardiaca, Aix: índice de aumentación, VOP: velocidad de onda de pulso.

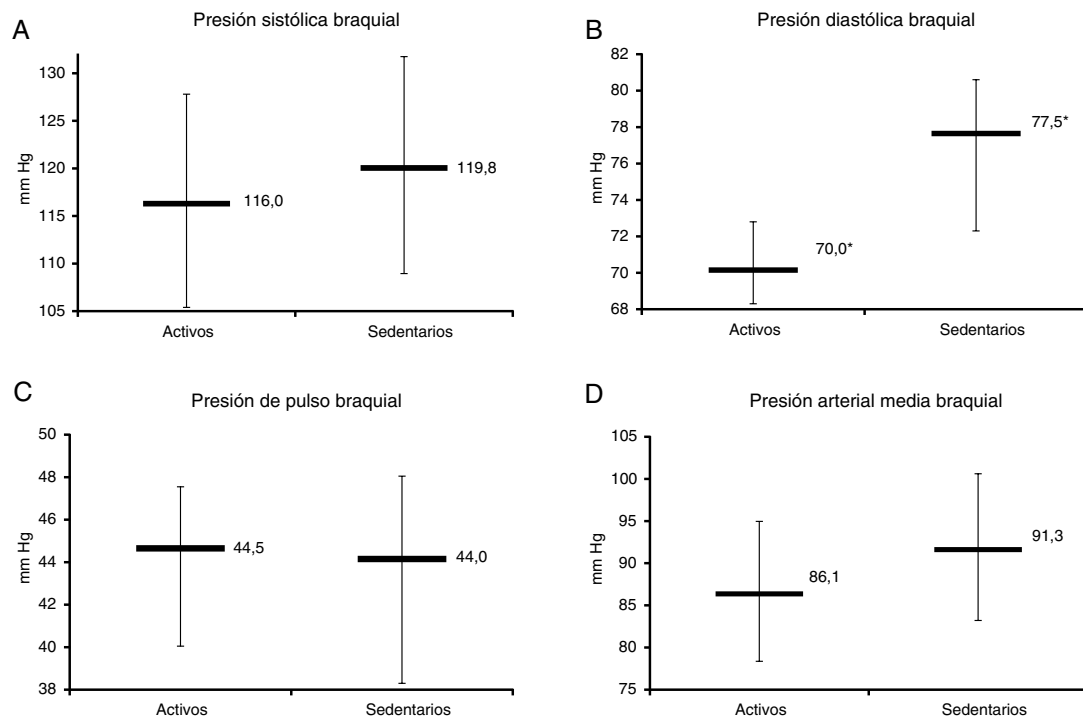


Figura 1 Comportamiento de las presiones braquiales entre el grupo de sujetos activos y sedentarios. Presión sistólica (A), presión diastólica (B), presión de pulso (C) y presión media (D) (* $p < 0,005$).

- Presión arterial media (PAM, mm Hg)
- Presión de pulso braquial (PP-B, mm Hg)
- Frecuencia cardíaca (FC, lpm)
- Índice de aumentación braquial (Aix braquial, %)
- Índice de aumentación central (Aix aórtico, %)
- Velocidad de onda de pulso (VOP, m/s)
- Presión sanguínea sistólica central (PAS-c, mm Hg)
- Presión sanguínea diastólica central (PAD-C, mm Hg)
- Presión de pulso central (PP-C, mm Hg)

Instrumento de recolección de los datos

Se diseñó un formulario de recolección de los datos (FRD) en el que se incluyó información demográfica general; antecedentes patológicos personales y familiares; medicación consumida en el momento de la toma de datos y muestras; actividad física y un reporte del examen físico general. La recolección completa de la información y los archivos FRD fueron monitorizados en una base de datos (Microsoft Excel 2010) a medida que estos se fueron obteniendo a través de uno de los investigadores; luego se revisaron y se validaron en forma conjunta.

Buenas prácticas de laboratorio

Este estudio se condujo de acuerdo con las Buenas Prácticas Clínicas. A todos los pacientes se les suministró un informe escrito del estudio realizado con el Arteriografgh®. Todos los datos que se obtuvieron permanecieron en el centro local de la investigación, bajo una base de datos en Microsoft Excel 2010. Los datos se recopilaban, analizaban y archivaban de manera apropiada.

