



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**  
**ESCUELA DE KINESIOLOGÍA**

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE LA  
MUSCULATURA INSPIRATORIA EN LAS VARIABLES  
CARDIOVASCULARES**

Trabajo presentado para optar al Título Profesional de Kinesiólogo

**FABIANA JOSÉ FLORES JOFRÉ**  
**TAMARA DOMINIQUE HERNÁNDEZ VERGARA**  
**YANIRA SCARLETH HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**  
**JORGE LUCIANO MUÑOZ ZAMORANO**

**PROFESORA GUÍA: CARMEN GLORIA ZAMBRANO BRAVO**

Noviembre de 2022.

Talca, Chile.

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2023

## DERECHOS DE AUTOR

© 2022, Fabiana José Flores Jofré, Tamara Dominique Hernández Vergara, Yanira Scarleth Hernández Hernández, Jorge Luciano Muñoz Zamorano, Carmen Gloria Zambrano Bravo. Se autoriza la reproducción total y/o parcial con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y su autor.

## DEDICATORIA

Dedicamos la siguiente investigación

a nuestra familia y más cercanos,

por su constante motivación,

por su paciencia y su comprensión.

Sin ellos nada de esto sería posible.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestra profesora guía, Kinesióloga Carmen Gloria Zambrano por apoyarnos en todas las etapas de este proceso, por su paciencia, dedicación como docente y su infinita comprensión.

## TABLA DE CONTENIDOS

DERECHOS DE AUTOR.....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.2. Pregunta de investigación.....	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
2. DESARROLLO.....	19
2.1. Musculatura respiratoria.....	19
2.1.1. Diafragma.....	20
2.1.2. Músculos intercostales y accesorios.....	21
2.2. Efectos del ejercicio intenso en el sistema cardiovascular.....	22
2.3. Fatiga muscular y metabo reflejo.....	23

2.4. Entrenamiento musculatura inspiratoria.....	25
3. METODOLOGÍA.....	27
3.1. Búsqueda bibliográfica.....	27
3.1.1. Método de búsqueda para la identificación de estudios.....	27
3.2. Estrategia de búsqueda.....	28
3.2.1. Palabras claves y términos mesh .....	28
3.2.2. Número de artículos encontrados .....	28
3.3. Criterios de selección de estudios.....	33
3.3.1. Año de publicación de los estudios .....	33
3.3.2. Tipo de estudio .....	33
3.3.3. Tipo de participantes .....	33
3.3.4. Tipo de intervención .....	34
3.3.5. Tipo de resultados .....	34
4. RESULTADOS.....	35
4.1. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria y su efecto sobre la presión arterial en reposo y en ejercicio.....	35
4.2. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria y su efecto en la distribución del flujo sanguíneo durante el ejercicio.....	39
4.3 Entrenamiento de la musculatura inspiratoria y su efecto en la actividad nerviosa simpática.....	42

5. DISCUSIÓN.....	47
5.1. Efectos del EMI en la actividad nerviosa simpática y los mecanismos por los cuales el EMI genera cambios en esta variable.....	47
5.2. Efectos del EMI en la actividad nerviosa simpática y los mecanismos por los cuales el EMI genera cambios en esta variable.....	50
5.3. Efectos del EMI en la actividad nerviosa simpática y los mecanismos por los cuales el EMI genera cambios en esta variable.....	52
5.4. Limitaciones: Revisión bibliográfica.....	57
5.5. Proyecciones.....	58
6. CONCLUSIÓN.....	59
7. GLOSARIO.....	61
8. REFERENCIAS.....	62



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de datos y recopilación de estudios, basados en el entrenamiento de la musculatura inspiratoria y la variable cardiovascular de .....	37
Tabla 2. Resumen de datos y recopilación de estudios, basados en el entrenamiento de la musculatura inspiratoria y la variable de flujo sanguíneo.....	41
Tabla 3. Resumen de datos y recopilación de estudios, basados en el entrenamiento de la musculatura inspiratoria y la actividad nerviosa y simpática.....	45

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Flujograma de búsqueda para “Inspiratory muscle training” AND “blood pressure” .....	30
Ilustración 2: Flujograma de búsqueda para “Inspiratory muscle training” AND “blood flow” .....	31
Ilustración 3: Flujograma de búsqueda para “Inspiratory muscle training” AND “sympathetic activity” .....	32

## RESUMEN

**Objetivo:** revisar la literatura de los últimos 10 años, relacionada con los mecanismos fisiológicos por los cuales el entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) provoca cambios en las variables cardiovasculares.

**Metodología:** la búsqueda de artículos se realizó en 2 plataformas electrónicas: Pubmed y Web of science. La selección de artículos se limitó aplicando filtros del año de la publicación (2012 - 2022). Los evaluadores en primera instancia incluyeron los estudios de caso control, ensayo clínico aleatorizado y reporte de caso. En segunda instancia se incluyeron los artículos con sujetos sanos y con patologías cardíacas, sujetos físicamente activos y sedentarios. Los artículos no incorporados se descartaron mediante los criterios de exclusión ya sea revisiones bibliográficas, los metaanálisis y cartas al editor.

**Resultados:** el entrenamiento de la musculatura inspiratoria tiene efectos positivos en la presión arterial, disminuyendo la presión diastólica y sistólica en sujetos con hipertensión arterial y en sujetos sanos. Además de disminuir el

secuestro de flujo sanguíneo desde zonas periféricas en sujetos con insuficiencia cardíaca crónica y en sujetos sanos. Por otro lado, se evidencia disminución de la actividad del nervio simpático muscular en sujetos que padecen Insuficiencia crónica, hipertensión y en sujetos sanos.

**Conclusión:** según los resultados obtenidos, el entrenamiento de la musculatura inspiratoria produce efectos favorables en las variables cardiovasculares autonómicas. No obstante, aún existe controversia sobre los mecanismos fisiológicos mediante los cuales se generan estos cambios.

**Palabras claves:** entrenamiento de la musculatura inspiratoria, presión arterial, frecuencia cardíaca, flujo sanguíneo, actividad simpática.

## ABSTRACT

**Objective:** to review the literature of the last 10 years, related to the physiological mechanisms by which inspiratory muscle training (IMT) causes changes in cardiovascular variables.

**Methodology:** the search for articles was carried out on 2 electronic platforms: Pubmed and Web of science. The selection of articles was limited by applying filters of the year of publication (2012 - 2022). The evaluators in the first instance included the case control studies, randomized clinical trial and case report. In the second instance, articles with healthy subjects and with cardiac pathologies, physically active and sedentary subjects were included. Unincorporated articles were discarded using the exclusion criteria of literature reviews, meta-analyses, and letters to the editor.

**Results:** inspiratory muscle training has positive effects on blood pressure, lowering diastolic and systolic pressure in subjects with arterial hypertension and in healthy subjects. In addition to reducing the sequestration of blood flow from

peripheral areas in subjects with chronic heart failure and in healthy subjects. On the other hand, there is evidence of a decrease in the activity of the muscular sympathetic nerve in subjects suffering from chronic insufficiency, hypertension and in healthy subjects.

**Conclusion:** according to the results obtained, inspiratory muscle training produces favorable effects on autonomic cardiovascular variables. However, there is still controversy about the physiological mechanisms by which these changes are generated.

**Key words:** inspiratory muscle training, blood pressure, heart rate, blood flow, sympathetic activity.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el transcurso de los años se ha podido evidenciar un aumento de las personas que padecen uno o más tipos de patologías crónicas que afectan el correcto funcionamiento a nivel del sistema cardiovascular, aumentando el riesgo de mortalidad y deteriorando la calidad de vida.

En el año 2017 ocurrieron 55 millones de muertes en el mundo y de estos 17,7 millones fueron por causas cardiovasculares. Además, es importante destacar que aproximadamente 12 millones de estas muertes (70%) pudieron haber sido prevenidas mediante la corrección de un pequeño número de “factores de riesgo potencialmente modificables”. (Salim Yusuf, 2019).

En Chile la prevalencia de enfermedades cardiovasculares es alta, afectando negativamente al sistema de salud. Para el año 2015, la carga por enfermedad cardiovascular llegó a ser un 12,97% del total de los años de vida ajustados por discapacidad (AVISA), impactando directamente en la calidad de vida de quienes la padecen. Estas patologías, además, son la principal causa de muerte en Chile,

representando en el año 2014 un 27,53% del total de defunciones. (MINSAL, 2017).

Llevando a quienes las padecen a disminuir los niveles de actividad física, pudiendo llegar a afectar la realización de actividades de la vida diaria y perpetuar el comportamiento sedentario, provocando un mayor riesgo cardiovascular.

Existen variadas intervenciones terapéuticas capaces de mejorar la salud y calidad de vida en las personas que padecen enfermedades cardiovasculares o presentan factores de riesgo cardiovascular, entre ellas la realización de ejercicio aeróbico, ya que posee efectos favorables y con base científica sustentable sobre la modificación de las variables cardiovasculares. Sin embargo, entre el 60% y 70% de la población adulta no cumple con el requerimiento de actividad física semanal, por lo que es de suma importancia la implementación de un tipo de intervención complementaria, como intervenciones que tengan el potencial de mejorar la función respiratoria y en consecuencia, prevenir la morbilidad y la mortalidad de los pacientes con enfermedades crónicas (Bott, 2009), mediante un protocolo de entrenamiento eficaz como lo es el entrenamiento de la musculatura respiratoria (EMR).



