

Entrenamiento resistido hipóxico y beneficio en la salud de los adultos mayores

Hypoxic resistance training and health benefits in older adults

Carlos Concha^{1,a}, Carolina Rosas^{2,b}, Alcides Flores^{3,c}, Mariana Rosas^{1,d}

¹ Laboratorio de Nutrición Experimental, Universidad Federal de Río de Janeiro, Campus Macaé. Río de Janeiro, Brasil.

² Laboratorio Integrado de Biodiversidad Química e Molecular, Universidad Federal de Río de Janeiro, Campus Macaé. Río de Janeiro, Brasil.

³ Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

^a M.Sc. en ciencias nutricionales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0431-3587>

^b M.Sc. en ciencias ambientales y conservación, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7114-3939>

^c Doctor en educación, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6355-413X>

^d Licenciada en nutrición, Ph.D. en ciencias nutricionales. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8104-4544>

An Fac med. 2022;83(1):58-64. / DOI: <https://doi.org/10.15381/anales.v83i1.21997>.

Correspondencia:

Carlos Concha Vilca
marcetae7@gmail.com

Recibido: 13 de enero 2022

Aprobado: 4 de marzo 2022

Publicación en línea: 16 de marzo 2022

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Fuente de financiamiento: Autofinanciado

Contribuciones de autoría: CC, CR y AF participaron en la concepción del artículo, recolección de datos, redacción y aprobación de la versión final. MR participó en la concepción y diseño del artículo, revisión crítica del artículo. Todos los autores aprobaron la versión final del artículo.

Citar como: Concha C, Rosas C, Flores A, Rosas M. Entrenamiento resistido hipóxico y beneficio en la salud de los adultos mayores. An Fac med. 2022;83(1):58-64. DOI: <https://doi.org/10.15381/anales.v83i1.21997>

Resumen

Durante el envejecimiento, los factores genéticos y ambientales conllevan un mayor riesgo de enfermedades que facilitan la pérdida de la funcionalidad. El entrenamiento de resistencia de alta intensidad ha demostrado conducir a beneficios para la salud en los adultos mayores, sin embargo, su utilización es limitada en esta población. Recientemente, el entrenamiento de resistencia en hipoxia (ERH) se ha presentado como una alternativa viable en la terapia de rehabilitación para adultos mayores, con todo, la información es escasa al respecto. De esta forma, el objetivo de este estudio fue recopilar el conocimiento actual sobre el ERH en adultos mayores, así como los beneficios para su salud. Para ello, se realizó una búsqueda selectiva de artículos publicados en los últimos 6 años sobre los efectos del ERH en personas mayores en la base de datos Pubmed. La búsqueda resultó en 227 artículos, de los cuales 18 fueron seleccionados para esta revisión. Se identificaron 3 tipos de entrenamiento: terapia de restricción del flujo sanguíneo (TRFS), entrenamiento de resistencia en hipoxia hipobárica (ERHH) y entrenamiento de resistencia en hipoxia normobárica (ERHN). A partir de la información recabada, podemos indicar que el TRFS ofrece mayores efectos positivos sobre la ganancia de fuerza y la hipertrofia muscular, mientras que existe poca evidencia del ERHH y ERHN en personas mayores. Finalmente, manifestamos la necesidad de más estudios que evalúen la seguridad de esta intervención en la salud en este grupo etario.

Palabras clave: Entrenamiento de Resistencia; Hipoxia; Anciano (fuente: DeCS BIREME).

Abstract

During aging, genetic and environmental factors carry an increased risk of diseases that facilitate the loss of function. High-intensity resistance training has been shown to lead to health benefits in older adults, however, its use is limited in this population. Recently, hypoxic resistance training (HRT) has been presented as a viable alternative in rehabilitation therapy for older adults, however, information is scarce in this regard. Thus, the objective of this study was to collect current knowledge about HRT in older adults, as well as the benefits for their health. To do this, a selective search was carried out for articles published in the last 6 years on the effects of HRT in older people in the Pubmed database. The search resulted in 227 articles, of which 18 were selected for this review. Three types of training were identified: blood flow restriction therapy (BFRT), resistance training in hypobaric hypoxia (RTHH), and resistance training in normobaric hypoxia (RTNH). From the information collected, we can indicate that TRFS offers greater positive effects on strength gain and muscle hypertrophy, while there is little evidence of RTHH and RTNH in older people. Finally, we express the need for more studies to evaluate the safety of this intervention in health in this age group.

Keywords: Resistance Training; Hypoxia; Aged (source: MeSH NLM).

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento es un proceso natural caracterizado por el declive funcional de los órganos en todos los sistemas del organismo. Está modulado por la interacción de procesos genéticos, ambientales, moleculares y evolutivos que ocurren a lo largo de la vida contribuyendo al deterioro del organismo, con una reducción general de la funcionalidad, lo que finalmente afecta la capacidad del individuo para responder a infecciones y a la realización de las actividades diarias, generando un círculo vicioso que agrava el desarrollo de enfermedades en esta población ⁽¹⁾.

Los avances tecnológicos han permitido el aumento de la esperanza de vida debido a las mejoras en la calidad de los alimentos, el agua, la higiene y las condiciones de vida. La aplicación de inmunizaciones y antibióticos, además de la mejora en los cuidados médicos en todas las edades ha contribuido al aumento de 2,5 años de supervivencia por década, esto es, las personas están viviendo más allá de la edad en la que la mayoría habría muerto en décadas pasadas. Por otro lado, este avance en la tecnología ha obstaculizado la selección natural de individuos sanos en edades más avanzadas; es decir, esta población tiene mayor riesgo de pérdida de función, así como padecer de enfermedades crónicas letales de alta prevalencia, y lo que se observa es que la expectativa de vida saludable no aumentó tanto como la esperanza de vida general ⁽²⁾.