Análisis estadísticos

Teniendo en cuenta la cohorte de 32 sujetos y las condiciones de apareamiento, fue posible asignar 16 parejas. El análisis estadístico se realizó mediante el software SPSS versión 18, y los datos se presentan como media \pm desviación estándar cuando los resultados se distribuyeron normalmente, y como mediana (rango intercuartil) cuando no lo fueron. La normalidad de las muestras se evaluó con la prueba Shapiro-Wilk. El test de *t* student se utilizó para determinar la significancia de valores paramétricos normalmente distribuidos y el test de rangos de Wilcoxon para los no distribuidos normalmente. Un valor de *p* de menos de 0,05 se consideró estadísticamente significativo. Se analizaron las diferencias de los parámetros de rigidez arterial en ambos grupos (activos vs. sedentarios), utilizando la prueba para muestras independientes *t* o la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Los resultados totales están representados en tablas y diferentes gráficas.

Resultados

Datos demográficos

Ingresaron al estudio 32 sujetos sanos, 12 hombres ($47,9 \pm 10,3$ años) y 20 mujeres ($45,3 \pm 9,4$ años, con edad promedio de $46,3 \pm 9,7$ años, 16 de estos activos con edad

de 52 (19,3) años e IMC de 23,9 (2,4), más 16 sujetos no activos con edad de 52 (20) años ($p = \text{NS}$) e IMC de 22,8 (5,4) ($p = \text{NS}$) (tabla 1).

Comparación de condiciones basales entre sujetos activos y sedentarios

Entre el grupo de activos y sedentarios se observaron diferencias significativas en frecuencia cardíaca ($53,25 \pm 8,0$ lpm vs. $59,75 \pm 8,6$ lpm; $p = 0,034$), presión diastólica braquial [$70,0$ (4,5) mm Hg. vs. $77,5$ (8,3) mm Hg.; $p = 0,043$], presión diastólica central [$70,0$ (4,5) mm Hg. vs. $77,5$ (8,1) mm Hg; $p = 0,043$] y VOP [$6,70$ (1,1) m/s vs. $7,75$ (1,1) m/s; $p = 0,001$). Por el contrario, no se observaron diferencias significativas en la presión sistólica braquial ($116,0 \pm 11,2$ mm Hg. vs. $119,75 \pm 11,4$ mm Hg; $p = \text{NS}$), presión sistólica central ($114,19 \pm 15,4$ mm Hg. vs. $118,76 \pm 12,9$ mm Hg; $p = \text{NS}$), presión arterial media ($86,06 \pm 8,3$ mm Hg. vs. $91,31 \pm 8,7$ mm Hg; $p = \text{NS}$), presión de pulso braquial [$44,5$ (7,5) mm Hg vs. $44,0$ (9,8) mm Hg; $p = \text{NS}$], presión de

