University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Fall 2023, 11(27), 48-59

Received: May 14, 2022 Revised: Jul 24, 2022 Accepted: Sep 06, 2022

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

The effects of high-intensity interval training on oxidant and antioxidant balance and motor performance indices in older adults

Rasoul Eslami[1*], Parham Amini[2], Bakhtiar Tartibian[3]

1. Associate Professor at Exercise Physiology Department, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.
2. MS.c in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.
3. Professor at Exercise Physiology Department, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

Abstract

Background and Aim: Increased free radicals and oxidative stress are among the factors that can accelerate the aging process. The aim of this study was to investigate the effect of eight weeks of high-intensity interval training (HIIT) on oxidant and antioxidant capacity and motor performance indices in the elderly people. **Materials and Methods:** The participants of this study were 24 elderly people (age=71.88±5.06 year) from Bandar Abbas city. Subjects were randomly divided into two groups including control (n=12) and HIIT (n=12). Then, the subjects in the training group performed training protocol, three days a week for eight weeks. During each session, the subjects performed four three-minute workouts with an intensity of 85 to 95% maximal heart rate with three active sets of three-minute rest with 65 to 75 maximal heart rate. Twenty four hours before and 48 hours after last session of HIIT, the variables were measured via standard tests. The analysis of covariance test was used to analyze the data at significant level of $p \leq 0.05$. **Results:** Eight weeks of HIIT significantly reduced the total oxidant status, but the total antioxidant capacity and serum levels of sestrin-2 showed significant increase ($p<0.001$) in the elderly people. Moreover, eight weeks of HIIT improved the gait speed ($p<0.001$), timed-up-and-go ($p<0.05$), and maximal oxygen uptake ($p<0.001$). However, these training protocol could not have a significant effect on time of chair stand test ($p=0.22$). **Conclusion:** HIIT can be use as a useful exercise training method in the elderly people with attention of training considerations.

Keywords: High Intensity Interval Training, Total oxidant status, Total antioxidant capacity, Sestrin-2, Aging.

Cite this article:
Eslami, R., Amini, P., & Tartibian, B. (2023). The effects of high-intensity interval training on oxidant and antioxidant balance and motor performance indices in older adults. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 11***(27), 48-59.**

***Corresponding author: Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Allameh Tabataba'i University, Western Azadi Sport Complex Blv, Tehran, Iran;**
Email: eslami.rasul@gmail.com

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.5302.1718

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee **Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport (JPSBS)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش مقاله پژوهشی
پاییز ۱۴۰۲، دوره ۱۱، شماره ۲۷، ص ۵۹-۴۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵
نشریه مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش
دانشگاه بیرجند

اثر هشت هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا بر تعادل اکسیدانی و آنتی اکسیدانی و شاخص‌های عملکرد حرکتی در افراد سالمند

رسول اسلامی[1*]، پرهام امینی[2]، بختیار ترتیبیان[3]