En este sentido DeLucia en 2021, menciona que el EMR es una estrategia terapéutica eficaz y segura para el fortalecimiento respiratorio y ha demostrado numerosos beneficios, como aumento de la fuerza y la resistencia muscular inspiratoria, mejora de la función pulmonar y cardiovascular, incremento de la capacidad para el ejercicio y por consiguiente, mejoras en la calidad de vida.

Estudios recientes demuestran que, específicamente, el entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) genera cambios favorables en las variables cardiovasculares, debido a que genera supresión aguda del flujo de salida nervioso simpático. (DeLucia, 2021) modulando así variables cardiovasculares como la presión arterial (PA), frecuencia cardiaca (FC) y flujo sanguíneo tanto a mediano como largo plazo. Sin embargo, surgen dudas sobre los efectos beneficiosos que conlleva el entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI), además de no tener claro el mecanismo fisiológico por el cual cambian estas variables.

En base a esto, es que esta revisión bibliográfica tiene como objetivo principal, revisar la literatura de los últimos 10 años, relacionada con los efectos que tiene el EMI en las variables cardiovasculares. Dada la importancia que podría llegar a tener en los pacientes y en los profesionales de la salud en el ámbito de la rehabilitación y en la calidad de vida.

## **1.2. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son los efectos del entrenamiento de la musculatura inspiratoria (EMI) en las variables cardiovasculares?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- ❖ Revisar la literatura de los últimos 10 años, relacionada con los efectos del EMI en las variables cardiovasculares.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ❖ Revisar los efectos del EMI en sujetos sanos y con patologías crónicas en la variable de presión arterial.
- ❖ Revisar los efectos del EMI en sujetos sanos y con patologías crónicas en la variable de flujo sanguíneo.

- ❖ Revisar los efectos del EMI en sujetos sanos y con patologías crónicas en la variable de actividad simpática.
- ❖ Revisar los mecanismos fisiológicos por los cuales el EMI provoca cambios en las variables cardiovasculares.

## **2. DESARROLLO**

### **2.1. Musculatura respiratoria**

Son los que proveen la energía mecánica que cambia rítmicamente el volumen del tórax y abdomen, produciendo los cambios de presión que movilizan el aire. (Cruz Mena, et al 2007). Dicho en otras palabras, son los encargados de la regulación de las presiones normales de oxígeno (O<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (Co<sub>2</sub>), además de regular las concentraciones de hidrogeniones, por lo que la ventilación pulmonar se adecua constantemente a las demandas metabólicas del sistema.

El intercambio gaseoso entre el O<sub>2</sub> y Co<sub>2</sub> requiere de una constante serie de contracciones y relajaciones controladas rítmicamente por la musculatura respiratoria, tanto de la musculatura inspiratoria: diafragma, escalenos, paraesternales, esternocleidomastoideo, trapecio, pectorales e intercostales externos; como de la musculatura espiratoria: intercostales internos y abdominales.

### **2.1.1 Diafragma**

Es un músculo en forma de cúpula que separa la cavidad torácica de la abdominal, posee fibras de tipo I, IIa y IIx, además de ser el principal músculo de la respiración. Al momento de contraerse, los órganos alojados en la cavidad abdominal son empujados hacia abajo, desplazando la pared del abdomen hacia afuera y provocando así un aumento de la presión abdominal; a su vez, la cavidad torácica se eleva y desplaza hacia afuera provocando una presión pleural negativa, la cual insufla los pulmones.

Este músculo se contrae de manera continua debido a sus características fisiológicas. Su contenido de mitocondrias y citocromo-oxidasas, su capacidad de metabolizar lactato y su flujo sanguíneo son intermedios entre los músculos esqueléticos y el miocardio. Estas cualidades permiten que el diafragma cumpla su papel de órgano esencial para la vida. (Cruz Mena, et al 2007).

### **2.1.2. Músculos intercostales y accesorios**

Los músculos intercostales externos son los encargados de estabilizar la cavidad torácica cuando el diafragma se contrae, sumados a la musculatura accesoria (esternocleidomastoideo, pectorales y trapecio) son los responsables del aumento de la cavidad anteroposterior del tórax y de la función inspiratoria. Por otra parte, los músculos intercostales internos se encargan de la función espiratoria.

Gracias a la energía elástica acumulada durante la inspiración, el proceso de espiración se da de manera pasiva. Aun así, la musculatura espiratoria está diseñada para vencer tanto la fuerza de elasticidad del pulmonar y del tórax que tienden a mantenerse en su posición de equilibrio al final de la espiración, como también las resistencias friccionales producto del roce del aire en las vías aéreas. (Cruz Mena, et al 2007).

## **2.2. Efectos del ejercicio intenso en el sistema cardiovascular**

El ejercicio físico intenso o “el ejercicio de alta intensidad causa un aumento considerable en el trabajo muscular respiratorio, lo que lleva a un costo metabólico y circulatorio sustancial” (Dominelli et al, 2017), dejando en claro que el ejercicio intenso tiene efecto tanto sobre el sistema respiratorio como también sobre el sistema cardiovascular.

En el estudio De Lucia centrado en adultos sanos, con un protocolo de alta intensidad, el cual consistió en 30 respiraciones al día con una carga del 75% P<sub>lmax</sub>, género reducciones en la variable cardiovascular de presión arterial. demostrando cambios beneficiosos en los pacientes sometidos a este protocolo.

Por otra parte, Chiapa y colaboradores, realizaron un estudio en personas con insuficiencia cardiaca crónica y debilidad de la musculatura inspiratoria, se sometieron a un protocolo de entrenamiento con carga resistiva de 4 semanas, 30 minutos, 7 veces a la semana, en la cual se destaca la disminución en la resistencia vascular periférica, demostrando los cambios que genera en la redistribución del flujo sanguíneo hacia las extremidades.

Así mismo en el año 2021 DeLucia, realizo un estudio en 14 jóvenes sanos, con un protocolo de alta intensidad al 75% P<sub>I</sub>max, demostrando la atenuación de la actividad nerviosa simpática tanto en hombres como en mujeres.

Estos estudios basados en entrenamientos intensos demuestran los cambios favorables y los beneficios que aportan a las personas sometidas a estos protocolos de intervención, los cuales se ven reflejados objetivamente en los resultados obtenidos en las variables cardiovasculares y en la actividad nerviosa simpática.

### **2.3. Fatiga muscular y metabo reflejo**

La fatiga del músculo esquelético se define como una condición temporal en la que hay una disminución en la capacidad de generación de fuerza muscular que es reversible con el reposo (NHLBI, 1990).

La fatiga muscular se divide en dos tipos: central cuando es provocada por una reducción de la actividad de los centros motores y la periférica si esta se produce



en la unión neuromuscular, a su vez se observa cuando las demandas metabólicas superan los aportes energéticos que recibe la musculatura, agotando así sus reservas y disminuyendo la capacidad de contracción muscular. Existen evidencias que éste se asocia a una acumulación de metabolitos, con disminución del pH intramuscular. (Cruz Mena, et al 2007).

Debido a los “altos niveles de trabajo muscular respiratorio y la acumulación asociada de metabolitos en los músculos respiratorios, activan aferentes frénicos tipo III-IV, que inducen aumentos reflejos en la actividad vasoconstrictora simpática de las extremidades” (Dempsey et al, 2006). La vasoconstricción a nivel de miembros inferiores (MMII) genera redistribución del flujo sanguíneo desde la musculatura apendicular hasta los músculos ventilatorios, desencadenando “una relación competitiva entre los músculos locomotores y respiratorios para un gasto cardíaco finito” (Dominelli et al, 2017), con el fin de mantener el rendimiento de esta musculatura. Así mismo el metabo reflejo se basa en un aumento de la actividad del sistema nervioso simpático, lo que a nivel cardiovascular se evidencia en un aumento de la presión arterial y de la frecuencia cardíaca.

## **2.4. Entrenamiento musculatura inspiratoria**

“El entrenamiento de los músculos inspiratorios (EMI) mejora el rendimiento del ejercicio físico en sujetos no entrenados y entrenados, (Gething AD, 2004) en diversos deportes y ejercicios de resistencia (Griffiths LA, 2007) y durante sprint repetidos” (Romer, 2002). Por otro lado, se ha descubierto que los dispositivos utilizados en los programas de rehabilitación, con el objetivo de mejorar la fuerza y la resistencia de los músculos respiratorios, han obtenido como resultado una reducción en la sensación de disnea y un incremento de la tolerancia al ejercicio”. (Jardim JR, 2002).

El estudio de Ublo Sakka-jones en sujetos mayores con hipertensión, demostró cambios favorables en la reducción de la variable de presión arterial en un protocolo de 25% de P<sub>I</sub>max, demostrando así la efectividad del EMI en la reducción de presión arterial en sujetos mayores y patológicos.