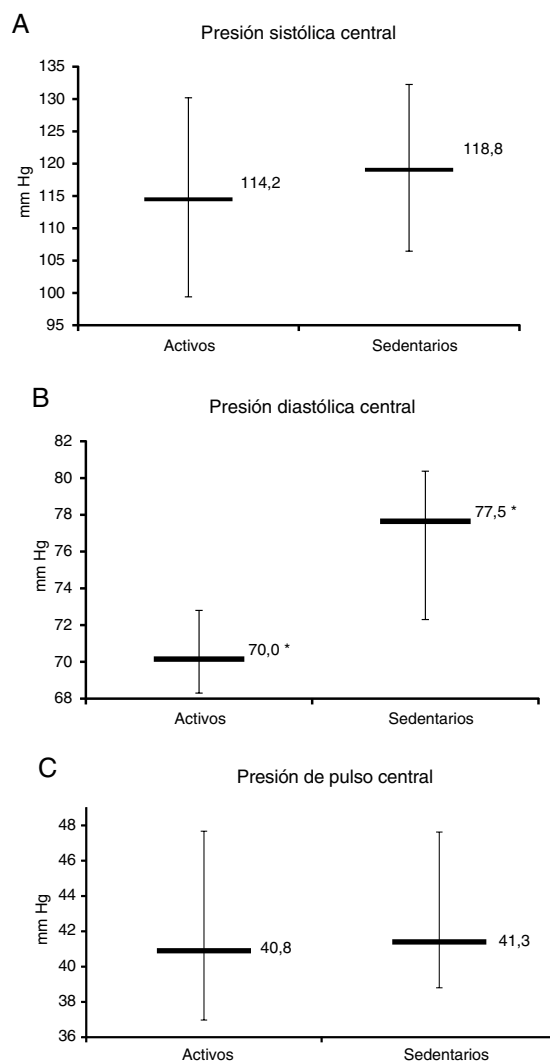


Figura 2 Comportamiento de las presiones centrales entre el grupo de sujetos activos y sedentarios. Presión sistólica (A), presión diastólica (B) y presión de pulso (C) (* $p < 0,005$).

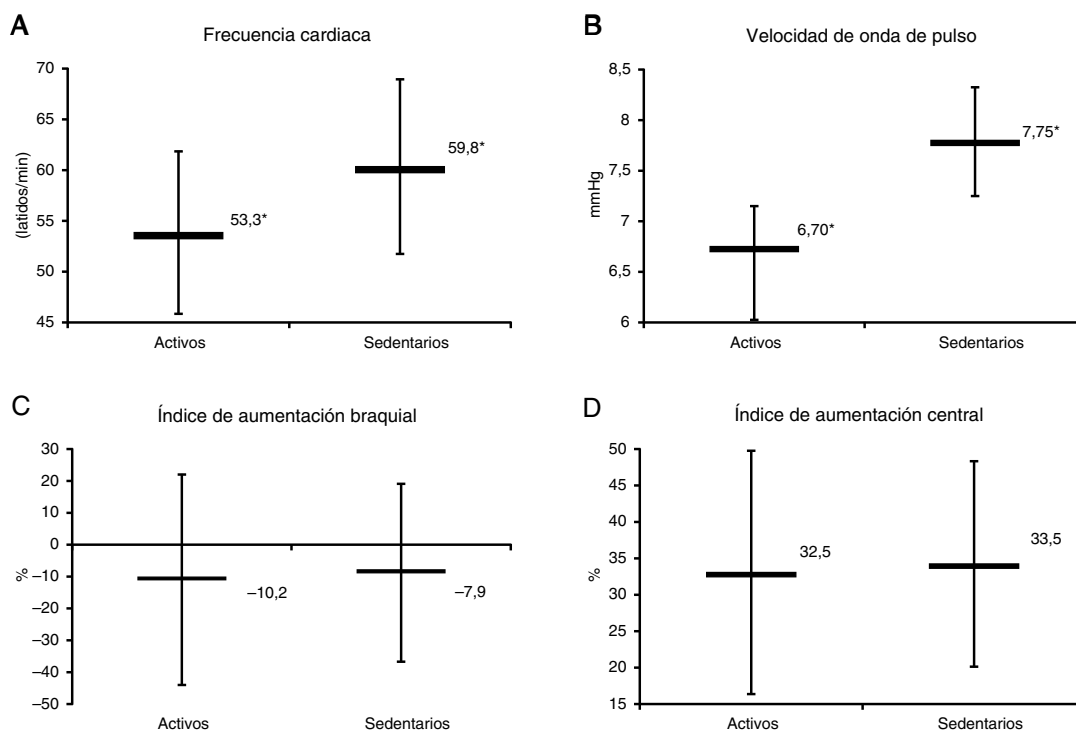


Figura 3 Comportamiento de la frecuencia cardiaca entre el grupo de sujetos activos y sedentarios (A), velocidad de onda de pulso(B), índice de aumentación braquial (C) e índice de aumentación central (D) (* $p < 0,005$).

pulso central [$40,75 (10,7)$ mm Hg vs. $41,25 (8,8)$ mm Hg; $p = 0,696$], índice de aumentación braquial ($-10,2 \pm 33,0$ vs. $-7,89 \pm 27,9$; $p = \text{NS}$) e índice de aumentación central ($32,47 \pm 16,7$ vs. $33,64 \pm 14,1$; $p = \text{NS}$) (tabla 2, figs. 1–3).

