

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

“CAMBIOS EN LA FUNCIÓN ENDOTELIAL OCASIONADOS POR EL
ENTRENAMIENTO CRÓNICO CONTRA RESISTENCIA DE ALTA Y BAJA
INTENSIDAD EN HOMBRES UNIVERSITARIOS”

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado
en Ciencias del Movimiento Humano y la Recreación para optar al grado y título de
Maestría Académica en Ciencias del Movimiento Humano

JOSÉ MIGUEL BRICEÑO TORRES

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

Dedicatoria

Quisiera dedicar esta tesis a mi mamá, hermano y abuela, por estar incondicionalmente en todo momento para ayudarme, muchas gracias mami, muchas gracias Esteban, muchas gracias abuela.

También a una persona muy especial que desde el cielo me da fuerzas para seguir adelante cada día.

J.M.B.T.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a:

Mi familia por todo el apoyo recibido desde que comencé mi vida como estudiante, siempre mi mamá ha luchado por darme lo mejor, en todo momento pude contar mi mamá, hermano y abuela para cumplir mis metas y afrontar los retos que se me presentaron.

Director de tesis, Dr. José Moncada Jiménez por ser un guía antes y durante la maestría. Existen profesores que únicamente se enfocan en lo académico, otros que enseñan a través de la repetición, y otros que logran que el estudiante genere el conocimiento y además aprenda a cómo ser un profesional tanto dentro como fuera del aula, así ha sido el profesor Moncada para mí y estoy seguro que para muchos otros estudiantes.

Comité asesor, a la Dra. Andrea Solera Herrera y la Dra. Elizabeth Carpio Rivera, por destinar de su valioso tiempo un espacio para leer el documento de tesis, corregir y brindar aportes para que al final el trabajo fuese de mejor calidad. A todos los profesores que durante el proceso de la maestría se hicieron presentes para mi crecimiento como estudiante. A los profesores de actividad deportiva que me permitieron un espacio para reclutar y entrenar a los participantes de la tesis.

A la M.Sc. María Isabel González Lutz, de la Unidad de Servicios Estadísticos (USES) de la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica, por orientarme y ayudarme en el cálculo del tamaño de la muestra.

Al Dr. Peter Grandjean, por la invitación con todos los gastos pagos a Baylor University en Waco, Texas, USA, para participar en el International Symposium in Exercise and Health Science Research – TEJAS –. Además durante esa estadía conocí a otros colegas que me ayudaron a aprender y a sentirme como en casa.

Al Dr. Jeffrey Forsee, por abrirme las puertas al Baylor Laboratories for Exercise Science & Technology (BLEST) del Department of Health, Human Performance & Recreation de Baylor University para analizar los datos recolectados utilizando el mejor equipo disponible.

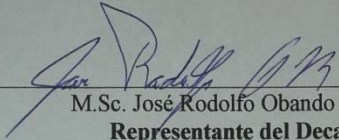
A Valeria Pagonas, Daniela Díaz, Yerelin Contreras, Sofía Bolaños, Mariana Peralta, Jean Pierre Moreira, María José Álvarez y Bryan Montero por haberme ayudado durante la recolección de datos. Su apoyo fue fundamental para lograr medir y entrenar a los participantes.

Al Dr. Luis Fernando Aragón, por haberme permitido utilizar las instalaciones del Centro de Investigación del Movimiento Humano de la UCR (CIMOHU); con la ayuda del bachiller Rodrigo Cordero y Alejandra Barrantes pude resolver toda la logística dentro del CIMOHU. Al Laboratorio de Reconocimiento de Patrones y Sistemas Inteligentes (PRIS-Lab) de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCR por ayudar con la logística de la grabación de las mediciones.

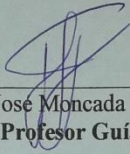
A Danoval Smith, un gran profesor, formador y entrenador. Fue al primero que le pedí la carta de recomendación para ingresar a la maestría, Dano siempre supo crear esa confianza para que uno se acercara y le pidiera consejo ante cualquier problemática, ahora ya pensionado estoy seguro que sigue siendo el mismo. Otra gran profesora que me ha ayudado a ser mejor profesional es Yamileth Chacón a la cual le agradezco todos los consejos que me ha brindado.

A los compañeros y compañeras de la maestría, todos sus aportes en el curso de taller siempre fueron provechosos para aprender y generar conocimiento. También a todos los estudiantes de intercambio y profesores de otros países que he conocido en el proceso de maestría que de una u otra forma me han ayudado a ser mejor.

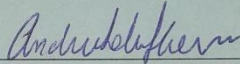
“Tesis sometida fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias del Movimiento Humano y la Recreación de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias del Movimiento Humano.”



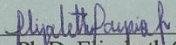
M.Sc. José Rodolfo Obando Monge
Representante del Decano
Sistema Estudio de Posgrado



Ph.D. José Moncada Jiménez
Profesor Guía



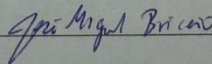
Ph.D. Andrea Solera Herrera
Lectora



Ph.D. Elizabeth Carpio Rivera
Lectora



Ph.D. Cecilia Enith Romero Barquero,
Representante del Programa de Posgrado
en Ciencias del Movimiento Humano y la Recreación



José Miguel Briceño Torres
Sustentante

Índice

Portada	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	viii
Abstract	ix
Lista de tablas	x
Lista de figuras	xi
Lista de abreviaturas	xii
I. Capítulo I: Marco teórico	1
<i>a. Salud cardiovascular</i>	1
<i>b. Mecanismos que explican la salud cardiovascular</i>	3
<i>c. Importancia del endotelio para la salud arterial</i>	7
<i>d. Medición de la función endotelial</i>	8
<i>e. Adaptación del endotelio al entrenamiento: evidencia meta analítica</i>	11
1. <i>Entrenamiento aeróbico</i>	11
2. <i>Entrenamiento contra resistencia</i>	17
3. <i>Entrenamiento concurrente</i>	22
<i>f. Entrenamiento contra resistencia</i>	24
II. Capítulo II: Justificación	26
III. Capítulo III: Propósito	34
<i>a. Objetivo general</i>	34
<i>b. Objetivos específicos</i>	34
<i>c. Hipótesis estadísticas</i>	35
1. <i>Efecto principal de tratamientos</i>	35
2. <i>Efecto principal de mediciones</i>	35
3. <i>Efecto principal de oclusiones</i>	35
4. <i>Interacción tratamientos y mediciones</i>	36
5. <i>Interacción tratamientos y oclusiones</i>	36
6. <i>Interacción mediciones y oclusiones</i>	36
7. <i>Interacción de tratamientos, mediciones y oclusiones</i>	37
IV. Capítulo IV: Metodología	38
<i>a. Diseño del estudio</i>	38

b.	<i>Variables de estudio</i>	38
c.	<i>Participantes</i>	39
d.	<i>Instrumentos de medición</i>	40
e.	<i>Procedimientos de medición</i>	41
f.	<i>Fuerza prensión de mano y pie.</i>	45
g.	<i>Intervención de ejercicio</i>	45
h.	<i>Consideraciones éticas</i>	46
i.	<i>Análisis estadístico</i>	48
V.	Capítulo V: Resultados	50
a.	<i>Características de los participantes</i>	50
b.	<i>Composición corporal</i>	54
c.	<i>Fuerza muscular</i>	55
d.	<i>Salud arterial</i>	60
VI.	Capítulo VI: Discusión	63
VII.	Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones	72
a.	Conclusiones	72
1.	<i>Objetivo general</i>	72
2.	<i>Objetivos específicos</i>	72
3.	<i>Hipótesis</i>	73
b.	Recomendaciones	74
VIII.	Capítulo VII: Referencias	77
IX.	Capítulo IX: Anexos	87
	Anexo 1. Aprobación de protocolo y consentimiento informado	88
	Anexo 2. Ejercicios contra resistencia utilizados en la rutina de entrenamiento	93
	Anexo 3. Hoja de recolección de datos individual.....	95
	Anexo 4. Curso de Buenas Prácticas de Investigación Biomédica.....	96
	Anexo 5. Renovación Curso de Buenas Prácticas de Investigación Biomédica.....	97
	Anexo 6. Certificado del CONIS	98
	Anexo 7. Curso de Protección Radiológica Básica.....	99
	Anexo 8. Producción académica durante el programa de posgrado	100

Resumen

Contexto: Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en todo el mundo. Se ha demostrado que el ejercicio físico previene y atenúa las enfermedades cardiovasculares. El ejercicio contra resistencia (ECR) es un modo de entrenamiento que ha evidenciado un efecto positivo en la salud cardiovascular; sin embargo, se carece de evidencia científica acerca de las intensidades de ECR que se podrían prescribir a la población para mejorar la dilatación arterial mediada por flujo.

Propósito: Comparar si dos intensidades de ECR realizadas durante 8 semanas en hombres jóvenes sedentarios producen adaptaciones crónicas en el porcentaje de la dilatación mediada por flujo (%DMF).

Metodología: El diseño del estudio contó con un grupo control (no realizó ejercicio) y 2 grupos experimentales (ECR a 50% de una repetición máxima [1-RM] y 80% 1-RM). Se reclutaron 34 hombres sedentarios sanos (edad = 20.6 ± 1.8 años, estatura = 171.3 ± 5.2 cm, peso = 65.2 ± 10.6 kg, masa grasa = 22.3 ± 7.4 %), quienes fueron asignados aleatoriamente a alguno de los 3 grupos. El entrenamiento tuvo una frecuencia de 2 veces por semana durante 8 semanas, en donde los participantes realizaron los mismos ejercicios (press de pierna, remo, extensión de rodilla, press de pecho, jalón polea abierto, flexión de rodilla, press militar y flexión de codo) y un volumen de trabajo de 1920 (80% 1-RM) y 1950 (50% 1-RM) unidades arbitrarias (UA). La primera sesión consistió en mediciones antropométricas y composición corporal (peso, índice de masa corporal [IMC], densidad mineral ósea y % masa grasa), mientras que en la segunda sesión se realizó la medición del %DMF. Posteriormente, se realizaron 3 sesiones de familiarización con el ECR. En la sexta sesión se obtuvo la RM de cada ejercicio para la respectiva prescripción. Luego, durante 8 semanas, se entrenó a 50% 1-RM o al 80% 1-RM, para un total de 16 sesiones por grupo. Finalmente, se midieron las mismas variables del inicio. El análisis estadístico incluyó estadística descriptiva ($M \pm DE$), e inferencial con ANOVA de 3 vías mixta (3 grupos x 2 mediciones x 2 oclusiones) para el %DMF, y ANOVA de 2 vías mixta (3 grupos x 2 mediciones) para las demás variables dependientes. Las pruebas de ANOVA fueron completadas con análisis *post hoc* cuando se encontraron interacciones significativas a una $p \leq 0.05$. Se calculó el tamaño del efecto (TE) del tratamiento sobre las variables dependientes por medio de estadístico “g” (Hedges, 1981) con el modelo intra grupos, y se interpretó de acuerdo con Kline (2004), como ≤ 0.2 bajo o débil, entre 0.3 y 0.7 moderado y ≥ 0.8 alto o fuerte.

Resultados: El peso, IMC, densidad mineral ósea y % de masa grasa no tuvieron un cambio luego de las 8 semanas ($p < 0.05$). La fuerza muscular aumentó en ambos grupos de ECR luego de 4 semanas de entrenamiento ($p < 0.05$). Se encontró interacción triple en la variable %DMF ($p = 0.021$), entre grupos, mediciones y oclusiones. El análisis de ANOVA mixto de 2 vías (3 grupos x 2 mediciones), en la semana 0 no fue significativa ($p > 0.05$); sin embargo, en la semana 8 sí hubo una interacción entre grupos y mediciones ($p < 0.05$), con una diferencia entre el grupo control y el grupo de 50% 1-RM en el post-test ($p = 0.002$).

Conclusión: El ECR de baja intensidad produjo una adaptación positiva en la salud arterial luego de las 8 semanas de entrenamiento. No es necesario realizar ECR a alta intensidad para obtener beneficios en la salud arterial.

Abstract

Changes in endothelial function following a chronic high- or low-intensity resistance-training program in university males. Background: Cardiovascular diseases are the leading cause of death worldwide. It has been shown that physical exercise prevents and attenuates cardiovascular diseases. Resistance training (RT) is an exercise modality showing positive effects on cardiovascular health; however, there is a lack of scientific evidence regarding the RT intensities that could be prescribed to the population.

Purpose: To compare whether two intensities of RT performed during 8 weeks in sedentary young males elicit chronic adaptations in the percentage of arterial flow-mediated dilatation (%FMD).

Methods: The study design had a control group (no exercise) and two experimental groups (RT 50% of a maximum repetition [1-RM] and RT 80% 1-RM). Sedentary men were recruited ($n = 34$, age = 20.6 ± 1.8 yr., height = 171.3 ± 5.2 cm, weight = 65.2 ± 10.6 kg, fat mass = 22.3 ± 7.4 %), and randomly assigned to an experimental group. The RT program was performed twice per week for 8 weeks, and participants performed the same exercises and a workload of 1920 (80% 1-RM) and 1950 (50% 1-RM) arbitrary units (AU). The first session consisted of anthropometric and body composition (weight, body mass index [BMI], bone mineral density and fat mass) measures; the second session was used for %FMD measurement. Then, 3 RT familiarization sessions were performed. The RM of each exercise was obtained in the 6th session for the individual's exercise prescription. Then, for 8 weeks, RT at 50% 1-RM or 80% 1-RM was performed for a total of 16 sessions. Finally, the same initial variables were measured. Statistical analysis included descriptive statistics ($M \pm SD$), and inferential mixed 3-way ANOVA (3 groups x 2 measurements x 2 occlusions) for the %FMD, and mixed 2-way ANOVA (3 groups x 2 measurements) for the other dependent variables. The ANOVA tests were completed with *post hoc* analysis when significant interactions were found at $p \leq 0.05$. The effect size (ES) of the treatment on the dependent variables was calculated by the "g" statistic (Hedges, 1981) using the intragroup model, and was interpreted according to Kline (2004), as ≤ 0.2 low or weak, between 0.3 and 0.7 moderate, and ≥ 0.8 high.

Results: Body weight, BMI, bone mineral density and fat mass did not change after 8 weeks ($p < 0.05$). The muscle strength increased in both RT groups following 4 weeks ($p < 0.05$). A triple interaction between groups, measurements and occlusions was found on %FMD ($p = 0.021$). The 2-way mixed ANOVA (3 groups x 2 measurements), at week 0 was not significant ($p > 0.05$); however, at week 8 there was an interaction between groups and measurements ($p < 0.05$), with a difference between the control group and RT 50% 1-RM group in the post-test ($p = 0.002$).

Conclusion: A low-intensity RT program elicited a positive adaptation in the arterial health after 8 weeks of training. It seems unnecessary to perform high-intensity RT to obtain benefits on arterial health.

Lista de tablas

Tabla 1. Métodos para la medición de la función endotelial.....	9
Tabla 2. Tabla resumen de meta análisis del efecto del ejercicio aeróbico sobre la salud arterial.	15
Tabla 3. Resumen de investigaciones acerca del efecto del ejercicio aeróbico sobre la salud arterial.	16
Tabla 4. Resumen de meta-análisis sobre ejercicio contra resistencia sobre la salud arterial.....	18
Tabla 5. Resumen de investigaciones acerca del efecto del ejercicio contra resistencia sobre la salud arterial.....	19
Tabla 6. Resumen de investigaciones del efecto del ejercicio concurrente en la salud arterial. .	23
Tabla 7. Resumen de la intervención con ejercicio contra resistencia.	46
Tabla 8. Estadística descriptiva general de los participantes.	52
Tabla 9. Estadística descriptiva de los participantes por grupo experimental.....	53
Tabla 10. Resumen estadística inferencial de las variables de composición corporal.	54
Tabla 11. Estadística descriptiva e inferencial de las pruebas de RM de los grupos que realizaron ejercicio contra resistencia.	56
Tabla 12. Tamaños de efecto e $IC_{95\%}$ de cada uno de los ejercicios realizados por los grupos de entrenamiento en una repetición máxima.	58
Tabla 13. Estadística descriptiva e inferencial de la variable dilatación mediada por flujo (DMF %) para cada uno de los grupos experimentales. Los valores son $M \pm DE$	62

Lista de figuras

Figura 1. Síntesis de óxido nítrico endotelial.....	4
Figura 2. Producción de óxido nítrico endotelial y su acción en las células del músculo liso.....	6
Figura 3. Colocación del brazalete para la realización de la técnica de dilatación mediada por flujo (DMF).	10
Figura 4. Efecto de diferentes modalidades de ejercicio en la función endotelial.	13
Figura 5. Esquema de los efectos crónicos del ejercicio aeróbico y contra resistencia en la función endotelial.....	27
Figura 6. Diseño de las sesiones del estudio.	42
Figura 7. Diagrama de flujo de los participantes del estudio.	51
Figura 8. Fuerza total alcanzada en los dos grupos de entrenamientos luego de 4 semanas de entrenamiento contra resistencia.	59
Figura 9. Comparación de la fuerza antes y después de iniciar la intervención, independientemente del grupo experimental.....	59
Figura 10. Interacción triple de grupos, mediciones, oclusiones sobre la dilatación mediada por flujo. *Diferencia significativa entre pre test y post test $p=0.010$. $^{\$}p = 0.010$ entre grupo control y grupo 50% 1-RM.	61
Figura 11. Resumen de los grupos de entrenamiento contra resistencia.....	67

Lista de abreviaturas

1-RM	Una repetición máxima
Ach	Acetilcolina
cGMP	Guanosín monofosfato ciclasa
CIMOHU	Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano
CONIS	Consejo Nacional de Investigación en Salud
DMF	Dilatación mediada por flujo
DMO	Densidad Mineral Ósea
DXA	Absorciometría de rayos X de doble energía
EA	Entrenamiento aeróbico
ECR	Entrenamiento contra resistencia
GTP	Guanosina trifosfato
HDE	Hiperpolarización dependiente de endotelio
HDL	Lipoproteína de alta densidad
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrógeno
IC _{95%}	Intervalo de confianza al 95%
IMC	Índice de masa corporal
LDL	Lipoproteína de baja densidad
MET	Equivalente metabólico
Min	Minutos
NO	Óxido nítrico
PAD	Presión arterial diastólica
PAS	Presión arterial sistólica
PKG _{1α}	Proteína cinasa G tipo 1 alfa
RCT	Randomized Controlled Trial (ensayo controlado y aleatorizado)
sGC	Guanilato ciclasa soluble
TE	Tamaño de efecto
UCR	Universidad de Costa Rica
VO ₂ pico	Consumo de oxígeno pico
VO ₂ máx	Consumo máximo de oxígeno

I. Capítulo I: Marco teórico

La revisión de literatura necesaria para elaborar el marco teórico se presentará en las siguientes secciones y así facilitar una mejor comprensión del estudio: a) salud cardiovascular, b) mecanismos que explican la salud cardiovascular, c) importancia del endotelio para la salud arterial, d) medición de la función endotelial, e) adaptación del endotelio al entrenamiento: evidencia meta analítica.

a. Salud cardiovascular

La salud cardiovascular ha sido estudiada extensamente debido a que las enfermedades cardiovasculares representan la principal causa de muerte en todo el mundo (Barquera et al., 2015). Se estima que en el año 2012 fallecieron 17.5 millones de personas, un equivalente al 31% de todas las muertes ocurridas en el mundo. Más del 75% de las defunciones ocurrieron en países con ingresos bajos y medios, en donde a Costa Rica se le clasifica como un país de renta media (World Health Organization, 2015).

En el año 2015, las enfermedades no transmisibles (e.g., enfermedades cardiovasculares y respiratorias crónicas, cáncer, diabetes) fueron la principal causa de muerte en Costa Rica. Hubo aproximadamente 366 muertes por cada 100 mil habitantes (~426/100 mil hombres, 312/100 mil mujeres) (Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, 2017). En el año 2012, la mayoría de muertes por enfermedades cardiovasculares ocurrieron en personas mayores de 45 años (95%), siendo más de la mitad hombres (54%). Las principales patologías que provocaron la muerte de los costarricenses fueron las enfermedades isquémicas del corazón (2594), cerebrovasculares (1281) e hipertensivas (814) (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2014).

Actualmente, para atenuar las enfermedades no transmisibles, y entre ellas las cardiovasculares, se promueve un concepto de “salud cardiovascular ideal” (Huffman et

al., 2012). Este concepto incluye la presencia de siete componentes ideales: a) no fumar, b) tener un índice de masa corporal (IMC) $< 25 \text{ kg/m}^2$, c) realizar un mínimo 150 min semanales de actividad física moderada o 75 min de actividad física vigorosa, y d) mantener una buena dieta, e) colesterol por debajo de 200 mg/dL, f) presión arterial sistólica (PAS) $< 120 \text{ mmHg}$ y diastólica (PAD) $< 80 \text{ mmHg}$, y g) niveles de glucosa sanguínea en ayunas $< 100 \text{ mg/dL}$ (Lloyd-Jones et al., 2010). Este nuevo concepto de salud cardiovascular ideal es diferente para cada persona, debido a los hábitos personales; entonces, con estos siete componentes se puede categorizar la salud cardiovascular de niños y adultos en pobre, intermedia o ideal (Shay, Gooding, Murillo, & Foraker, 2015). Los siete componentes son inversamente proporcionales a eventos cardiovasculares; es decir, las personas con una salud cardiovascular ideal tienen un riesgo 80% menor de adquirir enfermedades cardiovasculares, 69% menor de tener accidente vascular cerebral (i.e., derrame cerebral) y un 45% menor de mortalidad cardiovascular (Fang, Jiang, & Fan, 2016).

Para el American College of Sports Medicine (2018), los componentes de la salud cardiovascular ideal son considerados factores de riesgo; es decir, éstos se entienden como condiciones asociadas con una menor probabilidad de resultados socialmente deseables o positivos y una mayor probabilidad de resultados negativos o socialmente indeseables en una variedad de áreas de la vida, desde la salud y el bienestar hasta el desempeño de roles sociales (Jessor, Turbin, & Costa, 1998). Por lo tanto, es necesario realizar investigación acerca de estrategias y mecanismos que permitan reducir los factores de riesgo cardiovascular en la población.

En la literatura científica se han reportado variables deseables que cada individuo debería mantener en buenas condiciones para el apropiado funcionamiento del

sistema vascular; entre éstas se pueden mencionar la rigidez arterial (Estadella, Vázquez, & Oliveras, 2010), la presión arterial (Cornelissen, Fagard, Coeckelberghs, & Vanhees, 2011), el diámetro arterial (Verdejo París, 2006), y el grosor de la íntima media (Arrebola-Moreno, Laclaustra, & Kaski, 2012). Así, el riesgo cardiovascular se reduce si existe un buen funcionamiento de estos indicadores; por ejemplo, si el diámetro arterial no se dilata adecuadamente sería un predictor de enfermedad cardiovascular (Ras, Streppel, Draijer, & Zock, 2013; Xu et al., 2014).

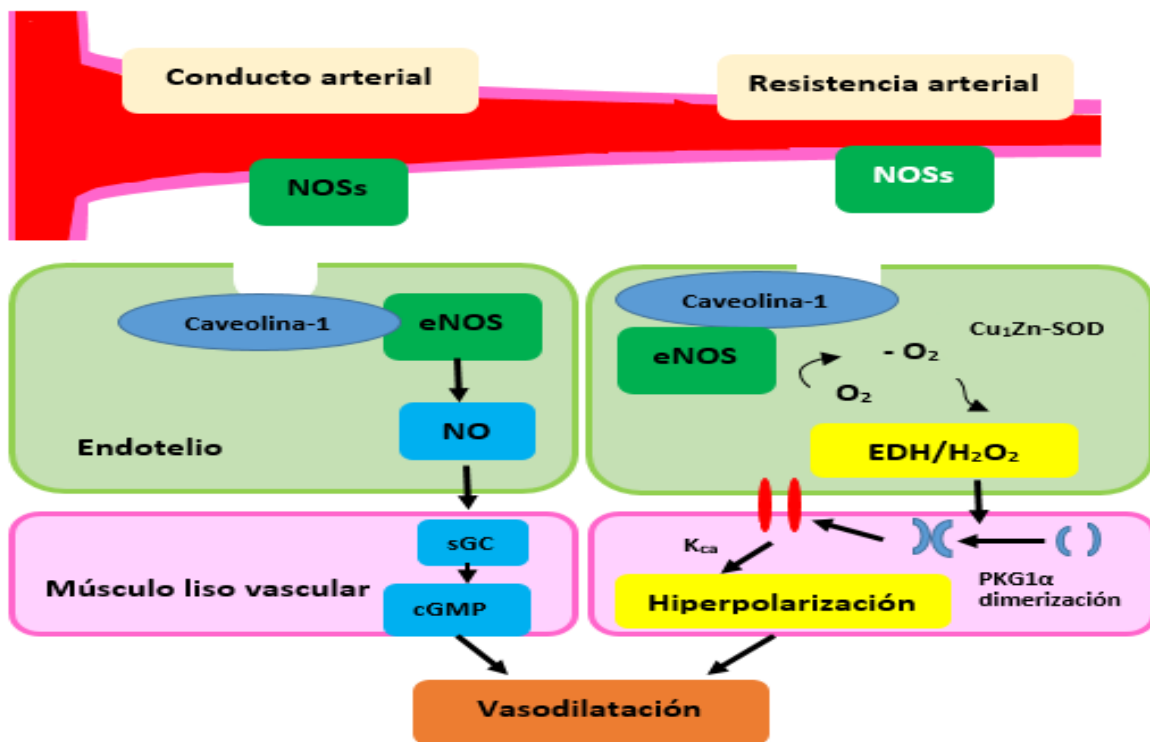
b. Mecanismos que explican la salud cardiovascular

Los mecanismos fisiológicos y bioquímicos que interactúan con el sistema vascular son numerosos y complejos. Por ejemplo, los biomarcadores como el péptido natriurético tipo B, un marcador de actividad neuro-hormonal, la proteína C-reactiva de alta sensibilidad, un marcador inflamatorio, y la homocisteína, un marcador de la función endotelial y estrés oxidativo, se encuentran asociados a eventos cardiovasculares (Wang et al., 2006; Xue et al., 2013). Es decir, una disfunción o mal funcionamiento reducen la capacidad del organismo para proteger su salud vascular y, por consiguiente, puede ocasionar un daño severo a las venas y arterias, lo cual provoca enfermedades de origen vascular.

Otros procesos, como la síntesis de óxido nítrico (NO), permiten mantener la homeostasis vascular, y se ha descrito en la literatura que tanto el NO como la hiperpolarización dependiente de endotelio (HDE) mantienen ese equilibrio (Shimokawa, 2010; Shimokawa & Godo, 2016), y permiten proteger la salud vascular. Se conoce que el endotelio sintetiza y libera NO y peróxido de nitrógeno H_2O_2 /HDE, sustancias que regulan el tono vascular; es decir, la capacidad de las paredes arteriales de contraerse y relajarse. El mecanismo fisiológico que explica esta capacidad se basa en que la síntesis

de NO sirve principalmente para obtener guanilato ciclasa soluble (sGC) y guanosín monofosfato ciclasa (cGMP), elementos mediadores de la relajación de los vasos sanguíneos grandes. En cambio, en vasos sanguíneos pequeños, la síntesis de NO actúa como un generador de superóxidos para causar la respuesta de H₂O₂/HDE, el cual induce una dimerización o unión de la proteína cinasa G tipo 1 alfa (PKG1_α) y subsecuentemente la activación de canales de potasio responsables de la hiperpolarización y vasodilatación (Figura 1) (Godo & Shimokawa, 2017).

Figura 1. Síntesis de óxido nítrico endotelial.