Por parte de los efectos del EMI en el flujo sanguíneo, Chiappa. et al evidenciaron aumento de este hacia los miembros inferiores frente a tareas fatigosas posterior a 4 semanas de entrenamiento. A su vez Shell y colaboradores midieron el flujo sanguíneo de las piernas, dando como resultado una disminución del flujo

sanguíneo hacia las piernas en condiciones de fatiga, lo cual se atribuye a la presencia del metabo reflejo por un aumento del flujo vasoconstrictor simpático hacia las piernas en reposo. Además, Gonzalez et al, indicaron que el EMI influye en el metabolismo de la musculatura inspiratoria, generando una menor demanda de oxígeno.

Finalmente, en el año 2012 Mello y colaboradores en su investigación en base a sujetos con insuficiencia cardíaca, según un protocolo EMI con aumento mensual del 30% de la P<sub>I</sub>max, se observó una disminución del nervio simpático en el grupo sometido a dicho entrenamiento. Demostrando así que el EMI es capaz de disminuir la actividad nerviosa simpática muscular provocando así una menor vasoconstricción.

Según los diversos artículos mencionados, se evidencia que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria tiene suma importancia a nivel cardiovascular y autonómico en cuanto a la modulación y disminución de las variables de presión arterial, flujo sanguíneo y actividad nerviosa simpática. Tomando así un rol fundamental como base de entrenamiento para óptimas intervenciones en las personas con y sin patologías.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Búsqueda bibliográfica**

##### **3.1.1. Método de búsqueda para la identificación de estudios**

Se realizó la búsqueda de información en las bases de datos electrónicas: PubMed y Web of science. Los evaluadores recopilaron información mediante los títulos y resúmenes de los artículos encontrados durante la búsqueda. Se descartaron mediante los criterios de exclusión y se seleccionaron los que presentaban los criterios de elegibilidad para la evaluación de los artículos completos de manera específica según temática por cada evaluador.

## **3.2. Estrategia de búsqueda**

### **3.2.1. Palabras claves y términos mesh**

Las palabras claves utilizadas fueron: “inspiratory muscle training” AND “blood pressure”, “inspiratory muscle training” AND “heart rate”, “inspiratory muscle training” AND “sympathetic activity” y “inspiratory muscle training” AND “blood flow”.

### **3.2.2. Número de artículos encontrados**

- ❖ Para “Inspiratory muscle training” AND “blood pressure”, la búsqueda inicial arrojó 350 resultados, en la revisión de título se eliminaron 325 por no estar relacionados con el tema, en la revisión detallada, de 25 artículos revisados, se escogieron un total de 6 artículos que cumplieran con criterios de elegibilidad y que podían ser incluidos dentro del análisis de la investigación.

- ❖ Para “Inspiratory muscle training” AND “blood flow”, la búsqueda inicial arrojó 20 resultados de los cuales 2 artículos cumplen con los criterios para ser incluidos dentro del análisis.
  
- ❖ Para “Inspiratory muscle training” AND “sympathetic activity”, la búsqueda inicial arrojó 21 resultados, en la revisión del título y el resumen se eliminaron 6 artículos por no estar relacionados con el tema, en la revisión de manera detallada, se excluyeron 9 artículos por no cumplir con los criterios de elegibilidad, quedando un total de 6 artículos que podían ser incluidos dentro del análisis de la investigación.

Ilustración 1: Flujograma de búsqueda para “Inspiratory muscle training” AND “blood pressure”.

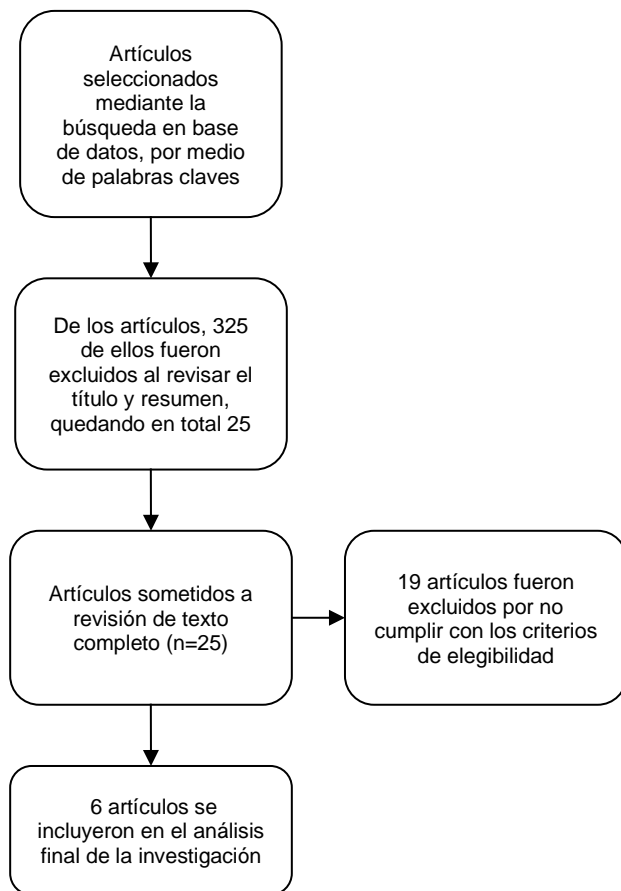


Ilustración 2: Flujograma de búsqueda para “Inspiratory muscle training” AND “blood flow”.

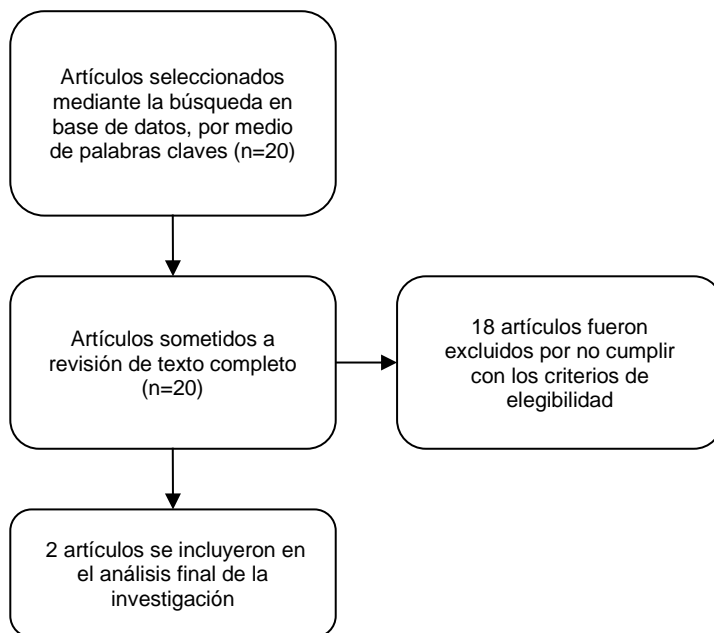
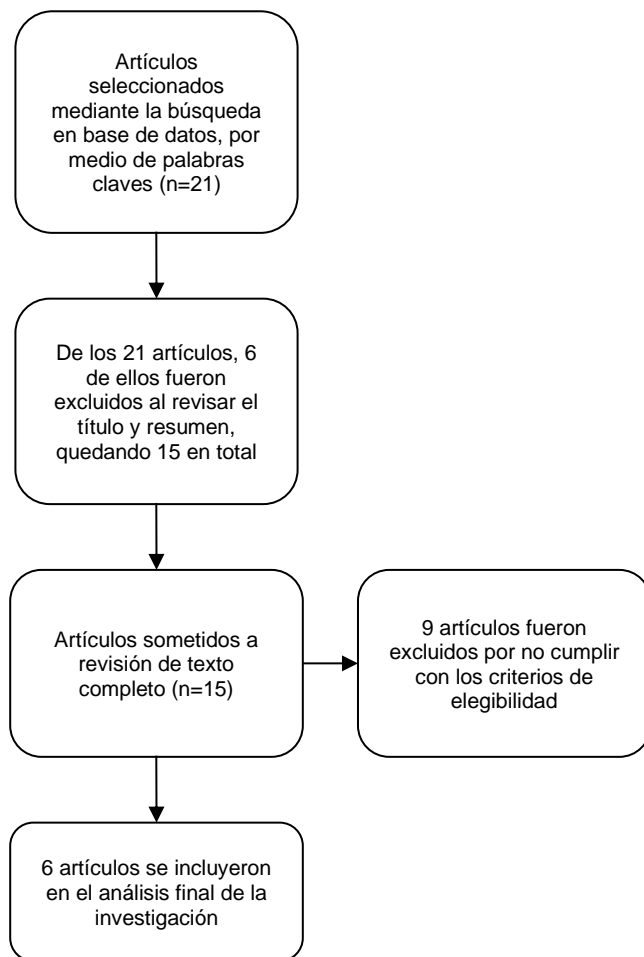




Ilustración 3: Flujograma de búsqueda para “Inspiratory muscle training” AND “sympathetic activity”.