Discusión

Este estudio observacional, en el que se cuantificaron y compararon los parámetros de rigidez arterial, a través del método oscilométrico Arteriograph®, TensioMed, Budapest, Hungría, Ltd., demuestra que un programa de ejercicio aeróbico rutinario tiene un efecto benéfico en la rigidez arterial en personas sanas, tanto en hombres como en mujeres. Al comparar personas activas vs. sedentarias, se observaron diferencias significativas en las siguientes variables hemodinámicas: presión arterial diastólica braquial ($\Delta -7,5$ mm Hg), frecuencia cardiaca ($\Delta -6,5$ lpm), presión diastólica central ($\Delta -7,5$ mm Hg) y VOP ($\Delta -1,05$ m/s). Estos resultados demuestran que las personas que realizan ejercicio aeróbico, rutinario y constante tienen una menor VOP, lo cual se relaciona con mayor distensibilidad vascular central (grandes vasos arteriales), considerándose este como un efecto protector para el sistema cardiovascular (opuesto al de la rigidez arterial).

Lo anterior se ha demostrado previamente al esclarecer que diferentes modalidades de ejercicio aeróbico disminuyen la rigidez arterial. Ashor et al.²⁴, realizaron una revisión sistemática/meta-análisis de estudios controlados aleatorizados (42 estudios con 1.627 participantes y mínimo cuatro semanas de seguimiento), en la cual se evidenciaba que el ejercicio aeróbico mejoraba la VOP ($0,63$ m/s, 95% IC: $-0,90$ - $0,35$) y el Aix ($-2,63\%$, 95% IC: $-5,25$

a $-0,02$) significativamente y con un ejercicio aeróbico más intensivo se asociaba con mayor reducción. Por el contrario, dos revisiones sistemáticas/meta-análisis de Montero et al.^{26,30}, contradicen lo anterior. La primera se hizo en pre-hipertensos e hipertensos (14 estudios y 472 sujetos) y la segunda en una población obesa (8 estudios y 235 sujetos).

En las dos se plantea que la actividad física no tiene efecto en la rigidez arterial y que disminuye en forma leve la presión arterial sistólica. En 2010, Vlachopoulos et al.³¹, llevaron a cabo un estudio con 49 maratonistas, en el que demostraron que ese tipo de ejercicio crónicamente se relacionaba con mayor VOP (técnica por tonometría, Complior®, Artech médica, Pantin, Francia), y que agudamente no había cambios, aunque las presiones arteriales sí eran menores. En 2016, Franzen et al.³², diseñaron un estudio en el que se incluyeron 13 remadores del equipo alemán y encontraron que estos atletas tenían la presión de pulso aórtica y el índice de aumentación elevado, la frecuencia cardiaca disminuida y no había cambios en la VOP (técnica oscilométrica, Arteriograph®, TensioMed, Budapest, Hungría, Ltd). Así, pues, los resultados de estos estudios evidencian que los efectos de la actividad física en la mecánica cardiovascular son controversiales^{24–26,30–32}.

Con los resultados del presente estudio es posible plantear el concepto que personas sanas que realizan un ejercicio aeróbico rutinario tienen mejor complacencia vascular arterial central, fenómeno que reduce el riesgo cardiovascular en el futuro, y se ve reflejado en los parámetros relacionados con la rigidez arterial como la VOP y la presión arterial diastólica. Estos resultados se podrían explicar desde el punto de vista fisiopatológico con base en trabajos previos que describen que el ejercicio aeróbico favorece la liberación de óxido nítrico (ON) (aumento expresión de

eNOS) y VEGF, la mayor síntesis de elastina y la menor acumulación de colágeno en la pared vascular^{34,35}, mejora la contractilidad ventricular, disminuye la postcarga del ventrículo izquierdo, aumenta la remodelación vascular³⁶ y otorga mejor respuesta vasodilatadora³⁷.

Limitaciones

Asumiendo el número de sujetos, es importante resaltar la diferencia en el número de hombres con el de mujeres, lo cual dificulta obtener resultados significativos de respuesta vascular según el sexo.