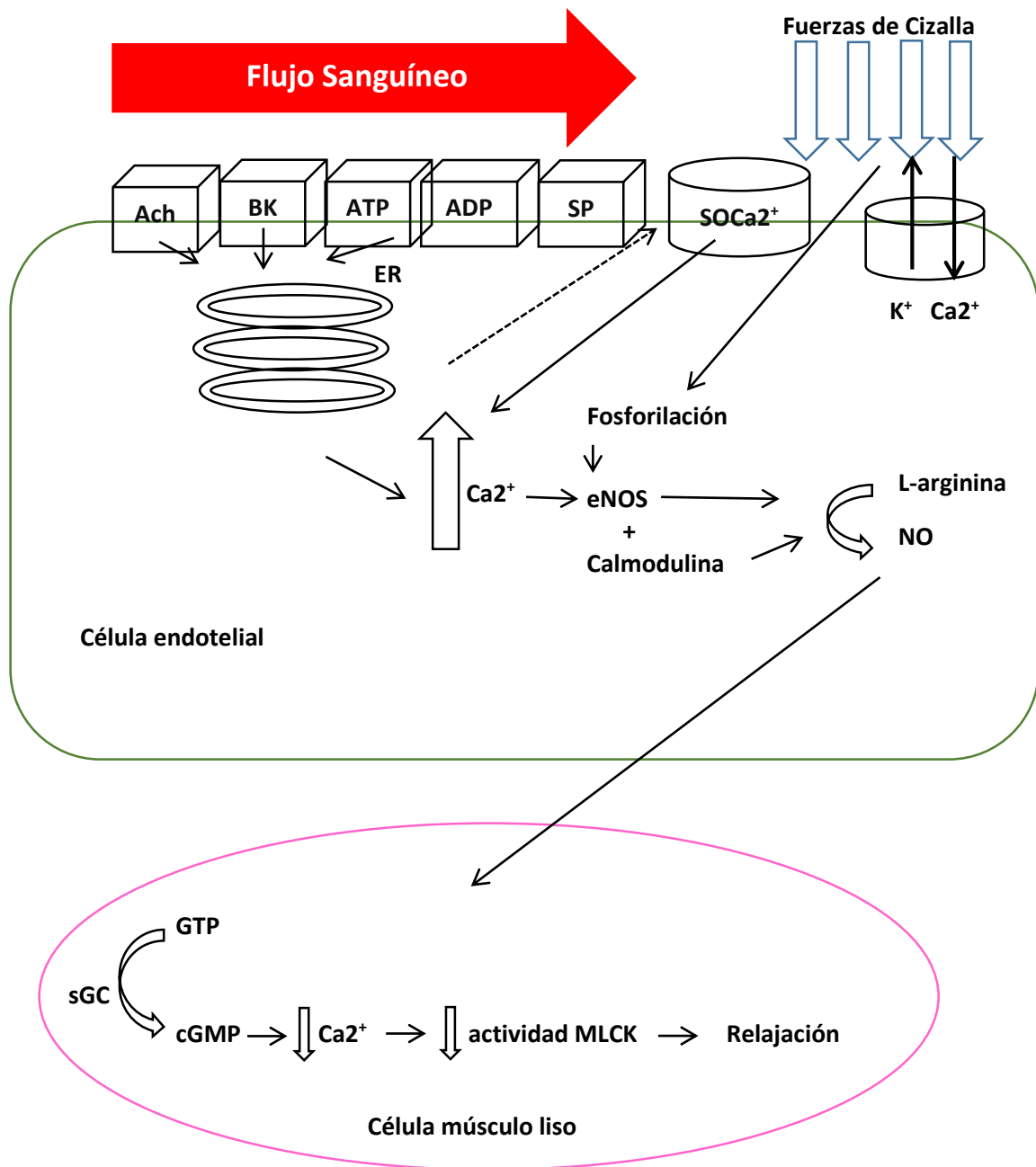


Fuente: Modificado y traducido al español de Godo y Shimokawa (2017).

Las fuerzas de cizalla, es decir, las fuerzas del estrés por fricción que ejerce el flujo sanguíneo sobre las paredes del endotelio vascular, representan el principal estímulo para la acción del endotelio (Davies, 2009; Rodríguez-Núñez, Romero, & Saavedra, 2016).

Estímulos como el ejercicio físico permiten que aumente la fricción de la sangre sobre las paredes vasculares, y por consiguiente, las fuerzas de cizalla. Estas fuerzas activan especialmente el Ca^{2+} , que a su vez activa los canales de K^+ en la superficie de la célula endotelial, causando la salida de K^+ y la entrada de Ca^{2+} que se une a la proteína calmodulina en el citoplasma de la célula. Después, el endotelio sufre cambios estructurales que le permiten unirse a eNOS, el cual posteriormente convierte la L-arginina en NO. Una vez sintetizado, el NO se difunde a través de la célula endotelial en el músculo liso adyacente, donde se une a la enzima sGC. Esta activación de la enzima aumenta la tasa de conversión de guanosina trifosfato (GTP) a cGMP, que a su vez reduce la liberación de Ca^{2+} , provocando una disminución en la actividad de la cadena kinasa ligera de miosina, lo que lleva a una relajación del músculo liso (Sandoo, van Zanten, Metsios, Carroll, & Kitas, 2010) (Figura 2). En otras palabras, se requiere de un estímulo que aumente las fuerzas de cizalla para que el endotelio se contraiga y posteriormente se relaje por medio del mecanismo bioquímico expuesto anteriormente. Si se logra que esta respuesta ocurra de manera repetida en el tiempo, se podría entonces provocar una adaptación crónica positiva para la salud arterial, lo cual permitiría reducir el riesgo de enfermedades de origen cardiovascular.

Figura 2. Producción de óxido nítrico endotelial y su acción en las células del músculo liso.



Fuente: Modificado y traducido al español de Sandoo et al. (2010).

c. *Importancia del endotelio para la salud arterial*

Los vasos sanguíneos son el principal conducto de comunicación entre el corazón y los tejidos, y están conformados por tres capas: a) la íntima, la cual recubre interiormente al vaso, b) la túnica intermedia, y c) la túnica externa (Levick, 2014). El endotelio se localiza en la íntima del vaso sanguíneo y está formado por una pared de células semipermeables; es decir, que regulan la transferencia de moléculas pequeñas y grandes, cumpliendo así un importante rol en la regulación del tono vascular (Galley & Webster, 2004; Lerman & Zeiher, 2005). Un endotelio sano posee propiedades antioxidantes, antiinflamatorios, anticoagulantes, profibrinolíticos e inhibitorios de la adhesión de leucocitos, agregación plaquetaria y proliferación de células de músculo liso (Bonetti, Lerman, & Lerman, 2003). Además, cumple funciones de remodelación de los vasos por medio de procesos conocidos como vasculogénesis o formación de vasos sanguíneos, angiogénesis o proceso de crecimiento de nuevos vasos sanguíneos a través de vasos sanguíneos existentes, y arteriogénesis o maduración de vasos sanguíneos (Triggle et al., 2012). En síntesis, todas estas son respuestas positivas que permiten tener una adecuada salud vascular.

El primer estudio del que se tiene conocimiento que evidenció la importancia del endotelio en la regulación de las funciones vasculares fue el de Furchgott y Zawadzki (1980), con un modelo *in vivo* con conejos. La aorta de los animales fue expuesta a acetilcolina (ACh), y se observó que la relajación mediada por ACh dependía del endotelio; esto permitió reconocer la existencia de un “factor relajante derivado del endotelio”. A finales de esa década se hizo énfasis en la relevancia del endotelio para la síntesis de NO (Ignarro, Buga, Wood, Byrns, & Chaudhuri, 1987; Vallance, Collier, & Moncada, 1989).

Posteriormente, se descubrió que la arterosclerosis, una enfermedad cardiovascular que endurece y aumenta el grosor de la arteria, además de originar pérdida de elasticidad de las paredes arteriales, podía diagnosticarse a temprana edad al evaluar la función endotelial, y se comprobó que el fumado y el envejecimiento deteriora el endotelio (Celermajer, Sorensen, Bull, Robinson, & Deanfield, 1994; Celermajer et al., 1993; Celermajer et al., 1992; Celermajer, Sorensen, Spiegelhalter, et al., 1994). Desde entonces, se sabe que la disfunción endotelial afecta de forma importante la función vascular y favorece la aparición de enfermedades cardiovasculares. Debido a esto, se realizaron investigaciones en poblaciones hipertensas o con altos niveles de colesterol, en donde se estudiaron las células endoteliales. Se encontró que la arteria braquial era efectiva para realizar pruebas diagnósticas y encontrar indicios de arterosclerosis, y es así como las técnicas de medición comenzaron a ser relevantes ya que también se buscaban formas de diagnosticar, prevenir y de tratar la disfunción endotelial (Celermajer, 1997, 1998; Cines et al., 1998; Schmieder & Schobel, 1995; Sorensen, Kristensen, & Celermajer, 1997).

De esta forma se desarrollaron diferentes líneas de investigación a inicios del s. XXI, principalmente en la metodología de medición del endotelio (Agewall et al., 2001; Vogel, 2001; Wilkinson & Webb, 2001). Adicionalmente, se publicó la primera guía de medición para evaluar la dilatación mediada por flujo (DMF) sanguíneo dependiente del endotelio en la arteria braquial (Corretti et al., 2002), técnica que aún es utilizada y que se describirá más adelante.

d. Medición de la función endotelial

Como se mencionó anteriormente, los daños en el funcionamiento endotelial contribuyen al desarrollo de la arterosclerosis, por lo que evaluar la vasodilatación

dependiente del endotelio emerge como un indicador para conocer la salud endotelial de los individuos. Existen varios métodos invasivos y no invasivos que permiten realizar dicha medición (Tabla 1).

Tabla 1. Métodos para la medición de la función endotelial.

Técnica	Ventajas	Desventajas
Dilatación mediada por flujo (DMF)	<ul style="list-style-type: none"> • No invasiva. • Segura y rápida. • Estímulo fisiológico para la dilatación, en comparación a la utilización de agonistas como la ACh. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidad entre mediciones. • Altamente dependiente del operador. • Pobre resolución relativa del tamaño arterial.
Tomografía vascular	<ul style="list-style-type: none"> • No invasiva. • Segura y rápida. • Menos dependiente del operador. • Puede reflejar función endotelial basal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo. • Influencia importante de estructuras cercanas al endotelio.
Cateterización de arteria braquial con pleisimografía oclusiva de vena	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor accesibilidad a circulación. • Permite examinar la función endotelial (infusiones de agonistas y NO) y dosis respuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Invasiva. • Riesgo de lesión en nervios, infección o daño vascular.
Angiografía coronaria	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantifica la función endotelial. • Permite examinar la función endotelial (infusiones de agonistas y NO) y dosis respuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Invasiva. • Alto costo. • Riesgo de infarto, infección o daño vascular.

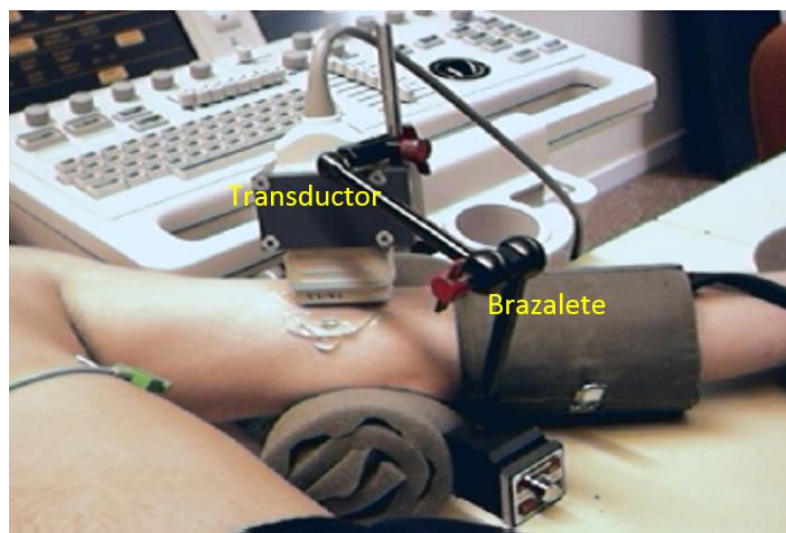
Fuente: Widlansky, Gokce, Keaney, y Vita (2003).

Una de las técnicas aceptables más utilizadas mundialmente y que proporciona un índice de medición de la función vasodilatadora del endotelio dependiente del NO es la DMF (Poredos & Jezovnik, 2013). Celermajer et al. (1992), plantearon un estudio para detectar de forma no invasiva la disfunción endotelial en población infantil y adultos con

riesgo de arterosclerosis. Para ello, utilizaron un equipo de ultrasonido de alta definición para seguir los cambios del diámetro de los vasos sanguíneos en respuesta al aumento de flujo y al nitrato de glicerol. Esta sustancia causa vasodilatación de forma directa en el músculo liso, y ese efecto es independiente del endotelio. De esta forma, si las arterias están rodeadas por un endotelio sano, el incremento de flujo va a causar una dilatación de los vasos gracias al factor relajante del endotelio, y esto es en lo que precisamente se basa la técnica de la DMF.

La técnica de medición fue desarrollada por Celermajer et al. (1992), la misma consiste en la colocación de un brazalete de un esfigmomanómetro a nivel de arteria braquial del individuo. Luego de poner el brazalete, éste se infla a una presión de ~300 mmHg durante 4-5 min; e inmediatamente después de liberar la oclusión de forma rápida se graba el cambio de velocidad del flujo sanguíneo con el transductor del ultrasonido (Figura 3).

Figura 3. Colocación del brazalete para la realización de la técnica de dilatación mediada por flujo (DMF).



Fuente: Arrebola-Moreno et al. (2012).

Desde el descubrimiento de la técnica de DMF, ha mejorado la tecnología y detalles técnicos de medición que permiten hoy en día obtener mediciones más válidas y confiables. Por ejemplo, con el transcurso de los años se han creado programas computacionales (i.e., software) capaces de detectar lo recolectado por el ultrasonido y así analizar cambios en la pared arterial (Woodman et al., 2001). También se investigó la zona anatómica donde la colocación del brazalete tenía más efecto o resolución en la arteria braquial (i.e., parte superior del antebrazo) (Agewall et al., 2001). Así, la técnica mejoró su validez y confiabilidad al estandarizar la metodología de medición, y en el año 2002 se publicó la primera guía para evaluar con ultrasonido la DMF dependiente del endotelio en la arteria braquial (Celermajer, 1998; Corretti et al., 2002; Vogel, 2001; Welsch, Allen, & Geaghan, 2002).

Existe una guía metodológica más reciente que incluye la preparación del participante, protocolo, técnica de recolección y análisis de datos (Thijssen et al., 2011). El correcto seguimiento de esta guía es importante para aumentar la reproducibilidad de los estudios y aumentar la validez y no generar conclusiones espurias por omitir algún paso relevante (e.g., preparación del participante, adquisición de imagen, análisis) (Greyling et al., 2016a, 2016b).

e. Adaptación del endotelio al entrenamiento: evidencia meta analítica

1. Entrenamiento aeróbico

El efecto crónico o la exposición repetida al entrenamiento aeróbico (EA) ha sido estudiado tanto en personas sanas como en individuos con algún tipo de enfermedad. En el año 2014 se publicaron dos meta análisis en los cuales se reportaron los efectos del EA sobre la rigidez arterial; uno en personas pre hipertensas o hipertensas (Montero, Roche, & Martinez-Rodriguez, 2014) y otro con una muestra más heterogénea (i.e., participantes

sanos, con riesgo de hipertensión, pre menopausia, diabetes II) (Ashor, Lara, Siervo, Celis-Morales, & Mathers, 2014). La conclusión más relevante del estudio de Montero et al. (2014), fue que el EA en personas pre hipertensas o hipertensas no tiene un efecto positivo significativo en la disminución de la rigidez arterial. En ese estudio se reporta un tamaño de efecto (TE) de la intervención con EA de -0.19, con un intervalo de confianza al 95% (IC_{95%}) de -0.39 a 0.01. El TE es un estadístico que representa la influencia, magnitud o efecto que posee un tratamiento o intervención (i.e., EA) sobre una variable de interés; en este caso, el diámetro arterial como un indicador de la salud vascular. De acuerdo con Kline (2004), un $TE \leq 0.2$ es bajo o débil, entre 0.3 y 0.7 es moderado y ≥ 0.8 se le considera alto o fuerte.

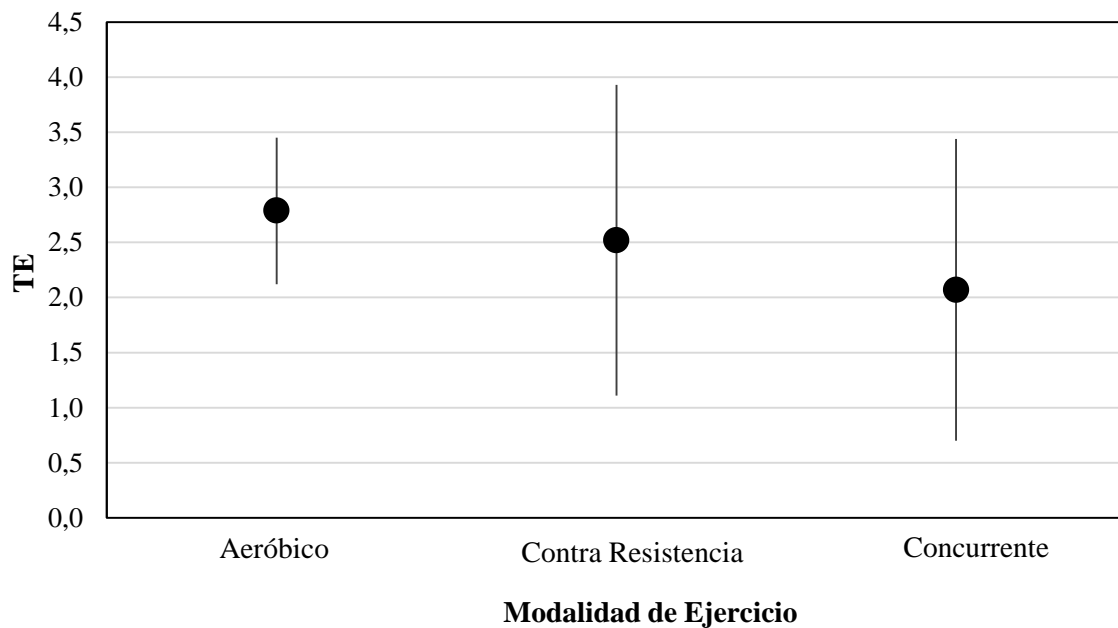
En el estudio de Ashor et al. (2014), si se encontró un efecto significativo y positivo del EA sobre la rigidez arterial ($TE = -0.63$, $IC_{95\%} = -0.90$ a -0.35). En este caso, el signo negativo del TE indica una reducción en la rigidez arterial; es decir, un efecto positivo del ejercicio que se asocia a una mejor salud endotelial.

Posteriormente, en el año 2015, se publicaron tres meta análisis más (Ashor et al., 2015; Joris, Zeegers, & Mensink, 2015; Montero, Walther, Diaz-Canestro, Pyke, & Padilla, 2015). En uno de éstos, la evidencia meta analítica sugiere que practicar deportes con un componente predominantemente aeróbico permite adquirir una mejor salud endotelial (Montero et al., 2015). Esta aseveración se brinda después de haber incluido 36 estudios, en los que participaron en conjunto un total de 521 atletas (506 entrenamiento aeróbico, y 15 entrenamiento aeróbico y fuerza) y 496 personas sedentarias, de las cuales se pudo calcular un $TE = 0.47$ ($IC_{95\%} = 0.31$ a 0.62 , $p < 0.00001$) en la dilatación microvascular dependiente del endotelio, por lo que se concluye que los atletas tienen significativamente mejor función vascular que las personas sedentarias.

En otro meta análisis donde se incluyeron tres tipos de ejercicio, AE, contra resistencia (ECR) y concurrente (Ashor et al., 2015), se mostró la eficacia del EA crónico en la función endotelial en comparación con no realizar ejercicio (Figura 4).

Figura 4. Efecto de diferentes modalidades de ejercicio en la función endotelial.

Los valores representan la media y el IC_{95%} del estudio de Ashor et al. (2015). Un TE \leq 0.2 es bajo, entre 0.3 y 0.7 es moderado y \geq 0.8 se le considera alto o (Kline, 2004).



Se obtuvieron 42 TE individuales provenientes de 1591 participantes sanos y enfermos. El TE global fue de 2.79 (IC_{95%} = 2.12 a 3.45, p = 0.0001); es decir, una influencia alta o fuerte del EA sobre la función endotelial. Adicionalmente, el análisis de meta regresión indicó una asociación significativa y positiva de la intensidad relativa (VO₂pico) ($\beta = 0.06$, p = 0.04) y absoluta (METs) ($\beta = 0.51$, p = 0.04), mientras que la

frecuencia ($\beta = -0.01$, $p= 0.73$) y la duración del entrenamiento ($\beta = 0.15$, $p= 0.67$) no se asociaron con la mejoría endotelial.

En el meta análisis de Joris et al. (2015), se combinaron los hallazgos de 33 estudios, para un total de 1517 participantes. Se encontró que las personas obesas al disminuir de peso aumentaron significativamente la vasodilatación mediada por flujo; es decir, hubo un efecto positivo para su salud vascular. Estos hallazgos se apoyan en un TE considerado como alto y estadísticamente significativo de 1.11 ($IC_{95\%} = 0.47$ a 1.76, $p = 0.001$).

En el año 2016 se publicó un meta análisis sobre la influencia de la modalidad de entrenamiento en el diámetro arterial (7 estudios, 163 participantes). En atletas masculinos que practicaban deportes aeróbicos se reporta un aumento significativo del diámetro endotelial en la arteria braquial ($TE = 1.84$, $IC_{95\%} = 1.58$ a 2.05); sin embargo, en la arteria femoral el resultado fue considerablemente menor ($TE = 0.84$, $IC_{95\%} = 0.25$ a 1.43), mientras que en la arteria carótida y aorta, no se presentan resultados positivos significativos (Carótida $TE = 1.16$, $IC_{95\%} = -0.16$ a 2.49; Aorta $TE = 0.48$, $IC_{95\%} = -0.40$ a 1.36) (Black, Stöhr, Shave, & Esformes, 2016). En la tabla 2 se resume la información del efecto del EA sobre la salud arterial.

Tabla 2. Tabla resumen de meta análisis del efecto del ejercicio aeróbico sobre la salud arterial.

Autores	Variable	Población	n TE	TE global (IC_{95%})
Cornelissen y Smart (2013)	PAS	Sana/enferma	105	-3.5 (-4.6, -2.3)*
	PAD		105	-2.5 (-3.2, -1.7)*
Montero et al. (2014)	RA	Enferma	14	-0.19 (-0.39, 0.01)
Ashor et al. (2014)	RA	Sana/enferma	20	-0.63 (-0.9, -0.35)*
Ashor et al. (2015)	DMF	Sana/enferma	42	2.79 (2.12, 3.45)*
Black et al. (2016)	DA	Sana activa	4	1.84 (0.59, 3.09)*
Early et al. (2017)	DMF	Sana/enferma	58	9.31 (12.31, 6.08)*

Nota: TE= Tamaño de efecto; IC_{95%}= Intervalo de confianza al 95%; PAS=Presión Arterial Sistólica; PAD= Presión Arterial Diastólica; RA= Resistencia Arterial; DMF= Dilatación Mediada por Flujo; DA= Diámetro Arterial. * $p \leq 0.05$

En la tabla 3 se realiza una síntesis de estudios experimentales del efecto del EA sobre la función endotelial, enfocándose principalmente en la descripción de la metodología utilizada; es decir, cantidad de grupos, ejercicios, frecuencia de entrenamiento e intensidad relativa.

Tabla 3. Resumen de investigaciones acerca del efecto del ejercicio aeróbico sobre la salud arterial.

Autores	N	Edad años	H	Condicio n	Ejercicios	Intensidad	Frecuencia	Resultado
Tinken, Thijssen, Black, Cable, y Green (2008)	GE: 13 GC: 7	22	100	Físicame nte activos	Banda sin fin y Cicloergómetro	30 min en total 80% FC reserva	8 semanas 3 veces por semana	DMF aumentó significativamente las primeras 6 semanas.
Pierce, Eskurza, Walker, Fay, y Seals (2011)	GE:26 GC:10	61	30	Sedentari os sanos	Banda sin fin	70-75% FCmáx 40-50 min	8 semanas 6-7 veces por semana	DMF aumentó significativamente en el grupo experimental. Hombres aumentaron significativamente la DMF.
Rakobowchuk et al. (2012)	GE1:9 GE2:11	23	35	Sedentari os sanos	Cicloergómetro	GE1 10 s a 120% tasa máxima de trabajo y 20 s de descanso a 20 W (10s:20s) durante 30-60 GE2 30s: 60s	6 semanas 3 veces por semana	El ejercicio de moderada y alta intensidad después de 6 semanas no cambia la DMF.
Majerczak et al. (2017)	GE:11	22	100	Físicame nte activos	Cicloergómetro	40 min 50% VO ₂ máx	20 semanas 4 veces por semana	El ejercicio de moderada intensidad mejoró la pared del glicocálix endotelial

Nota: n= cantidad de participantes; GC= grupo control, GE= grupo experimental; H%= porcentaje de hombres en el estudio; FC= frecuencia cardiaca.

2. *Entrenamiento contra resistencia*

La evidencia meta analítica indica que el entrenamiento contra resistencia (ECR) disminuye la PAS y la PAD, tanto en población normotensa como hipertensa (Cornelissen et al., 2011; Cornelissen & Smart, 2013; Kelley & Kelley, 2000). La conclusión a la que se llega en los estudios es que esta modalidad de ejercicio puede usarse como una estrategia no farmacológica para la prevención de la hipertensión, la cual es una enfermedad provocada, entre otros indicadores, por la disfunción endotelial.

En el año 2014 se publicó un meta análisis acerca del efecto del ECR sobre la rigidez arterial (Ashor et al., 2014). En total se calcularon 14 TE provenientes de estudios en los que se utilizó ECR concéntrico y excéntrico durante al menos 4 semanas. Después de los análisis respectivos, se encontró un TE = -0.04 (IC_{95%} = -0.42 a 0.34), lo que sugiere que la rigidez arterial no se beneficia con esa modalidad de entrenamiento. Al año siguiente, el grupo de investigadores publicaron otro meta análisis acerca de las adaptaciones crónicas del ECR de más de 4 semanas de intervención sobre la variable DMF en personas sanas o con alguna patología (Ashor et al., 2015). En ese estudio (396 participantes de 12 investigaciones), se encontró un TE = 2.52 (IC_{95%} = 1.10 a 3.93, p = 0.0001); es decir, se encontró un efecto alto y positivo del ECR sobre la salud vascular. Los investigadores no hicieron un análisis de variables moderadoras debido a no que contaban con la cantidad necesaria de estudios; pese a esto, los estudios realizados en población sana utilizaron de 4 a 12 semanas de ECR, con una frecuencia de 2 a 4 veces por semana. Sin embargo, no se pudo saber si existía una asociación entre la cantidad de semanas o frecuencia de entrenamiento y la salud vascular, por lo que quedó ese vacío en esta temática.

Finalmente, en el meta análisis de Black et al. (2016), se estudió la influencia de diferentes modalidades de entrenamiento sobre el diámetro arterial; sin embargo, no se pudo meta analizar la información del ECR debido a la escasez de datos. Por ello, los investigadores recomiendan realizar investigaciones en las que se utilice el ECR para conocer su efecto sobre la salud arterial. Por lo tanto, en este momento la contribución al conocimiento está en la realización de una mayor cantidad de estudios experimentales en los que se incluyan diferentes aspectos de la prescripción del ECR para conocer su efecto sobre la salud vascular. En la tabla 4 se resume la información del efecto del ECR sobre las variables que influyen en la salud arterial.

Tabla 4. Resumen de meta-análisis sobre ejercicio contra resistencia sobre la salud arterial.

Autores	Variable	Población	n TE	TE global (IC_{95%})
Cornelissen y Smart (2013)	PAS	Sana/enferma	29	-1.8 (-3.7, -0.01)*
	PAD		29	-3.2 (-4.5, -2.0)*
Miyachi (2013)	RA	Sana	8	10.69 (3.36, 18.03)*
Ashor et al. (2014)	RA	Sana/enferma	14	-0.04 (-0.42, 0.34)
Ashor et al. (2015)	DMF	Sana/enferma	12	2.52 (1.11, 3.93)*
Black et al. (2016)	DA	Sana activa	1	2.74 (1.99, 3.48)*
Early et al. (2017)	DMF	Sana/enferma	17	5.8 (10.3, 1.29)*

Nota: IC_{95%}= Intervalo de confianza al 95%; PAS= Presión Arterial Sistólica; PAD= Presión Arterial Diastólica; RA= Resistencia Arterial; DMF= Dilatación Mediada por Flujo; DA= Diámetro Arterial; TE= Tamaño de efecto. * $p \leq 0.05$

En la tabla 5 se presenta una síntesis de estudios experimentales acerca de la influencia del ECR sobre la función endotelial, enfocándose principalmente la descripción de la metodología utilizada; es decir, cantidad de grupos, ejercicios, frecuencia de entrenamiento e intensidad relativa.