۱. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.
۲. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.
۳. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: افزایش رادیکال‌های آزاد و استرس اکسیداتیو از عواملی هستند که فرآیند پیری را تسریع می‌کنند. هدف تحقیق حاضر، بررسی تاثیر هشت هفته تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) بر ظرفیت اکسیدانی و آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های عملکرد حرکتی در افراد سالمندان بود. **روش تحقیق:** شرکت کنندگان تحقیق را تعداد ۲۴ نفر از سالمندان شهرستان بندرعباس (میانگین سنی ۵/۰۶ ±۷۱/۸۸ سال) تشکیل می‌دادند. آزمودنی‌ها به صورت تصادفی به دو گروه ۱۲ نفری شامل گروه کنترل و HIIT تقسیم شدند. سپس، آزمودنی های گروه تمرین به مدت هشت هفته، سه روز در هفته، به اجرای HIIT در چهار نوبت سه دقیقه‌ای با شدت ۸۵ تا ۹۵ درصد حداکثر ضربان قلب و سه نوبت سه دقیقه ای استراحت فعال با شدت ۶۵ تا ۷۵ درصد حداکثر ضربان قلب پرداختند. ۲۴ ساعت قبل و ۴۸ ساعت بعد از آخرین جلسه HIIT، متغیرهای مورد بررسی با روش‌های استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده ها از آزمون تحلیل کوواریانس در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ استفاده شد. **یافته‌ها:** هشت هفته HIIT باعث کاهش معنی دار وضعیت اکسیدانی تام سرمی از یک سو؛ و افزایش معنی‌دار ظرفیت آنتی اکسیدانی تام و سسترین-۲ سرمی از سوی دیگر شد (p<۰/۰۰۱). همچنین، هشت HIIT توانست شاخص‌های عملکردی سرعت حرکت (p<۰/۰۰۱)، بلند شدن و رفتن (p<۰/۰۵)، و حداکثر اکسیژن مصرفی (p<۰/۰۰۱) در افراد سالمند را بهبود ببخشد. با این حال، این تمرینات بر زمان آزمون برخاستن از صندلی، تاثیر معنی‌داری نداشت (p=۰/۲۲). **نتیجه گیری:** اجرای HIIT در سالمندان با در نظر گرفتن ملاحظات تمرینی، به عنوان یک روش تمرینی سودمند قابل استفاده می باشد.

واژه‌های کلیدی: تمرین تناوبی با شدت بالا، وضعیت اکسیدانی تام، ظرفیت آنتی اکسیدانی تام، سسترین-۲، سالمندی.

* نویسنده مسئول: تهران، بلوار غربی ورزشگاه آزادی، روبروی هتل المپیک، دانشگاه علامه طباطبائی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی؛
پست الکترونیک: eslami.rasul@gmail.com
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.5302.1718

مقدمه

پیری وضعیتی فیزیولوژیک است که با افت عملکرد ارگان‌ها و بیماری‌های مرتبط با سن همراه است. در واقع، یکی از نشانه های پیری، کاهش هومئوستاز[1] بافت‌ها و گرایش بدن به سمت بیماری و در نهایت، مرگ است (کویی[2] و دیگران، ۲۰۱۲). از جمله مشکلات موجود در دوره سالمندی، کاهش ظرفیت عملکردی و کاهش استقلال فردی است. تحقیقات نشان داده‌اند که میزان افتادن و سقوط در افراد سالمند، به موازات بالارفتن س، افزایش می‌یابد. بر پایه مطالعات، افزایش رادیکال های آزاد و استرس اکسیداتیو[3] از عواملی هستند که فرآیند پیری را تسریع می‌کنند (کویی و دیگران، ۲۰۱۲). در همین راستا، همیلتون[4] و دیگران (۲۰۰۱) نشان داده اند که استرس اکسیداتیو و مقدار اکسیدان‌های موش‌های صحرایی مسن در مقایسه با موش‌های جوان‌تر، به طور معنی داری بیشتر است. با این وجود، فعالیت ورزشی یک مداخله غیر دارویی و سودمند برای بهبود وضعیت آنتی اکسیدانی محسوب می شود که امروزه مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. در همین راستا، پیترلی[5] و دیگران (۲۰۱۸) گزارش کرده اند که ۶۴ هفته تمرینات هوازی در موش های صحرایی، باعث کاهش استرس اکسیداتیو می‌شود. همچنین ماجرزاک[6] و دیگران (۲۰۱۰) گزارش نموده اند که پنج هفته تمرینات استقامتی با شدت متوسط، باعث بهبود سیستم دفاع آنتی اکسیدانی بدن می‌شود.