Conclusiones

En este estudio se demostró que con la técnica descrita (método oscilométrico), la actividad física aeróbica rutinaria tiene un efecto benéfico sobre la rigidez vascular en una población sana, a expensas de la disminución significativa de la VOP, la frecuencia cardíaca y la presión arterial diastólica (braquial y central). Estos hallazgos ayudan a explicar los beneficios que tiene el ejercicio aeróbico sobre el sistema cardiovascular.

Financiación

Este estudio se hizo con dineros propios de la Institución, como línea de investigación del Laboratorio de Investigación en Función Vascular de la Fundación Cardioinfantil-Instituto de Cardiología.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Agradecimientos

A Luz D. Cárdenas, auxiliar de enfermería, por su ayuda en la realización de los exámenes, y a Karen Dueñas, epidemióloga, encargada de la asesoría y los análisis estadísticos.

Bibliografía

- Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, Arnett DK, Blaha MJ, Cushman M, et al., on behalf of the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Executive Summary: Heart Disease and Stroke Statistics-2016 Update A Report From the American Heart Association. *Circulation*. 2016;133:447-54.
- OMS. Las 10 causas principales de defunción en el mundo. WhoInt. 2016. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/es/index2.html>. [Acceso 20 Jun 2016].
- Dalen JE, Devries S. Diets to prevent coronary heart disease 1957-2013: What have we learned? *Am J Med*. 2014;127:364-9.
- Townsend RR, Wilkinson IB, Schiffrin EL, Avolio AP, Chirinos JA, Cockcroft JR, et al. Recommendations for improving and standardizing vascular research on arterial stiffness: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*. 2015;66:698-722.
- Ben-Shlomo Y, Spears M, Boustred C, May M, Anderson SG, Benjamin EJ, et al. Aortic pulse wave velocity improves cardiovascular event prediction: an individual participant meta-analysis of prospective observational data from 17,635 subjects. *J Am Coll Cardiol*. 2014;63:636-46.
- Sakuragi S, Abhayaratna WP. Arterial stiffness: methods of measurement, physiologic determinants and prediction of cardiovascular outcomes. *Int J Cardiol*. 2010;138:112-8.
- Gkaliagkousi E, Douma S. The pathogenesis of arterial stiffness and its prognostic value in essential hypertension and cardiovascular diseases. *Hippokratia*. 2009;13:70-5.
- Gauthier CJ, Lefort M, Mekary S, Desjardins-Crépeau L, Skimminge A, Iversen P, et al. Hearts and minds: linking vascular rigidity and aerobic fitness with cognitive aging. *Neurobiol Aging*. 2015;36:304-14.
- Bailey DM, Marley CJ, Brugnau JV, Hodson D, New KJ, Ogoh S, et al. Elevated aerobic fitness sustained throughout the adult lifespan is associated with improved cerebral hemodynamics. *Stroke*. 2013;44:3235-8.
- Barnes JN, Taylor JL, Kluck BN, Johnson CP, Joyner MJ. Cerebrovascular reactivity is associated with maximal aerobic capacity in healthy older adults. *J Appl Physiol*. 2013;114:1383-7.
- Nichols WW, O'Rourke MF, Vlachopoulos Ch, editores. *McDonald's. Blood Flow in Arteries Theoretical, Experimental and Clinical Principles*. 6th. ed. CRC Press; 2011. p. 569-78.
- Vlachopoulos C, Xaplanteris P, Aboyans V, Brodmann M, Cifková R, Cosentino F, et al. The role of vascular biomarkers for primary and secondary prevention. A position paper from the European Society of Cardiology Working Group on peripheral circulation: Endorsed by the Association for Research into Arterial Structure and Physiology (ARTERY) Society. *Atherosclerosis*. 2015;241:507-32.
- Blacher J, Asmar R, Djane S, London GM, Safar ME. Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. *Hypertension*. 1999;33:1111-7.
- Laurent S, Boutouyrie P, Asmar R, Gautier I, Laloux B, Guize L, et al. Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension*. 2001;37:1236-41.
- Stefanadis C, Dornellis J, Tsiamis E, Stratos C, Diamantopoulos L, Michaelides A, et al. Aortic stiffness as a risk factor for recurrent acute coronary events in patients with ischaemic heart disease. *Eur Heart J*. 2000;21:390-6.
- Lessiani G, Santilli F, Boccatonda A, Iodice P, Liani R, Tripaldi R, et al. Arterial stiffness and sedentary lifestyle: Role of oxidative stress. *Vascular Pharmacology*. 2016;79:1-5.
- Bherer L, Erickson KI, Liu-Ambrose T. A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *J. Aging Res*. 2013;2013:657508.
- Brown AD, McMorris CA, Longman RS, Leigh R, Hill MD, Friedreich CM, et al. Effects of cardiorespiratory fitness and cerebral blood flow on cognitive outcomes in older women. *Neurobiol Aging*. 2010;31:2047-57.
- Churchill JD, Galvez R, Colcombe S, Swain RA, Kramer AF, Greenough WT. Exercise, experience and the aging brain. *Neurobiol Aging*. 2010;23:941-55.
- Etnier JL, Nowell PM, Landers DM, Sibley BA. A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Res Rev*. 2006;52:119-30.
- Kramer AF, Erickson KI, Colcombe SJ. Exercise, cognition, and the aging brain. *J Appl Physiol*. 2006;101:1237-42.
- Rogers RL, Meyer JS, Mortel KF. After reaching retirement age physical activity sustains cerebral perfusion and cognition. *J Am Geriatr Soc*. 1990;38:123-8.
- Yaffe K, Barnes D, Nevitt M, Lui L, Covinsky K. A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women: women who walk. *Arch Intern Med*. 2001;161:1703-8.