Tabla 5. Resumen de investigaciones acerca del efecto del ejercicio contra resistencia sobre la salud arterial.

Autores	N	Edad años	H %	Condición	Ejercicios	Intensidad	Frecuencia	Resultado
Rakobowchuk et al. (2005)	GE:28	23	100	Físicamente activos	Día 1: Press pecho horizontal y vertical, press militar, extensión codo polea, aperturas, abdominal y lumbar. Día 2: Jalón polea abierto, remo cerrado y abierto, flexión codo, abducción horizontal de hombro, abdominal y lumbar. Día 3: press pierna, flexión y extensión de rodilla flexión plantar con barra, abdominal y lumbar.	Primeras 2 semanas 2 series, 10-12 repeticiones Semana 6: 3 Series, 6-8 repeticiones Semana 12: 3 series, 4-6 repeticiones (90% 1 RM) El descanso fue de 120s	12 semanas 5 veces por semana	Incremento significativo del diámetro arterial y flujo sanguíneo.
Casey, Beck, y Braith (2007)	GE:24 GC:18	21	45	Sedentarios sanos	Press pecho, extensión y flexión de rodilla, press de pierna, jalón mancuerna abierto, press militar y flexión de codo	2 series 8-12 repeticiones 90s descanso 5% de incremento de peso	12 semanas 3 veces por semana	No hubo cambios en la dilatación mediada por flujo.
Collier et al. (2008)	GE1:1 5 GE2:1 5	48	67	Moderadamente activos	GE1: Press pecho press de pierna, extensión de rodilla, jalón de polea, flexión de rodilla, press de hombro, flexión y extensión de codo y abdominales GE2: correr	GE1: 65% 10RM 3 series 10 repeticiones GE2: 65% VO2 pico	4 semanas 3 veces por semana	ECR similar al EA en personas pre hipertensas o en etapa 1.

Continúa...

Tabla 5 (continuación). Resumen de investigaciones acerca del efecto del ejercicio contra resistencia sobre la salud arterial.

Autores	N	Edad años	H %	Condición	Ejercicios	Intensidad	Frecuencia	Resultado
Okamoto, Masuhara, y Ikuta (2008)	GE:10 GC:9	19	100	Sedentarios sanos	Press pecho, flexión de codo, jalón polea abierto, remo, press militar, extensión y flexión de pierna, press pierna y abdominales	40% 1RM 5 series 10 repeticiones	8 semanas 2 veces por semana	Entrenamiento lento a baja intensidad mejora la función vascular. Incremento significativo de diámetro y dilatación mediada por flujo.
Okamoto, Masuhara, y Ikuta (2009)	GE1:10 GE2:10 GC:10	19	100	Sedentarios sanos	Press pecho, flexión de codo, remo, flexión de pierna, press de pierna y abdominales	80% 1RM 5 series 8-10 repeticiones 180s descanso	10 semanas 2 veces por semana	No hubo diferencias significativas en DMF.
Stensvold et al. (2010)	GE1:11 GE2:11 GC:11	50	60	Síndrome metabólico	GE1: correr 4 intervalos GE2: programa 1: Remo, press pecho y sentadilla con barra. Programa 2: elevación lateral de hombro, extensión codo en polea, flexión de codo, remo y plancha.	GE1: Intervalos de 4 min de duración a 90-95% FC pico, 3 min de recuperación a 70% FC pico GE2: primer semana 2 series (15-20 repeticiones) 60% 1RM. A partir de segunda semana: 3 series (8-12 repeticiones) 80% 1RM.	12 semanas 3 veces por semana	El EA en intervalos y ECR aumentaron significativamente la DMF después de 12 semanas de ejercicio, no hubo diferencias entre los grupos de intervención, sin embargo el grupo ECR aumentó más la DMF.

Continúa...

Tabla 5 (continuación). Resumen de investigaciones acerca del efecto del ejercicio contra resistencia sobre la salud arterial.

Autores	N	Edad años	H %	Condición	Ejercicios	Intensidad	Frecuencia	Resultado
Okamoto, Masuhara, y Ikuta (2011)	GE:13 GC:13	18	73	Sedentarios sanos	Press pecho, flexión de codo, remo, jalón de polea abierto, press de pierna, abdominales, extensión y flexión de pierna.	50% 1RM 5 series 10 repeticiones 30s descanso	10 semanas 2 veces por semana	El ejercicio de baja intensidad y periodos cortos de descanso aumentó la DMF, flujo sanguíneo y diámetro arterial del GE.
Beck, Casey, Martin, Emerson, y Braith (2013)	GE1:15 GE2:13 GCph:15 GCnm:15	21	67	Sedentarios sanos, normotensos, pre-hipertensos.	GE1: 7 ejercicios de grupos musculares grandes en máquinas contra resistencia. GE2: 65-85% FC máxima en banda sin fin	GE1: 2 series 8-12 repeticiones GE2: 65-85% FCmáx	8 semanas 3 veces por semana	El ECR y AE en jóvenes pre-hipertensos mejoró la función endotelial en ambos grupos
Okamoto, Masuhara, y Ikuta (2013)	GE1:10 GE2:10 GC:10	19	50	Sedentarios sanos	Press pecho, flexión de codo, remo, press pierna y flexión de rodilla	GE1: 2 series (50% 1RM), luego 3 series (80% 1RM), descanso: entre 30s y 120s. GE2: 3 series (80% 1RM), luego 2 series (50% 1RM), descanso: entre 30s-120s	10 semanas 2 veces por semana	El entrenamiento de alta intensidad seguido de baja intensidad no incrementó la rigidez arterial central.
Spence, Carter, Naylor, y Green (2013)	GE1:13 GE2:10	27	100	Sanos	GE1: ejercicios de levantamiento olímpico GE2: correr	GE1: 2-3 series de 12-15 repeticiones de un 65 al 85% con 60-120s de descanso, aumentó progresivamente GE2: aumentó intensidad en cada meso ciclo	24 semanas 3 veces por semana	El ECR incrementó el diámetro arterial y la función de la arteria braquial.

Nota: n= cantidad de participantes; GC= grupo control; GCnm= grupo control normotenso; GCph= grupo control pre-hipertenso GE= grupo experimental; H%= porcentaje de hombres en el estudio; FC= frecuencia cardiaca.

3. *Entrenamiento concurrente*

La evidencia publicada indica que el entrenamiento concurrente, o también conocido como combinado (aeróbico + ECR), no posee un efecto significativo sobre la rigidez arterial. Esta conclusión se deriva de un meta análisis que evaluó diferentes modalidades de ejercicio sobre la rigidez arterial y en el que se calcularon 12 TE, para un valor global de -0.35 (IC_{95%} = -0.82 a 0.12) (Ashor et al., 2014). Sin embargo, el mismo grupo de investigación realizó otro meta análisis al año siguiente para observar el efecto del ejercicio concurrente sobre la DMF, en donde calcularon 11 TE (449 participantes), y los resultados mostraron una mejora significativa y alta en la función endotelial (TE = 2.07, IC_{95%} = 0.70 a 3.44, p = 0.003) (Ashor et al., 2015).

En la tabla 6 se realiza una síntesis de estudios experimentales sobre el efecto del ejercicio concurrente en la función endotelial, enfocándose principalmente en la descripción de la metodología utilizada.

Tabla 6. Resumen de investigaciones del efecto del ejercicio concurrente en la salud arterial.

Autor	N	Edad años	H%	Condición	Ejercicios	Intensidad	Frecuencia	Resultado
Clarkson et al. (1999)	GE:25	20	100	Físicamente activos	Correr 3 millas Ejercicios miembro superior	No se reporta	10 semanas sesión diaria	DMF aumentó significativamente, el diámetro permaneció igual.
Okamoto, Masuhara, y Ikuta (2007)	GE1:11 GE2:11 GE3:11	18	33	Sedentarios sanos	Correr Press pecho, flexión de codo, remo, press militar, flexión de rodilla, press pierna y abdominal	60% FCmáx durante 20 minutos. 5 series 8-10 repeticiones (80% 1RM) descanso 120s	8 semanas 2 veces por semana	El grupo que realizó el EA después de hacer ECR mejoró la función cardiovascular.
Stensvold et al. (2010)	GE:10 GC:11	50	60	Síndrome metabólico	2 días intervalo y un día el programa de fuerza	Intervalos de 4 min a 90-95% FC pico, 3 min de recuperación a 70% FC pico. Primer semana 2 series (15-20 repeticiones) 60% 1RM. Segunda semana: 3 series (8-12 repeticiones) 80% 1RM.	12 semanas 3 veces por semana	Aumento de DMF de forma significativa. GC no mejoró

Nota: n= cantidad de participantes; GC= grupo control, GE= grupo experimental; H%= porcentaje de hombres en el estudio; FC= frecuencia cardiaca.

f. Entrenamiento contra resistencia

Los programas de ejercicio que contemplan la inclusión de ECR se han popularizado debido a los múltiples beneficios reportados en la literatura (American College of Sports Medicine, 2009). Se ha indicado que un programa de ECR debe poseer los siguientes componentes:

- a. Repeticiones: una repetición es un movimiento completo de un ejercicio, normalmente constituido por una fase concéntrica y una fase excéntrica (Fleck & Kraemer, 1997).
- b. Series: es el grupo de repeticiones ejecutadas continuamente sin descansar (Fleck & Kraemer, 1997).
- c. Descansos: periodo de recuperación después de terminar la serie de ejercicio (American College of Sports Medicine, 2009).
- d. Repetición máxima (RM): la denominación de 1-RM es la mayor resistencia con la que una persona puede realizar una repetición de un ejercicio. El término RM se encuentra estrechamente ligado a la intensidad (Fleck & Kraemer, 1997).
- e. Intensidad: resistencia durante la ejecución de una o más repeticiones de ejercicio (American College of Sports Medicine, 2009).
- f. Frecuencia: cantidad de entrenamientos por semana (American College of Sports Medicine, 2009).
- g. Volumen: cantidad total de ejercicio realizado en la sesión de entrenamiento, es decir, la suma del trabajo ejecutado (Bompa & Haff, 2009).

La intensidad de un entrenamiento se puede categorizar de forma relativa en 5 categorías: a) intensidad muy leve (peso < 30% de 1-RM), b) leve (peso entre el 30% y 49% de 1-RM), c) moderada (peso entre 50% y 69% 1-RM), d) vigorosa (peso entre el 70% y 84% de 1-RM) y e) una intensidad cercana al máximo (peso > 85% de 1-RM) (Garber et al., 2011). Para la propuesta metodológica que se describirá más adelante, se consideró que una intensidad es baja a un 50% de 1-RM y una intensidad es alta a un 80% de 1-RM.

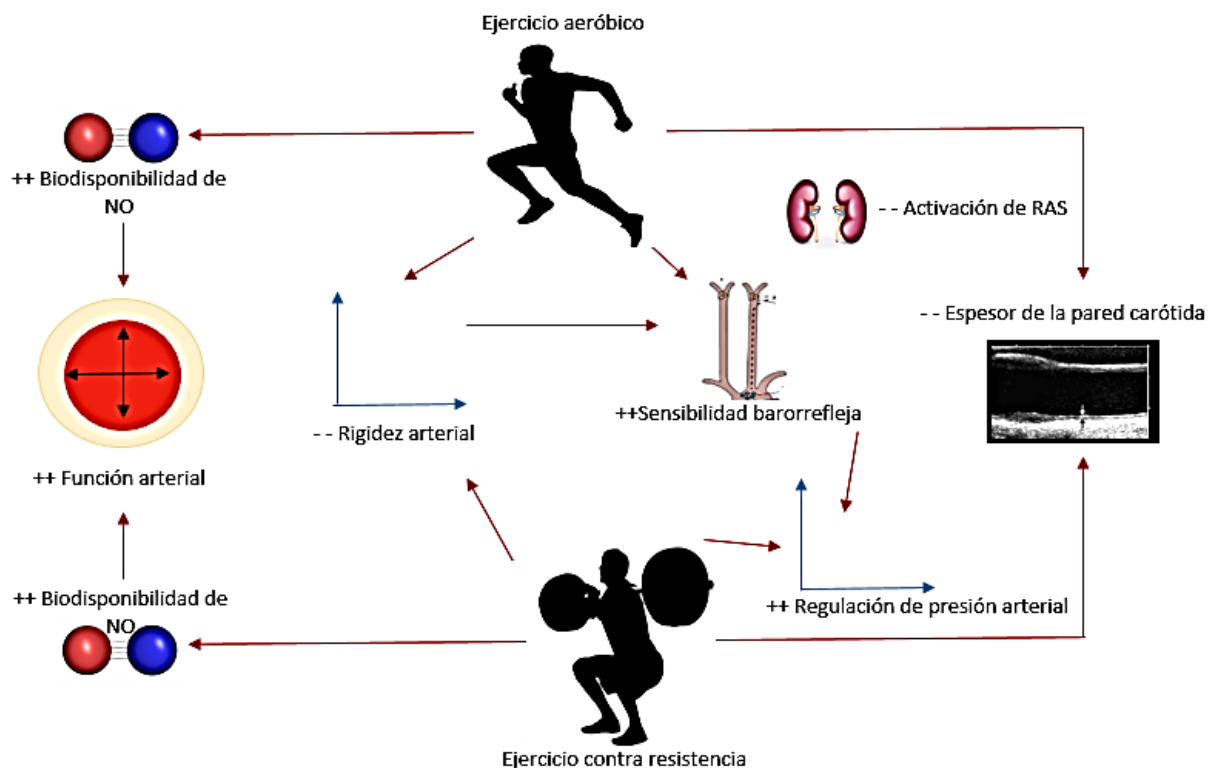
Anteriormente, se calculaba el volumen del ECR sumando la cantidad de repeticiones realizadas en la sesión de entrenamiento o agregándole a dicho valor el peso movido (Fleck & Kraemer, 1997); sin embargo, recientemente se llegó a un consenso para calcular el volumen total de entrenamiento con unidades arbitrarias (UA) (American College of Sports Medicine, 2018). Para ello, se multiplica la cantidad de series, cantidad de repeticiones e intensidad. Así, por ejemplo, si una persona realiza 3 series de 10 repeticiones del ejercicio de flexión de codo a una intensidad de 60% 1-RM, el volumen de entrenamiento ($3 \times 10 \times 60$) sería de 1800 UA. De tal manera, dos personas podrían realizar la misma cantidad de trabajo, pero a través de una diferente combinación de series, repeticiones e intensidad del ECR, lo que proporciona una herramienta flexible a profesionales de las Ciencias del Movimiento Humano responsables de la prescripción del ejercicio.

II. Capítulo II: Justificación

El ejercicio crónico, ya sea EA, ECR y concurrente son efectivos para reducir los factores de riesgo cardiovasculares, y a pesar de algunos estudios contradictorios, en general, se ha observado que la función endotelial ha respondido positivamente a estas modalidades de entrenamiento (Pedralli et al., 2016). Se ha observado que el ECR de alta intensidad aumenta la rigidez arterial en adultos jóvenes ($TE = 14.29$, $IC_{95\%} = 8.53$ a 20.05), y no así en adultos mayores de 40 años ($TE = -0.60$, $IC_{95\%} = -10.76$ a 9.56) (Miyachi, 2013).

Evidencia reciente confirma que el EA y el ECR son efectivos para reducir la rigidez arterial y mejorar la estructura y función vascular dependiendo de la edad y condición general de salud que presente la persona (Sabbahi, Arena, Elokda, & Phillips, 2016). Sin embargo, todavía no existe un cuerpo sólido de estudios que confirmen ese hallazgo. Se sabe que el ejercicio permite mejorar la función endotelial, atenuar la progresión plaquetaria, ayudar en la remodelación plaquetaria, reducir la demanda de oxígeno miocárdico y disminuir la de trombosis y los mediadores inflamatorios (Bowles & Laughlin, 2011) (ver figura 5).

Figura 5. Esquema de los efectos crónicos del ejercicio aeróbico y contra resistencia en la función endotelial.



Fuente: Figura modificada y traducida al español del estudio de Pedralli et al. (2016).

El tema es relevante, e incluso, algunos investigadores ya han publicado protocolos de estudios que van a realizar. Por ejemplo, Pedralli et al. (2016), propusieron el protocolo de un estudio aleatorizado y controlado (i.e., Randomized Controlled Trial, RCT) para evaluar la respuesta de la función endotelial ante modalidades de EA, ECR y concurrente, durante 12 semanas, realizado 3 veces por semana, y respetando el principio de entrenamiento de progresión en intensidad, duración y frecuencia. Los investigadores propusieron que cada grupo de entrenamiento tendría también un grupo control. El EA será realizado en cicloergómetro en las primeras 4 semanas (fase 1), con una duración de 40 min y una intensidad de 50%-60% de la frecuencia cardíaca de reserva (FCR).

Posteriormente, durante 4 semanas (fase 2) aumentará a 55%-70% FCR, y las últimas 4 semanas (fase 3) la intensidad será de 60% -75% FCR. El protocolo de ejercicio contra resistencia incluirá seis ejercicios (i.e., press de pierna, press de pecho, extensión de rodilla, flexión de codo, sentadilla y remo). La fase 1, consistirá en 4 series de 10 a 12 repeticiones con un descanso de 60 s y la intensidad será de 60% de 1-RM. La fase 2, tendrá un aumento en intensidad de 70% 1-RM y una disminución en el número de repeticiones (8 a 10). En la fase 3, la intensidad del ejercicio será de 80% 1-RM, de 6 a 8 repeticiones y el tiempo de descanso será de 90 s. El entrenamiento concurrente será una combinación de las dos rutinas anteriores, y para equilibrar el volumen el ejercicio contra resistencia se desarrollará únicamente en 2 series, mientras que el ejercicio aeróbico en 20 min. Las intensidades, repeticiones y descanso permanecerán equivalentes a la fase 1, 2 y 3. Como se puede apreciar, es un protocolo bastante completo y se esperarán los resultados para comprender las asociaciones de causa-efecto. Después de una ardua búsqueda en bases de datos, al mes de octubre de 2019, los resultados de ese protocolo no han sido publicados en alguna revista científica. Se envió un correo electrónico al autor principal del protocolo y aún se está a la espera de su respuesta.

Aunque el diseño del estudio es muy elegante, también puede ser criticado ya que existe abundante evidencia meta analítica que indica que el EA proporciona beneficios al endotelio; por consiguiente, no parece ser necesario tener un grupo de personas que realice esa modalidad de ejercicio. Por otro lado, la investigación en población con enfermedades cardíacas se ha inclinado por el EA debido a la extensa cantidad de estudios desarrollados y la confirmada evidencia de su efecto, no así el entrenamiento concurrente o el ECR (Vuckovic, Piano, & Phillips, 2013). Un estudio prospectivo realizado en hombres jóvenes sanos indica que el ECR aumenta el diámetro basal del endotelio, mejora su función y el

espesor de la pared, por lo que se menciona que se puede esperar una disminución del riesgo cardiovascular (Spence et al., 2013). De allí la importancia de aportar más información por medio de la realización de estudios de ECR.

Se sabe que algunos de los factores que influyen sobre la función endotelial son la edad, el sexo, la condición física y el fumado. La edad se encuentra asociada a una disminución de la capacidad de regeneración endotelial y a daños estructurales de sus paredes (Brandes, Fleming, & Busse, 2005). Los hombres se ven más afectados por las enfermedades cardiovasculares, y uno de los posibles mecanismos que influyen es la disfunción endotelial (Green, Jones, Thijssen, Cable, & Atkinson, 2011). Algunas de las razones por las cuales los hombres poseen mayor incidencia de enfermedades cardiovasculares podría ser principalmente debido a los niveles hormonales y respuestas inflamatorias (Gururani, Jose, & George, 2016; Miller, De Silva, Jackman, & Sobey, 2007; Rathod et al., 2017).

La condición física y el hábito de fumado además de deteriorar la función y estructura vascular (Celermajer et al., 1993; Thijssen et al., 2010), son considerados el tercer y cuarto factor de riesgo para desarrollar enfermedad cardiovascular a nivel mundial (Lim et al., 2012). La importancia de realizar algún tipo de actividad física durante periodos extensos de jornadas laborales se ha estudiado; y se ha encontrado que el estrés del flujo sanguíneo disminuye significativamente al estar sentado durante 3 h; sin embargo, si durante ese tiempo la persona interrumpe esa posición para moverse, se previene la disminución del flujo sanguíneo (Thosar, Bielko, Mather, Johnston, & Wallace, 2015).

El área laboral, educativa o social muchas veces nos obliga a optar por una posición estática cómoda, estar sentado en el trabajo, centro educativo, medio de

transporte, frente al televisor, almorzando o viendo alguna película son algunos de los ejemplos de hábitos sedentarios. Se ha encontrado que este tipo de estilo de vida o de conducta sedentaria se encuentra asociada a la aparición de diferentes enfermedades cardiovasculares (Young et al., 2016). Es así como cualquier actividad caracterizada por tener un gasto energético ≤ 1.5 METs (equivalente metabólico) es considerada sedentaria; como por ejemplo, estar sentado o acostado (Tremblay et al., 2017). Un MET es considerado como una unidad de medida del índice metabólico, y corresponde a $3.5 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, es decir, la energía mínima para que el cuerpo mantenga las funciones vitales (Ainsworth et al., 2000).

La población estudiantil universitaria tiene muchos periodos de sedentarismo (e.g., estudiando, recibiendo clases, en algún medio de transporte). Arias-Palencia et al. (2015), usaron acelerómetros para cuantificar la actividad física durante 7 días en 296 estudiantes en Cuenca, España. Únicamente el 30% de la muestra realizaba 30 min de ejercicio por día, por lo cual los autores concluyen que los estudiantes españoles tienen un alto índice de sedentarismo debido al estilo de vida en el cual están inmersos. Algunos de las desventajas de ser sedentario es que existe un menor nivel de tolerancia a una lesión de reperfusión isquémica, y los factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares aumentan (Maessen et al., 2017; Magnussen, Smith, & Juonala, 2013).

En comparación con España, Costa Rica presenta resultados similares. De acuerdo con una encuesta realizada por la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica (UCR), el 65% de la población costarricense reportan tener una vida sedentaria (Castillo Brais, Rojas Rodriguez, & Coto García, 2016). Pero además del sedentarismo, en una investigación realizada con estudiantes de la UCR sobre la relación de factores de riesgo cardiovascular y la presión arterial en reposo, evidenció que los hombres ($n = 138$) poseen

una presión arterial promedio de 130/82 mmHg (Carpio-Rivera, Solera-Herrera, Salicetti, Hernández, & Moncada-Jiménez, 2016). Al analizar estos valores con la tabla de clasificación de presión arterial en adultos más reciente (Whelton et al., 2018), se cataloga a esta población como con hipertensión en etapa 1 debido a que la PAS se encuentra entre 130-139 mmHg y la PAD entre 80-89 mmHg.

Se sabe ampliamente que realizar ejercicio físico aporta muchos beneficios a la salud del individuo. Esto se confirma aún más con un estudio meta-epidemiológico, el cual incluyó 305 estudios aleatorizados controlados con 339 274 participantes, en donde se encontró que el ejercicio y los fármacos tienen una efectividad similar en la prevención secundaria de diabetes, ataques al corazón, rehabilitación cardíaca y enfermedad coronaria. Incluso, dependiendo de las características del paciente, el ejercicio puede tener mayores beneficios que los fármacos (Naci & Ioannidis, 2015).

Varias asociaciones internacionales como la Asociación Americana del Corazón y el Colegio Americano de Medicina Deportiva han recomendado el ECR como una forma para prevenir enfermedades como la osteoporosis, sarcopenia y factores asociados al síndrome metabólico; sin embargo, existe limitada información científica sobre los efectos de esta modalidad de ejercicio sobre la función arterial (Casey et al., 2007). Se sabe que el ECR incrementa la masa y la fuerza muscular, y proporciona otros beneficios a nivel fisiológico, como combatir el síndrome metabólico, disminuir la circunferencia abdominal, reducir concentraciones de triglicéridos, bajar la presión arterial, aumentar los niveles de colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad) y reducir la glucosa en ayunas (Stensvold et al., 2010).

El efecto de la DMF producida por el ejercicio de cualquier modalidad, depende de la duración e intensidad del entrenamiento físico (Early et al., 2017). La oportunidad

de continuar con la línea de investigación de ECR y la salud cardiovascular es necesaria para esclarecer las dudas que surgen debido a resultados inconsistentes; sin embargo, existe la suficiente evidencia científica para apoyar al ECR como un método de entrenamiento eficaz para aumentar la salud cardiovascular (Westcott, 2012).

Luego de haber realizado una extensa revisión de literatura, se concluye que existen ciertas debilidades metodológicas en los estudios que han utilizado el ECR para evaluar el efecto de este tipo de entrenamiento sobre la función endotelial, como por ejemplo, omisión de un grupo control en algunos estudios (Collier et al., 2008; Rakobowchuk et al., 2005; Spence et al., 2013), otros por el contrario si presentan grupo control y solo una condición experimental (Casey et al., 2007; Okamoto et al., 2008, 2011). Al finalizar la búsqueda de artículos, no se encontró alguno que se enfocara en evaluar intensidades de ECR con el mismo volumen de entrenamiento, contando además con una condición control y aleatorización para cada grupo, por lo que esta propuesta es novedosa y aportaría al cuerpo de conocimientos existentes.

En el meta análisis de Ashor et al. (2015), se pudo hacer el análisis de variables moderadoras de la modalidad de entrenamiento de EA, para las variables de frecuencia, duración, intensidad relativa (i.e., VO_{2pico}) e intensidad absoluta (i.e., METs); sin embargo, para la modalidad de ECR no se pudieron analizar las variables de series, repeticiones o descanso, las cuales son necesarias para una apropiada prescripción del ejercicio. En este sentido, esta propuesta también es novedosa y aportaría al cuerpo de conocimientos existentes.

Durante el plan de estudios de la Maestría Académica en Ciencias del Movimiento Humano se realizaron dos estudios relacionados con la variable DMF que se desea analizar en este proyecto. El primero, tuvo un diseño experimental de medidas repetidas

con una muestra de 9 hombres sanos físicamente activos y 3 condiciones experimentales, a) control, b) ECR a 55% 1-RM, y c) ECR 80% 1-RM). En ese estudio no se encontró una mejoría en la DMF en ninguna de las condiciones ($p = 0.420$); sin embargo, en ese estudio de efecto agudo no se hizo un balance en el volumen de entrenamiento de los grupos experimentales, lo que pudo haber incidido en los datos (Briceño-Torres, Morales-Scholz, & Moncada-Jiménez, 2018). Luego de esa primera experiencia, se planificó un segundo estudio, el cual fue un meta análisis. Éste se enfocó en el efecto agudo del ECR en el diámetro arterial en personas sanas. Los resultados muestran un $TE = -0.15$, $IC_{95\%} = -0.76, 0.46$, $p = 0.25$), lo que indica que el ECR no posee un efecto significativo en el diámetro arterial. En el meta análisis únicamente se pudieron analizar 9 TE, y pese a esto el intervalo de confianza superior fue positivo (Briceño-Torres & Moncada-Jiménez, 2018). Sin embargo, la solidez de los hallazgos es algo baja ya que son pocos los TE analizados, lo que sugiere que se deben realizar más estudios experimentales.

Luego de haber estudiado el comportamiento agudo de la variable DMF, el siguiente paso es analizar lo que sucedería en ejercicio crónico, además de cuantificar y controlar el volumen de ECR de los grupos experimentales.