وضعیت اکسیدانی تام[7] (TOS) و ظرفیت آنتی اکسیدانی تام[8] (TAC) دو شاخص مورد استفاده برای سنجش فعالیت آنتی اکسیدانی و اکسیدانی هستند (وانگ[9] و دیگران، ۲۰۱۶). علاوه بر این دو، سسترین‌ها[10] یکی از گونه های پروتئینی محافظت کننده در بدن هستند که هنگام استرس اکسیداتیو و اکسیداسیون اسیدهای نوکلئیک، فعال می‌شوند (پاشا[11] و دیگران، ۲۰۱۷). امروزه سه ایزوفورم[12] سسترین-۱ ، سسترین-۲ و سسترین-۳ شناخته شده است و در این میان، سسترین-۲ در کاهش رادیکال های آزاد و سرکوب مسیر mTORCC1 نقش مستقیمی دارد و باعث کند شدن روند پیری می‌شود (آلیسون[13] و دیگران، ۲۰۱۶). با این حال، لِنهار[14] و دیگران (۲۰۱۷) نشان داده اند که سطوح پروتئین درون عضلانی سسترین-۲ در موش‌های پیر نسبت به نمونه های جوان، پایین‌تر است. از سوی دیگر، تحقیقات گذشته نشان از آن دارد که تمرینات ورزشی تاثیر به سزایی بر این عامل دارند. به عنوان مثال، تحقیقات سینها[15] و دیگران (۲۰۰۷) نشان داده است که شش ماه تمرین یوگا، باعث افزایش TAC می شود. همین طور، لوبکوفسکا[16] و دیگران (۲۰۱۳) نشان داده اند که پنج هفته تمرینات شنا، باعث کاهش TOS و افزایش TAC می‌گردد. به علاوه، کریسول[17] و دیگران (۲۰۱۸) نیز گزارش کرده‌اند که تمرینات استقامتی به مدت چهار هفته و با شدت ۶۰ درصد حداکثر بارکاری، موجب افزایش سطوح سسترین-۲ در موش های صحرایی می گردد. حتی زنگ[18] و دیگران (۲۰۱۷) نشان داده اند که یک جلسه تمرین حاد، افزایش بیان سسترین-۲ در عضلات اسکلتی مردان جوان را به دنبال دارد. با این حال، تحقیقی که سطوح سرمی سسترین-۲ را در سالمندان پس از فعالیت بدنی اندازه‌گیری کرده باشد، یافت نشد. از طرفی، تحقیقات گذشته نشان داده است که تمرینات تناوبی شدید (HIIT) به عنوان مدلی از تمرینات قلبی-ریوی، از کارآیی بالایی برای ایجاد سازگاری‌های سودمند در سالمندان برخوردار است. برای مثال، ۱۲ هفته تمرین HIIT باعث بهبود ترکیب بدنی، افزایش توده خالص بدن و بهبود آمادگی قلبی - تنفسی (افزایش Vo_2max) در سالمندان دیابتی شده است (فکس[19] و دیگران، ۲۰۱۵). همچنین، یک مطالعه متا - آنالیز نشان داده که HIIT باعث کاهش عوامل خطرزای قلبی - متابولیکی در سالمندان دارای اضافه وزن می شود (باتاکان[20] و دیگران، ۲۰۱۶). نتایج دیگری نیز دال بر آن است که تمرین HIIT کوتاه مدت در مقایسه با تمرینات با شدت متوسط، اما طولانی‌تر؛ باعث بهبود در ظرفیت عملکردی، ترکیب بدن و ظرفیت هوازی در سالمندان می‌شود (کارلسن[21] و دیگران، ۲۰۱۷؛ گیلن[22] و دیگران، ۲۰۱۴؛ گارسیا - پینیلوس[23] و دیگران، ۲۰۱۷؛ نولس[24] و دیگران، ۲۰۱۵). با این حال، تاثیر این نوع تمرینات بر ظرفیت اکسیدانی - آنتی اکسیدانی و سسترین-۲ در سالمندان کمتر مورد بررسی قرار گرفته است و نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

در مجموع و بر پایه مطالعات پیشین، رابطه مستقیمی بین سطوح نشانگرهای آنتی اکسیدانی و افزایش سن وجود دارد (همیلتون و دیگران، ۲۰۰۱) و یکی از عوامل احتمالی به

1. Homeostasis
2. Cui
3. Oxidative stress
4. Hamilton
5. Pietrelli
6. Majerczak
7. Total oxidant status
8. Total antioxidant capacity
9. Wang
10. Sestrins
11. Pasha
12. Isoform
13. Allison
14. Lenhare
15. Sinha
16. Lubkowska
17. Crisol
18. Zeng
19. Fex
20. Batacan
21. Karlsen
22. Gillen
23. García-Pinillos
24. Knowles