### **3.3. Criterios de selección de estudios**

#### **3.3.1. Año de publicación de los estudios**

La búsqueda de artículos se limitó aplicando filtros del año de la publicación (2012 - 2022) y ensayos controlados aleatorios (ECA). Las restricciones de idiomas no fueron incluidas.

#### **3.3.2. Tipo de estudio**

Se incluyeron los estudios de caso control, ensayo clínico aleatorizado y reporte de caso. En la revisión se excluyeron las revisiones bibliográficas, los metaanálisis y cartas al editor.

#### **3.3.3. Tipo de participantes**

Se incluyeron sujetos sanos y con patologías cardíacas, sujetos físicamente activos y sedentarios.

#### **3.3.4. Tipo de intervención**

Los estudios incluidos analizaron diversos protocolos de EMI en las variables cardiovasculares autonómicas. Las intervenciones experimentales relacionadas al EMI se podían comparar a 2 grupos, un grupo control (sin EMI) o placebo (con EMI sin carga en la P<sub>I</sub>max o una carga menor al 30% P<sub>I</sub>max). A su vez había artículos con 3 grupos, grupo 1 (con EMI), grupo 2 (ejercicios aeróbicos) y grupo 3 (EMI y ejercicios aeróbicos). Además de plantear protocolos con diversas intensidades en la P<sub>I</sub>max (desde 30% hasta el 75% P<sub>I</sub>max) en una población variada de participantes (con y sin patologías).

#### **3.3.5. Tipo de resultados**

Los resultados primarios fueron la reducción de los niveles de presión arterial (PA; medida en mmHg), la reducción del flujo sanguíneo y la disminución de la actividad nerviosa simpática (MSNA; medida en ráfagas por minuto).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria y su efecto sobre la presión arterial en reposo y en ejercicio.

La tabla 1 resume los estudios que fueron utilizados en esta revisión, los cuales evidencian el efecto que tiene el EMI en la reducción de la presión arterial y la frecuencia cardíaca, en reposo post intervención

Estos estudios demuestran que un entrenamiento mayor a 5 semanas con carga tanto inspiratoria como espiratoria generará una disminución en los valores de presión arterial, una mejora del control autonómico cardiovascular, debido a que se reduce la modulación simpática y aumenta la parasimpática, ya sea en sujetos jóvenes o adultos y sanos o hipertensos.

El estudio de Ublosakka-jones en sujetos mayores con hipertensión fue uno de los que generó mayores cambios en la presión arterial, una reducción de 22,4 mmhg en la presión arterial sistólica con una carga al 25% de la PIMAX,

demostrando que el EMI es efectivo a la hora de generar reducciones en la presión arterial aún en sujetos mayores y patológicos.

Así como también Vranish en su estudio evidenció que aun en sujetos sanos tanto con carga inspiratoria como espiratoria el EMI generaría cambios tanto en la presión arterial como en la frecuencia cardiaca.

**Tabla 1. Resumen de datos y recopilación de estudios, basados en el entrenamiento de la musculatura inspiratoria y presión arterial y frecuencia cardiaca.**

Nombre del estudio	Autores	Sujetos	N°	Protocolo	Intensidad	Resultado de la variable de interés
<b>Effect of inspiratory muscle training with load compared with sham training on blood pressure in individuals with hypertension: study protocol of a double-blind randomized clinical trial.</b>	Bott, J., et al	Sujetos con hipertensión, sin tratamiento farmacológico que toman solo un diurético tiazídico	11	30 min por día 7 veces a la semana por 8 semanas grupo EMI (6). grupo control sin carga (5)	40% PIMAX	Diferencia de 8 mmHg en la presión arterial sistólica entre el grupo de tratamiento activo y el de control
<b>An inspiratory load enhances the antihypertensive effects of home-based training with slow deep breathing: a randomised trial</b>	Jones C.U., et al	Sujetos con hipertensión esencial* estadio I o II	30	2 veces al día por 8 semanas, grupo de tratamiento con carga (10), grupo sin carga (10), grupo control sin tratamiento (10)	20cmH2O presión inspiratoria	Ambos grupos de entrenamiento mostraron reducciones significativas en la presión arterial sistólica y diastólica de 5 a 15 mmHg
<b>Inspiratory muscle training reduces blood pressure and sympathetic activity in hypertensive patients: a randomized controlled trial</b>	Ferreira J.B., et al	Sujetos con hipertensión esencial de todos los estadios	13	30 min, 7 veces a la semana por 8 semanas, grupo tratamiento (6) y grupo control sin carga (7)	30% PIMAX	Hubo un aumento significativo en la fuerza de los músculos inspiratorios en el grupo EMI (82,7±28,8 frente a 121,5±21,8 cm H2O) Hubo una disminución tanto de la sistólica (de 133,2±9,9 a 125,2±13,0 mm Hg) y diastólica (de 80,7±12,3 a

						75,2±1,0 mm Hg,) en el grupo EMI después del entrenamiento El componente de frecuencia cardiaca aumentó en el grupo EMI post entrenamiento (75,5±14,6 frente a 84,7±7,5
<b>Daily inspiratory muscle training lowers blood pressure and vascular resistance in healthy men and women.</b>	DeLucia C.M. , et al	Adultos sanos	25	30 respiraciones al día, 5 veces a la semana por 5 semanas	75% PIMAX	Los sujetos masculinos y femeninos del grupo EMI mostraron disminuciones en la presión arterial sistólica/diastólica -4,3/-3,9 mmHg,
<b>Daily respiratory training with large intrathoracic pressures, but not large lung volumes, lowers blood pressure in normotensive adults</b>	Vranish J. R., et al	Jóvenes sanos	50	30 respiraciones al día 5 veces a la semana por 6 semanas 5 grupos controlando los volúmenes respiratorios	75% PIMAX grupo 1 (10) 75% PEMAX grupo 2 (10) 75% PIMAX grupo 3 (10) sin carga grupo 4 (10) 15% PIMAX grupo 5 (10)	Hubo una disminución de 9,68 mmHg en la PAS, una reducción de 6,13 mmHg en la PAD y una reducción de 7,32 mmHg en la PAM en el grupo 1. Hubo una reducción de 10,80 mmHg en la PAS, una reducción de 4,33 mmHg en la PAD y una reducción de 6,49 mmHg en la PAM del grupo 2. Hubo una reducción de 6,40 mmHg en la PAS, una reducción de 5,28 mmHg en la PAD y una reducción de 5,65 mmHg en PAM del grupo 3. No hubo cambios significativos de PA en el grupo 4 ni en el grupo 5

<p><b>Slow loaded breathing training improves blood pressure, lung capacity and arm exercise endurance for older people with treated and stable isolated systolic hypertension</b></p>	<p>Ublosakka-Jones, et al</p>	<p>Personas mayores con hipertensión sistólica aislada** de leve a moderada controlada</p>	<p>37</p>	<p>60 respiraciones al día, todos los días por 8 semanas, grupo tratamiento (16) grupo control sin carga (16)</p>	<p>25% PIMAX</p>	<p>La presión arterial disminuyó 22,4 mmhg en grupo de tratamiento y 5,1 para el control la frecuencia cardiaca disminuyó 10,3 lpm para el grupo de tratamiento y sin cambios para el grupo control</p>
--	-------------------------------	--	-----------	---	------------------	---

\*hipertensión esencial Se denomina hipertensión esencial o hipertensión primaria a la presión arterial alta (más de 140/90 mmHg) sin una causa reconocible

\*\*La hipertensión sistólica aislada se produce cuando la presión arterial diastólica es inferior a 80 milímetros de mercurio (mm Hg) y la presión arterial sistólica es de 130 mm Hg o más

#### **4.2. Entrenamiento de la musculatura inspiratoria y su efecto en la distribución del flujo sanguíneo durante el ejercicio.**

En la tabla número 2 se muestran los resultados obtenidos por Chiapa y colaboradores, en el año 2018, los cuales se destacan, aumento en el flujo sanguíneo en pantorrillas frente a carga resistiva inspiratoria, desde un  $2.84 \pm 1.6$  ml/min x 100 ml pre entrenamiento de la musculatura inspiratoria a un  $2.95 \pm 1$  ml/min x100ml luego de un protocolo de entrenamiento de 4 semanas, 30 minutos, 7 veces por semana en sujetos con insuficiencia cardiaca crónica (ICC). Además, se destaca disminución en la resistencia vascular en pantorrillas, la cual pre entrenamiento fue de  $40 \pm 17$  U a  $34 \pm 11$  U. Lo que demuestra que este tipo de



entrenamiento genera cambios en la distribución del flujo sanguíneo hacia las extremidades. debido a la atenuación de la vasoconstricción periférica en personas con ICC y debilidad de los músculos inspiratorios.

Por otro lado, en un estudio realizado en corredores recreativos de 800 metros, universitarios sanos, Yun-Chi Chang et al, evidenciaron disminución en el secuestro de flujo desde los miembros inferiores en ejercicio desde un  $19.91 \pm 11.65$  % a un  $9.63 \pm 7.62$ % posterior a 4 semanas de entrenamiento de la musculatura inspiratoria. Demostrando que este protocolo logra que la redistribución de flujo sea menor. Este efecto lo atribuyeron a la atenuación del metabo reflejo.