24. Ashor AW, Lara J, Siervo M, Celis-Morales C, Mathers JC. Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS ONE*. 2014;9:e110034.
25. Seals DR, Tanaka H, Cleveland CM, et al. Blood pressure reductions with exercise and sodium restriction in postmenopausal women with elevated systolic pressure: role of arterial stiffness. *J Am Coll Cardiol*. 2001;38:506–11.
26. Montero D, Roberts CK, Vinet A. Effect of aerobic exercise training on arterial stiffness in obese populations: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2014;44:833–43.
27. Nikolic SB, Abhayaratna WP, Leano R, et al. Waiting a few extra minutes before measuring blood pressure has potentially important clinical and research ramifications. *J Hum Hypertens*. 2014;28:56–61.
28. OMS | Actividad física. Who.int. 2016. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs385/es/>. [Acceso 14 Jun 2016].
29. ACSM | News Releases. Acsm.org. 2016. Disponible en: <http://www.acsm.org/about-acsm/media-room/news-releases/2011/08/01/acsm-issues-new-recommendations-on-quantity-and-quality-of-exercise>. [Acceso 20 Jun 2016].
30. Montero D, Roche E, Martínez-Rodríguez A. The impact of aerobic exercise training on arterial stiffness in pre- and hypertensive subjects: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol*. 2014;173:361–8.
31. Vlachopoulos C, Kardara D, Anastasakis A, Baou K, Terentes-Printzios D, Tousoulis D, et al. Arterial stiffness and wave reflections in marathon runners. *Am J Hypertens*. 2010;23:974–9.
32. Franzen K, Reppel M, Köster J, Mortensen K. Acute and chronic effects on central hemodynamics and arterial stiffness in professional rowers. *Physiol Meas*. 2016;37:544–53.
33. ACSM | Resistance Training for Health and Fitness. Disponible en <https://www.acsm.org/docs/brochures/resistance-training.pdf>. [Acceso 20 Jun 2016].
34. Kojda G, Hambrecht R. Molecular mechanisms of vascular adaptations to exercise. Physical activity as an effective antioxidant therapy? *Cardiovasc Res*. 2005;67:187–97.
35. Teixeira-Lemos E, Nunes S, Teixeira F, Reis F. Regular physical exercise training assists in preventing type 2 diabetes development: focus on its antioxidant and anti-inflammatory properties. *Cardiovasc Diabetol*. 2011;10:12.
36. Gielen S, Schuler G, Adams V. Cardiovascular effects of exercise training: molecular mechanisms. *Circulation*. 2010;122:1221–38.
37. Higashi Y, Yoshizumi M. Exercise and endothelial function: role of endothelium-derived nitric oxide and oxidative stress in healthy subjects and hypertensive patients. *Pharmacol Ther*. 2004;102:87–96.