III. Capítulo III: Propósito

a. Objetivo general

Comparar si existe una adaptación crónica en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial ante dos intensidades de ECR realizadas durante ocho semanas en hombres jóvenes sedentarios.

b. Objetivos específicos

1. Determinar si los tratamientos cambian el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial luego de ocho semanas.
2. Determinar si existe una adaptación crónica en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial luego de ocho semanas de entrenamiento.
3. Determinar si existe una interacción entre los tratamientos y las mediciones, sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo diámetro de la arteria braquial.

c. Hipótesis estadísticas

1. *Efecto principal de tratamientos*

H₀: No existirán diferencias significativas de acuerdo al tratamiento en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

H_i: Existirán diferencias significativas de acuerdo al tratamiento en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

2. *Efecto principal de mediciones*

H₀: No existirán diferencias significativas en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios antes (pre-test) y después (post-test) de los tratamientos.

H_i: Existirán diferencias significativas en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios antes (pre-test) y después (post-test) de los tratamientos.

3. *Efecto principal de oclusiones*

H₀: No existirán diferencias significativas en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios en la pre oclusión y post oclusión en los grupos de tratamiento.

H_i: Existirán diferencias significativas en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios en la pre oclusión y post oclusión en los grupos de tratamiento.

4. *Interacción tratamientos y mediciones*

H₀: No existirán interacciones significativas entre los tratamientos y mediciones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

H₁: Existirán interacciones significativas entre los tratamientos y mediciones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

5. *Interacción tratamientos y oclusiones*

H₀: No existirán interacciones significativas entre tratamientos y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

H₁: Existirán interacciones significativas entre tratamientos y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

6. *Interacción mediciones y oclusiones*

H₀: No existirán interacciones significativas entre mediciones y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

H₁: Existirán interacciones significativas entre mediciones y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

7. *Interacción de tratamientos, mediciones y oclusiones*

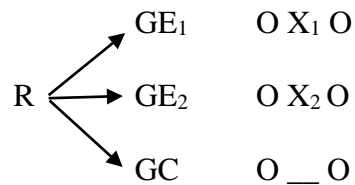
H₀: No existirá una interacción significativa entre los tratamientos, las mediciones y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

H_i: Existirá una interacción significativa entre los tratamientos, las mediciones y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

IV. Capítulo IV: Metodología

a. Diseño del estudio

En este estudio se utilizó un diseño experimental (Campbell & Stanley, 1963). En el siguiente esquema, “R” significa aleatorización de los participantes a los grupos, “GE” es el grupo experimental, “GC” es el grupo control, “O” son las mediciones del diámetro de la arteria braquial con la técnica de la DMF, “X₁” es el tratamiento o entrenamiento al 50% 1-RM, “X₂” es el tratamiento o entrenamiento al 80% 1-RM y “_” es la ausencia de tratamiento:



b. Variables de estudio

Una variable independiente (VI) es la parte del experimento que manipula el investigador; también puede llamársele variable experimental (Thomas, Nelson, & Silverman, 2015). En el presente trabajo se contó con tres variables independientes. Primero, la intensidad del ECR, la cual tuvo tres niveles: a) alta intensidad, 80%-1RM, b) baja intensidad, 50%-1RM, y c) condición control (no realiza entrenamiento). Segundo, las mediciones, la cual tuvo dos niveles: a) pre-test, y b) pos-test. Tercero, las oclusiones, la cual tuvo dos niveles: a) pre-oclusión y b) post-oclusión.

Se considera que la variable dependiente (VD) es el efecto producido por la VI; es decir, lo que se mide (Thomas et al., 2015). La VD de interés principal del estudio fue el diámetro arterial (mm), debido a que con ella se puede calcular el porcentaje de DMF (en el apartado de procedimientos de medición de la técnica de DMF se explica cómo calcular ésta variable). Otras VD secundarias del estudio fueron la estatura (cm), peso corporal

(kg), IMC (kg/m^2), y la composición corporal (i.e., % de grasa corporal, densidad mineral ósea [$\text{DMO} = \text{g}/\text{cm}^2$], así como la fuerza muscular (i.e., tren superior, inferior, y de cada prueba realizada en las máquinas).

c. Participantes

Por medio de una asesoría de la M.Sc. María Isabel González Lutz, de la Unidad de Servicios Estadísticos (USES) de la Escuela de Estadística de la Universidad de Costa Rica, se realizó un estudio de potencia para calcular el tamaño de la muestra. El estudio de potencia utilizó los siguientes parámetros:

- $\alpha = 0.05$
- $\beta = 0.80$
- TE para una diferencia de 2.5% para la variable diámetro de la arteria braquial medida con la técnica de DMF.

Así, se determinó reclutar en total al menos 30 voluntarios masculinos aparentemente sanos, los cuales fueron asignados aleatoriamente a los tres grupos experimentales; es decir, cada grupo estuvo conformado por al menos 10 participantes. El proceso de reclutamiento se pensó que fuera mayor para contemplar la posibilidad de muerte experimental.

Los posibles participantes del estudio, luego de leer y firmar el consentimiento informado (ver anexo 1) completaron un cuestionario de salud y actividad física, el cual permitió conocer el estado físico de la persona. Así, los participantes debieron cumplir los siguientes criterios de inclusión (Thijssen et al., 2011):

- a. No ser fumadores.
- b. No padecer de enfermedades cardiovasculares, músculo-esqueléticas o metabólicas.

- c. No consumir medicamentos.
- d. Ser sedentarios, es decir, tener al menos un año de no realizar ECR y menos de 150 min semanales de actividad física de intensidad moderada, o 75 min semanales de alta intensidad (American College of Sports Medicine, 2018).
- e. Edad entre 18 y 28 años.
- f. Tener un IMC $< 29 \text{ kg/m}^2$

Los criterios de exclusión fueron:

- a. Pertenecer a algún equipo deportivo.
- b. Ser menor de edad.
- c. Estar lesionado de cualquier articulación, pues le hubiera impedido realizar ejercicio.

d. Instrumentos de medición

Antropometría y composición corporal. Para las valoraciones de peso (kg) y estatura (cm) se utilizó una estación de medición por ultrasonido marca Seca, modelo 256 dp (Chino, CA) y siguiendo protocolos estandarizados (American College of Sports Medicine, 2013; American College of Sports Medicine, 2018). La estatura tuvo una precisión de $\pm 1 \text{ mm}$ y el peso de $\pm 50 \text{ g}$. Para medir la composición corporal se usó un equipo de absorciometría de rayos X de doble energía (DXA), marca General Electric, modelo Lunar Prodigy Advance (GE Medical Systems Lunar, Madison, WI), con software enCORE 2011, versión 13,60,033. Uno de los controles de calidad consistió en la calibración del equipo con el bloque de calibración del fabricante, tal y como lo reporta Thurlow, Oldroyd, y Hind (2017).

Salud arterial. Se usó un equipo de ultrasonido marca General Electric, modelo Logiq E (GE Medical Systems, Madison, WI) para observar la salud arterial (i.e., diámetro

de la arteria braquial) además de un grabador DVO-MD 1000 grado médico (Sony Corp., Japón), con el cual se grabaron los videos de las arterias. Para convertir los videos en imágenes utilizables para análisis estadístico, se utilizó el software Vascular Imager-Vascular Research Tool, versión 6.0.3 (Medical Imaging Applications LLC, Iowa, USA), y para analizar las imágenes convertidas se utilizó el software Brachial Analyzer for Research, versión 5.10.9 (Medical Imaging Applications LLC, Iowa, USA).

Fuerza muscular. La intervención y el cálculo de la repetición máxima de cada participante se hizo en las siguientes máquinas contra resistencia: a) press de pecho, b) jalón de polea abierto, c) flexión de codo con polea, d) extensión de codo con polea, e) remo sentado con polea, f) press de pierna, g) flexión de rodilla, y h) extensión de rodilla. Todas las máquinas utilizadas fueron marca Cybex, modelos VR1, Eagle y Multi station (Cybex International, Inc., Massachusetts, USA) (Anexo 2).

Adicionalmente, a los tres grupos de tratamiento se les midió la fuerza de prensión de la mano dominante utilizando un dinamómetro manual JAMAR (Patterson Medical, Nottinghamshire, UK), y la fuerza del miembro inferior dominante con el dinamómetro digital MicroFet 2™ (Hoggan Health Industries, Utah, USA).

e. Procedimientos de medición

Todas las mediciones antropométricas, medición de la salud arterial y función endotelial se realizaron en el Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano (CIMOHU) de la Universidad de Costa Rica y se anotaron en una hoja de recolección de datos individual (Anexo 3). Las mediciones vasculares se realizaron entre 7:00am a 9:00am (Thosar et al., 2015). En la figura 6, se observa la distribución de las sesiones a lo largo de todo el estudio.

Figura 6. Diseño de las sesiones del estudio.

Sesión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Grupo GE1	Blue	Red	Green	Green	Green	Orange	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Orange	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Grey	Red	Blue	
Grupo GE2	Blue	Red	Green	Green	Green	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Blue
Grupo GC	Blue	Red	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	Red	Blue	

Simbología

Blue	Medidas antropométricas y DXA
Red	Medición dilatación mediada por flujo
Green	Familiarización entrenamiento
Orange	Prueba RM
Grey	ECR 80%-1RM
Yellow	ECR 50 %-1RM
White	No hace ningun entrenamiento

Dilatación mediada por flujo. Los pasos para la medición de la DMF han sido estandarizados por Thijssen et al. (2011). Además, recientemente se añadieron otros criterios en la preparación de los participantes para alcanzar una mayor reproducibilidad de los datos recolectados (Greyling et al., 2016a). Así, los participantes se reportaron en el CIMOHU entre las 7:00 y 9:00 a.m. en las siguientes condiciones:

- Ayuno de al menos 6 h.
- Sin haber realizado ejercicio durante al menos 48 h.
- Sin haber consumido bebidas o alimentos con cafeína o alcohol en las últimas 12 h.
- Sin haber consumido bebidas o alimentos ricos en polifenoles (e.g., té, jugos de frutas, cacao) en las últimas 12 h.
- Sin consumir vitaminas al menos 72 h antes de las pruebas físicas.

Todos los criterios les fueron recordados a cada participante tres días antes y la noche anterior a la medición a través de mensajes de texto por teléfono celular. Las mediciones se realizaron en un espacio oscuro, donde solo estuvieron el operador del

equipo y el participante. Éste último se colocó decúbito supino durante 20 min en una camilla, luego se grabó una línea base del diámetro durante 1 min. Posteriormente, se ocluyó el brazalete a una presión de 220 mmHg durante 5 min. Este brazalete se posicionó de manera distal exactamente a 3-5 cm de la fosa antecubital (Green et al., 2011). El transductor del equipo de ultrasonido se colocó de forma proximal a 5-10 cm de la fosa antecubital (Lin et al., 2012).

El ultrasonido estuvo en modo Doppler para medir la velocidad y el diámetro arterial a un ángulo de insonación $\leq 60^\circ$. Las imágenes de la arteria braquial fueron obtenidas con un sistema de ultrasonido de alta resolución 2-D, usando un transductor lineal multifrecuencia a ≥ 7.5 MHz. Cuando faltaban 30 s para liberar la oclusión ejercida por el brazalete, se inició la grabación de nuevo. A los 5 min exactos se liberó rápidamente la presión del brazalete y se mantuvo la recolección de imágenes durante 3 min más.

Así, se obtuvo un video de cada participante en cada momento de medición (semana 0 y semana 8). Una vez finalizada la intervención se procedió al análisis respectivo de los 68 videos. El procesamiento de los videos se realizó en el Baylor Laboratories for Exercise Science & Technology (BLEST) del Department of Health, Human Performance & Recreation de Baylor University en Waco, Texas (USA), luego de un proceso de entrenamiento y supervisión por parte de Jeffrey Forsee, Ph.D., profesor de dicho laboratorio.

Lo primero que se hizo fue convertir los videos a imágenes con el software Vascular Imager for Research. Por cada segundo de grabación, el software brindó 6 imágenes; es decir, para el primer minuto (60 s) de línea base hubo un total de 360 imágenes, mientras que para los 3 min (180 s) post oclusión fueron 1080 imágenes. Posteriormente, se procedió a insertar el archivo de las imágenes en el software Brachial

Analyzer for Research. Una vez cargado el archivo, se ubicó la arteria braquial y en cada imagen el software indicó el diámetro de la arteria en mm; al mismo tiempo, el software mostraba gráficamente los cambios en el diámetro, lo que permitió verificar los datos una vez finalizado el procesamiento. Todo este análisis se hizo dos veces por participante, para un total de 136 ocasiones.

Para el cálculo de la DMF se tomó en consideración el diámetro arterial en reposo (línea base) y el diámetro pico en dilatación de acuerdo a la siguiente ecuación (Okamoto et al., 2008): $\% \text{ DMF} = [(\text{diámetro basal} - \text{diámetro pico}) / \text{diámetro pico}] \times 100$.

Repetición máxima. Los participantes realizaron tres sesiones de familiarización con las máquinas de entrenamiento. Después de cumplir esas sesiones, la cuarta sesión consistió en calcular 1-RM de cada participante para cada uno de los ejercicios propuestos. Se empezó con un calentamiento en una bicicleta estacionaria durante 5 min al 60% de la frecuencia cardiaca máxima ($FC_{\text{máx}}$) estimada mediante la fórmula: $208 - 0.7 \times \text{edad}$ en años (Tanaka, Monahan, & Seals, 2001). Cuando los participantes completaron la mitad de las sesiones totales de ejercicio se hizo un ajuste de cargas, por lo cual se hizo otra medición de 1-RM para cada ejercicio.

Posteriormente, en cada una de las máquinas contra resistencia, los participantes ejecutaron de 8 a 10 repeticiones con una carga liviana del 50% 1-RM predicho. Luego de 60 s de descanso, los participantes realizaron una repetición a un 80% 1-RM estimado en un rango completo de movimiento. En cada ocasión que el ejecutante realizó dos repeticiones se le indicó que se detuviera y descansara 60 s; posterior a ese tiempo, se aumentó el peso y el participante volvió a ejecutar el movimiento. Este procedimiento se repitió hasta alcanzar 1-RM. Entre cada grupo muscular hubo 5 min de descanso, y el orden de ejecución de los ejercicios fue el siguiente: a) extensión de rodilla, b) jalón

abierto, c) flexión de rodilla d) press de banca, e) press de pierna, f) extensión de codo tríceps, g) flexión de codo y h) press militar (Seo et al., 2012).

f. Fuerza prensión de mano y pie.

Estas dos pruebas se realizaron en la sesión número 1 y 25. Para la prueba de prensión de mano al participante se le solicitó sentarse en una silla, y tomar con la mano dominante el dinamómetro manual, se le explicó la técnica, la cual consistió en colocar el codo a 90 grados y a la cuenta de tres, presionar lo más fuerte posible el dinamómetro; esto se hizo en tres ocasiones.

La prueba de prensión de pie se ejecutó en una máquina de extensión de rodilla, la cual se colocó mirando a una pared, esto se hizo con el objetivo de que el participante no pudiera mover el peso. Una vez situado el participante en la máquina se consultó sobre el pie dominante, luego se procedió a ubicar el dinamómetro digital entre su tobillo y el cojín de la máquina, a la cuenta de tres, el participante intentó mover dicho cojín con su tobillo durante 3 s. Luego de ese tiempo se registró la fuerza ejercida. Este procedimiento se ejecutó en tres ocasiones.

g. Intervención de ejercicio

Entrenamiento contra resistencia. La intervención consistió en la ejecución de una rutina de ECR durante 8 semanas, con una frecuencia de 2 veces por semana. Después de 4 semanas de entrenamiento se realizó un ajuste de cargas. Por tal motivo, se realizó de nuevo la prueba de 1RM. Los participantes asignados a los grupos de entrenamiento al 50% 1-RM y al 80% 1-RM tuvieron un volumen de entrenamiento de 1950 y 1920 UA, respectivamente. El volumen se calculó mediante la fórmula: series x repeticiones x intensidad de ejercicio (American College of Sports Medicine, 2018). El grupo de baja intensidad realizó 3 series de 13 repeticiones cada serie; mientras que el grupo de alta

intensidad realizó 3 series de 8 repeticiones cada serie. El descanso fue de 2 min entre cada serie para ambos grupos. Los ejercicios ejecutados fueron: a) extensión de rodilla, b) jalón abierto, c) flexión de rodilla, d) press de banca, e) press de pierna, f) extensión de codo tríceps, g) flexión de codo y h) press militar (Okamoto et al., 2008, 2009, 2011, 2013).

Los participantes del grupo control no realizaron ejercicios, sino que se les instruyó para que siguieran sus rutinas de vida diarias, evitando comenzar algún tipo de programa de ejercicios físicos. Estos participantes solamente fueron medidos en las variables dependientes al inicio del estudio y al final de las ocho semanas.

En la figura 6 se detalla el protocolo completado por cada grupo durante las ocho semanas de intervención, tanto para quienes realizaron ejercicios como para el grupo control. El resumen de la intervención se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Resumen de la intervención con ejercicio contra resistencia.

Grupo	Cantidad de ejercicios	Sesiones por Semana	Intensidad de 1-RM (%)	Descanso (min)	Series	Repeticiones	Volumen (UA)
Alta intensidad	8	2/8	80	2	3	8	1920
Baja intensidad	8	2/8	50	2	3	13	1950
Control	0	0	0	0	0	0	0

h. Consideraciones éticas

Este estudio siguió las normativas nacionales e internacionales para la protección de los sujetos que participan en proyectos de investigación. El protocolo del estudio primero fue aprobado por el Comité Ético Científico de la Universidad de Costa Rica (Anexo 1). Cada participante leyó y firmó el consentimiento informado para participar

como sujeto de investigación. El profesor tutor estaba certificado por el Consejo Nacional de Investigación en Salud (CONIS) como investigador principal de estudios intervencionales (Código N° 310-2016 y N° 2037-2019) y contaba con permiso del Ministerio de Salud para la utilización de equipo emisor de radiaciones ionizantes, lo que le permitió operar el DXA. El estudiante José Miguel Briceño Torres completó el curso de Buenas Prácticas de Investigación Biomédica (Anexo 4) tanto para investigación observacional como para investigación clínica, a su vez hizo la renovación del curso de Buenas Prácticas de Investigación Biomédica (Anexo 5). Durante la realización del proyecto de tesis contó con certificado de estudiante investigador por el CONIS (Código N° 1682-2018) (Anexo 6), además también completó el curso de protección radiológica básica aunque no realizó mediciones con el equipo DXA (Anexo 7).

En este estudio, se consideró como positiva la participación de una persona, luego de evaluar la relación de riesgo/beneficio, por los siguientes motivos:

- a. En personas sedentarias existe suficiente y contundente evidencia que indica que realizar actividad física programada es positivo para la salud. Aun así, los participantes pasaron por momentos de incomodidad, al tener que esforzar sus músculos, los cuales no estaban acostumbrados a utilizar. Eso en algunos casos les produjo dolor, pero no un dolor crónico, sino agudo, por lo que ese malestar desapareció en 48 h, aproximadamente.
- b. La persona obtuvo con el mejor instrumento accesible en el país, una valoración de la cantidad de grasa corporal y la densidad de sus huesos, lo que le proporcionó información valiosa para su salud y su proceso de entrenamiento si hubiese sido el caso.

c. El examen de la cantidad de grasa con la radiografía empleó un poco de radiación; sin embargo, los médicos consideran que el riesgo es muy bajo comparado con los beneficios. Para reducir los riesgos, existe una comisión en la Universidad de Costa Rica, que se encarga de velar porque los equipos que emiten radiaciones estén funcionando debidamente. El profesor tutor calibró el equipo diariamente para verificar que funcionara correctamente y tiene el permiso de funcionamiento del Ministerio de Salud. El procedimiento de medición en cada persona duró aproximadamente 6 min. Se ha estimado que la cantidad de radiación que emiten los equipos DXA es baja ($\sim 0.5 \mu\text{Sv}$) comparada con una radiografía convencional de rayos X ($40 \mu\text{Sv}$), y se ha calculado que la radiación efectiva es similar a la radiación natural del medio ambiente que puede recibir una persona durante un día a nivel del mar (Shepherd, Ng, Sommer, & Heymsfield, 2017). La radiación es tan baja, que no se requiere usar prendas de plomo como las que se usan en los hospitales. Este procedimiento ya había sido aprobado por el Comité Ético Científico de la UCR cuando se hicieron otros estudios.

i. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico IBM-SPSS Statistics, versión 23 (Armonk, NY, USA). Se obtuvo estadística descriptiva ($M \pm DE$), para las variables continuas. La estadística inferencial incluyó una ANOVA de 3 vías mixta (3 grupos x 2 mediciones x 2 oclusiones) para la DMF (%), y ANOVA de 2 vías mixta (3 grupos x 2 mediciones) para el peso, estatura, IMC, DMO, y las variables de fuerza (fuerza miembro inferior y fuerza miembro superior), para el análisis del ajuste de cargas se realizó un ANOVA de 2 vías mixta (2 grupos x 2 mediciones) para cada uno de los ejercicios realizados.

Cuando se encontraron interacciones significativas a $p \leq 0.05$, se realizaron los análisis *post hoc* respectivos. Se determinó el TE del tratamiento sobre las variables dependientes por medio de estadístico g (Hedges, 1981) con el modelo intra grupos (i.e., el cambio dentro de cada grupo), y se interpretó de acuerdo con (Kline, 2004), como ≤ 0.2 bajo o débil, entre 0.3 y 0.7 moderado y ≥ 0.8 alto o fuerte. También se calculó el IC_{95%} para los estadísticos calculados.

V. Capítulo V: Resultados

Para una presentación más ordenada de los resultados, a continuación, se presentan las siguientes secciones: a) características de los participantes, b) composición corporal, c) fuerza muscular, y d) salud arterial.

a. Características de los participantes

Al proceso de reclutamiento asistieron 62 voluntarios; sin embargo, se excluyó a quienes no cumplieron con los criterios de inclusión establecidos *a priori*. Así, se excluyeron voluntarios por no cumplir con la edad requerida, por tener un IMC ≥ 30 kg/m², por tener baja DMO (determinado por la información del DXA), condición de fumador o porque estaban practicando algún deporte o iban a comenzar a realizarlo. De los 62 posibles voluntarios, 37 cumplieron todos los criterios de inclusión; sin embargo, hubo tres muertes experimentales. Un participante no cumplió con todas las sesiones de entrenamiento debido al cambio en el horario de matrícula, otro se retiró a mitad del entrenamiento porque se sentía mal, y, por último, un participante del grupo control no asistió a la medición final debido al cambio en el horario de matrícula (ver figura 7). Cabe mencionar que la recolección de datos inició en el III ciclo lectivo del año 2018 y finalizó durante el I ciclo lectivo del año 2019; por lo que los participantes hicieron un esfuerzo para asistir a las sesiones de entrenamiento y de medición, aun cuando sus horarios de estudio cambiaron durante la investigación. De esta forma, colaboraron un total de 34 hombres universitarios sedentarios sanos. Las características de los participantes se presentan en la tabla 8. En la tabla 9 se muestran las características de los participantes por grupo experimental.

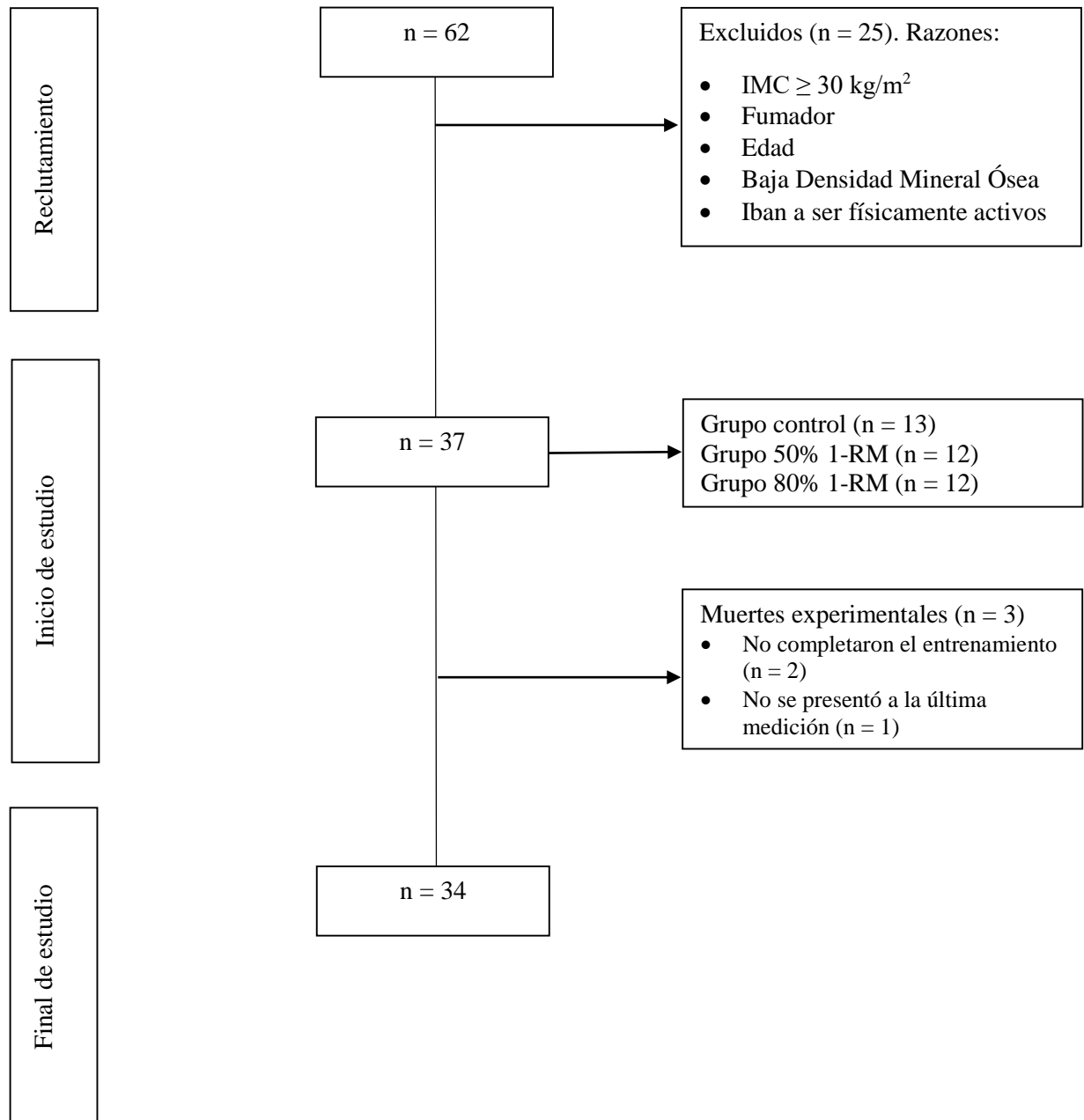
Figura 7. Diagrama de flujo de los participantes del estudio.

Tabla 8. Estadística descriptiva general de los participantes.

Los valores se presentan como la $M \pm DE$ ($n = 34$).

Variable	M \pm DE
Edad (años)	20.61 \pm 1.83
Estatura (cm)	171.34 \pm 5.17
Peso (kg)	65.16 \pm 10.62
Índice de Masa Corporal (kg/m ²)	22.20 \pm 3.50
Masa grasa (%)	22.33 \pm 7.44
Densidad Mineral Ósea (g/cm ²)	1.147 \pm 0.07
Fuerza promedio miembro superior (kg)	37.55 \pm 6.53
Fuerza promedio miembro inferior (kg)	32.98 \pm 8.25

Nota: M: Media; DE: desviación estándar.

Tabla 9. Estadística descriptiva de los participantes por grupo experimental.

Los valores se presentan como la $M \pm DE$.