Actualmente, la edad avanzada es considerada un factor de riesgo en el desarrollo de múltiples enfermedades y síndromes; de hecho, se vio que los síndromes geriátricos predicen mejor la mortalidad en los adultos mayores, entre estos, la fragilidad, la sarcopenia, la pérdida de peso y la demencia son los más prevalentes, además de requerir cuidados adicionales por parte de los miembros de la familia o cuidadores ⁽³⁾. Sin embargo, otros factores también son importantes para el establecimiento de estas enfermedades; hoy en día, la fácil accesibilidad a alimentos ricos en calorías, acompañados de un estilo de vida sedentario, favorecen el desarrollo de en-

fermedades metabólicas que repercuten en todas las edades y que contribuyen a una baja calidad de vida ⁽²⁾. Siendo así, la inclusión de actividad física es de extrema importancia para esta población.

El entrenamiento de resistencia de alta intensidad (ERAI) es un método en el que se aplica una fuerza externa en oposición a la contracción muscular y son utilizadas cargas que van de moderadas hasta elevadas. Los estudios han demostrado efectos positivos en diversos aspectos, entre ellos, la ganancia de fuerza, aumento de la masa muscular, mejora de la movilidad, de la función cardiovascular, cognición, disminución de la inflamación, entre otros ^(4,5,6). Sin embargo, las características particulares de las personas mayores hacen que el ERAI tenga una baja adherencia en este grupo etáreo, además de algunas contraindicaciones como el estrés ejercido sobre los tejidos conectivos y las articulaciones pueden ser perjudiciales, lo que acabaría deteriorando la salud en estos individuos. Por lo tanto, se hace necesario el desarrollo de estrategias destinadas a reducir el volumen y la carga total, pero manteniendo el potencial adaptativo ⁽⁷⁾.

El entrenamiento de resistencia en condiciones de hipoxia (ERH) es una estrategia donde existe una reducción en el contenido o presión parcial de oxígeno a nivel celular, esta puede ser hipoxia sistémica o ambiental, en condiciones hipobáricas con presión atmosférica menor a 760 mm Hg o en condiciones normobáricas, con una presión barométrica de 760 mm Hg, ambas con concentraciones parciales de oxígeno inferiores al 20,9%. Condiciones hipóxicas artificiales hipobáricas o normobáricas pueden ser creadas utilizando dispositivos como máscaras con mezcla de gases, cámaras normobáricas, depósitos o salas hipóxicas o aparatos respiratorios depletados de oxígeno. Otro método para generar hipoxia es la hipoxia local, conocida como terapia de restricción del flujo sanguíneo (TRFS) que combina oclusión venosa y entrenamiento de resistencia de cargas comprendidas entre el 20% al 40% de una repetición máxima (1RM) ^(8,9,10).

Actualmente, el ERH es una estrategia de entrenamiento prometedora, la literatura deportiva relata diversos beneficios en la

mejora del rendimiento en atletas de élite, además de los beneficios para la salud, permitiendo obtener los mismos resultados que ERAI, pero con aplicación de cargas de trabajo más bajas ⁽¹¹⁾. Son pocos los estudios que evalúan sus efectos sobre la salud en adultos mayores. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es recopilar el conocimiento actual sobre el entrenamiento de resistencia en diferentes tipos de hipoxia en personas de edad avanzada, así como los beneficios para su salud.

METODOLOGÍA DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE RESULTADOS

Para la presente revisión se realizó una búsqueda selectiva en la base de datos PubMed, utilizando los términos de búsqueda: resistance training in hypoxia AND elderly; training in hypoxia AND elderly; resistance training at altitude AND elderly; resistance training AND elderly; blood flow restriction therapy AND elderly e hypoxia. Se consideraron publicaciones entre el 2015 y 2021.

A partir de los resultados de la búsqueda, se consideraron los estudios que tenían por metodología entrenamiento resistido en hipoxia en adultos mayores, en ambos sexos, con resultados sobre la masa muscular, problemas osteoarticulares, sistema cardiovascular, inflamación y estrés oxidativo. Se excluyeron los estudios con muestras no representativas, métodos inconsistentes y población diferente de adultos mayores.

DESARROLLO DEL TEMA

La búsqueda bibliográfica resultó en 227 artículos. Se seleccionaron títulos y resúmenes para obtener información sobre los efectos, mecanismos y seguridad de la ERH, y se identificaron un total de 18 artículos como base para la revisión de la literatura. Se encontraron tres tipos de ERH, terapia de restricción del flujo sanguíneo (TRFS), entrenamiento de resistencia en condiciones de hipoxia sistémica ambiental (ERHH) realizado en condiciones hipobáricas y finalmente entrenamiento de resistencia en condiciones de hipoxia sistémica ambiental (ERHN) en condiciones normobáricas.