**Tabla 2. Resumen de datos y recopilación de estudios, basados en el entrenamiento de la musculatura inspiratoria y la variable de flujo sanguíneo.**

Nombre del estudio	Autores	Sujetos	N°	Protocolo	Intensidad	Resultado de la variable de interés
<b>Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure</b>	Chiappa et al (2008)	Hombres con y sin Insuficiencia cardiaca	28	30 min, 7 veces a la semana por 4 semanas	60% PIMAX	Flujo sanguíneo pantorrillas pre EMI ( $2.84 \pm 1.6$ ml/min x100ml) post EMI ( $2.95 \pm 1$ ml/minx100ml)  Resistencia vascular pantorrillas pre EMI ( $40 \pm 17$ U) post EMI ( $34 \pm 11$ U)
<b>Effects of 4 weeks inspiratory muscle training in sport performance in college 800 meter track runners</b>	Yun-Chi Chang et al (2021)	Hombres corredores universitarios	20	4 semanas, 30 esfuerzos inspiratorios, 2 veces al día, 5 días a la semana	50%, 60%, 70% y 80% de la PIMAX	Secuestro de flujo MMII Pre EMI ( $19.91 \pm 11.65\%$ )  Post EMI ( $9.63 \pm 7.62\%$ )

#### 4.3 Entrenamiento de la musculatura inspiratoria y su efecto en la actividad nerviosa simpática.

La tabla número 3 detalla las características de cada uno de los artículos utilizados en esta revisión. Al respecto, se puede destacar que, en el año 2012 Mello y colaboradores, intervinieron 27 pacientes con insuficiencia cardiaca, realizando un protocolo de entrenamiento inspiratorio, con aumento mensual del 30% de P<sub>lmax</sub>, consistente en 7 sesiones de 30 minutos por semana durante un período de 12 semanas. Se observó que en el grupo control la actividad del nervio simpático muscular fue de  $37,1 \pm 3$  ráfagas por minuto versus  $29,5 \pm 2,3$  ráfagas por minuto del grupo que fue intervenido con EMI, demostrando así que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria es capaz de disminuir la actividad del nervio simpático muscular provocando así una menor vasoconstricción. Así mismo, el año 2012 Ferreira y colaboradores, realizaron un estudio en 13 pacientes hipertensos los cuales fueron divididos en grupo EMI y grupo placebo, demostrando también una reducción de la descarga simpática en el grupo sometido a EMI.

Por otra parte, los estudios de Katayama y colaboradores en el año 2018, se centraron en 15 pacientes jóvenes sanos, los cuales se sometieron a 2 tandas de ejercicios utilizando una bicicleta ergométrica con un ciclo de trabajo del 50%, con una resistencia inspiratoria del 30% de P<sub>lmax</sub>. Los resultados fueron significativos en base a la disminución en la actividad simpática en hombres y mujeres de las cuales fue menor en mujeres ( $+9,6 \pm 2,9$  ráfagas min<sup>-1</sup>) frente a

hombres ( $+14,6 \pm 6,4$  ráfagas  $\text{min}^{-1}$ ). Así mismo en el año 2021 DeLucia y colaboradores, realizan un estudio en 14 jóvenes sanos, quienes realizaron una serie única de EMI de alta intensidad, establecida en el 75 % P<sub>I</sub>max. Demostrando cambios significativos en la disminución de la actividad simpática tanto en hombres como en mujeres, siendo una disminución mayor en mujeres ( $3,6 \pm 0,6$  ráfagas/15 s bin) que en hombres ( $6,8 \pm 1,1$  ráfagas/15 s bin).

Por el contrario, en el estudio realizado por Ribeiro y colaboradores en el año 2021, participaron 42 pacientes con defecto cardíaco univentricular sometidos a la operación de Fontan; quienes se dividieron en 2 grupos, un grupo fue sometido a ejercicios aeróbicos supervisados y personalizados, mientras que el otro grupo fue sometido a un EMI al 60% P<sub>I</sub>max. Los resultados de este estudio mostraron la reducción en la actividad simpática del grupo sometido a un entrenamiento aeróbico, mientras que el grupo EMI no se reflejaron cambios en la variable simpática.

Finalmente, en el año 2021 Trevizan y colaboradores realizaron una investigación en 42 pacientes con insuficiencia cardiaca crónica, los cuales se dividieron en 3 grupos; el grupo 1 se sometió a un EMI al 60% P<sub>I</sub>max, el grupo 2 se sometió a entrenamiento aeróbico y el grupo 3 se sometió a un EMI al 60% P<sub>I</sub>max y

entrenamiento aeróbico. Evidenciando así que el EMI y el entrenamiento aeróbico por separado redujeron la actividad nerviosa simpática, pero que juntos no producen cambios significativos sobre el control neurovascular, esto se debe a que pocos pacientes tenían debilidad de la musculatura inspiratoria en esta investigación.

**Tabla 3. Resumen de datos y recopilación de estudios, basados en el entrenamiento de la musculatura inspiratoria y la actividad nerviosa simpática.**

Nombre del estudio	Autores	Sujetos	N°	Protocolo	Intensidad	Resultado de la variable de interés
<b>Inspiratory muscle training reduces sympathetic nerve activity and improves inspiratory muscle weakness and quality of life in patients with chronic heart failure: a clinical trial</b>	Priscila R Mello et al (2012)	Pacientes con insuficiencia cardíaca crónica	27	(1) Grupo control (sin intervención) y (2) grupo EMI, que consistió en ejercicios respiratorios, con carga de umbral inspiratorio de siete sesiones de 30 minutos por semana durante un período de 12 semanas.	Aumento mensual del 30 % (Pl <sub>máx</sub> ) en reposo.	Disminución de la actividad del nervio simpático muscular grupo control (37,1 ± 3 frente a grupo EMI 29,5 ± 2,3 ráfagas por minuto, P = 0,001)
<b>Inspiratory muscle training reduces blood pressure and sympathetic activity in hypertensive patients: a randomized controlled trial</b>	Janaína Barcellos Ferreira et al (2012)	Pacientes con hipertensión	13	(1) Programa EMI de ocho semanas (6 pacientes) (2) Protocolo EMI-placebo (P-EMI, 7 pacientes).	30% Pl <sub>max</sub>	Reducción simpática (Grupo placebo: 34,67 ± 20,38 vs grupo EMI 12,81 ± 6,68 n.u; p = 0,005 y una reducción de la descarga simpática cardíaca (fLF) en el grupo EMI (P = 0,01)
<b>Elevated sympathetic vasomotor outflow in response to increased inspiratory muscle activity during exercise is lower in young women compared to men</b>	Katayama et al (2018)	Pacientes adultos jóvenes sanos	15	Dos tandas de ejercicio de 10 min con un consumo máximo de oxígeno del 40 % utilizando una bicicleta ergométrica en una posición semi acostada, con un ciclo de trabajo del 50 %; resistencia inspiratoria del 30 % de la presión inspiratoria máxima].	30%Pl <sub>max</sub>	Frecuencia de ráfagas de MSNA (mujeres +9,6 ± 2,9 ráfagas min <sup>-1</sup> frente a hombres +14,6 ± 6,4 ráfagas min <sup>-1</sup> ; P < 0,05).
<b>Aerobic exercise and inspiratory muscle training increase functional capacity in patients with univentricular physiology after Fontan operation: a randomized controlled trial.</b>	Aida Luiza Ribeiro Turquetto et al (2021)	Pacientes con fisiología univentricular después de la operación de Fontan	42	Veintisiete fueron derivados a un entrenamiento de ejercicios aeróbicos (AET) supervisado y personalizado de cuatro meses o un entrenamiento de los músculos inspiratorios (EMI)	60% Pl <sub>max</sub>	Grupo AET, presentó una reducción en MSNA [27 (25–32) vs. 22 (18–25) ráfagas/min p = 0,042] Grupo EMI no hubo variaciones.
<b>Acute cardiovascular responses to a single bout of high-intensity inspiratory muscle strength training in healthy</b>	Claire M DeLucia et al (2021)	Pacientes adultos jóvenes sanos	14	(7 mujeres/7 hombres, edad: 22 ± 2 años) para realizar una serie única de EMI (resistencia inspiratoria establecida en el 75 % de la	75% Pl <sub>max</sub>	Disminución significativa en MSNA hombres (6,8 ± 1,1 ráfagas/15 s bin; P < 0,001 frente a mujeres 3,6 ± 0,6

young adults.				presión inspiratoria máxima) de alta intensidad. a la presión inspiratoria objetivo y al trabajo muscular inspiratorio objetivo por respiración.		ráfagas/15 s bin) en relación con la línea de base.
<b>Effects of inspiratory muscle training combined with aerobic training on neurovascular control in patients with chronic heart failure.</b>	Patricia F Trevizan et al (2021)	Pacientes con insuficiencia cardíaca crónica	42	EMI (n = 11), AET (n = 12), EMI + AET (n = 9), y sin entrenamiento (NT; n = 10). EMI consistió en sesiones de 30 min, cinco veces por semana, durante 4 meses. El AET moderado consistió en sesiones de 60 min, tres veces por semana durante 4 meses.	60% P <sub>lmax</sub>	AET (-10 ± 2 ráfagas/min, P = 0,03) y EMI + AET (-13 ± 4 ráfagas/min, P = 0,007) redujeron el MSNA.