وجود آمده در پیری و پیامد های مرتبط با آن، کاهش دفاع آنتی اکسیدانی و افزایش فعالیت اکسیدانی است (فینکل[1] و دیگران، ۲۰۰۰). از طرف دیگر، شکل‌های مختلف تمرینات ورزشی، تاثیرات سودمندی بر نشانگرهای اکسیدانی و آنتی اکسیدانی دارند که به آن ها اشاره شد. با این حال، تحقیقات در مورد تاثیر تمرینات ورزشی بر شاخص‌های تعادل اکسیدانی و آنتی‌اکسیدانی در افراد سالمند بسیار پراکنده و ناهمسو است. همچنین نتایج مشخصی در مورد تاثیر HIIT که به دلیل صرفه جویی در وقت به عنوان مدلی مناسب برای زندگی امروزی مطرح می‌باشند (مورو[2] و دیگران، ۲۰۱۷؛ گیبالا[3] و دیگران، ۲۰۱۲؛ ۲۰۰۸؛ ۲۰۰۶) در سالمندان موجود نیست. از این رو، هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر HIIT بر وضعیت اکسیدانی و آنتی اکسیدانی افراد سالمند می باشد.

روش تحقیق

روش اجرا و نمونه گیری: تحقیق حاضر از نوع نیمه تجربی است که با دو گروه کنترل و تجربی به صورت پیش آزمون- پس آزمون اجرا گردید. جامعه مورد نظر پژوهش حاضر را کلیه سالمندان بالای ۶۵ سال شهرستان بندرعباس تشکیل می‌دادند که ۳۰ نفر از آن ها با محدوده سنی ۶۵ تا ۷۵ سال، به صورت در دسترس و پس از کسب معیارهای ورود به تحقیق، انتخاب شدند. معیار های ورود به تحقیق شامل عدم داشتن بیماری هایی مانند فشار خون، دیابت، صرع، و مشکلات قلبی- عروقی؛ عدم وجود معلولیت؛ عدم داشتن فعالیت بدنی منظم طی سه ماه قبل از تحقیق؛ و عدم مصرف دارو یا مکمل‌های غذایی موثر بر وضعیت آنتی اکسیدانی بود. معیارهای خروج از تمرین نیز شامل عدم حضور در سه جلسه تمرین متوالی، مصرف مواد غذایی شامل آنتی اکسیدان‌ها خارج از رژیم غذایی توصیه شده محقق و نیز دچار شدن به بیماری از جمله سرماخوردگی بود. شرکت کنندگان ابتدا توسط پزشک متخصص، تحت معاینه جسمانی قرار گرفتند، سپس به صورت تصادفی در دو گروه ۱۵ نفری شامل گروه HIIT و کنترل قرار گرفتند. شایان ذکر است که در طول تحقیق، سه نفر از گروه کنترل و سه نفر از گروه تمرین از ادامه تحقیق انصراف دادند. ویژگی های فردی شرکت‌کنندگان در جدول یک گزارش شده است.

جدول ۱. توصیف ویژگی‌های فردی دو گروه شرکت کننده در پژوهش

متغیرها	گروه ها	پیش آزمون	پس آزمون
سن (سال)	تمرین	۷۱/۰۸±۴/۷۷	۷۱/۰۸±۴/۷۷
	کنترل	۷۲/۶۷±۵/۴۳	۷۲/۶۷±۵/۴۳
قد ایستاده (سانتی‌متر)	تمرین	۱۶۰/۰۸±۷/۴۷	۱۶۰/۰۸±۷/۴۷
	کنترل	۱۵۹/۶۳±۷/۵۹	۱۵۹/۶۳±۷/۵۹
وزن (کیلوگرم)	تمرین	۷۴/۳۲±۸/۶۰	۷۳/۰۳±۹/۱۰
	کنترل	۷۱/۰۹±۱۲/۴۹	۷۱/۱۷±۱۲/۶۷
شاخص توده بدنی (کیلوگرم/ متر مربع)	تمرین	۲۸/۹۵±۳/۱۶	۲۷/۹۵±۳/۱۶
	کنترل	۲۷/۹۲±۴/۲۱	۲۷/۵۵±۴/۰۶
توده چربی (کیلوگرم)	تمرین	۳۷/۵۶±۱۰/۴۲	۳۶/۲۶±۱۰/۷۹
	کنترل	۳۳/۷۸±۷/۲۹	۳۳/۷۵±۶/۸۷