Terapia de restricción del flujo sanguíneo (TRFS) (oclusión vascular)

El síndrome de fragilidad, junto con la atrofia muscular y la pérdida de funcionalidad son problemas con alta tasa de prevalencia en los adultos mayores, dificultando la realización de las actividades diarias, lo que lleva al desarrollo de otras enfermedades y complicaciones, resultando finalmente en una disminución de la esperanza de vida en las personas de edad avanzada^(12,13,14). TRFS también denominado entrenamiento de resistencia en condiciones de hipoxia local, es un método de entrenamiento que utiliza una combinación de oclusión venosa y entrenamiento de resistencia de baja carga, entre el 20% al 40% de 1RM, induce el desarrollo muscular a través de mecanismos que activan las vías del metabolismo anaeróbico, el edema celular y la inducción de fibras musculares tipo 2. En contrapartida, ERAI requiere ejercicio con cargas superiores al 70% de 1RM para conducir a hipertrofia muscular; sin embargo, el estrés ejercido sobre los tejidos conectivos y las articulaciones puede ser perjudicial para las personas de edad avanzada. Siendo que no hay diferencias en los efectos adversos entre ERAI en comparación con TRFS, lo cual es prometedor para su aplicación en esta población⁽⁹⁾.

TRFS sobre fuerza e hipertrofia muscular

Uno de los aspectos más importantes relacionados con la prevención o la regresión del síndrome de fragilidad es la hipertrofia muscular de las articulaciones comprometidas, por esta razón se recomienda ERAI para compensar la pérdida de fuerza y masa muscular relacionada con la edad. No obstante, en su mayoría, la población adulta mayor tiene dificultades para ejercitarse a altas intensidades. Así, TRFS se presenta como un tratamiento alternativo para esta población, aunque para ser considerado viable debe tener los mismos beneficios sobre la hipertrofia y la fuerza muscular⁽¹⁵⁾.

Al evaluar la fuerza muscular, el área transversal del cuádriceps (ATC), la función física y la calidad de vida (CV) después de 12 semanas, en adultos mayo-

res de 73 a 79 años con limitaciones de movilidad que realizaron ERAI o TRFS, se observó que ambos programas de entrenamiento resultaron en mejoras sobre el ATC. ERAI mostró ganancia de fuerza más pronunciada respecto al TRFS después de 6 semanas. La diferencia observada entre los entrenamientos disminuyó después de 12 semanas. Aunque estos cambios no se trasladaron a mejoras en la CV. A pesar de que los resultados indican beneficios similares entre ambos protocolos, el principal beneficio de TRFS fue el desarrollo de ganancia de fuerza con menor cantidad de carga, cuando comparado con ERAI, permitiéndole ser un enfoque viable para personas mayores con debilidad muscular profunda y limitaciones de movilidad⁽¹⁶⁾.

La masa muscular y la contractilidad están asociadas a cambios en la estructura y función de las uniones neuromusculares (FNM), la preservación de estas estructuras está relacionada con la proteína Agrin, que con el envejecimiento aumenta su degradación, siendo inactivada y transferida a un fragmento C-terminal de Agrin (FCA), el aumento de los niveles séricos de esta proteína indica daño en la integridad de las uniones neuromusculares. Otro marcador de degradación y sarcopenia, además de FCA, es el propéptido de colágeno III N-terminal (P3NP), la disminución en sus niveles es un indicador de pérdida de capacidad funcional y disminución en la generación de fuerza. Se comparó el entrenamiento funcional en adultos mayores sedentarios con o sin TRFS sobre los efectos en la calidad muscular y los índices de rendimiento, medidos a través de la FCA y P3NP, evaluación de fuerza dinámica, flexibilidad y equilibrio, demostrando que la TRFS tiene mejoras más pronunciadas respecto a marcadores séricos de degradación de FNM y sarcopenia acompañados de mejoras en el rendimiento funcional⁽¹⁷⁾.

Otro estudio que comparó 12 semanas de entrenamiento concurrente (EC) con o sin TRFS sobre la aptitud aeróbica, la masa y fuerza muscular en 25 adultos mayores eutróficos, con edades entre 60 y 69 años. Así, en el EC sin TRFS fueron realizadas en la prensa de piernas, 4 series de 10 repeticiones, con cargas del 70-80% de 1 RM, mientras que en el EC

con TRFS fueron completadas series de alrededor de 30 repeticiones, con cargas de 20-30% de 1 RM.

Encontrándose no diferencias en las evaluaciones de ATC e VO₂ para ambos grupos. Por tanto, estos resultados indican que el EC con TRFS promueve adaptaciones similares al EC⁽⁷⁾.

Está ampliamente demostrado en la literatura que la TRFS a baja intensidad es tan efectivo para aumentar la fuerza y mejorar el flujo sanguíneo muscular como el entrenamiento convencional de alta intensidad en adultos jóvenes⁽¹⁸⁻²¹⁾. Sin embargo, los efectos crónicos de la TRFS en adultos mayores todavía son poco estudiados. Para conocer estos efectos, se compararon 15 adultos jóvenes, 13 adultos mayores ambos con TRFS y 11 adultos mayores con ERAI, todos los grupos entrenaron por 4 semanas, siendo evaluadas la contracción voluntaria máxima (CVM), la circunferencia del antebrazo, el flujo sanguíneo máximo en el antebrazo (FSA) y la conductancia vascular del antebrazo (CVA), encontrándose que TRFS crónico fue efectivo para aumentar la fuerza, tamaño muscular y vascularización en adultos jóvenes; sin embargo, en adultos mayores, tan solo se observó aumento de la fuerza muscular y del tamaño de la circunferencia del antebrazo. En adultos mayores TRFS fue inferior en el aumento de fuerza cuando comparado con ERAI. Esto sugiere que entrenamiento con volúmenes más altos sería necesario para lograr adaptaciones vasculares similares a los de ERAI en adultos mayores⁽²²⁾.