EMI: entrenamiento de la musculatura inspiratoria.

AET: entrenamiento de ejercicios aeróbicos.

P<sub>lmax</sub>: presión inspiratoria máxima.

MSNA: actividad nerviosa simpática.

## 5. DISCUSIÓN

### **5.1. Efectos del EMI en la PA y los mecanismos fisiológicos por los cuales el EMI genera cambios en esta variable.**

Fueron 6 artículos analizados en esta revisión que consideraron el EMI y su efecto en la PA, los cuales demostraron que el entrenamiento con carga genera cambios tanto en la PAS como en la PAD, siendo la carga alta la que genera cambios tanto en la PAD como en la PAS y las cargas bajas sólo en la PAS, como fue demostrado por Ublosakka-Jones, et al (2018) en su estudio, donde una carga de 25% de la PIMAX generó modulación en la PAS de sujetos hipertensos, de esta manera se demuestra que los ejercicios con carga media promueven una de reducción de la PAS.

Por otra parte, el período de entrenamiento fluctuaba entre 5 y 8 semanas, siendo el estudio de DeLucia (2018) el de la magnitud más corta (5 semanas) dirigido a adultos sanos en donde su tratamiento de 30 respiraciones al día con una carga al 75% de la PIMAX generó reducciones de - 4,3 mmhg para PAS y - 3,9 para PAD para el grupo de tratamiento. Y los más largos fueron de 8 semanas con un 25% de la Pimax (Ublosakka-Jones, et al ,2018) y 40% pimax (Bott, J., et al, 2016), generando reducciones solo de PAS de -22,4 mmhg y -8 mmhg respectivamente. Por lo tanto, parece ser importante para generar los cambios



en la PAS Y PAD la carga utilizada más que el número de semanas de intervención.

Con respecto a la frecuencia cardiaca, Ublosakka-Jones, et al ,2018 demostró cambios solo en el grupo de tratamiento, generando una reducción de 10,3 lpm, con una carga de 25% de la pimax, 8 semanas de intervención y 60 respiraciones al día en sujetos hipertensos. Por otra parte, Ferreira (2013) en su estudio con sujetos hipertensos, obtuvo aumentos de la frecuencia cardiaca ( $75,5 \pm 14,6$  lpm pre versus  $84,7 \pm 7,5$  lpm post intervención) con una carga al 30% de la PIMAX con 8 semanas de intervención, 30 minutos y 7 veces a la semana. Ambos autores utilizaron cargas similares, número de semanas y población intervenida iguales; solo se diferenció el tiempo que fue mantenida la carga, siendo quizás esta variable importante para ser considerada; sin embargo, se desconoce la razón y el mecanismo que subyace a la diferencia de resultados. Por lo tanto, aún se desconoce cuál es el protocolo más adecuado para generar cambios beneficiosos en la frecuencia cardiaca.

La causa de los efectos del EMI sobre la PA se puede explicar por varios mecanismos fisiológicos, uno de ellos es el cambio en el patrón respiratorio, ya que la respiración tiene una influencia importante en el mecanismo de control de la PA. Se sabe que diferentes patrones de contracción muscular conducen a cambios en los volúmenes pulmonares y el tiempo respiratorio (Bernardi,2001)

Por ejemplo, durante la fase de inspiración, hay expansión de la cavidad torácica y la consiguiente reducción del retorno venoso debido a la compresión mecánica en las venas (Bernardi,2001) La reducción en el retorno venoso lleva a que se expulsen volúmenes de sangre reducidos del corazón, con una menor fuerza de contracción cardíaca, lo que contribuye a una disminución de la PA (Dempsey, 2006). El entrenamiento respiratorio que involucra manejo de la respiración aumenta la interacción entre la respiración y la dinámica cardiovascular, de esta manera generando una modulación de los reflejos quimiorreceptores y barorreceptores, algunos autores sugieren que este cambio en la dinámica cardiovascular conduce a una necesidad de reajuste mediado por la regulación barorrefleja, para aumentar la estimulación vagal inhibiendo la hiperactividad simpática, que promueve crónicamente la disminución de los niveles de presión arterial (Radaelli 2004).

Otro mecanismo involucrado, que algunos autores justifican, es la teoría metabolo refleja respiratoria, la cual postula que el fortalecimiento de la musculatura respiratoria generada por el EMI aumenta el umbral de activación de este mismo, reduce la disnea, la fatiga periférica y mejora el rendimiento. Este reflejo mediado por la hiperactividad simpática periférica se activa tempranamente en sujetos hipertensos (Dempsey, 2006), sin embargo, un aumento de la fuerza muscular respiratoria puede ser una forma de retrasar la

aparición de este reflejo predisponiendo a las personas a un estilo de vida más activo que conduce a una hiperactividad simpática periférica reducida (de Abreu, 2017).

## **5.2. Efectos del EMI en el flujo sanguíneo y los mecanismos fisiológicos por los cuales el EMI genera cambios en esta variable.**

Previo al entrenamiento el flujo sanguíneo hacia las pantorrillas disminuye significativamente (de  $19,91 \pm 11,65\%$  a  $9,63 \pm 7,62\%$ ) (Yun-Chi, 2021) Lo que es consistente con estudios previos. Sheel et al midieron el flujo sanguíneo de piernas además de la resistencia vascular periférica, teniendo como resultado disminución del flujo sanguíneo hacia las piernas y aumento en la resistencia vascular periférica en condiciones de fatiga, efecto que fue atribuido a la presencia de metabo reflejo por aumento del flujo vasoconstrictor simpático hacia las piernas en reposo.

Gonzalez et al, indican que frente a condiciones de fatiga de la musculatura respiratoria se inicia una vasoconstricción que afecta al flujo sanguíneo de la musculatura esquelética activa, con el objetivo de redistribuir el flujo hacia la musculatura respiratoria y preservar su función.

Efecto vasoconstrictor que posterior al EMI se ve atenuado, demostrando que el protocolo de 4 semanas logra que la redistribución de flujo sea menor en condiciones de fatiga de la musculatura respiratoria (Yun-Chi, 2021).

Según los estudios analizados en esta revisión el entrenamiento de la musculatura inspiratoria genera efectos positivos sobre la distribución del flujo sanguíneo de los miembros. Chiappa et al evidenciaron aumento de este hacia los miembros inferiores frente a tareas fatigosas posterior a 4 semanas de entrenamiento.

Dicho efecto se atribuye a que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria produce mejoras en la eficiencia respiratoria lo que lleva a un retraso en la aparición del metabo reflejo. (McConnell, 2006). Además, las adaptaciones provocadas por este entrenamiento influyen en el metabolismo de los músculos respiratorios, aumentando la eficiencia y generando una menor demanda de oxígeno.

Chiappa et al, describen que este efecto sería causado por una acumulación reducida de metabolitos musculares, atenuando la vasoconstricción, demostrando lo importante que es retrasar la fatiga de los músculos respiratorios

para disminuir el secuestro de flujo desde las extremidades y mejorar así el rendimiento físico en ejercicio.

### **5.3. Efectos del EMI en la actividad nerviosa simpática y los mecanismos por los cuales el EMI genera cambios en esta variable.**

La hiperactividad simpática y la vasoconstricción periférica son alteraciones fisiológicas que contribuyen a la intolerancia al ejercicio y la disnea, lo que influye negativamente en la calidad de vida de los pacientes con enfermedades cardíacas crónicas. (Trevizan, 2021). El entrenamiento físico es un tratamiento no farmacológico eficaz que mejora la capacidad funcional en diferentes poblaciones, es decir, pacientes con enfermedades cardíacas crónicas (Ribeiro, 2021), además de disminuir la actividad simpática y la vasoconstricción periférica. (Trevizan, 2021).

El entrenamiento de los músculos inspiratorios, que impone una resistencia a la musculatura respiratoria, ha demostrado beneficios del entrenamiento en pacientes con enfermedades cardiovasculares. (Ferreira, 2012). Más recientemente, surgió como estrategia de entrenamiento en pacientes con

insuficiencia cardíaca. Este paradigma de ejercicio reduce la actividad simpática, aumenta el flujo de sangre muscular y la capacidad física. (Trevizan, 2021).

Con respecto al entrenamiento que implementaron algunos de los estudios analizados, se evidenció que un grupo sometido a entrenamiento de la musculatura inspiratoria al 30% P<sub>I</sub>max versus (vs) un grupo placebo durante 8 semanas en sujetos hipertensos generaron cambios favorables en la actividad simpática, tales como: grupo EMI  $12,81 \pm 6,68$  vs grupo placebo:  $34,67 \pm 20,38$ . (Ferreira, 2012). A su vez Katayama en 2018 comprobó que el EMI al 30% P<sub>I</sub>max en sujetos sanos también genera cambios en la actividad simpática, mayormente en mujeres ( $+9,6 \pm 2,9$  ráfagas min<sup>-1</sup>) que en hombres ( $+14,6 \pm 6,4$  ráfagas min<sup>-1</sup>). (Katayama, 2018).