Variable	Control (n = 12)		50% RM (n = 12)		80% RM (n = 10)	
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test
Edad (años)	20.78 \pm 2.17	21.00 \pm 2.15	20.97 \pm 1.95	21.20 \pm 1.95	19.97 \pm 1.10	20.23 \pm 1.10
Estatura (cm)	171.14 \pm 5.54	171.58 \pm 5.86	170.29 \pm 4.77	170.69 \pm 4.71	172.85 \pm 5.36	173.32 \pm 5.74
Peso (kg)	65.35 \pm 10.35	65.74 \pm 9.82	65.56 \pm 9.49	65.84 \pm 8.90	64.46 \pm 13.09	65.54 \pm 12.88
IMC (kg/m ²)	22.33 \pm 3.44	22.39 \pm 3.44	22.66 \pm 3.50	22.65 \pm 3.31	21.50 \pm 3.83	21.74 \pm 3.74
Masa grasa (%)	21.96 \pm 6.26	21.88 \pm 7.11	23.10 \pm 7.71	23.07 \pm 8.42	21.86 \pm 9.00	21.33 \pm 9.05
DMO (g/cm ²)	1.170 \pm 0.10	1.168 \pm 0.09	1.136 \pm 0.42	1.131 \pm 0.39	1.132 \pm 0.08	1.133 \pm 0.08
FMS (kg)	38.33 \pm 5.72	37.91 \pm 6.47	37.08 \pm 7.08	38.66 \pm 5.08	37.20 \pm 7.33	39.50 \pm 7.51
FMI (kg)	30.83 \pm 10.09	34.15 \pm 3.74	34.64 \pm 6.88	36.72 \pm 8.15	33.57 \pm 7.57	36.62 \pm 5.55

Nota: IMC: Índice de masa corporal; DMO: Densidad mineral ósea; FMS: Fuerza promedio del miembro superior; FMI: Fuerza promedio del miembro inferior.

b. Composición corporal

Las pruebas de ANOVA arrojaron que no existía una interacción significativa de los grupos y las mediciones en el peso ($p = 0.616$), IMC ($p = 0.715$), masa grasa ($p = 0.758$) y DMO ($p = 0.612$). Tampoco hubo diferencias significativas en el peso entre los grupos ($p = 0.987$) ni en las mediciones ($p = 0.104$), en el IMC entre los grupos ($p = 0.785$) ni entre las mediciones ($p = 0.466$). La masa grasa (%) y DMO tampoco mostraron una diferencia significativa entre los grupos ($p = 0.894$ y $p = 0.466$, respectivamente) o entre las mediciones ($p = 0.473$ y $p = 0.365$, respectivamente).

Tabla 10. Resumen estadística inferencial de las variables de composición corporal.

Variable	Grupos ($p \leq$)	Mediciones ($p \leq$)	Grupos x mediciones ($p \leq$)
Peso	0.987	0.104	0.616
IMC	0.785	0.466	0.715
Masa grasa	0.894	0.473	0.758
DMO	0.466	0.365	0.612

Nota: IMC: Índice de masa corporal; DMO: Densidad mineral ósea.

El TE para el grupo control en cuanto a peso, IMC, masa grasa (%) y DMO fue respectivamente de 0.04 ($IC_{95\%} = -1.79$ a 1.86), 0.01 ($IC_{95\%} = -1.81$ a 1.84), -0.01 ($IC_{95\%} = -1.84$ a 1.81), -0.02 ($IC_{95\%} = -1.84$ a 1.80). Por otro lado, manteniendo el mismo orden de variables, el grupo de entrenamiento al 50% 1-RM tuvo tamaños de efecto de 0.03 ($IC_{95\%} = -1.80$ a 1.85), -0.003 ($IC_{95\%} = -1.83$ a 1.82), -0.004 ($IC_{95\%} = -1.83$ a 1.82) y -0.01 ($IC_{95\%} = -1.83$ a 1.81). Finalmente, el grupo de 80% 1-RM presentó tamaños de efecto de 0.08 ($IC_{95\%} = -1.72$ a 1.87), 0.01 ($IC_{95\%} = -1.78$ a 1.80), -0.05 ($IC_{95\%} = -1.85$ a 1.74) y 0.01 ($IC_{95\%} = -1.78$ a 1.80). En ninguna variable hubo un TE significativo.

c. Fuerza muscular

Un total de 22 participantes completaron las intervenciones de ejercicio. Se inició con 3 sesiones de familiarización, con énfasis en técnica y en aumentar el peso progresivamente. Posteriormente, se procedió a realizar la medición de 1RM en cada una de las máquinas de ejercicio, y así se calculó el 50% RM y el 80% RM para cada persona. Como se mencionó anteriormente, luego de 4 semanas de entrenamiento se realizó un ajuste de cargas para garantizar que los participantes estuvieran entrenando con las resistencias propuestas. Por tal motivo, se realizó de nuevo la prueba de 1RM. En la tabla 11 se presentan los valores alcanzados en cada una de las pruebas de 1RM al inicio del estudio y luego de 4 semanas de entrenamiento.

Tabla 11. Estadística descriptiva e inferencial de las pruebas de RM de los grupos que realizaron ejercicio contra resistencia.

Todos los valores son kg y se presentan como la $M \pm DE$.

Ejercicio	50% RM (n=12)			80% RM (n=10)			Medición x grupo
	Semana 0	Semana 4	p ≤	Semana 0	Semana 4	p ≤	p ≤
Press pierna	117.09 ± 38.36	145.90 ± 30.99	0.111	131.31 ± 28.41	158.98 ± 37.45	0.001	0.953
Remo	55.56 ± 8.29	58.01 ± 9.19	0.047	54.19 ± 10.66	61.23 ± 11.90	0.002	0.027
Extensión rodilla	83.15 ± 9.83	96.38 ± 11.94	0.001	83.22 ± 15.30	99.10 ± 21.25	0.002	0.571
Press pecho	49.13 ± 11.81	52.72 ± 13.40	0.068	49.20 ± 12.42	57.82 ± 16.98	0.002	0.072
Jalón polea abierto	52.34 ± 7.76	54.61 ± 9.29	0.026	51.70 ± 10.73	56.69 ± 11.05	0.001	0.049
Flexión rodilla	62.36 ± 10.21	66.33 ± 14.18	0.056	62.59 ± 17.01	73.02 ± 21.21	0.005	0.062
Press militar	34.58 ± 10.10	34.39 ± 9.21	0.891	34.24 ± 8.24	36.96 ± 8.07	0.005	0.089
Flexión codo	40.25 ± 8.38	47.20 ± 8.47	0.001	38.09 ± 7.62	47.36 ± 7.81	0.001	0.108
Total* (kg)	494.48 ± 52.98	555.57 ± 92.25	0.019	504.57 ± 98.56	591.18 ± 120.84	0.001	0.333

*Nota: Se obtuvo un valor absoluto de fuerza corporal sumando los kg obtenidos en cada uno de los ejercicios contra resistencia. En este estudio este valor total representa un indicador general de la fuerza del cuerpo, ya que no existe una medida universal de fuerza corporal total descrita en la literatura.

Como se evidencia en la tabla 11, el grupo de 80% RM tuvo un incremento significativo de la primera a la segunda medición (ajuste de cargas) en todos los ejercicios, incluso el valor total de kg levantados fue estadísticamente diferente de los valores iniciales. Por otro lado, el grupo de 50% RM presentó un aumento significativo de la primera a la segunda medición para el ajuste de carga en el ejercicio de remo, extensión rodilla, jalón de polea abierto y flexión de codo; en los cuatro ejercicios restantes no hubo cambios significativos. Sin embargo, el total de kg levantados fue significativamente mayor en la segunda medición con respecto a la primera.

Se encontró una interacción doble en dos ejercicios de miembro superior, en remo ($p=0.027$) y jalón polea abierto ($p=0.049$). En la semana 0 ambos grupos se comportaron igual ($p=0.740$), lo mismo sucedió en la semana 4 ($p=0.483$), no obstante al hacer el cambio entre mediciones, el grupo de alta intensidad mejoró significativamente de la semana 0 a la semana 4 ($p=0.00$) en comparación al grupo de baja intensidad ($p=0.072$).

En el ejercicio de jalón de polea hubo un cambio significativo de la medición en semana 0 a la semana 4 para el grupo de baja intensidad ($p=0.017$) y alta intensidad ($p=0.00$), sin embargo los grupos en ambos tiempos de medición no tuvieron diferencias entre ellos (semana 0, $p=0.873$; semana 4, $p=0.637$).

El TE del grupo control, 50% 1-RM y 80% 1-RM para la variable FMS respectivamente fue -0.06 ($IC_{95\%} = -1.89$ a 1.76), 0.21 ($IC_{95\%} = -1.62$ a 2.03) y 0.29 ($IC_{95\%} = -1.51$ a 2.08); mientras para la variable FMI el TE de los mismos grupos se comportaron de la siguiente manera 0.30 ($IC_{95\%} = 1.52$ a 2.13), 0.28 ($IC_{95\%} = -1.54$ a 2.11) y 0.37 ($IC_{95\%} = -1.43$ a 2.16). También se procedió a calcular el TE de cada ejercicio que realizaron los dos grupos de entrenamiento, para lo cual se consideraron las mediciones de la semana 0 y las mediciones de la semana 4 (Tabla 12).

Tabla 12. Tamaños de efecto e IC_{95%} de cada uno de los ejercicios realizados por los grupos de entrenamiento en una repetición máxima.

Ejercicio	50% 1-RM	80% 1-RM
Press pierna	0.70 (-1.14 a 2.53)	0.89 (-0.92 a 2.70)
Remo	0.27 (-1.55 a 2.10)	0.60 (-1.20 a 2.41)
Extensión de rodilla	1.25 (-0.61 a 3.11)	0.95 (-0.87 a 2.76)
Press pecho	0.28 (-1.54 a 2.11)	0.63 (-1.17 a 2.44)
Jalón de polea abierto	0.27 (-1.55 a 2.10)	0.43 (-1.37 a 2.22)
Flexión de rodilla	0.36 (-1.46 a 2.19)	0.56 (-1.24 a 2.36)
Press militar	-0.02 (-1.84 a 1.81)	0.30 (-1.49 a 2.10)
Flexión de codo	0.77 (-1.06 a 2.61)	1.11 (-0.71 a 2.94)

En la figura 8 se observa el cambio de fuerza que hubo entre la medición antes del entrenamiento y en el ajuste de las cargas en la semana 4. En la figura 9 se muestra la diferencia significativa entre mediciones ($p = 0.013$), independientemente del grupo experimental.

Figura 8. Fuerza total alcanzada en los dos grupos de entrenamientos luego de 4 semanas de entrenamiento contra resistencia.

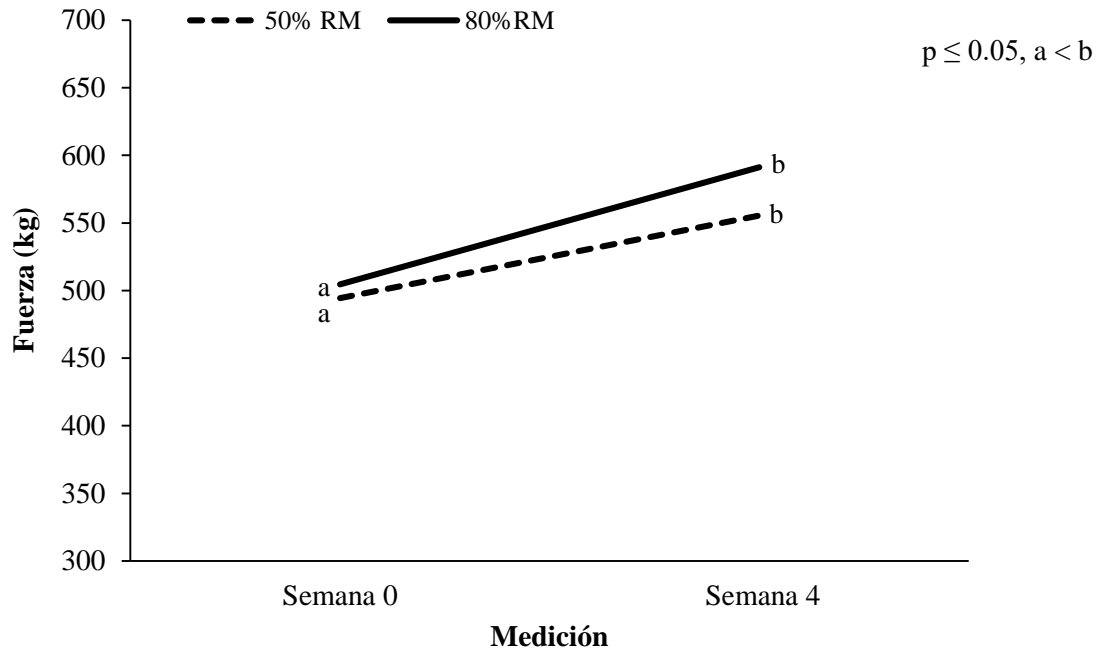
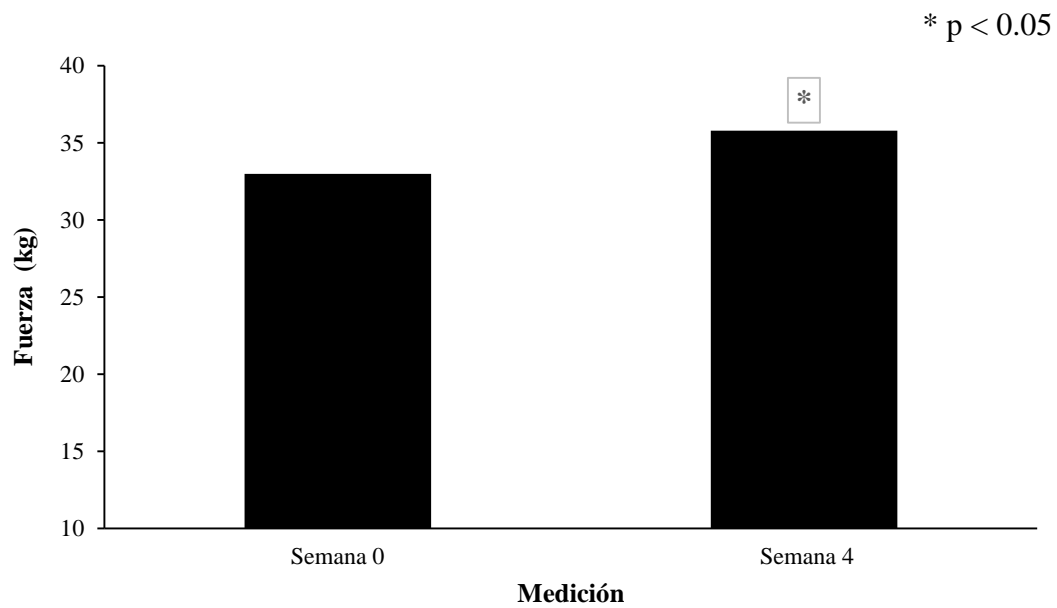


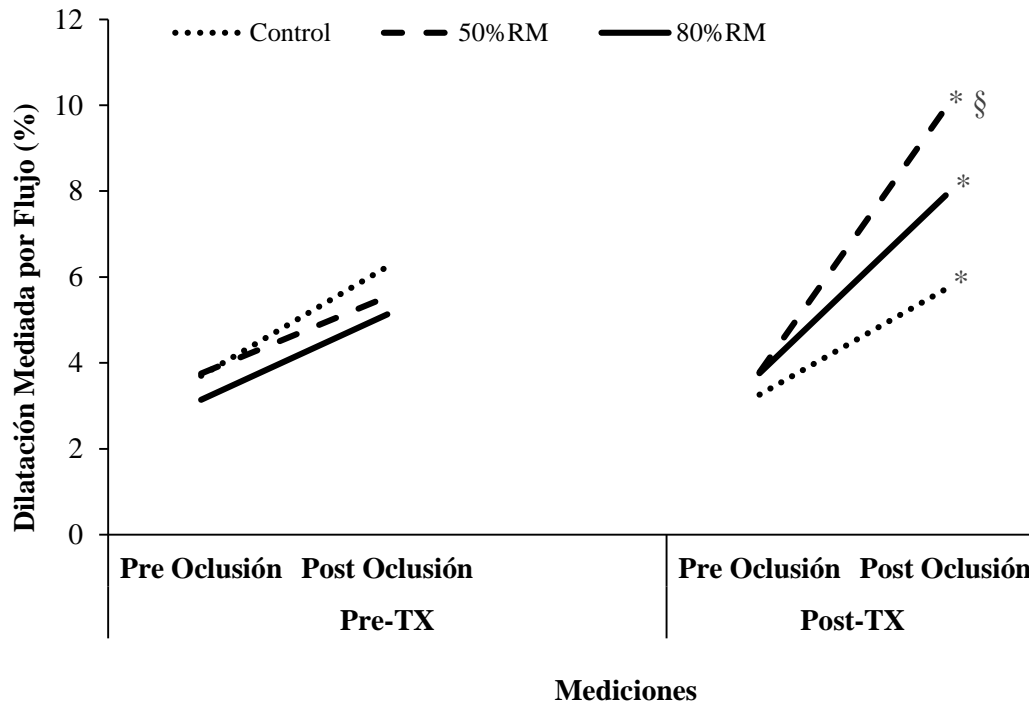
Figura 9. Comparación de la fuerza antes y después de iniciar la intervención, independientemente del grupo experimental.



d. Salud arterial

Todos los participantes del estudio, independientemente del grupo al que fueron aleatorizados, asistieron a las mediciones de DMF, en la semana 0 y semana 8. Durante ese periodo, el grupo control no entrenó, mientras que el grupo 50% 1-RM y 80% 1-RM si entrenaron. Se calculó una ANOVA de 3 vías, y en cuanto a los efectos principales, no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.084$), aunque si hubo diferencia significativa entre las mediciones ($p = 0.005$) y entre las oclusiones ($p = 0.000$). En la interacción doble de tratamientos x mediciones hubo una interacción significativa ($p = 0.013$), así como en la interacción de oclusión x mediciones ($p = 0.002$), pero no se encontró interacción significativa entre oclusión x tratamientos ($p = 0.076$). La interacción triple entre grupos, mediciones y oclusiones fue significativa ($p = 0.021$) (Figura 10), por lo que se procedió al seguimiento respectivo que se detalla a continuación.

Figura 10. Interacción triple de grupos, mediciones, oclusiones sobre la dilatación mediada por flujo. *Diferencia significativa entre pre test y post test $p=0.010$. § $p = 0.010$ entre grupo control y grupo 50% 1-RM.



Al proceder al análisis de seguimiento, primero se hizo un ANOVA de 2 vías de medidas repetidas (3 grupos x 2 mediciones). En la semana 0 no se encontró interacción significativa ($p = 0.260$); sin embargo, en la semana 8 si hubo interacción significativa entre grupos y mediciones ($p < 0.05$). La prueba de ANOVA de 1 vía de medidas repetidas encontró diferencia significativa entre pre-oclusión y post-oclusión en la semana 8 para el grupo control ($p = 0.010$), grupo del 50% 1-RM ($p = 0.010$) y grupo del 80% 1- RM ($p = 0.010$). Al realizar ANOVA de 1 vía para grupos independientes, ninguno de los tres presentó diferencias significativas en la pre-oclusión ($p = 0.290$); pero, en la post-oclusión si se encontraron diferencias significativas entre los grupos ($p = 0.010$). El análisis post

hoc no reportó diferencias significativas entre el grupo 50% 1-RM y 80% 1-RM ($p = 0.224$), ni tampoco entre grupo control y grupo al 80% 1-RM ($p = 0.179$), pero si se encontró un incremento significativo del grupo al 50% 1-RM en comparación al grupo control en la medición post-oclusión ($p = 0.002$) (Tabla 13).

Tabla 13. Estadística descriptiva e inferencial de la variable dilatación mediada por flujo (DMF %) para cada uno de los grupos experimentales. Los valores son $M \pm DE$.

Grupo	Semana 0		Semana 8	
	Pre oclusión	Post oclusión	Pre oclusión	Post oclusión
Control	3.69 ± 0.91	6.24 ± 1.61	3.26 ± 1.37	5.72 ± 1.71^a
50% RM	3.75 ± 1.85	5.54 ± 2.04	3.78 ± 1.55	9.93 ± 3.73^{ab}
80% RM	3.14 ± 1.09	5.12 ± 1.94	3.75 ± 1.69	7.90 ± 2.51^a

Nota: Los datos son presentados como $M \pm DE$. DMF: dilatación mediada por flujo; ^a: $p < 0.05$ entre pre oclusión semana 8 y post oclusión semana 8; ^b: $p < 0.01$ entre 50% RM post oclusión semana 8 y control post oclusión semana 8.

También se procedió al cálculo del TE de la DMF. El TE del grupo control en la semana 0 fue de 2.57 ($IC_{95\%} = 0.61$ a 4.53) y en la semana 8 de 1.67 ($IC_{95\%} = -0.21$ a 3.55). El TE del grupo de baja intensidad en la semana 0 fue 0.90 ($IC_{95\%} = -0.94$ a 2.74) y aumentó en la semana 8 a 3.70 ($IC_{95\%} = 1.59$ a 5.79). El grupo de alta intensidad también aumentó, pasó de tener un TE de 1.65 ($IC_{95\%} = -0.21$ a 3.52) en la semana 0 a 2.18 ($IC_{95\%} = 0.27$ a 4.10) en la semana 8.

VI. Capítulo VI: Discusión

El propósito del estudio fue comparar si dos intensidades de ECR realizadas durante ocho semanas en hombres jóvenes sedentarios producían adaptaciones crónicas en el % de DMF en la arteria braquial. El hallazgo principal de este estudio fue encontrar que luego de 8 semanas, el grupo al 50% 1-RM mejoró el % de DMF de manera significativa, con respecto al grupo control. El grupo al 80% 1-RM también presentó una mejoría con respecto al grupo control; sin embargo, no alcanzó significancia estadística. No hubo diferencias significativas entre el grupo de ECR de baja y alta intensidad en cuanto al % de DMF.

Los cambios ocasionados por el ECR se podrían explicar por medio de mecanismos fisiológicos. Así, el gasto cardíaco aumenta durante el ejercicio, esto quiere decir que el flujo sanguíneo puede aumentar en cuestión de segundos luego de iniciar el ejercicio, y a esto se le conoce como hiperemia activa o funcional (hiperemia significa flujo alto). También existe la hiperemia reactiva o pos-oclusión, esto es un mayor flujo que el normal, que ocurre de manera transitoria después de haber eliminado la restricción que causó un periodo bajo de flujo sanguíneo (Raff y Levitzky, 2013). Los metabolitos están involucrados en la producción de la hiperemia reactiva; algunos de ellos son el NO, factor relajante derivado del endotelio (EDRF), acetilcolina, péptido vasoactivo intestinal, sustancia P, bradiquinina, prostaciclina e histamina; además hay metabolitos que actúan en la vasoconstricción, como la endotelina, tromboxano y la prostaglandina, que puede actuar como vasodilatador o vasoconstrictor. La hiperemia reactiva es un mecanismo compensatorio que disminuye la deuda de oxígeno de los tejidos que experimentan la privación (Grossman & Porth, 2014).

La influencia vasodilatadora que tiene el endotelio está mediada por el NO. Este se sintetiza dentro de las células endoteliales a partir del aminoácido L-arginina, mediante la acción de la enzima NO sintetasa, que produce un incremento de la concentración intracelular de calcio. El NO es una pequeña molécula liposoluble la cual se puede difundir con facilidad hacia las células del músculo liso y causar relajación al estimular la producción de cGMP (Raff y Levitzky, 2013).

El ECR a 50% 1-RM ha mostrado resultados positivos sobre la DMF; por ejemplo, Okamoto et al. (2011), entrenaron a un grupo de participantes durante 10 semanas, 2 veces por semana, y demostraron que ejecutar 5 series de 10 repeticiones al 50% 1 RM y con descanso de 30 s aumentaba significativamente el % de DMF en comparación con un grupo control que no realizó ECR. De manera similar, Stensvold et al. (2010), diseñaron un programa de entrenamiento de 12 semanas, 3 veces por semana, a un 60% 1-RM y encontraron mejorías significativas en la DMF entre la medición inicial y final.

Por su parte, Okamoto et al. (2008), también incluyeron la velocidad de ejecución del ejercicio como variable a considerar dentro de un programa de ECR. Por tal motivo, diseñaron un estudio en el que los participantes debían entrenar al 40% 1-RM, tanto la fase excéntrica como concéntrica del ejercicio, para lo cual tenían un tiempo de 3 s. Luego de 8 semanas de entrenamiento realizado 2 veces por semana, y de ejecutar 5 series de 10 repeticiones, encontraron que los participantes mejoraron significativamente la DMF respecto a la medición inicial; además se mostró un incremento significativo en comparación al grupo control. En el presente estudio no se controló la velocidad de ejecución, aunque se estuvo atento para que los movimientos no fueran bruscos o peligrosos para los participantes.

Otra variable relacionada a los cambios en la salud arterial es la intensidad a la que se realice el ECR, pues existe evidencia que sugiere que el entrenamiento de baja intensidad aumenta la DMF. Por ejemplo, Boeno et al. (2019), realizaron un estudio acerca del efecto agudo del ECR en la DMF. Se comparó una intensidad baja y una intensidad alta, y se encontró que después de 30 min de finalizado el ejercicio aumentaba significativamente la DMF y los niveles de NO en la condición de ejercicio de baja intensidad. Estos hallazgos corroboran los efectos del ECR de baja intensidad realizado durante 8 semanas sobre los niveles de NO (Beck et al., 2013). Esta intensidad de ECR puede inducir el aumento de las fuerzas de cizalla, estimulando así la liberación de Ca^{+} endotelial, lo que provoca un incremento en la síntesis de NO endotelial (eNOS) y la biodisponibilidad de NO (Boeno et al., 2019).

La rigidez arterial es otro factor que afecta la función arterial, cuando los valores de esta variable son altos generalmente una razón es debido al ECR de alta intensidad (Miyachi, 2013; Li et al., 2015); por el contrario, se ha reportado que intensidades de ejercicio bajas disminuyen la rigidez arterial (Li et al., 2015); esta sería una posible respuesta por la cual el grupo de baja intensidad del presente estudio aumentó de manera significativa la DMF en comparación al grupo control, y no así el grupo de alta intensidad.

La salud arterial cambia a medida que la persona envejece. Beyer et al. (2017), proponen que la DMF se asocia a la edad, pues se ha observado que en los adultos jóvenes la DMF está mediada por NO; es decir, el principal vasodilatador liberado en edades entre 18 y 55 años es el NO. También el meta análisis de Green et al. (2014), se indica que el NO es parcialmente un mediador de la DMF.

La carga total de trabajo es otra variable que puede afectar los cambios en la salud arterial. Casey et al. (2007), entrenaron a 24 hombres sedentarios durante 12 semanas, 3

veces por semana. Los participantes realizaron 2 series de 8 a 12 repeticiones en 7 ejercicios distintos. Un aspecto diferente de ese estudio al realizado en la presente investigación, es que la carga de entrenamiento aumentó progresivamente; es decir, si el participante podía realizar entre 8 y 12 repeticiones de manera exitosa, en la siguiente serie se le aumentaba 5% el peso. Los investigadores encontraron que después de 12 semanas de ECR no había diferencias significativas en la DMF ni en la libración de NO entre el grupo de entrenamiento y el grupo control.