Centner *et al.* (2018) realizaron una revisión sistemática y metaanálisis con la finalidad de identificar cuantitativamente los efectos de la TRFS de baja carga sobre la masa muscular y la fuerza en personas mayores en comparación con los programas de entrenamiento de resistencia convencionales. Además, comparó caminata con y sin TRFS. Los resultados revelaron que el entrenamiento de baja carga y la caminata con adición de TRFS fueron mejores en el desarrollo de fuerza muscular. Por otra parte, el entrenamiento de alta carga mejoró la ganancia de fuerza en comparación con el entrenamiento TRFS de baja carga; sin embargo, ambos entrenamientos permitieron el aumen-

to de masa muscular. De esta forma, se concluyó que el entrenamiento de baja carga o caminata, ambos con TRFS, son una intervención efectiva para estimular la hipertrofia muscular y las ganancias de fuerza en poblaciones de adultos de edad avanzada ⁽²³⁾.

Vechin *et al.* (2015) comparó los efectos de TRFS y ERAI en el músculo cuádriceps, el desarrollo de la fuerza y la masa muscular en 23 adultos mayores sanos de ambos sexos, con edades comprendidas entre 61 y 67 años, que se sometieron a 12 semanas de entrenamiento y fueron asignados aleatoriamente a un grupo control, o al grupo ERAI con 4 series de 10 repeticiones al 70-80% 1RM, o en el grupo TRFS con 1 serie de 30 y 3 series de 15 repeticiones al 20-30% 1RM. La presión de oclusión se fijó al 50% de la presión arterial tibial máxima y fueron evaluados en 1RM en la prensa de piernas y la ATC antes y después del entrenamiento. Se observó que ambos regímenes de entrenamiento fueron efectivos en el aumento de 1RM y ATC; sin embargo, ERAI parece inducir mayor ganancia de fuerza. A pesar de estos resultados, se puede afirmar TRFS es una alternativa eficaz para inducir ganancia de fuerza y masa muscular en personas mayores que no pueden realizar ERAI ⁽¹⁵⁾. Los mismos autores también encontraron en el músculo cuádriceps, al analizar el transcriptoma en ambos tipos de entrenamiento, observando que pocos genes se expresaban de manera diferente entre las intervenciones y que estas pequeñas diferencias en la expresión génica pueden sugerir que mecanismos similares apoyan la hipertrofia muscular inducida por ambos entrenamientos ⁽²⁴⁾.

Los datos presentados hasta ahora indican que TRFS produce resultados similares al entrenamiento de resistencia tradicional de alta intensidad, pero es necesario saber qué niveles de isquemia son necesarios para generar adaptaciones en la musculatura. Según Letieri *et al.* (2018) las presiones de oclusión más altas producen mayores efectos sobre la fuerza muscular que las presiones bajas. Esto se evidenció cuando compararon 16 semanas de TRFS con mayor o menor oclusión con alta o baja intensidad de entrenamiento con un grupo control de

56 mujeres de edad avanzada, recreacionalmente activas de entre 63 y 74 años. Además, después de un período de desentrenamiento de 6 semanas, la fuerza muscular estuvo bien conservada, aunque se observaron reducciones, hubo una preservación de la fuerza que podría explicarse por posibles adaptaciones neuronales al ejercicio ⁽²⁵⁾.

A partir de los estudios aquí presentados, podemos concluir que TRFS resulta tan efectivo como ERAI en términos de ganancia de fuerza y masa muscular. Además, las cargas utilizadas entre el 20 y 40% de 1RM, con resultados observados en ambos sexos, permiten proponer a la TRFS como un enfoque alternativo de entrenamiento para los adultos mayores.

TRFS y sistema cardiovascular

La TRFS puede conducir a un deterioro clínico de la vasculatura, hiperactividad y disminución de la función vascular asociada al estrés de cizallamiento retrógrado debido a la aplicación de un manguito inflable en la porción proximal de las extremidades, con la finalidad de aumentar la presión necesaria y conseguir oclusión, lo que dificulta el retorno venoso, de esta forma, la restricción excesiva puede dañar las células endoteliales y tener efectos perjudiciales sobre la función endotelial, inclusive en individuos saludables ⁽²⁰⁾.

Otra preocupación es que la TRFS puede generar respuestas cardiovasculares mediadas por metabolitos como los protones de lactato y ATP, inducidos por la isquemia producida durante el ejercicio de intensidad moderada a alta, que estimulan los receptores nerviosos aferentes metabólicamente sensibles en el intersticio muscular, transmitiendo información al sistema nervioso central para producir un aumento del flujo sanguíneo al músculo activo, mediando respuestas cardiovasculares anormales que son más evidentes en poblaciones con mayor riesgo cardiovascular, como es el caso de los adultos mayores y personas con enfermedad cardiovascular, cuestionando la seguridad cardiovascular en este tipo de intervenciones terapéuticas ⁽²⁶⁾.