En la actualidad, se evidencia que, al realizar EMI con cargas altas de la P<sub>I</sub>max, al 75% durante 6 semanas en sujetos jóvenes sanos genera una disminución significativa en la actividad simpática, mayormente en mujeres ( $3,6 \pm 0,6$  ráfagas/15 s bin) que en hombres ( $6,8 \pm 1,1$  ráfagas/15 s bin). (DeLucia, 2021).

Los cambios que se observan de mayor magnitud y más duraderos fueron en las mujeres que en los hombres, tanto en los entrenamientos de moderada y de alta intensidad. Estos efectos sugieren que el metabo reflejo inducido por el músculo inspiratorio atenuado durante el ejercicio en mujeres jóvenes es atribuible, en

parte, a un flujo de salida vasomotor simpático menor en comparación con los hombres. (Katayama, 2018).

Estos resultados brindan una visión de los efectos agudos de la EMI, que cuando se repite diariamente a mediano y largo plazo puede modificar la salud cardiovascular a través de reducciones en el flujo nervioso simpático, en la presión arterial y la resistencia vascular sistémica. (DeLucia, 2021).

Según los estudios analizados en esta revisión en base a la actividad simpática, solo 3 de los 6 artículos seleccionados, nos brindan hipótesis sobre el mecanismo fisiológico por el cual el EMI genera cambios en la actividad nerviosa simpática.

En 2012 Mello y colaboradores hipotetizan que la disminución de la actividad simpática se produce en respuesta a la modulación de la presión intratorácica, al volumen y en respuesta a los estímulos respiratorios que fueron aplicados durante la ejecución del EMI. Por lo que, el volumen corriente respiratorio aumenta con el fin de compensar la frecuencia respiratoria para mantener la ventilación por minuto, la cual puede desencadenar cambios autonómicos por reducción de la actividad simpática o del reflejo de Hering-Breuer.

De hecho, la modulación del simpático y el sistema parasimpático se modifica marcadamente por respiración en pacientes con insuficiencia cardíaca. Estos resultados también podrían explicarse por la disminución de actividad quimio refleja, que está asociada con una disminución de la actividad nerviosa simpática y presión arterial. (Mello, 2012).

A su vez es sabido que la respiración lenta conduce a fluctuaciones en el intervalo RR (tiempo existente entre dos latidos del corazón), que están relacionadas con la sangre, además de cambios de presión mediados por la modulación respiratoria y con una mayor actividad barorrefleja, aunque está bien establecido que ambos, la sensibilidad barorrefleja y quimio refleja están entre los mecanismos implicados en la modulación simpática. (Ferreira, 2012).

El artículo de Ferreira y colaboradores en el 2012, además de la reducción de la actividad simpática que han encontrado en su estudio, hipotetizan que también habría algún efecto positivo en el barorreflejo y/o en la sensibilidad quimio refleja. Si bien la investigación no se centró en los mecanismos fisiológicos del cambio en la variable simpática, se logró recabar información sobre los patrones respiratorios y los cambios en la modulación cardiovascular autonómica, llegando a informar mejoras en la actividad parasimpática después de la respiración lenta.



Finalmente, en el estudio más reciente de DeLucia y colaboradores en el año 2021, hipotetiza que la reducción de la PA y la resistencia vascular sistémica a la inhibición del receptor cardiopulmonar del flujo de salida simpático, secundario a presiones intratorácicas grandes repetidas que impulsan el retorno venoso mediado por la bomba respiratoria.

El hallazgo actual de supresión de la actividad simpática coincidente con el inicio de los esfuerzos inspiratorios y, por lo tanto, en el tiempo, con la bomba respiratoria inducida y aumento del retorno venoso, proporciona un fuerte apoyo adicional para esta hipótesis. (DeLucia, 2021).

#### **5.4. Limitaciones: Revisión bibliográfica**

Las limitaciones que se pueden evidenciar entre los artículos seleccionados son:

- ❖ El número reducido de artículos relacionados con las variables investigadas generó una limitación en la muestra.
  
- ❖ No todos los artículos utilizaron los mismos instrumentos de medición para las variables investigadas, lo cual generó que los resultados sean poco comparables entre sí.
  
- ❖ En la mayoría de los artículos analizados, el número reducido de participantes generó limitaciones en la muestra.
  
- ❖ Aún se desconoce el protocolo más adecuado para implementar en los participantes con el fin generar cambios en la variable de frecuencia cardíaca.

## **5.5. Proyecciones**

Según los artículos se ha demostrado que el EMI genera mejoras en las variables cardiovasculares de presión arterial, flujo sanguíneo y actividad nerviosa simpática. La gran mayoría de los artículos relacionados a la investigación, están enfocados en los cambios que provoca el EMI en dichas variables, siendo necesario integrar los mecanismos fisiológicos por los cuales se logran presentar estos cambios. Si bien se logró recabar información sobre dichos mecanismos, la realidad es que aún no está claro de manera detallada cuál sería la causa fisiológica por la cual se producen estos efectos, por lo que sería un detalle importante por considerar en futuras investigaciones.

Finalmente, es importante que estudios futuros logren reconocer y cuantificar los mecanismos por los cuales el EMI genera cambios en las variables cardiovasculares y en la actividad nerviosa simpática, además de optimizar este entrenamiento por medio de un protocolo personalizado según cada individuo.

## **6. CONCLUSIÓN**

De los estudios analizados en esta revisión podemos concluir que el entrenamiento de la musculatura inspiratoria ejerce efectos positivos en las variables cardiovasculares y en la actividad nerviosa, tales como reducir los niveles de presión arterial, atenuar el secuestro de flujo sanguíneo periférico y la disminución de la actividad simpática.

En cuanto a los mecanismos fisiológicos por los cuales se producen los efectos del EMI, los artículos investigados se basan sólo en hipótesis; tales como la modulación de la actividad cardiovascular autonómica, cambios en el patrón respiratorio, además de la sensibilidad de los barorreceptores y quimiorreceptores; los cuales no se han comprobado de manera específica si no que estos actúan de forma conjunta.

Aún existe un vacío de conocimiento en torno al mecanismo fisiológico por el cual el EMI afecta estas variables cardiovasculares autonómicas, por lo que es de suma importancia investigarlas con el fin de tener los recursos científicos suficientes para implementar este entrenamiento con una base fisiológica sustentable y así generar mejoras de las condiciones de salud en la población. Aun así este estudio confirma el gran potencial que tiene el entrenamiento de la

musculatura inspiratoria, como un tratamiento no farmacológico, ya que es capaz de producir cambios beneficiosos, en la PA, flujo sanguíneo y en la actividad simpática, variables que se ven afectadas en sujetos hipertensos, confirmando que una carga relativamente baja del 25% de la P<sub>I</sub>max es suficiente para mejorar la fuerza de la musculatura inspiratoria, además las diferencias en las características de la población de estudio demuestran que los resultados son aplicables en cualquier población.

Finalmente es de vital importancia en torno a la disciplina kinésica, en cuanto a la implementación de un tratamiento eficaz no farmacológico, en pacientes sanos y con patologías cardiovasculares crónicas, tanto en el ambiente clínico como en el ambiente hospitalario.

## **7. GLOSARIO**

- ❖ **AET** : Entrenamiento de ejercicios aeróbicos.
- ❖ **CmH<sub>2</sub>O** : Centímetros de agua.
- ❖ **CO<sub>2</sub>** : Dióxido de carbono.
- ❖ **EMI** : Entrenamiento muscular inspiratorio.
- ❖ **FC** : Frecuencia cardiaca.
- ❖ **GC** : Grupo control.
- ❖ **GE** : Grupo experimental.
- ❖ **GP** : Grupo placebo.
- ❖ **MIN** : Minutos.
- ❖ **MMHG** : Milímetros de mercurio.
- ❖ **MR** : Músculos respiratorios.
- ❖ **MSNA** : Actividad nerviosa simpática.
- ❖ **O<sub>2</sub>** : Oxígeno.
- ❖ **PA** : Presión arterial.
- ❖ **PAS** : Presión arterial sistólica.
- ❖ **PAD** : Presión arterial diastólica.
- ❖ **Pl<sub>max</sub>** : Presión inspiratoria máxima.