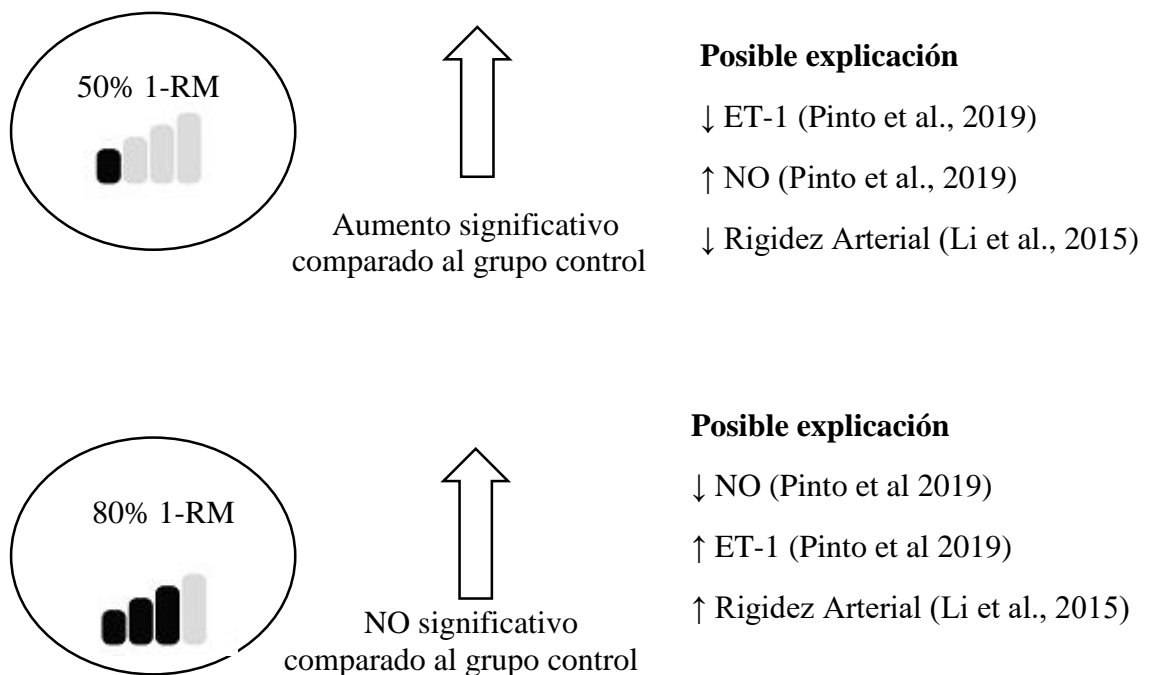
El entrenamiento al 80% 1-RM en el presente estudio no mejoró significativamente la DMF en comparación al grupo control y el grupo de 50% 1-RM. Este hallazgo concuerda con lo reportado por Okamoto et al. (2009), al entrenar por 10 semanas a dos grupos de participantes (unos entrenaban en fase concéntrica y otros en fase excéntrica) al 80% 1-RM con 2 min de descanso entre serie. Al finalizar la intervención no se encontraron diferencias entre los grupos de entrenamiento y el grupo control, y tampoco entre la medición inicial y final de DMF. Del mismo modo, un entrenamiento progresivo hasta llegar a un 90% 1-RM no mejoró el porcentaje de DMF en hombres jóvenes (Rakobowchuk et al., 2005).

En el estudio de Boeno et al. (2019), el grupo que realizó ECR de alta intensidad no mejoró significativamente la DMF ni los niveles de NO, como si sucedió en el grupo que realizó ECR de baja intensidad. Sin embargo, el grupo de ECR de alta intensidad aumentó significativamente los niveles de endotelina-1 (péptido vasoconstrictor) en comparación con el grupo de ECR de baja intensidad. Esos resultados recientes concuerdan con los hallazgos previos de Maeda et al. (2004), quienes luego de realizar 8 semanas de ECR al 80% 1-RM reportaron una reducción en los niveles de endotelina-1 plasmática. Esto pudo deberse a la redirección del flujo sanguíneo durante el ejercicio de

alta intensidad y al mayor reclutamiento de fibras musculares, lo cual incrementa la demanda de flujo sanguíneo hacia los miembros activos, y la elevada secreción de endotelina-1 en los miembros no activos debido a la redirección del flujo sanguíneo a los músculos activos (Boeno et al., 2019; Flores Valdez, 2013). Además, altos niveles de endotelina-1 se asocian a patologías cardiovasculares e hipertensión (Dhaun et al., 2008), por lo que se deben estudiar diferentes estrategias de entrenamiento físico.

A continuación se presenta un resumen de posibles explicaciones que afectaron a los grupos de entrenamiento de baja y alta intensidad (Figura 11):

Figura 11. Resumen de los grupos de entrenamiento contra resistencia.



En este estudio, el grupo control en ambos momentos de medición (semana 0 y semana 8) aumentó la DMF. Se debe recordar que la técnica de medición de la DMF genera un estímulo fisiológico para la dilatación arterial (Widlansky, Gokce, Keaney &

Vita, 2003). En el presente estudio se hizo una medición pre-oclusión y otra post-oclusión, en donde el grupo control, así como el grupo de baja intensidad y alta intensidad aumentaron su DMF después de la oclusión; sin embargo, luego de completadas las 8 semanas de ejercicio los grupos de entrenamiento respondieron mejor al estímulo fisiológico que el grupo control.

No se encontraron cambios significativos en la composición corporal, específicamente en el IMC, el % de masa grasa y la DMO, luego de las 8 semanas de entrenamiento. Este hallazgo es similar al reportado previamente en la literatura. Por ejemplo, en el estudio de Okamoto et al. (2009), los participantes realizaron un programa de ECR durante 10 semanas, con una frecuencia de entrenamiento de 2 veces por semana, a una intensidad del 80% RM. Un grupo realizaba de 8-10 repeticiones en la fase excéntrica rápida, y el otro grupo hacia la fase excéntrica lenta, y descansaban 2 min entre series. Después de las 10 semanas de entrenamiento, ninguno de los grupos de entrenamiento, ni el grupo control, cambiaron significativamente el IMC o el % de masa grasa.

En el presente estudio se realizaron 16 sesiones de ejercicios, un estímulo que no afectó la DMO. Los osteoblastos son las células encargadas de la formación ósea. Debido al mecanismo celular de mecanotransducción, se percibe el movimiento de fluidos dentro de la matriz extracelular del hueso, por lo que se ejerce fuerza sobre los osteocitos y las células de revestimiento óseo. Esto desencadena la liberación de NO y prostaglandinas, lo que facilita la división de células osteoprogenitoras (McMillan, Zengin, Ebeling, & Scott, 2017). El ECR representa una estrategia para prevenir y tratar la osteoporosis (Beck, Daly, Singh, & Taaffe, 2017; Hong & Kim, 2018), y a pesar de que esta modalidad de ejercicio es recomendada, no se obtuvo un cambio en la DMO. Petersen, Hastings, y Gottschall

(2017), aplicaron un programa de ECR a hombres y mujeres (28-63 años), quienes entrenaron a baja intensidad con muchas repeticiones durante 27 semanas, periodo al final del cual se encontró un aumento en la DMO.

Okamoto et al. (2011), realizaron un estudio de ECR de baja intensidad (50% 1RM), con descansos de 30 s entre series. Luego de entrenar durante 10 semanas 2 veces por semana, los participantes del grupo experimental y control no cambiaron significativamente el IMC ni el % de masa grasa. Posteriormente, los investigadores propusieron dos métodos de entrenamiento; un grupo empezó con 2 series al 50% 1RM y luego 3 series al 80% 1RM, mientras que el otro grupo empezaba con 3 series al 80% 1RM y terminaba realizando 2 series al 50% 1RM (Okamoto et al., 2013). Este régimen de entrenamiento se realizó durante 10 semanas, 2 veces por semana, y con un descanso de 30 s a 120 s. Los investigadores no encontraron diferencias significativas entre los grupos de entrenamiento y control en el IMC y % de masa grasa. Anteriormente, Collier et al. (2008), entrenaron a un grupo al 65% de 10 RM, 3 series de 10 repeticiones en un total de 7 ejercicios. Este protocolo se realizó 3 veces por semana durante 4 semanas, y tampoco se encontraron diferencias significativas en el IMC y el % de masa grasa. Aparentemente, esas combinaciones de intensidad, duración semanal total, cantidad de series, repeticiones y descansos no proporcionaron un estímulo suficiente para provocar cambios positivos estadísticamente significativos en la adiposidad de los participantes.

Sin embargo, existen estudios en los que se han encontrado reducciones significativas en la adiposidad de los participantes después de haber finalizado un programa de ECR. No obstante, la cantidad de semanas de entrenamiento sobrepasan la de los estudios anteriores. Por ejemplo, Spence et al. (2013), luego de 24 semanas de ECR a hombres sanos, encontraron reducciones significativas en el % de masa grasa del grupo

que entrenó 3 veces por semana. Al realizarse 6 meses de entrenamiento, se planificaron 4 mesociclos, por lo cual las cargas de entrenamiento y el volumen total de entrenamiento variaron. Casey et al. (2007), luego de entrenar a una población mixta sedentaria/recreativa, reportaron reducciones significativas en el % de masa grasa después de completar un programa de ECR de 12 semanas, 3 veces por semana. Los investigadores también modificaron la manera de entrenar; ya que utilizaron un método progresivo de cambio del peso y no del volumen, y el descanso entre series fue de 90 s.

De acuerdo con el American College of Sports Medicine (2018), los individuos principiantes en un ECR, deberían entrenar de 2 a 3 veces por semana. En el presente estudio, los participantes entrenaron 2 veces por semana. Además, se sugiere un descanso de 2 a 3 min entre cada serie de ejercicio, indicación que se siguió en este estudio (American College of Sports Medicine, 2018). Por otro lado, la intensidad de entrenamiento al 80% 1RM es una manera de estimular el aumento de la fuerza muscular, mientras que el entrenamiento al 50% favorece el incremento de resistencia muscular. En el presente estudio se observó cuando se hizo el ajuste de cargas que los grupos de entrenamiento de baja y alta intensidad aumentaron significativamente la fuerza corporal total luego de 4 semanas de entrenamiento.

Existe evidencia que indica que los principiantes en programas de ECR que descansan de 60 s a 120 s entre serie aumentan la fuerza muscular (Grgic, Schoenfeld, Skrepnik, Davies, & Mikulic, 2018). En el meta análisis de Grgic, Schoenfeld, Davies, et al. (2018), acerca del efecto de la frecuencia de entrenamiento en la ganancia de fuerza muscular, se analizaron el sexo y la edad como variables moderadoras. Se encontró que hombres que entrenaron 1, 2 o 3 días por semana aumentaron la fuerza muscular; sin embargo, al incluir edad como variable moderadora, el efecto de 2 sesiones por semana

no era significativo (TE = 0.83, IC_{95%} = -0.04 a 1.70). En cambio, entrenar 1 día (TE = 0.80, IC_{95%} = 0.03 a 1.56) o 3 días por semana (TE = 0.99, IC_{95%} = 0.16 a 1.82), si permiten incrementar la fuerza. Es importante aclarar que la variable principal del presente estudio fue la DMF y no necesariamente la fuerza muscular; por ello se tomó en consideración la frecuencia de ejercicio de 2 días a la semana sugerida por Ashor et al. (2015) en su meta análisis.

VII. Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones

a. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones del estudio con base en los objetivos e hipótesis propuestas.

1. *Objetivo general*

Comparar si existe una adaptación crónica en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial ante dos intensidades de ECR realizadas durante 8 semanas en hombres jóvenes sedentarios.

Conclusión: Hubo adaptación crónica positiva en la salud arterial en el grupo de baja intensidad de manera significativa respecto al grupo control luego de las 8 semanas de ECR. La salud arterial del grupo de alta intensidad no fue diferente al grupo control ni al de baja intensidad.

2. *Objetivos específicos*

Determinar si los tratamientos cambian el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial luego de ocho semanas

Conclusión: El ECR de baja intensidad aumentó significativamente la salud arterial luego de 8 semanas en comparación con el grupo de alta intensidad y el grupo control.

Determinar si existe una adaptación crónica en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial luego de las ocho semanas.

Conclusión: Los dos grupos que realizaron ECR luego de las 8 semanas aumentaron significativamente la salud arterial de pre test a post test.

Determinar si existe una interacción entre las intensidades del ECR y la medición inicial y final sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo diámetro de la arteria braquial.

Conclusión: Si existió un efecto combinado o interacción entre grupos, mediciones y oclusiones en la salud arterial. Previo al inicio del ECR no se encontró interacción significativa; sin embargo, al finalizar, el grupo de baja intensidad mejoró la salud arterial de la medición pre-test a la medición post-test y además presentó un aumento significativo en comparación al grupo control.

3. *Hipótesis*

Con la finalidad de llevar un mejor hilo conductor, las hipótesis se abordarán en el siguiente orden, hipótesis interacción triple, hipótesis interacción doble e hipótesis efectos principales

Interacción de tratamientos, mediciones y oclusiones

Conclusión: se acepta H_1 , existió una interacción significativa entre los tratamientos, las mediciones y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

Interacción mediciones y oclusiones

Conclusión: se acepta H_1 , hubo interacciones significativas entre los tratamientos y oclusión sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

Interacción tratamientos y oclusiones

Conclusión: se mantiene H_0 , no se encontró interacciones significativas entre tratamientos y oclusiones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

Interacción tratamientos y mediciones

Conclusión: se acepta H_1 , hubo interacciones significativas entre los tratamientos y mediciones sobre el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

Efecto principal de oclusiones

Conclusión: se acepta H_1 , hubo diferencias significativas en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios en la pre oclusión y post oclusión en los grupos de tratamiento.

Efecto principal de mediciones

Conclusión: se acepta H_1 , se encontró diferencias significativas en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios antes (pre-test) y después (post-test) de los tratamientos

Efecto principal de los tratamientos

Conclusión: se mantiene H_0 , no hubo diferencias significativas de acuerdo al tratamiento en el porcentaje de dilatación mediada por flujo en la arteria braquial de hombres sedentarios.

b. Recomendaciones

Al igual que con cualquier investigación que se realice, durante el desarrollo del proyecto de tesis se presentaron algunas dificultades y limitaciones. Para que este documento sirva de ejemplo a quienes realizan trabajos finales de graduación y con el fin

de prever algunas situaciones propias de un proceso de investigación científica, se presentan algunas limitaciones y recomendaciones.

Al comienzo del estudio los participantes estaban en periodo de vacaciones o en cursos de verano (meses de enero y febrero 2019), por lo cual tenían disponibilidad de horario para asistir al gimnasio para realizar el ECR; sin embargo, al iniciar el I semestre del 2019 en marzo, los horarios donde usualmente podían llegar a entrenar se tuvieron que modificar drásticamente, siendo así que incluso se habilitaron los días sábados, por lo que la logística de acomodar a 22 participantes en la sala de pesas fue un reto, ya que ese espacio también se utiliza para impartir clases regulares de los cursos de Actividad Deportiva de la Escuela de Educación Física y Deportes. Algunas veces los participantes faltaban el día de entrenamiento debido a otros compromisos académicos o personales, por lo que se debió hacer cambios de último momento en el horario semanal.

Otra limitante fue que no se tuvo suficiente apoyo de personal capacitado para que cada participante tuviera a una persona a cargo cada vez que realizaba el ejercicio, y no fue posible contratar a estudiantes para que estuvieran supervisando debido a que el costo hubiera sido considerable. Sin embargo, la principal dificultad del estudio para garantizar una mayor validez de los datos fue no contar en el país con el software Vascular Imager y Brachial Analyzer, por lo que se tuvo que ir a la Universidad de Baylor en Texas, USA, para poder analizar cada uno de los videos. Esto implicó un gasto económico importante que sería indicado estimar o conocer cuando se comienza un programa de posgrado.

Entre las principales recomendaciones logísticas que se podrían mencionar, está contar con el equipo de apoyo para ejecutar las tareas del proyecto de tesis que toman en cuenta el contacto con participantes; por ejemplo, asistir a las mediciones, programar horas de entrenamiento, recordatorios a entrenamientos y mediciones, brindar un

refrigerio a los participantes, y limpiar el área de trabajo, entre otras. Ya que en el programa de posgrado se alienta al estudiante a que cada vez realice proyectos más complejos, el programa también debería proporcionar ayuda al estudiante para poder realizarlos.

La principal recomendación académica para futuras líneas de investigación en esta área, puede ser añadir más sesiones de entrenamiento manteniendo el mismo volumen del ECR; o bien, aumentar únicamente el volumen del ECR; o por el contrario, aumentar ambas variables de entrenamiento (volumen y frecuencia). Estos estímulos podrían afectar diferencialmente la respuesta de la DMF, pero esa hipótesis deberá ser corroborada posteriormente.

VIII. Capítulo VII: Referencias

- Agewall, S., Doughty, R. N., Bagg, W., Whalley, G. A., Braatvedt, G., & Sharpe, N. (2001). Comparison of ultrasound assessment of flow-mediated dilatation in the radial and brachial artery with upper and forearm cuff positions. *Clin Physiol*, *21*(1), 9-14.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., . . . Leon, A. S. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc*, *32*(9 Suppl), S498-504.
- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(3), 687-708. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
- American College of Sports Medicine. (2013). *ACSM's health-related physical fitness assessment manual*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (10th ed.). Philadelphia, PA.: Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins.
- Arias-Palencia, N. M., Solera-Martinez, M., Gracia-Marco, L., Silva, P., Martinez-Vizcaino, V., Canete-Garcia-Prieto, J., & Sanchez-Lopez, M. (2015). Levels and Patterns of Objectively Assessed Physical Activity and Compliance with Different Public Health Guidelines in University Students. *PLoS One*, *10*(11), e0141977. doi: 10.1371/journal.pone.0141977
- Arrebola-Moreno, A. L., Laclaustra, M., & Kaski, J. C. (2012). Evaluación no invasiva de la función endotelial en la práctica clínica. *Revista Española de Cardiología*, *65*(1), 80-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.09.012>
- Ashor, A. W., Lara, J., Siervo, M., Celis-Morales, C., & Mathers, J. C. (2014). Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*, *9*(10), e110034. doi: 10.1371/journal.pone.0110034
- Ashor, A. W., Lara, J., Siervo, M., Celis-Morales, C., Oggioni, C., Jakovljevic, D. G., & Mathers, J. C. (2015). Exercise modalities and endothelial function: a systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. *Sports Med*, *45*(2), 279-296. doi: 10.1007/s40279-014-0272-9
- Barquera, S., Pedroza-Tobías, A., Medina, C., Hernández-Barrera, L., Bibbins-Domingo, K., Lozano, R., & Moran, A. E. (2015). Global Overview of the Epidemiology of Atherosclerotic Cardiovascular Disease. *Archives of Medical Research*, *46*(5), 328-338. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2015.06.006>
- Beck, B. R., Daly, R. M., Singh, M. A., & Taaffe, D. R. (2017). Exercise and Sports Science Australia (ESSA) position statement on exercise prescription for the prevention and management of osteoporosis. *J Sci Med Sport*, *20*(5), 438-445. doi: 10.1016/j.jsams.2016.10.001
- Beck, D. T., Casey, D. P., Martin, J. S., Emerson, B. D., & Braith, R. W. (2013). Exercise training improves endothelial function in young prehypertensives. *Exp Biol Med (Maywood)*, *238*(4), 433-441. doi: 10.1177/1535370213477600
- Beyer, A. M., Zinkevich, N., Miller, B., Liu, Y., Wittenburg, A. L., Mitchell, M., . . . Gutterman, D. D. (2017). Transition in the mechanism of flow-mediated dilation

- with aging and development of coronary artery disease. *Basic Res Cardiol*, 112(1), 5. doi: 10.1007/s00395-016-0594-x
- Black, J. M., Stöhr, E. J., Shave, R., & Esformes, J. I. (2016). Influence of exercise training mode on arterial diameter: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*, 19(1), 74-80. doi: 10.1016/j.jsams.2014.12.007
- Boeno, F. P., Farinha, J. B., Ramis, T. R., Macedo, R. C. O., Rodrigues-Krause, J., do Nascimento Queiroz, J., . . . Reischak-Oliveira, A. (2019). Effects of a Single Session of High- and Moderate-Intensity Resistance Exercise on Endothelial Function of Middle-Aged Sedentary Men. *Front Physiol*, 10, 777. doi: 10.3389/fphys.2019.00777
- Bompa, T. O., & Haff, G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bonetti, P. O., Lerman, L. O., & Lerman, A. (2003). Endothelial dysfunction: a marker of atherosclerotic risk. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 23(2), 168-175. doi: 10.1161/01.ATV.0000051384.43104.FC
- Bowles, D. K., & Laughlin, M. H. (2011). Mechanism of beneficial effects of physical activity on atherosclerosis and coronary heart disease. *J Appl Physiol (1985)*, 111(1), 308-310. doi: 10.1152/japplphysiol.00634.2011
- Brandes, R. P., Fleming, I., & Busse, R. (2005). Endothelial aging. *Cardiovasc Res*, 66(2), 286-294. doi: 10.1016/j.cardiores.2004.12.027
- Briceño-Torres, J. M., & Moncada-Jiménez, J. (2018). The Effects of Acute Exercise on Arterial Endothelial Diameter: A Meta-Analysis. *American Journal of Medicine and Medical Sciences*, 8(10), 251-258. doi: 10.5923/j.ajmms.20180810.01
- Briceño-Torres, J. M., Morales-Scholz, G., & Moncada-Jiménez, J. (2018). The acute effect of two resistance training intensities on brachial artery flow-mediated dilation in physically active males. *Journal of Biology of Exercise*, 14(2), 65-78. doi: <https://doi.org/10.4127/jbe.2018.0140>
- Campbell, D. T., & Stanley, J. (1963). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Boston, MA: Wadsworth Publishing.
- Carpio-Rivera, E., Solera-Herrera, A., Salicetti, A. J., Hernández, J., & Moncada-Jiménez, J. (2016). Relación entre factores de riesgo cardiovascular y la presión arterial en reposo de estudiantes universitarios. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 25(1), 30-41. doi: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v25n1/1409-1429-rcsp-25-01-00047.pdf>
- Casey, D. P., Beck, D. T., & Braith, R. W. (2007). Progressive resistance training without volume increases does not alter arterial stiffness and aortic wave reflection. *Exp Biol Med (Maywood)*, 232(9), 1228-1235. doi: 10.3181/0703-rm-65
- Castillo Brais, M., Rojas Rodriguez, R., & Coto García, M. (2016) Intensidad de la actividad física en Costa Rica. In J. Madrigal Pana (Series Ed.), *Encuesta Actualidades*. San José, Costa Rica: Escuela de Estadística, Universidad de Costa Rica.
- Celermajer, D. S. (1997). Endothelial dysfunction: does it matter? Is it reversible? *J Am Coll Cardiol*, 30(2), 325-333. doi: 10.1016/s0735-1097(97)00189-7
- Celermajer, D. S. (1998). Testing endothelial function using ultrasound. *J Cardiovasc Pharmacol*, 32(Suppl. 3), s29-s32.
- Celermajer, D. S., Sorensen, K. E., Bull, C., Robinson, J., & Deanfield, J. E. (1994). Endothelium-dependent dilation in the systemic arteries of asymptomatic subjects

- relates to coronary risk factors and their interaction. *J Am Coll Cardiol*, 24(6), 1468-1474. doi: 10.1016/0735-1097(94)90141-4
- Celermajer, D. S., Sorensen, K. E., Georgakopoulos, D., Bull, C., Thomas, O., Robinson, J., & Deanfield, J. E. (1993). Cigarette smoking is associated with dose-related and potentially reversible impairment of endothelium-dependent dilation in healthy young adults. *Circulation*, 88(5 Pt 1), 2149-2155. doi: 10.1161/01.cir.88.5.2149
- Celermajer, D. S., Sorensen, K. E., Gooch, V. M., Spiegelhalter, D. J., Miller, O. I., Sullivan, I. D., . . . Deanfield, J. E. (1992). Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet*, 340(8828), 1111-1115. doi: 10.1016/0140-6736(92)93147-f
- Celermajer, D. S., Sorensen, K. E., Spiegelhalter, D. J., Georgakopoulos, D., Robinson, J., & Deanfield, J. E. (1994). Aging is associated with endothelial dysfunction in healthy men years before the age-related decline in women. *J Am Coll Cardiol*, 24(2), 471-476. doi: 10.1016/0735-1097(94)90305-0
- Cines, D. B., Pollak, E. S., Buck, C. A., Loscalzo, J., Zimmerman, G. A., McEver, R. P., . . . Stern, D. M. (1998). Endothelial cells in physiology and in the pathophysiology of vascular disorders. *Blood*, 91(10), 3527-3561.
- Clarkson, P., Montgomery, H. E., Mullen, M. J., Donald, A. E., Powe, A. J., Bull, T., . . . Deanfield, J. E. (1999). Exercise training enhances endothelial function in young men. *J Am Coll Cardiol*, 33(5), 1379-1385. doi: 10.1016/s0735-1097(99)00036-4
- Collier, S. R., Kanaley, J. A., Carhart, R., Jr., Frechette, V., Tobin, M. M., Hall, A. K., . . . Fernhall, B. (2008). Effect of 4 weeks of aerobic or resistance exercise training on arterial stiffness, blood flow and blood pressure in pre- and stage-1 hypertensives. *J Hum Hypertens*, 22(10), 678-686. doi: 10.1038/jhh.2008.36
- Cornelissen, V. A., Fagard, R. H., Coeckelberghs, E., & Vanhees, L. (2011). Impact of resistance training on blood pressure and other cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Hypertension*, 58(5), 950-958. doi: 10.1161/hypertensionaha.111.177071
- Cornelissen, V. A., & Smart, N. A. (2013). Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc*, 2(1), e004473. doi: 10.1161/jaha.112.004473
- Corretti, M. C., Anderson, T. J., Benjamin, E. J., Celermajer, D., Charbonneau, F., Creager, M. A., . . . Vogel, R. (2002). Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery: a report of the International Brachial Artery Reactivity Task Force. *J Am Coll Cardiol*, 39(2), 257-265. doi: 10.1016/s0735-1097(01)01746-6
- Davies, P. F. (2009). Hemodynamic shear stress and the endothelium in cardiovascular pathophysiology. *Nat Clin Pract Cardiovasc Med*, 6(1), 16-26. doi: 10.1038/ncpcardio1397
- Dhaun, N., Goddard, J., Kohan, D. E., Pollock, D. M., Schiffrin, E. L., & Webb, D. J. (2008). Role of endothelin-1 in clinical hypertension: 20 years on. *Hypertension*, 52(3), 452-459. doi: 10.1161/hypertensionaha.108.117366
- Early, K. S., Stewart, A., Johannsen, N., Lavie, C. J., Thomas, J. R., & Welsch, M. (2017). The Effects of Exercise Training on Brachial Artery Flow-Mediated Dilation: A Meta-analysis. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 37(2), 77-89. doi: 10.1097/hcr.0000000000000206

- Estadella, C., Vázquez, S., & Oliveras, A. (2010). Rigidez arterial y riesgo cardiovascular. *Hipertensión y Riesgo Vascular*, 27(5), 203-210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hipert.2009.04.004>
- Fang, N., Jiang, M., & Fan, Y. (2016). Ideal cardiovascular health metrics and risk of cardiovascular disease or mortality: A meta-analysis. *Int J Cardiol*, 214, 279-283. doi: 10.1016/j.ijcard.2016.03.210
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (1997). *Designing Resistance Training Programs*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Flores Valdez, N. (2013). Endotelina-1: vasoconstrictor intrínseco del endotelio vascular. *Revista Med*, 21, 64-78.
- Furchgott, R. F., & Zawadzki, J. V. (1980). The obligatory role of endothelial cells in the relaxation of arterial smooth muscle by acetylcholine. *Nature*, 288(5789), 373-376. doi: 10.1038/288373a0
- Galley, H. F., & Webster, N. R. (2004). Physiology of the endothelium. *British Journal of Anaesthesia*, 93(1), 105-113. doi: 10.1093/bja/ae163
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., . . . Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1334-1359. doi: 10.1249/MSS.0b013e318213fefb
- Godo, S., & Shimokawa, H. (2017). Divergent roles of endothelial nitric oxide synthases system in maintaining cardiovascular homeostasis. *Free Radic Biol Med*, 109, 4-10. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2016.12.019
- Green, D. J., Dawson, E. A., Groenewoud, H. M., Jones, H., & Thijssen, D. H. (2014). Is flow-mediated dilation nitric oxide mediated?: A meta-analysis. *Hypertension*, 63(2), 376-382. doi: 10.1161/hypertensionaha.113.02044
- Green, D. J., Jones, H., Thijssen, D., Cable, N. T., & Atkinson, G. (2011). Flow-mediated dilation and cardiovascular event prediction: does nitric oxide matter? *Hypertension*, 57(3), 363-369. doi: 10.1161/hypertensionaha.110.167015
- Greyling, A., van Mil, A. C., Zock, P. L., Green, D. J., Ghiadoni, L., & Thijssen, D. H. (2016a). Adherence to guidelines strongly improves reproducibility of brachial artery flow-mediated dilation. *Atherosclerosis*, 248, 196-202. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2016.03.011
- Greyling, A., van Mil, A. C., Zock, P. L., Green, D. J., Ghiadoni, L., & Thijssen, D. H. (2016b). Assessing the perceived quality of brachial artery Flow Mediated Dilation studies for inclusion in meta-analyses and systematic reviews: Description of data employed in the development of a scoring tool based on currently accepted guidelines. *Data Brief*, 8, 73-77. doi: 10.1016/j.dib.2016.05.011
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Davies, T. B., Lazinica, B., Krieger, J. W., & Pedisic, Z. (2018). Effect of Resistance Training Frequency on Gains in Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 48(5), 1207-1220. doi: 10.1007/s40279-018-0872-x
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Skrepnik, M., Davies, T. B., & Mikulic, P. (2018). Effects of Rest Interval Duration in Resistance Training on Measures of Muscular Strength:

- A Systematic Review. *Sports Med*, 48(1), 137-151. doi: 10.1007/s40279-017-0788-x
- Grossman, S., & Porth, C. (2014). *Porth fisiopatología: alteraciones de la salud, conceptos básicos* (9th Ed.). Spain: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Gururani, K., Jose, J., & George, P. V. (2016). Testosterone as a marker of coronary artery disease severity in middle aged males. *Indian Heart J*, 68 Suppl 3, S16-S20. doi: 10.1016/j.ihj.2016.07.002
- Hedges, L. V. (1981). Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*, 6(2), 107-128. doi: <https://doi.org/10.2307/1164588>
- Hong, A. R., & Kim, S. W. (2018). Effects of Resistance Exercise on Bone Health. *Endocrinol Metab (Seoul)*, 33(4), 435-444. doi: 10.3803/EnM.2018.33.4.435
- Huffman, M. D., Capewell, S., Ning, H., Shay, C. M., Ford, E. S., & Lloyd-Jones, D. M. (2012). Cardiovascular Health Behavior and Health Factor Changes (1988–2008) and Projections to 2020. *Circulation*, 125(21), 2595-2602. doi: doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.111.070722
- Ignarro, L. J., Buga, G. M., Wood, K. S., Byrns, R. E., & Chaudhuri, G. (1987). Endothelium-derived relaxing factor produced and released from artery and vein is nitric oxide. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 84(24), 9265-9269. doi: 10.1073/pnas.84.24.9265
- Jessor, R., Turbin, M. S., & Costa, F. M. (1998). Risk and protection in successful outcomes among disadvantaged adolescents. *Applied Developmental Science*, 2(4), 194-208. doi: https://doi.org/10.1207/s1532480xads0204_3
- Joris, P. J., Zeegers, M. P., & Mensink, R. P. (2015). Weight loss improves fasting flow-mediated vasodilation in adults: a meta-analysis of intervention studies. *Atherosclerosis*, 239(1), 21-30. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2014.12.056
- Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2000). Progressive resistance exercise and resting blood pressure : A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension*, 35(3), 838-843. doi: 10.1161/01.hyp.35.3.838
- Kline, R. B. (2004). *Beyond Significance Testing: Reforming Data Analysis Methods in Behavioral Research*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Lerman, A., & Zeiher, A. M. (2005). Endothelial Function. *Circulation*, 111(3), 363-368. doi: doi:10.1161/01.CIR.0000153339.27064.14
- Levick, J. R. (2014). *An Introduction to Cardiovascular Physiology*. Oxford, UK: Elsevier Science.
- Li, Y., H. Hanssen, et al. (2015). "Aerobic, resistance and combined exercise training on arterial stiffness in normotensive and hypertensive adults: A review." *Eur J Sport Sci* 15(5): 443-457. doi: 10.1080/17461391.2014.955129
- Lim, S. S., Vos, T., Flaxman, A. D., Danaei, G., Shibuya, K., Adair-Rohani, H., . . . Memish, Z. A. (2012). A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*, 380(9859), 2224-2260. doi: 10.1016/s0140-6736(12)61766-8
- Lin, H. F., Dhindsa, M. S., Tarumi, T., Miles, S. C., Umpierre, D., & Tanaka, H. (2012). Impact of blood pressure cuff inflation rates on flow-mediated dilatation and

- contralateral arm response. *J Hum Hypertens*, 26(1), 35-40. doi: 10.1038/jhh.2010.128
- Lloyd-Jones, D. M., Hong, Y., Labarthe, D., Mozaffarian, D., Appel, L. J., Van Horn, L., . . . Rosamond, W. D. (2010). Defining and setting national goals for cardiovascular health promotion and disease reduction: the American Heart Association's strategic Impact Goal through 2020 and beyond. *Circulation*, 121(4), 586-613. doi: 10.1161/circulationaha.109.192703
- Maeda, S., Miyauchi, T., Iemitsu, M., Sugawara, J., Nagata, Y., & Goto, K. (2004). Resistance exercise training reduces plasma endothelin-1 concentration in healthy young humans. *J Cardiovasc Pharmacol*, 44 Suppl 1, S443-446. doi: 10.1097/01.fjc.0000166319.91623.b0
- Maessen, M. F. H., van Mil, A., Straathof, Y., Riksen, N. P., Rongen, G., Hopman, M. T. E., . . . Thijssen, D. H. J. (2017). Impact of lifelong exercise training on endothelial ischemia-reperfusion and ischemic preconditioning in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 312(5), R828-R834. doi: 10.1152/ajpregu.00466.2016
- Magnussen, C. G., Smith, K. J., & Juonala, M. (2013). When to prevent cardiovascular disease? As early as possible: lessons from prospective cohorts beginning in childhood. *Curr Opin Cardiol*, 28(5), 561-568. doi: 10.1097/HCO.0b013e32836428f4
- Majerczak, J., Grandys, M., Duda, K., Zakrzewska, A., Balcerczyk, A., Kolodziejcki, L., . . . Zoladz, J. A. (2017). Moderate-intensity endurance training improves endothelial glycocalyx layer integrity in healthy young men. *Exp Physiol*, 102(1), 70-85. doi: 10.1113/ep085887
- McMillan, L. B., Zengin, A., Ebeling, P. R., & Scott, D. (2017). Prescribing Physical Activity for the Prevention and Treatment of Osteoporosis in Older Adults. *Healthcare (Basel)*, 5(4). doi: 10.3390/healthcare5040085
- Miller, A. A., De Silva, T. M., Jackman, K. A., & Sobey, C. G. (2007). Effect of gender and sex hormones on vascular oxidative stress. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 34(10), 1037-1043. doi: 10.1111/j.1440-1681.2007.04732.x
- Ministerio de Salud de Costa Rica. (2014). *Análisis de Situación de Salud Costa Rica*. San José, Costa Rica: Ministerio de Salud Retrieved from <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/vigilancia-de-la-salud/analisis-de-situacion-de-salud/2618-analisis-de-situacion-de-salud-en-costa-rica/file>.
- Miyachi, M. (2013). Effects of resistance training on arterial stiffness: a meta-analysis. *Br J Sports Med*, 47(6), 393-396. doi: 10.1136/bjsports-2012-090488
- Montero, D., Roche, E., & Martinez-Rodriguez, A. (2014). The impact of aerobic exercise training on arterial stiffness in pre- and hypertensive subjects: a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol*, 173(3), 361-368. doi: 10.1016/j.ijcard.2014.03.072
- Montero, D., Walther, G., Diaz-Canestro, C., Pyke, K. E., & Padilla, J. (2015). Microvascular Dilator Function in Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 47(7), 1485-1494. doi: 10.1249/mss.0000000000000567
- Naci, H., & Ioannidis, J. P. (2015). Comparative effectiveness of exercise and drug interventions on mortality outcomes: metaepidemiological study. *Br J Sports Med*, 49(21), 1414-1422. doi: 10.1136/bjsports-2015-f5577rep

- Okamoto, T., Masuhara, M., & Ikuta, K. (2007). Combined aerobic and resistance training and vascular function: effect of aerobic exercise before and after resistance training. *J Appl Physiol (1985)*, *103*(5), 1655-1661. doi: 10.1152/jappphysiol.00327.2007
- Okamoto, T., Masuhara, M., & Ikuta, K. (2008). Effects of low-intensity resistance training with slow lifting and lowering on vascular function. *J Hum Hypertens*, *22*(7), 509-511. doi: 10.1038/jhh.2008.12
- Okamoto, T., Masuhara, M., & Ikuta, K. (2009). Effects of muscle contraction timing during resistance training on vascular function. *J Hum Hypertens*, *23*(7), 470-478. doi: 10.1038/jhh.2008.152
- Okamoto, T., Masuhara, M., & Ikuta, K. (2011). Effect of low-intensity resistance training on arterial function. *Eur J Appl Physiol*, *111*(5), 743-748. doi: 10.1007/s00421-010-1702-5
- Okamoto, T., Masuhara, M., & Ikuta, K. (2013). Low-intensity resistance training after high-intensity resistance training can prevent the increase of central arterial stiffness. *Int J Sports Med*, *34*(5), 385-390. doi: 10.1055/s-0032-1312604
- Organización Panamericana de la Salud, & Organización Mundial de la Salud. (2017). Enfermedades Transmisibles y Análisis de Salud/Información y Análisis de Salud: Situación de Salud en las Américas: Indicadores Básicos 2017. Washington, D.C., Estados Unidos de América: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.
- Pedralli, M. L., Waclawovsky, G., Camacho, A., Markoski, M. M., Castro, I., & Lehnen, A. M. (2016). Study of endothelial function response to exercise training in hypertensive individuals (SEFRET): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, *17*, 84. doi: 10.1186/s13063-016-1210-y
- Petersen, B. A., Hastings, B., & Gottschall, J. S. (2017). Low load, high repetition resistance training program increases bone mineral density in untrained adults. *J Sports Med Phys Fitness*, *57*(1-2), 70-76. doi: 10.23736/s0022-4707.16.05697-8
- Pierce, G. L., Eskurza, I., Walker, A. E., Fay, T. N., & Seals, D. R. (2011). Sex-specific effects of habitual aerobic exercise on brachial artery flow-mediated dilation in middle-aged and older adults. *Clin Sci (Lond)*, *120*(1), 13-23. doi: 10.1042/cs20100174
- Poredos, P., & Jezovnik, M. K. (2013). Testing endothelial function and its clinical relevance. *J Atheroscler Thromb*, *20*(1), 1-8. doi: 10.5551/jat.14340
- Raff, H., & Levitzky, M. (2013). *Fisiología médica. Un enfoque por aparatos y sistemas*. Filadelfia, PA: Mc Graw Hill Education.
- Rakobowchuk, M., Harris, E., Taylor, A., Baliga, V., Cubbon, R. M., Rossiter, H. B., & Birch, K. M. (2012). Heavy and moderate interval exercise training alters low-flow-mediated constriction but does not increase circulating progenitor cells in healthy humans. *Exp Physiol*, *97*(3), 375-385. doi: 10.1113/expphysiol.2011.062836
- Rakobowchuk, M., McGowan, C. L., de Groot, P. C., Hartman, J. W., Phillips, S. M., & MacDonald, M. J. (2005). Endothelial function of young healthy males following whole body resistance training. *J Appl Physiol (1985)*, *98*(6), 2185-2190. doi: 10.1152/jappphysiol.01290.2004

- Ras, R. T., Streppel, M. T., Draijer, R., & Zock, P. L. (2013). Flow-mediated dilation and cardiovascular risk prediction: A systematic review with meta-analysis. *Int J Cardiol*, *168*(1), 344-351. doi: 10.1016/j.ijcard.2012.09.047
- Rathod, K. S., Kapil, V., Velmurugan, S., Khambata, R. S., Siddique, U., Khan, S., . . . Ahluwalia, A. (2017). Accelerated resolution of inflammation underlies sex differences in inflammatory responses in humans. *J Clin Invest*, *127*(1), 169-182. doi: 10.1172/jci89429
- Rodríguez-Núñez, I., Romero, F., & Saavedra, M. J. (2016). [Exercise-induced shear stress: Physiological basis and clinical impact]. *Arch Cardiol Mex*, *86*(3), 244-254. doi: 10.1016/j.acmx.2016.03.001
- Sabbahi, A., Arena, R., Elokda, A., & Phillips, S. A. (2016). Exercise and Hypertension: Uncovering the Mechanisms of Vascular Control. *Prog Cardiovasc Dis*, *59*(3), 226-234. doi: 10.1016/j.pcad.2016.09.006
- Sandoo, A., van Zanten, J. J., Metsios, G. S., Carroll, D., & Kitas, G. D. (2010). The endothelium and its role in regulating vascular tone. *Open Cardiovasc Med J*, *4*, 302-312. doi: 10.2174/1874192401004010302
- Schmieder, R. E., & Schobel, H. P. (1995). Is endothelial dysfunction reversible? *The American Journal of Cardiology*, *76*(1, Supplement 1), 117A-121A. doi: [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(05\)80032-3](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(05)80032-3)
- Seo, D. I., Kim, E., Fahs, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L., . . . So, W. Y. (2012). Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *J Sports Sci Med*, *11*(2), 221-225.
- Shay, C. M., Gooding, H. S., Murillo, R., & Foraker, R. (2015). Understanding and Improving Cardiovascular Health: An Update on the American Heart Association's Concept of Cardiovascular Health. *Prog Cardiovasc Dis*, *58*(1), 41-49. doi: 10.1016/j.pcad.2015.05.003
- Shepherd, J. A., Ng, B. K., Sommer, M. J., & Heymsfield, S. B. (2017). Body composition by DXA. *Bone*. doi: 10.1016/j.bone.2017.06.010
- Shimokawa, H. (2010). Hydrogen peroxide as an endothelium-derived hyperpolarizing factor. *Pflugers Arch*, *459*(6), 915-922. doi: 10.1007/s00424-010-0790-8
- Shimokawa, H., & Godo, S. (2016). Diverse Functions of Endothelial NO Synthases System: NO and EDH. *J Cardiovasc Pharmacol*, *67*(5), 361-366. doi: 10.1097/fjc.0000000000000348
- Sorensen, K. E., Kristensen, I. B., & Celermajer, D. S. (1997). Atherosclerosis in the Human Brachial Artery. *J Am Coll Cardiol*, *29*(2), 318-322. doi: 10.1016/s0735-1097(96)00474-3
- Spence, A. L., Carter, H. H., Naylor, L. H., & Green, D. J. (2013). A prospective randomized longitudinal study involving 6 months of endurance or resistance exercise. Conduit artery adaptation in humans. *J Physiol*, *591*(5), 1265-1275. doi: 10.1113/jphysiol.2012.247387
- Stensvold, D., Tjønnå, A. E., Skaug, E. A., Aspenes, S., Stølen, T., Wisløff, U., & Slørdahl, S. A. (2010). Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. *J Appl Physiol (1985)*, *108*(4), 804-810. doi: 10.1152/jappphysiol.00996.2009
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*, *37*(1), 153-156. doi: [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)

- Thijssen, D. H., Black, M. A., Pyke, K. E., Padilla, J., Atkinson, G., Harris, R. A., . . . Green, D. J. (2011). Assessment of flow-mediated dilation in humans: a methodological and physiological guideline. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, *300*(1), H2-12. doi: 10.1152/ajpheart.00471.2010
- Thijssen, D. H., Maiorana, A. J., O'Driscoll, G., Cable, N. T., Hopman, M. T., & Green, D. J. (2010). Impact of inactivity and exercise on the vasculature in humans. *Eur J Appl Physiol*, *108*(5), 845-875. doi: 10.1007/s00421-009-1260-x
- Thomas, J., Nelson, J., & Silverman, S. (2015). *Research Methods in Physical Activity* (7th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Thosar, S. S., Bielko, S. L., Mather, K. J., Johnston, J. D., & Wallace, J. P. (2015). Effect of prolonged sitting and breaks in sitting time on endothelial function. *Med Sci Sports Exerc*, *47*(4), 843-849. doi: 10.1249/mss.0000000000000479
- Thurlow, S., Oldroyd, B., & Hind, K. (2017). Effect of Hand Positioning on DXA Total and Regional Bone and Body Composition Parameters, Precision Error, and Least Significant Change. *Journal of Clinical Densitometry*. doi: 10.1016/j.jocd.2017.03.003
- Tinken, T. M., Thijssen, D. H., Black, M. A., Cable, N. T., & Green, D. J. (2008). Time course of change in vasodilator function and capacity in response to exercise training in humans. *J Physiol*, *586*(20), 5003-5012. doi: 10.1113/jphysiol.2008.158014
- Tremblay, M. S., Aubert, S., Barnes, J. D., Saunders, T. J., Carson, V., Latimer-Cheung, A. E., . . . Chinapaw, M. J. M. (2017). Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act*, *14*(1), 75. doi: 10.1186/s12966-017-0525-8
- Triggle, C. R., Samuel, S. M., Ravishankar, S., Marei, I., Arunachalam, G., & Ding, H. (2012). The endothelium: influencing vascular smooth muscle in many ways. *Can J Physiol Pharmacol*, *90*(6), 713-738. doi: 10.1139/y2012-073
- Vallance, P., Collier, J., & Moncada, S. (1989). Effects of endothelium-derived nitric oxide on peripheral arteriolar tone in man. *Lancet*, *2*(8670), 997-1000. doi: 10.1016/s0140-6736(89)91013-1
- Verdejo París, J. (2006). Función endotelial. *Archivos de cardiología de México*, *76*, 164-169. doi: <http://www.scielo.org.mx/pdf/acm/v76s2/v76s2a22.pdf>
- Vogel, R. A. (2001). Measurement of endothelial function by brachial artery flow-mediated vasodilation. *Am J Cardiol*, *88*(2A), 31E-34E. doi: 10.1016/s0002-9149(01)01764-7
- Vuckovic, K. M., Piano, M. R., & Phillips, S. A. (2013). Effects of exercise interventions on peripheral vascular endothelial vasoreactivity in patients with heart failure with reduced ejection fraction. *Heart Lung Circ*, *22*(5), 328-340. doi: 10.1016/j.hlc.2012.12.006
- Wang, T. J., Gona, P., Larson, M. G., Tofler, G. H., Levy, D., Newton-Cheh, C., . . . Vasan, R. S. (2006). Multiple Biomarkers for the Prediction of First Major Cardiovascular Events and Death. *New England Journal of Medicine*, *355*(25), 2631-2639. doi: 10.1056/NEJMoa055373
- Welsch, M. A., Allen, J. D., & Geaghan, J. P. (2002). Stability and reproducibility of brachial artery flow-mediated dilation. *Med Sci Sports Exerc*, *34*(6), 960-965.

- Westcott, W. L. (2012). Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Curr Sports Med Rep*, *11*(4), 209-216. doi: 10.1249/JSR.0b013e31825dabb8
- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Jr., Collins, K. J., Dennison Himmelfarb, C., . . . Wright, J. T., Jr. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Hypertension*, *71*(6), e13-e115. doi: 10.1161/hyp.0000000000000065
- Widlansky, M. E., Gokce, N., Keaney, J. F., & Vita, J. A. (2003). The clinical implications of endothelial dysfunction. *J Am Coll Cardiol*, *42*(7), 1149-1160. doi: 10.1016/s0735-1097(03)00994-x
- Wilkinson, I. B., & Webb, D. J. (2001). Venous occlusion plethysmography in cardiovascular research: methodology and clinical applications. *Br J Clin Pharmacol*, *52*(6), 631-646. doi: 10.1046/j.0306-5251.2001.01495.x
- Woodman, R. J., Playford, D. A., Watts, G. F., Cheetham, C., Reed, C., Taylor, R. R., . . . Green, D. (2001). Improved analysis of brachial artery ultrasound using a novel edge-detection software system. *J Appl Physiol (1985)*, *91*(2), 929-937. doi: 10.1152/jappl.2001.91.2.929
- World Health Organization. (2015). Cardiovascular diseases, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/>
- Xu, Y., Arora, R. C., Hiebert, B. M., Lerner, B., Szwajcer, A., McDonald, K., . . . Tangri, N. (2014). Non-invasive endothelial function testing and the risk of adverse outcomes: a systematic review and meta-analysis. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*, *15*(7), 736-746. doi: 10.1093/ehjci/jet256
- Xue, H., Wang, J., Hou, J., Zhu, H., Gao, J., Chen, S., . . . Wu, S. (2013). Association of ideal cardiovascular metrics and serum high-sensitivity C-reactive protein in hypertensive population. *PLoS One*, *8*(12), e81597. doi: 10.1371/journal.pone.0081597
- Young, D. R., Hivert, M. F., Alhassan, S., Camhi, S. M., Ferguson, J. F., Katzmarzyk, P. T., . . . Yong, C. M. (2016). Sedentary Behavior and Cardiovascular Morbidity and Mortality: A Science Advisory From the American Heart Association. *Circulation*, *134*(13), e262-279. doi: 10.1161/cir.0000000000000440

IX. Capítulo IX: Anexos

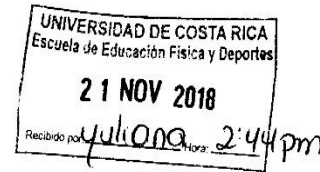
Anexo 1. Aprobación de protocolo y consentimiento informado



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

CEC Comité
Ético Científico

19 de noviembre de 2018
VI-7868-CEC-0120-2018



Coordinador (a)
Comisión de Trabajos Finales de Graduación
Posgrado en Ciencias del Movimiento Humano

El Comité Ético Científico (CEC) en su sesión No.123 celebrada el 24 de octubre de 2018 sometió a consideración el trabajo final de graduación "Adaptaciones crónicas del entrenamiento contra resistencia de alta y baja intensidad en la función endotelial en hombres universitarios".

Después del análisis respectivo, el Comité acuerda:

Acuerdo N°11. Declarar aprobado el trabajo final de graduación "Adaptaciones crónicas del entrenamiento contra resistencia de alta y baja intensidad en la función endotelial en hombres universitarios". **Acuerdo Firme**

Quedamos en la entera disposición de colaborar ante cualquier consulta.
Sin más por el momento, se suscribe cordialmente,

Atentamente,

M.Sc. Alfonso Chacón Mata
Presidente Comité Ético Científico



C.c. ~~Coordinador José Miguel Barrantes~~ Posgrado en Ciencias del Movimiento Humano
Archivo/consecutivo.

Adj. Formulario de Consentimiento Informado



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
COMITÉ ÉTICO CIENTÍFICO
 Teléfono/Fax: (506) 2511-4201

Maestría Académica en Ciencias
 del Movimiento Humano

**FORMULARIO PARA EL CONSENTIMIENTO INFORMADO BASADO EN LA LEY
 N° 9234 “LEY REGULADORA DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA” y EL
 “REGLAMENTO ÉTICO CIENTÍFICO DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 PARA LAS INVESTIGACIONES EN LAS QUE PARTICIPAN SERES HUMANOS”**

**Cambios en la función endotelial ocasionados por el entrenamiento crónico contra
 resistencia de alta y baja intensidad en hombres universitarios**

Código (o número) de proyecto: _____

Nombre de el/la investigador/a principal: José Miguel Briceño Torres

Nombre del/la participante: _____

Medios para contactar a la/al participante: números de teléfono _____

Correo electrónico _____

Contacto a través de otra persona _____

A. PROPÓSITO DEL PROYECTO

El estudio de investigación que se pretende realizar es el trabajo de tesis de maestría del estudiante José Miguel Briceño Torres. El profesor José Moncada Jiménez es el tutor. El estudiante José Miguel Briceño Torres se encuentra matriculado en la Maestría Académica de Ciencias del Movimiento Humano de la Universidad de Costa Rica, mientras que José Moncada Jiménez es docente en la Universidad de Costa Rica. En la Maestría académica de Ciencias del Movimiento Humano es necesario realizar una tesis como requisito para graduarse. El presente estudio desea conocer si un entrenamiento de baja intensidad de pesas o de alta intensidad de pesas mejora la salud arterial de hombres mayores de edad universitarios sedentarios.

B. ¿QUÉ SE HARÁ?

Para participar en el estudio, deberá primero llenar un cuestionario de salud y actividad física para así saber si lo podemos incluir en el estudio (queremos incluir en el estudio a personas sanas). A todos los hombres universitarios sedentarios que se incluyan en el estudio se les asignará al azar a alguno de los siguientes grupos: entrenamiento de baja intensidad de pesas, entrenamiento alta intensidad de pesas o al grupo control (no realiza

Firma de sujeto participante: _____
 Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica – Número de sesión en que fue aprobado el proyecto: _____ Comité Ético Científico
 Universidad de Costa Rica



entrenamiento). Después de saber su grupo, se le pedirá que llegue al Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano de la Universidad de Costa Rica (ubicado en las instalaciones deportivas), para medirlo en un tallímetro y pesarlo en una báscula. Para pesarlo necesitaremos que vista ropa deportiva, que se quite los zapatos y medias. Luego le haremos una densitometría ósea, esto sirve para conocer la salud de sus huesos y además para saber la cantidad de grasa y músculo que tiene su cuerpo; por último, usando un dispositivo sabremos la cantidad de fuerza que tiene en los brazos y piernas.

Para evaluar la salud de las arterias tendrá que venir dos días (antes de iniciar el entrenamiento y después de terminar el entrenamiento) en ayunas en la mañana al Centro de Investigación del Movimiento Humano. En este lugar le pediremos que repose con el brazo derecho extendido diagonalmente durante 20 minutos, luego de ese tiempo, se le aplicará un poco de gel en su brazo para que mediante un ultrasonido poder encontrar su arteria, cuando la arteria sea encontrada en la pantalla del ultrasonido se le va ocluir el antebrazo derecho durante 5 minutos para observar la respuesta de su arteria, al final se va liberar la oclusión y podremos ver cómo respondió su arteria, posteriormente se le brindará un pequeño refrigerio.

En tres ocasiones deberá venir en horas de la mañana al gimnasio de la Escuela de Educación Física y Deportes de la Universidad de Costa Rica (ubicado en las instalaciones deportivas) para enseñarle las máquinas de entrenamiento y practique en ellas, luego se le realizará una prueba de fuerza, la cual es necesaria para conocer el peso que debe utilizar en cada máquina. El entrenamiento durará 8 semanas, dos veces por semana (16 sesiones en total), la sesión tiene una duración de una hora. Cuando usted se encuentre realizando los ejercicios estará presente siempre un profesional del movimiento humano para supervisarlo y darle consejos. Los ejercicios se harán en máquinas de pesas, las cuales son muy seguras y de excelente calidad. Al final de las 16 sesiones se le volverá a evaluar la salud de su arteria.

C. RIESGOS

1. Si usted participa en el estudio, puede sentir dolor muscular en las primeras sesiones de ejercicio. Esto es una respuesta normal del músculo cuando se empieza una rutina de entrenamiento, sin embargo este dolor no va persistir por más de dos días, y al continuar con el entrenamiento ese tipo de dolor desaparecerá. Al final de cada sesión de entrenamiento se harán estiramientos para facilitar la recuperación del músculo.
2. Cuando se realice la medición de la arteria del brazo es probable que sienta cierta incomodidad cuando se realice la oclusión. Esta oclusión durará 5 minutos, los primeros minutos no existe dolor, sin embargo al final se siente un poco el dolor debido a la oclusión, sin embargo esto desaparecerá apenas terminen los 5 minutos.
3. En caso de cualquier eventualidad contra su salud durante las sesiones de medición o entrenamiento, se llamará de inmediato al servicio emergencias de la Universidad de Costa Rica al número 2511-4911.

D. BENEFICIOS

Por participar en este estudio, usted podrá conocer el porcentaje de músculo y grasa que tiene su cuerpo, esto mediante la densitometría ósea. Además al realizar ejercicio contra



Firma de sujeto participante: _____

Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica - Número de sesión en que fue aprobado el proyecto: _____ Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica

resistencia aumentará su fuerza muscular, lo cual le ayudaría a prevenir lesiones y a mejorar sus actividades de la vida diaria. Por otro lado la circulación la sangre en su cuerpo podría mejorar debido al ejercicio.

En caso que usted quede en el grupo control (grupo que no hace ejercicio), al final del estudio se le dará el mismo entrenamiento que dio mejores resultados, en la misma cantidad de sesiones. También se realizará una actividad donde los participantes que estuvieron en la investigación podrán asistir y así conocer los resultados obtenidos en la investigación

E. VOLUNTARIEDAD

La participación en esta investigación es voluntaria, usted puede negarse a participar o retirarse en cualquier momento sin perder los beneficios a los cuales tiene derecho, tampoco será castigada (ni en acceso o en calidad de atención) de ninguna forma por su retiro o falta de participación.