A pesar de estas preocupaciones, los estudios han informado beneficios en las

respuestas hemodinámicas en adultos mayores. El estudio realizado por Shimizu *et al.* (2016) en el intuito de averiguar si la TRFS tiene adaptaciones positivas en el endotelio vascular, así como en la función y la circulación sanguínea periférica, sometieron a 40 adultos mayores voluntarios sanos de 67 a 75 años a 4 semanas de entrenamiento, divididos en los grupos TRFS (20% 1RM, 4 veces por semana) o ERAI. Los autores midieron el lactato, la noradrenalina, el factor de crecimiento endotelial vascular y la hormona del crecimiento antes y después del entrenamiento inicial de resistencia. Además, se evaluó el índice de hiperemia reactiva, el factor de *Von Willebrand* y la presión de oxígeno transcutáneo en el pie, evaluados antes y después del entrenamiento en la cuarta semana. Los resultados mostraron que la TRFS mejoró positivamente todos los marcadores evaluados, proporcionando evidencia de que TRFS puede mejorar la función endotelial vascular y la circulación sanguínea periférica en adultos mayores sanos ⁽²⁷⁾.

Como se vio anteriormente, TRFS tiene beneficios sobre la función vascular en personas de avanzada edad sanas; sin embargo, las respuestas cuando cursan con hipertensión pueden ser diferentes. En este contexto, Pinto *et al.* (2018) evaluaron la respuesta hemodinámica, el esfuerzo percibido y el lactato sanguíneo durante los ejercicios de TRFS en comparación con ERAI y ningún ejercicio en 18 mujeres mayores hipertensas entre 66 y 68 años que realizaron TRFS de tres sesiones, de tres series de 10 repeticiones con 20% de 1RM, o tres series de 10 repeticiones del 65% de 1RM para ERAI o sin ejercicio. Se observó que la presión arterial sistólica (PAS), la presión arterial diastólica (PAD), la frecuencia cardíaca (FC), el volumen sistólico (VS) y el gasto cardíaco (GC) fueron significativamente mayores durante el entrenamiento en ambos grupos entrenados. Por otro lado, el VS y el GC fueron menores durante los intervalos de descanso en la sesión TRFS. Se demostró que ERAI era significativamente mayor en el esfuerzo percibido, así como en el lactato sanguíneo en comparación con TRFS ⁽²⁸⁾.

Los estudios que evalúan la respuesta hemodinámica en adultos mayores son

escasos; además de ello, la literatura encontrada sigue siendo controvertida en cuanto a los beneficios. Se necesitan más estudios para verificar la seguridad a largo plazo de esta intervención terapéutica en la salud cardiovascular en la población adulta.

TRFS y problemas osteoarticulares

Una de las enfermedades más prevalentes en las personas adultas es la osteoartritis (OA), considerada la principal causa de dolor musculoesquelético, está caracterizada por el involucramiento de toda la articulación, incluyendo cartílago, hueso subcondral, ligamento, músculo y tejidos blandos periarticulares, como membrana sinovial y meniscos. La enfermedad implica cambios en el metabolismo del cartílago e inflamación sinovial, deterioro del cartílago, estrechamiento del espacio articular, formación de osteofitos y esclerosis ósea subcondral. La pérdida de masa en el cuádriceps es considerada como factor de riesgo para el desarrollo y progresión de la OA. En este contexto, la TRFS ofrece ventajas sobre los perjuicios clínicos, verificado en 48 mujeres con OA de rodilla que realizaron TRFS o entrenamiento de baja intensidad sin TRFS, ambos con 30% de 1RM, o ERAI de 80% de 1RM durante 12 semanas. Al evaluar la fuerza con una prueba de 1RM para las extremidades inferiores, el ATC, la funcionalidad y el dolor utilizando el índice de osteoartritis de las universidades de *Western Ontario y McMaster* (WOMAC), se observó aumento en la fuerza, la masa muscular y la función física con el ERAI, mientras que el dolor evaluado con WOMAC no mostró mejoría. TRFS mostró resultados positivos en las evaluaciones de fuerza y funcionalidad, y contrario al ERAI, la TRFS fue capaz de mejorar el dolor, además de inducir menor estrés en las articulaciones, emergiendo como un método terapéutico adyuvante viable y efectivo en el manejo de la OA⁽²⁹⁾.

Resultados diferentes se observaron en el ensayo clínico piloto aleatorizado, donde 35 participantes de 60 años con limitaciones funcionales y OA de rodilla entrenaron durante 12 semanas la parte inferior del cuerpo con TRFS al 20% de 1RM y entrenamiento de resistencia

de intensidad moderada (ERMI) a 60% de 1RM. La evaluación del cambio en la fuerza muscular se evaluó mediante la prueba de fuerza extensora de rodilla, mientras que la velocidad de la marcha y el rendimiento físico se evaluaron con la batería SPPB (*Short Physical Performance Battery*), finalmente, el dolor se evaluó mediante el WOMAC. Los resultados indicaron que no hubo diferencia en la generación de fuerza entre ambos abordajes; sin embargo, en las otras pruebas los resultados favorecieron al ERMI. Así, TRFS mostró tener menor eficacia que ERMI en el contexto de pérdida de la funcionalidad y OA⁽³⁰⁾.

Los efectos de TRFS fueron también evaluados sobre la artritis reumatoide (AR), para ello, 48 mujeres con AR fueron separadas de forma aleatoria en tres grupos, TRFS, ERAI y actividad diaria habitual. Las pacientes completaron un período de 12 semanas del programa de entrenamiento supervisado y las extremidades inferiores fueron evaluadas con prueba de 1RM y ATC, mientras que la función física fue valorada por el *timed-stand-test* (TST) y por *timed-up-and-go test* (TUG), también se realizó el *Health Assessment Questionnaire* (HAQ) y la CV por medio del cuestionario de salud *Short Form 36* (SF-36) al inicio y después de la intervención. Los resultados mostraron efectos positivos tanto para TRFS como ERAI en todas las evaluaciones, no obstante, ERAI resultó en 1 caso de abstinencia y varios casos de inducción del dolor, lo que no fue observado en la TRFS, siendo un aspecto relevante en las intervenciones para ser considerarlo como una alternativa terapéutica viable en el tratamiento de la AR⁽³¹⁾.