## 8. REFERENCIAS

- Ahmad, H., Justine, M., Othman, Z., Mohan, V. y Mirza, FT (2013). Los resultados del entrenamiento de los músculos inspiratorios (IMT) a corto plazo combinado con fisioterapia torácica en pacientes con EPOC hospitalizados. *Revista de Ciencias Médicas de Bangladesh*, 12 (4), 398–404.
- Aida Luiza Ribeiro Turquetto. (2021). Aerobic exercise and inspiratory muscle training increase functional capacity in patients with univentricular physiology after Fontan operation: A randomized controlled trial. *International Journal of Cardiology*. 1 Elsevier B.V Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33571562/>
- Bernardi, L., Porta, C., Gabutti, A., Spicuzza, L., & Sleight, P. (2001). Modulatory effects of respiration. *Autonomic neuroscience : basic & clinical*, 90(1-2), 47–56.
- Bott, J., Blumenthal, S., Buxton, M., Ellum, S., Falconer, C., Garrod, R., Harvey, A., Hughes, T., Lincoln, M., Mikelsons, C., Potter, C., Pryor, J., Rimington, L., Sinfield, F., Thompson, C., Vaughn, P., White, J., Grupo de Desarrollo de Directrices de Fisioterapia de la Sociedad Torácica Británica. (2009). Pautas para el manejo de fisiotPosser, S. R., Callegaro, C. C., Beltrami-Moreira, M., & Moreira, L. B. (2016). Effect of inspiratory muscle training with load compared with sham training on blood pressure in

individuals with hypertension: study protocol of a double-blind randomized clinical trial. *Trials*, 17, 382. <https://doi.org/10.1186/s13063-016-1514-y>

- Claire M DeLucia. (2021). Acute cardiovascular responses to a single bout of high intensity inspiratory muscle strength training in healthy young adults. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33600284/>
- Cruz, E. Y Moreno, R. (2007). *Aparato respiratorio: Fisiología y clínica*. 5ta edición.
- Chang YC, Chang HY, Ho CC, Lee PF, Chou YC, Tsai MW, Chou LW. Effects of 4-Week Inspiratory Muscle Training on Sport Performance in College 800-Meter Track Runners. *Medicina (Kaunas)*. 2021 Jan 15;57(1):72. doi: 10.3390/medicina57010072. PMID: 33467421; PMCID: PMC7830231.
- Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJ, Alves CN, Tavares A, Winkelmann ER, Ferlin EL, Stein R, Ribeiro JP. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 2008 Apr 29;51(17):1663-71. doi: 10.1016/j.jacc.2007.12.045. PMID: 18436118.
- De Abreu, R. M., Rehder-Santos, P., Minatel, V., Dos Santos, G. L., & Catai, A. M. (2017). Effects of inspiratory muscle training on cardiovascular autonomic control: A symatic review. *Autonomic neuroscience : basic & clinical*, 208, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2017.09.002>
- DeLucia, C. M., De Asis, R. M., & Bailey, E. F. (2018). Daily inspiratory muscle training lowers blood pressure and vascular resistance in healthy



men and women. *Experimental physiology*, 103(2), 201–211.  
<https://doi.org/10.1113/EP086641>

- Dempsey, J. A., Romer, L., Rodman, J., Miller, J., & Smith, C. (2006). Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respiratory physiology & neurobiology*, 151(2-3), 242–250.
- Dominelli, P., Bruno, A. (2017). Effects of respiratory muscle work on respiratory and locomotor blood flow during exercise. *Experimental Physiology* pp. 1535-1547
- Ferreira, J. B., Plentz, R. D., Stein, C., Casali, K. R., Arena, R., & Lago, P. D. (2013). Inspiratory muscle training reduces blood pressure and sympathetic activity in hypertensive patients: a randomized controlled trial. *International journal of cardiology*, 166(1), 61–67.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2011.09.069>
- Gething AD, Williams M, Davies B. Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. *Br J Sports Med*. 2004;38:730-6.
- Griffiths LA, McConnell AK. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99:457-66.

- González-Montesinos, J. L., Vaz, C., Fernández, J. R., Arnedillo, A., Costa, J. L. & Gómez, R. (2012, 29 septiembre). Efectos del entrenamiento de la musculatura respiratoria sobre el rendimiento. Revisión bibliográfica.
- Held, H. E., & Pendergast, D. R. (2014). The effects of respiratory muscle training on respiratory mechanics and energy cost. *Respiratory physiology & neurobiology*, 200, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2014.05.002>
- Janaína Barcellos Ferreira. (2012). Inspiratory muscle training reduces blood pressure and sympathetic activity in hypertensive patients: A randomized controlled trial. *International Journal of Cardiology*. Elsevier Ireland Ltd Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21985749/>
- Jardim JR, Mayer AF, Camelier A. Músculos respiratorios y rehabilitación pulmonar en asmáticos. *Arch Bronconeumol*. 2002;36(04):181-8.
- Jones, C. U., Sangthong, B., & Pachirat, O. (2010). An inspiratory load enhances the antihypertensive effects of home-based training with slow deep breathing: a randomised trial. *Journal of physiotherapy*, 56(3), 179–186. [https://doi.org/10.1016/s1836-9553\(10\)70023-0](https://doi.org/10.1016/s1836-9553(10)70023-0)

- Joseph, C. N., Porta, C., Casucci, G., Casiraghi, N., Maffei, M., Rossi, M., & Bernardi, L. (2005). Slow breathing improves arterial baroreflex sensitivity and decreases blood pressure in essential hypertension. *Hypertension* (Dallas, Tex. 1979), 46(4), 714–718. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.0000179581.68566.7d>
- Keisho Katayama. (2018). Elevated sympathetic vasomotor outflow in response to increased inspiratory muscle activity during exercise is lower in young women compared to men. *Experimental Physiology. The Physiological Society* Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334157/>
- Manifold, J., Winnard, A., Hume, E., Armstrong, M., Baker, K., Adams, N., Vogiatzis, I. y Barry, G. (2021). Entrenamiento de los músculos inspiratorios para mejorar la fuerza de los músculos inspiratorios y la capacidad funcional en adultos mayores: una revisión sistemática y un metanálisis. *Edad y envejecimiento*, 50 (3), 716–724
- McConnell, A. K., & Lomax, M. (2006). The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *The Journal of Physiology*, 577(1), 445–457. doi:10.1113/jphysiol.2006.117614
- MINSAL. (2017). Mes del Corazón 2017. Santiago, Chile Recuperado de <https://www.minsal.cl/mes-del-corazon-2017/>

- NHLBI Workshop. Respiratory muscle fatigue: report of the respiratory muscle fatigue workshop group. *Am Rev Respir Dis* 142: 474–486, 1990.
- Patricia F. Trevizan. (2021). Effects of inspiratory muscle training combined with aerobic exercise training on neurovascular control in chronic heart failure patients. Wiley Online Library. ESC HEART FAILURE Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34184426/>
- Polese, JC, Pinheiro, MB, Faria, CD, Britto, RR, Parreira, VF, & Teixeira-Salmela, LF (2013). Fuerza de la musculatura respiratoria y de miembros inferiores y capacidad funcional terapia del paciente adulto, médico, con respiración espontánea. *Tórax*, 64 (Suplemento 1), i1-51
- Priscila R. Mello. (2012). Inspiratory Muscle Training Reduces Sympathetic Nervous Activity and Improves Inspiratory Muscle Weakness and Quality of Life in Patients With Chronic Heart Failure. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*. Wolters Kluwer Health Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22785143/>
- Radaelli, A., Raco, R., Perfetti, P., Viola, A., Azzellino, A., Signorini, M. G., & Ferrari, A. U. (2004). Effects of slow, controlled breathing on baroreceptor control of heart rate and blood pressure in healthy men. *Journal of hypertension*, 22(7), 1361–1370.
- Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.*2002;34:785-92.

- Salim Yusuf, (3 de septiembre de 2019). Modifiable risk factors, cardiovascular disease, and mortality in 155722 individuals from 21 high-income, middle-income, and low-income countries (PURE): a prospective cohort study. Elsevier Ltd. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31492503/>
- Santos, L. P., Moraes, R. S., Vieira, P. J., Ash, G. I., Waclawovsky, G., Pescatello, L. S., & Ustempierre, D. (2016). Effects of aerobic exercise intensity on ambulatory blood pressure and vascular responses in resistant hypertension: a crossover trial. *Journal of hypertension*, 34(7), 1317–1324. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000000961>
- Sheel, A. W., Derchak, P. A., Morgan, B. J., Pegelow, D. F., Jacques, A. J., & Dempsey, J. A. (2001). Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *The Journal of Physiology*, 537(1), 277–289. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.0277k.x
- Ublosakka-Jones, C., Tongdee, P., Pachirat, O., & Jones, D. A. (2018). Slow loaded breathing training improves blood pressure, lung capacity and arm exercise endurance for older people with treated and stable isolated systolic hypertension. *Experimental gerontology*, 108, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.03.023>
- Vranish, J. R., & Bailey, E. F. (2015). Daily respiratory training with large intrathoracic pressures, but not large lung volumes, lowers blood pressure in normotensive adults. *Respiratory physiology & neurobiology*, 216, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2015.06.002>
- Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Jr, Collins, K. J., Dennison Himmelfarb, C., DePalma, S. M., Gidding, S., Jamerson, K. A., Jones, D. W., MacLaughlin, E. J., Muntner, P., Ovbigele, B., Smith, S. C., Jr, Spencer, C. C., Stafford, R. S., Taler, S. J., Thomas, R. J., Williams, K. A., Sr, Williamson, J. D., ... 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. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(19), e127–  
e248. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.11.006>