F. CONFIDENCIALIDAD

Toda la información obtenida en el estudio será estrictamente confidencial, cada participante tendrá un código para así respetar la identidad de cada uno. Todos los resultados respetarán el anonimato del participante, en caso de algún tipo de publicación en una revista científica los resultados serán públicos pero siempre respetando el anonimato de las personas, es decir, nadie sabrá que usted participó en el estudio. Las personas que tendrán acceso para verificar los procedimientos y datos de la investigación sólo verán los códigos, en ningún momento sabrán su identidad. Se le solicitará un correo al cual se le pueda enviar una futura publicación del artículo, para que así pueda ver el resultado del estudio, es opción indicar el correo.

H. INFORMACIÓN

Antes de dar su autorización para este estudio usted debe haber hablado con el estudiante José Miguel Briceño Torres sobre este estudio, él deberá de haber contestado satisfactoriamente todas sus preguntas acerca del estudio y de sus derechos. Si quisiera más información más adelante, puede obtenerla llamando a con José Miguel Briceño Torres, al teléfono 8980-79-56 en el horario de lunes a viernes de 10 a.m a 2 p.m. Además, puede consultar sobre los derechos de los Sujetos Participantes en Proyectos de Investigación al CONIS –Consejo Nacional de Salud del Ministerio de Salud, teléfonos 2233-3594, 2223-0333 extensión 292, de lunes a viernes de 8 a.m. a 4 p.m. Cualquier consulta adicional puede comunicarse con la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica a los teléfonos 2511-4201, de lunes a viernes de 8 a.m. a 5 p.m..

H. Usted NO perderá ningún derecho legal por firmar este documento.

I. Usted recibirá una copia de esta fórmula firmada para su uso personal.

Firma de sujeto participante: _____
Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica – Número de sesión en que fue aprobado el proyecto: _____ Comité Ético Científico
Universidad de Costa Rica



CONSENTIMIENTO

He leído o se me ha leído toda la información descrita en esta fórmula antes de firmarla. Se me ha brindado la oportunidad de hacer preguntas y estas han sido contestadas en forma adecuada. Por lo tanto, declaro que entiendo de qué trata el proyecto, las condiciones de mi participación y accedo a participar como sujeto de investigación en este estudio

***Este documento debe de ser autorizado en todas las hojas mediante la firma, (o en su defecto con la huella digital), de la persona que será participante.**

Nombre, firma y cédula del sujeto participante

Lugar, fecha y hora

Nombre, firma y cédula del/la investigador/a que solicita el consentimiento

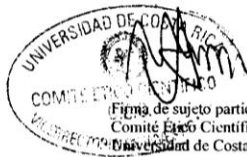
Lugar, fecha y hora

Nombre, firma y cédula del/la testigo

Lugar, fecha y hora

Versión junio 2017

Formulario aprobado en sesión ordinaria N° 63 del Comité Ético Científico, realizada el 07 de junio del 2017.



Firma de sujeto participante: _____
Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica - Número de sesión en que fue aprobado el proyecto: _____ Comité Ético Científico - Universidad de Costa Rica

Anexo 2. Ejercicios contra resistencia utilizados en la rutina de entrenamiento

Ilustración 1. Press de pecho con barra



Ilustración 2. Flexión de codo

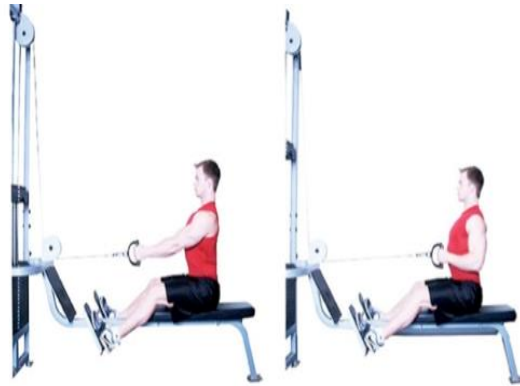


Ilustración 3. Jalón polea abierto



Ilustración 4. Extensión de rodilla



Ilustración 5. Remo sentado**Ilustración 6. Press militar****Ilustración 7. Press de pierna****Ilustración 8. Flexión de rodilla**

Anexo 4. Curso de Buenas Prácticas de Investigación Biomédica**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN**

Confiere el presente


CERTIFICADO DE APROVECHAMIENTO A:*José Miguel Briceño Torres*

Por haber cumplido con los requisitos del curso:

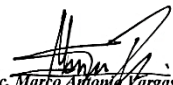
“Buenas Prácticas de Investigación Biomédica (investigación clínica)”

Organizado por la Vicerrectoría de Investigación y aprobado por el CONIS en la sesión No. 44 del 27 de enero de 2016, facilitado por el Lic. Marco Antonio Vargas Ramírez, el Dr. Luis Alberto Fallas López, el Dr. Alejandro Leal Esquivel y la Dra. Henriette Raventós Vorst. Realizado los días 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19 y 22 febrero de 2016, con una duración de 26 horas, 15 minutos.

Dado en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio el 22 de febrero de 2016



Alice L. Pérez, Ph.D
Vicerrectora
Vicerrectoría de Investigación



Lic. Marco Antonio Vargas Ramírez
Coordinador del Curso

Anexo 5. Renovación Curso de Buenas Prácticas de Investigación Biomédica

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN**

Confiere el presente

CERTIFICADO DE APROVECHAMIENTO A:

Briceño Torres José Miguel

Por haber cumplido con los requisitos del curso:

“Renovación Curso Buenas Prácticas de Investigación Biomédica (investigación observacional e investigación intervencional)”

Organizado por la Vicerrectoría de Investigación y aprobado por el CONIS en la sesión No. 104 del 2 de mayo de 2017, coordinado por el Dr. Alejandro Leal Esquivel.

Realizado del 12 de noviembre al 13 de diciembre de 2018, en modalidad semipresencial con una duración de 27 horas.

Dado en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio el 13 de diciembre de 2018

Handwritten signature of Fernando Gasela Santamaría.

Dr. Fernando Gasela Santamaría
Vicerrector
Vicerrectoría de Investigación

Handwritten signature of Alejandro Leal Esquivel.

Dr. Alejandro Leal Esquivel
Coordinador del Curso

Anexo 6. Certificado del CONIS

**CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN SALUD
(CONIS)****CERTIFICADO DE AUTORIZACIÓN****CODIGO N° 1682 - 2018**

Como Estudiante Investigador(a) a:

José Miguel Briceño Torres

Por cumplir con los requisitos establecidos en:
la Ley No. 9234 Reguladora de Investigación Biomédica
y su Reglamento No. 39061-S

APROBADO EN SESIÓN CONIS No. 161 DEL 03 DE octubre DEL 2018
(NÚMERO) (DÍA) (MES) (AÑO)

Válido hasta el: 03 de octubre del 2021
(DÍA) (MES) (AÑO)

G. I. d. m.

DRA. GISELLE AMADOR MUÑOZ
PRESIDENTE CONIS/MINISTERIO DE SALUD

Anexo 7. Curso de Protección Radiológica Básica



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ATÓMICAS, NUCLEARES Y MOLECULARES

Confiere el presente

CERTIFICADO DE APROBACIÓN A:

José Miguel Briceño Torres

Por haber cumplido con los requisitos del curso

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA BÁSICA

Organizado por el Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM) en el marco del proyecto "Servicios de Protección Radiológica" bajo la Resolución y Licencia del Ministerio de Salud DGS-UGR-CR-112-2007-S, realizado durante el mes de junio de 2016, con una participación efectiva de 16 horas y aprobado con una calificación de 70.

Dado en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, a los 20 días del mes de julio de 2016.

M.Sc. Patricia Mora Rodríguez
Instructora
CICANUM



Dr. Elian Conejo Rodríguez
Director
CICANUM

Anexo 8. Producción académica durante el programa de posgrado

A. Publicaciones en revistas científicas (acceso libre)

1. **Briceño-Torres, J. M.**, & Moncada-Jiménez, J. (2018). The Effects of Acute Exercise on Arterial Endothelial Diameter: A Meta-Analysis. *American Journal of Medicine and Medical Sciences*, 8(10), 251-258. doi: 10.5923/j.ajmms.20180810.01.
2. **Briceño-Torres, J. M.**, Morales-Scholz, G., & Moncada-Jiménez, J. (2018). The acute effect of two resistance training intensities on brachial artery flow-mediated dilation in physically active males. *Journal of Biology of Exercise*, 14(2), 65-78. doi: <https://doi.org/10.4127/jbe.2018.0140>
3. Peralta-Brenes, M., **Briceño-Torres, J. M.**, Chacón-Araya, Y., Moncada-Jiménez, J., Salazar-Villanea, M., Johnson, D. K., & Campos-Salazar, C. (2018). Prediction of Peak Aerobic Power among Costa Rican Older Adults. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 12(11), CC01-CC04. doi:10.7860/JCDR/2018/37095.12191
4. **Briceño Torres, J. M.** y Moncada-Jiménez, J. (2016). Descripción de la salud física y estrés de oficiales de seguridad de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 25(1), 8-17.

B. Publicación de resúmenes/abstracts en revistas científicas

1. **Briceño-Torres, J. M.** & Moncada-Jiménez, J. (2017). The Acute Effect of Aerobic and Resistance Training on Arterial Diameter: A Meta-Analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5), s613.
2. Chacón-Araya, Y., Peralta-Brenes, M., **Briceño-Torres, J. M.**, Villarreal-Ángeles, M. A., Salazar-Villanea, M., Johnson, D. K., & Moncada-Jiménez, J. (2017). A Comparison of Upper Body Strength and Body Composition between Elderly from Costa Rica and Kansas. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5), s35.
3. **Briceño-Torres, J. M.**, Morales-Scholz, G., & Moncada-Jiménez, J. (2016). The Acute Effect of Two Resistance-training Intensities on Flow-mediated Dilation in Physically-active Young Males. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(5), s790.
4. **Briceño-Torres, J. M.** & Moncada-Jiménez, J. (2015). Physical Fitness and Job Stress Assessment in Security Officers from the University of Costa Rica. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(5), s165.

C. Presentaciones en simposios y congresos

1. Chacón Araya, Y., **Briceño Torres, J. M.**, Peralta Brenes, M., Ramírez Morales, J., Martí Revelo, M., Gálvez Aguilar, W., Machado Ramírez, L., Montero Herrera, B., Moreira Umaña, J. P., Cordero Tencio, R., y Moncada Jiménez, J. (2019). Estudio longitudinal de la composición corporal, funcionalidad física y fisiológica de adultos mayores costarricenses: resultados

- preliminares. *XVI Congreso Internacional de Actividad Física y Ciencias Aplicadas al Deporte y 2° Simposio Iberoamericano en Deporte y Actividad Física; Nutrición & Entrenamiento – SIDANE II*. Tijuana, México.
2. Peralta-Brenes, M., **Briceño-Torres, J.**, Chacón-Araya, Y., Moncada-Jiménez, J., Salazar-Villanea, M., Johnson, D., & Campos-Salazar, C. (2017). Development of a VO₂peak Prediction Equation in Elderly. In A. Ferrauti, Platen, P., Grimminger-Seidensticker, E., Jaitner, T., Bartmus, U., Becher, L., De Marées, M., Mühlbauer, T., Schauerte, A., Wiewelhove, T., Tsolakidis, E. (Ed.), *22nd Annual Congress of the European College of Sport Science* (pp. 638). Metropolis Ruhr – Germany: European College of Sport Science.
 3. Peralta-Brenes, M., **Briceño-Torres, J.**, Chacón-Araya, Y., Moncada-Jiménez, J., Salazar-Villanea, M., Johnson, D., & Campos-Salazar, C. (2017). Ecuación predictiva para el consumo de oxígeno pico en personal adultas mayores. *XXI Simposio Internacional en Ciencias del Deporte Ejercicio y la Salud*. Universidad de Costa Rica
 4. **Briceño-Torres, J. M.** (2016). The Acute Effect of Two Resistance-training Intensities on Flow-mediated Dilation in Physically-active Young Males. *International Symposium in Exercise & Health Sciences Research – TEJAS–*. Baylor University, Waco, Texas, USA.
 5. **Briceño-Torres, J. M.**, Morales-Scholz, G., & Moncada-Jiménez, J. (2016). Efecto agudo de dos intensidades de ejercicio contra resistencia en la dilatación mediada por flujo en hombres jóvenes físicamente sanos. *XXI Simposio Internacional en Ciencias del Deporte Ejercicio y la Salud*. Universidad de Costa Rica.
 6. **Briceño-Torres, J. M** & Moncada-Jiménez, J. (2015). “Salud física y estrés laboral en oficiales de la Universidad de Costa Rica. *XXI Simposio Internacional en Ciencias del Deporte Ejercicio y la Salud*. Universidad de Costa Rica.

D. Manuscritos enviados a revistas científicas

1. Chacón-Araya, Y., **Briceño-Torres, J. M.**, Peralta-Brenes, M., Hernández-Gamboa, R., Johnson, D. K., Watts, A., Vidoni, E. D., Billinger, S. A., Salazar-Villanea, M., & Moncada-Jiménez, J. Ratings of perceived exertion during a graded exercise testing in older adults are predicted by metabolic rather than physiological or cognitive parameters. Enviado a revista *Pensamiento Psicológico*.
2. Chacón-Araya, Y., Dicker, E. E., Peralta-Brenes, M., **Briceño-Torres, J. M.**, Villarreal-Ángeles, M., Salazar-Villanea, M., Moncada-Jiménez, J., & Johnson, D. K. Body composition and upper body strength in older adults from Costa Rica and Kansas. Enviado a revista *Journal of Geriatric Physical Therapy*.

E. Pasantías y visitas a universidades extranjeras

1. Beca del College of Education de *Baylor University* (Waco, TX, USA) para exponer acerca de la investigación en dilatación mediada por flujo. Contacto: Peter W. Grandjean, Ph.D., FACSM. Setiembre 2016.
2. Visita a las instalaciones y oficina de Asuntos Internacionales de *Springfield College* (Springfield, MA, USA). Contacto: Deborah Alm, Ph.D. Mayo 2016.
3. Pasantía para análisis de datos con software especializado para la dilatación mediada por flujo en *Baylor University* (Waco, TX, USA). Contacto: Jeffrey Forsee, Ph.D. Junio 2019.

The Effects of Acute Exercise on Arterial Endothelial Diameter: A Meta-Analysis

José M. Briceño-Torres¹, José Moncada-Jiménez^{1,2,*}

¹School of Physical Education and Sports, University of Costa Rica, Costa Rica

²Human Movement Sciences Research Center – CIMOHU –, University of Costa Rica, Costa Rica

Abstract There is abundant literature regarding the chronic effects of different exercise modalities on arterial diameter and endothelial function; however, there is a dearth of information related to the acute effects. We investigated the acute effects of different exercise modalities on arterial endothelium diameter as measured by flow-mediated dilation (FMD). An electronic search was performed in electronic databases using the following word combinations: “acute exercise”, “FMD”, “endothelial function”, “exercise”, “vascular endothelium”, and “flow-mediated dilation”. The inclusion criteria were experimental studies with single session treatment, studies in healthy human adults, English language publications, and studies reporting pre- and post- flow-FMD measures. The random effects model was used to calculate effect sizes (ES). We included 13 studies (43 effect sizes), representing 378 participants (245 men and 133 women). Twelve studies had poor and very poor quality. Aerobic exercise showed a small effect (ES = 0.27, CI95% = -0.08, 0.62, p = 0.11), resistance training a trivial effect (ES = -0.15, CI95% = -0.76, 0.46, p = 0.25), and interval exercise a small effect (ES = 0.23, CI95% = -0.82, 1.27, p = 0.15) on arterial diameter. In conclusion, aerobic, resistance, and interval training exercises did not elicit a positive arterial diameter acute response. These findings are influenced by the poor methodological quality of the literature.

Keywords Vascular health, Flow-mediated dilation, Endothelium, Meta-analysis, Acute exercise

1. Introduction

Several statements, guidelines and recommendations have been released to the general population regarding the quantity of aerobic and resistance training exercise necessary to achieve a healthy lifestyle [1-7]. However, sedentary behaviour still contributes to the current obesity pandemic and it is associated to several cardiovascular risk factors, including atherosclerosis, a disease related to endothelial dysfunction.

There is evidence showing that endothelial function changes according to physical activity level, gender and age [8]. The flow-mediated dilation (FMD) is a technique used to evaluate endothelial function. This technique underlies a process mediated by nitric oxide (NO) synthesis and bioavailability [9]. It is known that NO stimulates vasodilation in blood vessels; therefore, FMD is considered a good estimate of blood vessel's health [10, 11].

Blood vessel hardening contributes to increased peripheral arterial resistance, as well as increased pressure and

ventricular afterload; all of these are cardiovascular risk factors that increase mortality in the population [10]. Aerobic exercise has been widely recommended to prevent these diseases [1]; however, little is known about the potential benefits of acute resistance training exercise on endothelial function. The only evidence found was a report published by Collier, Diggle, Heffernan, Kelly, Tobin and Fernhall [12], who investigated the acute effects of aerobic and resistance training exercises in healthy young men using the FMD technique to evaluate peripheral arterial resistance. Resistance training exercise increased peripheral arterial resistance more than aerobic exercise did. It is suggested that there could be a compensatory vascular effect when performing resistance training, since there was a higher reactive hyperemia compared to aerobic exercise.

According to Cohen [13], the effect size (ES) is a measure of the magnitude of an intervention on a dependent variable. This measure is used in meta-analysis and is considered trivial (ES = 0-0.19), small (ES = 0.20-0.49), medium (ES = 0.50-0.79) and large (ES ≥ 0.80). Recently, two meta-analysis reported on the effects of exercise on endothelial function and arterial diameter [14, 15]. Black, et al. [15], studied whether differences existed on arterial diameter among athletes participating in aerobic, resistance and concurrent exercises. Twenty articles were included in the analysis (aerobic = 7, resistance = 4, concurrent = 9); however, the analysis was performed only with aerobic and

* Corresponding author:

jose.moncada@ucr.ac.cr (José Moncada-Jiménez)

Published online at <http://journal.sapub.org/ajmms>

Copyright © 2018 The Author(s). Published by Scientific & Academic Publishing

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

The acute effect of two resistance training intensities on brachial artery flow-mediated dilation in physically active males

D.O.I: <https://doi.org/10.4127/jbe.2018.0140>

JOSÉ M. BRICEÑO-TORRES¹, GABRIELA MORALES-SCHOLZ²
and JOSÉ MONCADA-JIMÉNEZ³

¹ School of Physical Education and Sports, University of Costa Rica

² School of Medicine, University of Costa Rica

³ Human Movement Sciences Research Center, University of Costa Rica

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the acute effect of resistance exercise performed at two intensities on brachial artery flow-mediated dilatation (FMD) in physically active students. Nine men (mean age = 24.4 ± 2.1 yr., height = 176.1 ± 5.3 cm, weight = 71.9 ± 8.3 kg) were randomly assigned to three experimental conditions where they performed elbow flexion exercise at 55% of one maximum repetition (1-RM), elbow flexion exercise at 80% of 1-RM, and a control condition (no exercise). The resistance training protocol consisted of three sets of six repetitions with 90-s rest between sets. FMD was assessed by ultrasound on the brachial artery in supine position before and after exercise in the experimental conditions. The end-diastolic blood flow was higher in all three groups 30-s following exercise compared to baseline measurements ($p < 0.05$). All three experimental conditions displayed a higher blood flow between 0-s and 60-s after exercise termination ($p < 0.05$). In conclusion, resistance training performed at 80% of 1-RM improves the endothelial response compared to exercise performed at 55% of 1-RM or a control condition in healthy young males.

Key Words: *Vascular health, Arteries, Exercise Prescription, Artery Health, Exercise response*

Prediction of Peak Aerobic Power among Costa Rican Older Adults

MARIANA PERALTA-BRENES¹, JOSÉ M BRICEÑO-TORRES², YAMILETH CHACÓN-ARAYA³, JOSÉ MONCADA-JIMÉNEZ⁴, MÓNICA SALAZAR-VILLANEA⁵, DAVID K JOHNSON⁶, CINTHYA CAMPOS-SALAZAR⁷

ABSTRACT

Introduction: The peak oxygen uptake (VO_{2peak}) is considered a valid indicator of the cardiovascular system function, and when measured on a metabolic cart it is considered the gold standard for cardiorespiratory fitness. Prediction equations have been developed to indirectly determine VO_{2peak} ; however, there are no equations specific to Costa Rican older adults.

Aim: To develop a VO_{2peak} prediction equation for Costa Rican adults over 60 years using the distance achieved on the Six minutes Walking Test (6MWT) and anthropometrical measures.

Materials and Methods: Seventy-nine adults (Mean age=68.8±4.79 yr.) read and signed the informed consent, then scanned on DXA for body composition, then measured the HR before and after the 6MWT. Following a 10-minutes recovery period from the 6MWT, they performed a VO_{2peak} treadmill test

with breath-to-breath calorimetry gas analysis. The prediction model included body weight, height, Body Mass Index (BMI), body fat mass index, distance on the 6MWT, and change in Heart Rate (HR) following the 6MWT.

Results: The prediction equation was $VO_{2peak}=17.59+0.028\{6MWT(m)\}-0.256\{BMI\ (kg/m^2)\}-2.567\ (gender: 0\ male, 1\ female)\pm 3.25\ ml\cdot kg^{-1}\cdot min^{-1}$ ($R^2=0.48$). A strong correlation ($r=0.70$, $p<0.01$) between predicted and measured calorimetry VO_{2peak} values was obtained; yet, a poor concordance based on Lin's coefficient ($r=0.61$).

Conclusion: A VO_{2peak} prediction equation with high accuracy and highly correlated to directly-measured VO_{2peak} was developed for urban Costa Rican older adults. Non-specific population equations are not valid to predict VO_{2peak} in urban Costa Rican older adults.

Keywords: Costa Rica, Equation, Latin America, Older adult, VO_{2peak}

INTRODUCTION

The older adult population has dramatically increased worldwide; for most countries, life expectancy is higher than it was 50 years ago. In Japan, more than 30% of the population is older than 65 years while in Costa Rica, the average age is 73.3 years and, in Nicoya, a canton located in the North of the country, 80% of its inhabitants are older than 65 years. This place is considered a *Blue Zone*, one of the five places in the world where longest-lived people live [1,2].

Aging is a multidimensional process characterised by physical and mental changes that diminish functionalities, and affect independency and quality of life [3,4]. It is recognised that after the age of 30, humans begin an accelerated aging process where physical function declines at a rate of 0.75% to 1% annually; where deleterious physical function changes are more evident after the age of 60 [4]. Functional ability is associated with health and physical performance independent of the age. Physical performance has been related to mortality and muscular function related variables (e.g., walking speed, balance, strength) [4].

The peak oxygen uptake (VO_{2peak}) is defined as the maximum oxygen uptake reached by a subject in a period, and it is usually determined by indirect calorimetry ("gold standard") during a Gradual maximal Exercise Tests (GXT). The oxygen is transported in the blood and used in the muscle to re-synthesise ATP to convert chemical into mechanical energy during muscular contraction [5,6]. Therefore, VO_{2peak} is an indicative of cardiovascular function or cardiovascular fitness closely associated to quality of life in all populations.

The gold standard used to measure VO_{2peak} provides the most valid and accurate values; however, the technique requires expensive equipment, usually well-trained staff and using a complex treadmill

or cycle ergometer protocol for a specific population. Therefore, indirect methods have been used to estimate VO_{2peak} ; for instance, the 1-mile walking test, 1.5-mile running test, 600 yards walking/jogging, and the Six Minutes Walking Test (6MWT) [7,8].

The decision of using a maximal or sub-maximal test depends on the materials and/or the equipment at hand, but especially on the participant's number of risk factors. One of the most recommended indirect technique for estimating VO_{2peak} in older adults is the 6MWT [9]. This protocol is inexpensive, it follows simple instructions, it requires just a few materials and it is safe since during the 6MWT, the majority of older adults reach 80% of their VO_{2peak} [10]. The 6MWT measures the distance an individual is able to walk over a total of six minutes on a hard, flat surface. The participants have to walk as fast as they can, neither jogging nor running [11]. This test was originally designed for patients with heart failure and respiratory diseases [7]. It has been suggested that the distance achieved during the test predicts aerobic capacity and mortality [7,12].

There are equations for the 6MWT developed using predictive variables such as gender, body weight, body height, Heart Rate (HR), and Body Mass Index (BMI=body weight in kg/body height in m²). These equations have been developed in different geographical locations; consequently, these equations should not be used interchangeably as a "one equation fits all". For example, equations for Koreans [13], Indians [14,15], and Brazilians [16] have been developed but these should not be used around the world. We face the same inconvenience with predictive equations to determine VO_{2peak} using the distance in the 6MWT as a predictive variable [Table/Fig-1].

These equations were developed on participants from the United



Rev. Costarricense de Salud Pública, 2016, vol. 25(1): 8-17

Artículo Original

Salud física y estrés en oficiales de seguridad de la Universidad de Costa Rica en el año 2014

Physical health and stress in security officers of the University of Costa Rica in 2014

José Miguel Briceño Torres¹ y José Moncada Jiménez^{1,2}

¹ Posgrado en Ciencias del Movimiento Humano, Universidad de Costa Rica

² Centro de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano (CIMOHU), Universidad de Costa Rica

Bachiller en Ciencias del Movimiento Humano, UCR.

E-mail: josemiguel5692@gmail.com

Doctor en Ciencias

Recibido: 1 de septiembre del 2015 Aceptado: 20 de diciembre del 2015

Resumen

Objetivo: Existe escasa evidencia acerca de la aptitud física y la salud psicológica de los oficiales de seguridad universitarios. El objetivo del estudio fue describir la salud física y psicológica de los oficiales de seguridad de la Universidad de Costa Rica.

Método: En el estudio participaron 26 hombres, cuyo promedio ($M \pm DE$) de edad, peso, estatura e índice de masa corporal (IMC) fueron $42,0 \pm 7,2$ años, $87,3 \pm 14,9$ kg, $173,3 \pm 5,4$ cm, y $29,1 \pm 4,7$ kg/m², respectivamente. Los participantes llenaron el cuestionario Job Stress Survey (JSS) y se les evaluó la densidad mineral ósea, % de grasa corporal, la capacidad aeróbica, fuerza muscular, resistencia muscular y flexibilidad.

Resultados: Se encontraron puntajes bajos en el JSS ($M = 14,8 \pm 7,3$ pts.), y correlaciones significativas ($p < 0,05$) entre la resistencia muscular y la capacidad aeróbica ($r = 0,44$), flexibilidad y capacidad aeróbica ($r = 0,40$) y densidad mineral ósea y fuerza muscular ($r = 0,44$).

Discusión: En conclusión, los oficiales de seguridad de la Universidad de Costa Rica poseen bajo estrés laboral, y de acuerdo a las guías actuales del Colegio Americano de Medicina Deportiva se catalogan como personas con sobrepeso, con capacidad aeróbica y flexibilidad “pobre”, fuerza muscular “promedio”, aunque con una resistencia muscular “muy buena”.

Palabras claves: condición física, fuerza, capacidad aeróbica, seguridad, estrés laboral.

Abstract

Objective: There is scarce evidence about the physical fitness and psychological health of university security officers. Therefore, the aim of the study was to describe the physical and psychological health of security officers from the University of Costa Rica.

Method: Participants were 26 males, whose mean ($M \pm SD$) age, weight, height and body mass index (BMI) were $42,0 \pm 7,2$ yr., $87,3 \pm 14,9$ kg, $173,3 \pm 5,4$ cm and $29,1 \pm 4,7$ kg/m², respectively. Participants completed the Job Stress Survey (JSS) and were evaluated on bone mineral density, % body fat, aerobic capacity, muscular strength, muscular endurance and flexibility.

Results: Low scores were found in the JSS ($M = 14,8 \pm 7,3$ pts.), and significant correlations ($p < 0,05$) between muscle strength and aerobic capacity ($r = 0,44$), flexibility and aerobic capacity ($r = 0,40$), and bone mineral density and muscle strength ($r = 0,44$).

Discussion: In conclusion, security officers from the University of Costa Rica have low job stress, and according to the current American College of Sports Medicine guidelines are categorized as overweight, with “poor” aerobic capacity and flexibility, “average” muscle strength though with “very good” muscular endurance.

Keywords: fitness, strength, aerobic capacity, safety, workplace stress.