TRFS, inflamación y estrés oxidativo

Para evaluar los efectos inflamatorios de este entrenamiento, fueron seleccionados 22 adultos mayores sanos de entre 60 y 67 años, que realizaron entrenamiento concurrente (EC) durante 12 semanas o EC con restricción del flujo sanguíneo (ECTRFs). Se observó mayor concentración sérica de proteína C reactiva tras la intervención en el grupo ECTRFs, así como disminución de la relación

IL10 / TNF- α al final del tratamiento, indicando perfil proinflamatorio, lo cual no fue observado en el grupo EC mostrando resultados positivos para los parámetros evaluados⁽³²⁾. La inflamación promueve microambiente hipóxico en los tejidos, disfunción mitocondrial y estrés oxidativo, lo que lleva a cambios en el metabolismo celular hacia un estado altamente activo, resultando en la acumulación de metabolitos que actúan como moléculas de señalización que agravan aún más la respuesta inflamatoria⁽³³⁾. Por otra parte, TRFS tiene efectos positivos sobre la hipertrofia muscular, aunque estos efectos pueden estar mediados por especies reactivas de oxígeno^(15,16,22-24). Delante de la falta de consenso en los estudios presentados en este ítem, los autores concordamos que son necesarios más estudios para esclarecer los mecanismos adaptativos relacionados a la respuesta inflamatoria y el estrés oxidativo.

Entrenamiento de resistencia en condiciones de hipoxia sistémica ambiental

Las poblaciones indígenas que se han adaptado crónicamente a la hipoxia ambiental durante milenios exhiben cambios fisiológicos en el sistema de transporte de oxígeno. Estas adaptaciones son también observadas en personas que se trasladan a estas ubicaciones, indicando aclimatación por exposición crónica. Estudios recientes indican que estas poblaciones tienen volúmenes pulmonares relativamente mayores, gradientes alveolo arteriales más estrechos, mejor respuesta vasoconstrictora pulmonar hipóxica, mayor flujo sanguíneo de la arteria uterina durante el embarazo y mayor utilización de oxígeno cardíaco, lo que sugiere una mayor eficiencia de transferencia y uso⁽³⁴⁾.

El ascenso a grandes altitudes de personas que habitan a nivel del mar se asocia con respuestas fisiológicas que se oponen al estrés de la hipoxia hipobárica, aumentando la oferta de oxígeno y alterando su utilización en los tejidos por medio de la modulación metabólica. A nivel celular, la respuesta transcripcional a la hipoxia está mediada por la vía del factor inducible por hipoxia (HIF) y da como resultado la promoción de la capacidad glucolítica y la supresión del metabolismo

oxidativo, ofreciendo protección contra el estrés oxidativo. En cambio, poblaciones que habitan en altura o personas que han conseguido aclimatación exhiben acumulación de intermediarios lipídicos intramusculares, siendo apoyada la oxidación de ácidos grasos, resultando en metabolización más eficiente del oxígeno y menor demanda de ATP⁽³⁵⁾.

La creciente investigación se ha centrado en la relevancia del entrenamiento de resistencia en exposición a la hipoxia. Se ha sugerido que, en un ambiente privado de oxígeno, a baja presión parcial de este gas exageraría la acumulación de metabolitos como el lactato sanguíneo y hormonas anabólicas, como la hormona de crecimiento, que potencialmente resultaría en un reclutamiento acelerado de unidades motoras, produciendo subsecuentemente adaptación hipertrófica y consecuentemente, mejoras en la fuerza muscular⁽¹⁰⁾.

La hipoxia intermitente tiene mecanismos protectores, mediados por la síntesis necesaria o la restricción de la sobreproducción de óxido nítrico, la optimización en las concentraciones de este gas aumenta la expresión de otros factores protectores, incluyendo proteínas de choque térmico, antioxidantes y prostaglandinas, haciendo la protección más robusta y sostenida⁽³⁶⁾. Sin embargo, estos efectos aún no han sido explorados en personas de edad avanzada, en su mayoría, la literatura se refiere a estudios realizados en atletas y adultos jóvenes. En este contexto, con el fin de examinar el efecto de entrenamiento en hipoxia como método de tratamiento para la obesidad, un total de 24 hombres coreanos obesos de entre 65 y 70 años realizaron EC con o sin hipoxia tres veces por semana durante 12 semanas. EL EC consistió en 30 minutos en una cinta de correr, 30 minutos en una bicicleta y 30 a 40 minutos de entrenamiento de resistencia, todos ellos con o sin hipoxia normobárica. El entrenamiento hipóxico mostró mejoras en la composición corporal, así como en la aptitud física, la función pulmonar y la variabilidad de la frecuencia cardíaca que en comparación con el entrenamiento normóxico, mostrando que el entrenamiento en condiciones hipóxicas podría ser un método exitoso para promover la

salud en poblaciones de adultos mayores obesos⁽³⁷⁾.

Resultados diferentes se observaron en un ensayo clínico randomizado ciego, donde no fueron observadas diferencias entre el entrenamiento de resistencia en hipoxia normobárica y el entrenamiento normóxico sobre la fuerza, composición corporal y aptitud cardiovascular en 20 adultos de 60 a 75 años, con 2 sesiones por semana de ejercicio para la parte superior e inferior del cuerpo en 70% de 1 RM durante 8 semanas. Estos resultados indican que no hay evidencia que respalde el uso del entrenamiento de resistencia hipóxico en adultos mayores⁽³⁸⁾.

CONCLUSIONES

Basados en los estudios seleccionados para esta revisión, es posible afirmar que dentro de las condiciones hipóxicas de entrenamiento, la terapia de restricción de flujo sanguíneo cuenta con la mayor cantidad de evidencia con relación al aumento de la fuerza y la masa muscular en la salud funcional de los adultos mayores. En tanto que para enfermedades que afectan la salud articular, los estudios son contradictorios, apuntando beneficios y detrimentos de este tipo de entrenamiento. Por otro lado, los estudios que evalúan las respuestas en la salud en condiciones de hipoxia ambiental (normobárica e hipobárica) aún son escasos. De esta forma, más estudios son necesarios para evaluar la seguridad de este tipo de abordaje terapéutico para poder ser recomendado como una alternativa viable para la población de adultos mayores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Khan KT, Hemati K, Donovan AL. Geriatric Physiology and the Frailty Syndrome. *Anesthesiology Clinics*. 2019;37(3):453–74. DOI: 10.1016/j.anclin.2019.04.006
2. Flatt T, Partridge L. Horizons in the evolution of aging. *BMC Biology*. 2018;16(1):93. DOI: 10.1186/s12915-018-0562-z
3. Sanford AM, Morley JE, Berg-Weger M, Lundy J, Little MO, Leonard K, et al. High prevalence of geriatric syndromes in older adults. *PLoS ONE*. 2020;15(6):1–12. DOI: 10.1371/journal.pone.0233857
4. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM. Effects of Resistance Training on Older Adults. *Sports Medicine*. 2004;34(5):329–48. DOI: 10.2165/00007256-200434050-00005

5. Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlsohn A, Cassel M, Müller S, Scharhag J. Intensität und effekte von kraftraining bei älteren. *Deutsches Arzteblatt*. 2011;108(21):359–64. DOI: 10.3238/arztebl.2011.0359
6. Casas Herrero Á, Cadore EL, Martínez Veilla N, Izquierdo Redin M. El ejercicio físico en el anciano frágil: Una actualización. *Revista Española de Geriatria y Gerontología*. 2015;50(2):74–81. DOI: 10.1016/j.regg.2014.07.003
7. Libardi CA, Chacon-Mikahil MPT, Cavaglieri CR, Tricoli V, Roschel H, Vechin FC, et al. Effect of concurrent training with blood flow restriction in the elderly. *International Journal of Sports Medicine*. 2015;36(5):395–9. DOI: 10.1055/s-0034-1390496
8. Fernández-Lázaro D, Díaz J, Caballero A, Córdova A. The training of strength-resistance in hypoxia: Effect on muscle hypertrophy. *Biomedica*. 2019;39(1):212–20. DOI: 10.7705/biomedica.v39i2.4084
9. Vopat BG, Vopat LM, Bechtold MM, Hodge KA. Blood Flow Restriction Therapy: Where We Are and Where We Are Going. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2020;28(12):e493–500. DOI: 10.5435/JAAOS-D-19-00347
10. Girard O, Brocherie F, Millet GP. Effects of Altitude/Hypoxia on Single- and Multiple-Sprint Performance: A Comprehensive Review. *Sports Medicine*. 2017;47(10):1931–49. DOI: 10.1007/s40279-017-0733-z
11. Feriche B, Garcia-Ramos A, Morales-Artacho AJ, Padial P. Resistance Training Using Different Hypoxic Training Strategies: a Basis for Hypertrophy and Muscle Power Development. *Sports Medicine - Open*. 2017;3(1). DOI: 10.1186/s40798-017-0078-z
12. Cesari M, Calvani R, Marzetti E. Frailty in Older Persons. Vol. 33, *Clinics in Geriatric Medicine*. Elsevier; 2017. p. 293–303. DOI: 10.1016/j.cger.2017.02.002
13. Li G, Thabane L, Papaioannou A, Ioannidis G, Levine MAH, Adachi JD. An overview of osteoporosis and frailty in the elderly. Vol. 18, *BMC Musculoskeletal Disorders*. BioMed Central; 2017. p. 1–5. DOI: 10.1186/s12891-017-1403-x
14. Rohmann S. Epidemiology of Frailty in Older People. In: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer, Cham; 2020. p. 21–7. DOI: 10.1007/978-3-030-33330-0_3
15. Vechin FC, Libardi CA, Conceição MS, Damas FR, Lixandrão ME, Berton RPB, et al. Comparisons Between Low-Intensity Resistance Training With Blood Flow Restriction and High-Intensity Resistance Training on Quadriceps Muscle Mass and Strength in Elderly. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2015;29(4):1071–6. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000703
16. Cook SB, LaRoche DP, Villa MR, Barile H, Manini TM. Blood flow restricted resistance training in older adults at risk of mobility limitations. *Experimental Gerontology*. 2017;99:138–45. DOI: 10.1016/j.exger.2017.10.004
17. Bigdeli S, Dehghaniyan MH, Amani-Shalamzari S, Rajabi H, Gahreman DE. Functional training with blood occlusion influences muscle quality indices in older adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2020;90:104110. DOI: 10.1016/j.archger.2020.104110
18. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports*

- Medicine. 2017;51(13):1003–11. DOI: 10.1136/BJSports-2016-097071
19. Anderson AB, Owens JG, Patterson SD, Dickens JF, Leclere LE. Blood flow restriction therapy: From development to applications. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*. 2019;27(3):119–23. DOI: 10.1097/JSA.0000000000000240
 20. da Cunha Nascimento D, Schoenfeld BJ, Prestes J. Potential Implications of Blood Flow Restriction Exercise on Vascular Health: A Brief Review. *Sports Medicine*. 2020;50(1):73–81. DOI: 10.1007/s40279-019-01196-5
 21. Barnes MJ, Fraser J, Coley K, Perry BG. Is Postexercise Blood Flow Restriction a Viable Alternative to Other Resistance Exercise Protocols? *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2018;89(4):504–10. DOI: 10.1080/02701367.2018.1510170
 22. Kim J, Lang JA, Pilania N, Franke WD. Effects of blood flow restricted exercise training on muscular strength and blood flow in older adults. *Experimental Gerontology*. 2017;99:127–32. DOI: 10.1016/j.exger.2017.09.016
 23. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2019;49(1):95–108. DOI: 10.1007/s40279-018-0994-1
 24. Vechin FC, Libardi CA, Conceição MS, Damas F, Cavaglieri CR, Chacon-Mikahil MPT, et al. Low-intensity resistance training with partial blood flow restriction and high-intensity resistance training induce similar changes in skeletal muscle transcriptome in elderly humans. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. 2019;44(2):216–20. DOI: 10.1139/apnm-2018-0146
 25. Letieri RV, Teixeira AM, Furtado GE, Lamboglia CG, Rees JL, Gomes BB. Effect of 16 weeks of resistance exercise and detraining comparing two methods of blood flow restriction in muscle strength of healthy older women: A randomized controlled trial. *Experimental Gerontology*. 2018;78–86. DOI: 10.1016/j.exger.2018.10.017
 26. Cristina-Oliveira M, Meireles K, Spranger MD, O'Leary DS, Roschel H, Peçanha T. Clinical safety of blood flow-restricted training? A comprehensive review of altered muscle metaboreflex in cardiovascular disease during ischemic exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2020;318(1):H90–109. DOI: 10.1152/ajpheart.00468.2019
 27. Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, Matsumoto T, Kamiya K, Kato M, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *European Journal of Applied Physiology*. 2016;116(4):749–57. DOI: 10.1007/s00421-016-3328-8
 28. Pinto RR, Karabulut M, Poton R, Polito MD. Acute resistance exercise with blood flow restriction in elderly hypertensive women: Haemodynamic, rating of perceived exertion and blood lactate. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2018;38(1):17–24. DOI: 10.1111/cpf.12376
 29. Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, Kurimori CO, Fuller R, Lima FR, et al. Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee Osteoarthritis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2018;50(5):897–905. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001530
 30. Harper S, Roberts L, Layne A, Jaeger B, Gardner A, Sibille K, et al. Blood-Flow Restriction Resistance Exercise for Older Adults with Knee Osteoarthritis: A Pilot Randomized Clinical Trial. *Journal of Clinical Medicine*. 2019;8(2):265. DOI: 10.3390/jcm8020265
 31. Rodrigues R, Ferraz RB, Kurimori CO, Guedes LK, Lima FR, de Sá-Pinto AL, et al. Low-Load Resistance Training With Blood-Flow Restriction in Relation to Muscle Function, Mass, and Functionality in Women With Rheumatoid Arthritis. *Arthritis Care and Research*. 2020;72(6):787–97. DOI: 10.1002/acr.23911
 32. De Souza TMF, Libardi CA, Cavaglieri CR, Gáspari AF, Brunelli DT, De Souza GV, et al. Concurrent Training with Blood Flow Restriction does not Decrease Inflammatory Markers. *International Journal of Sports Medicine*. 2018;39(1):29–36. DOI: 10.1055/s-0043-119222
 33. McGarry T, Biniiecka M, Veale DJ, Fearon U. Hypoxia, oxidative stress and inflammation. *Free Radical Biology and Medicine*. 2018;125:15–24. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.042
 34. Julian CG, Moore LG. Human genetic adaptation to high altitude: Evidence from the andes. *Genes*. 2019;10(2). DOI: 10.3390/genes10020150
 35. Murray AJ, Montgomery HE, Feelisch M, Grocott MPW, Martin DS. Metabolic adjustment to high-altitude hypoxia: from genetic signals to physiological implications. *Biochemical Society Transactions*. 2018;46(3):599–607. DOI: 10.1042/BST20170502
 36. Manukhina EB, Downey HF, Mallet RT. Role of nitric oxide in cardiovascular adaptation to intermittent hypoxia. *Experimental Biology and Medicine*. 2006;231(4):343–65. DOI: 10.1177/153537020623100401
 37. Park HY, Jung WS, Kim J, Lim K. Twelve weeks of exercise modality in hypoxia enhances health-related function in obese older Korean men: A randomized controlled trial. *Geriatrics and Gerontology International*. 2019;19(4):311–6. DOI: 10.1111/ggi.13625
 38. Allsopp GL, Hoffmann SM, Feros SA, Pasco JA, Russell AP, Wright CR. The Effect of Normobaric Hypoxia on Resistance Training Adaptations in Older Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2020;00(00):1–7. DOI: 10.1519/jsc.0000000000003780