قبل از مداخله، ابتدا شرکت کنندگان در یک جلسه آشنایی و معارفه شرکت داده شدند و پس از پر کردن پرسشنامه سلامت عمومی[4] (GHQ)، پرسشنامه ثبت سه روزه رژیم غذایی و فرم رضایت نامه شرکت در پژوهش را نیزتکمیل نمودند. صبح روز بعد، برای انجام خون گیری اولیه و شرکت در آزمون های تعیین شاخص های ترکیب بدنی (شاخص های پیکری، شاخص توده بدنی و درصد چربی)، سنجش VO-$_2$max، و آزمون‌های عملکردی شامل سرعت راه رفتن[5]، بلند شدن از صندلی[6]، و بلند شدن و حرکت کردن[7] (TUG) به محل تحقیق واقع در مجموعه ورزشی فجر شهر بندرعباس مراجعه کردند. به منظور اندازه گیری متغیرهای خونی، در این مرحله (پیش آزمون)، از کلیه شرکت کنندگان مقدار پنج سانتی متر مکعب خون از سیاهرگ بازوئی اخذ گردید. وزن و قد شرکت کنندگان با متر نواری و ترازوی دیجیتال ساخت شرکت اومرون[8] ارزیابی شد. ترکیب بدنی افراد با استفاده از دستگاه تحلیل ترکیب بدنی[9] مدل inbody

1. Finkel
2. Moro
3. Gibala
4. General health questionnaire
5. Gait speed
6. Chair stand
7. Timed-up-and-go test
8. Omron
9. Body composition

ساخت کشور کره جنوبی اندازه‌گیری شد و شاخص های درصد چربی، وزن چربی و شاخص توده بدنی با استفاده از این دستگاه محاسبه و ثبت گردید. ضربان قلب استراحت با استفاده از ضربان‌سنج پولار و حداکثر ضربان قلب نیز با روش تاناکا[1] و دیگران (۲۰۰۱) و بکارگیری فرمول (سن×۰/۷-۲۰۸؛ محاسبه گردید. گروه تجربی یک دوره هشت هفته‌ای HIIT را پشت سر گذاشتند و بعد از گذشت ۴۸ ساعت از آخرین جلسه تمرین، برای بار دوم خون گیری به عمل آمد و سایر آزمون‌ها دوباره تکرار شدند. نمونه های خونی پس از جمع آوری، بلافاصله به آزمایشگاه بقیه الله شهر تهران منتقل شدند. در آزمایشگاه، اندازه گیری TAC، TOS، و سسترین-۲ صورت گرفت.

نحوه اجرای پروتکل HIIT: در تحقیق حاضر آزمودنی‌های گروه تجربی به مدت هشت هفته، سه روز در هفته، و هر جلسه حدود ۴۵ دقیقه؛ یک پروتکل HIIT را به اجرا درآوردند. در هر جلسه، آزمودنی ها ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه به گرم کردن پرداختند که در دو قسمت انجام شد، یکی گرم کردن عمومی با شدت ۴۵ تا ۵۵ درصد حداکثر ضربان قلب (HRmax) و دیگری، گرم کردن اختصاصی شامل دویدن با شدت ۶۰ تا ۷۰ درصد HRmax. سپس چهار نوبت تمرین سه دقیقه‌ای با شدت ۸۵ تا ۹۵ درصد HRmax و سه نوبت استراحت سه دقیقه ای فعال با شدت ۶۵ تا ۷۵ درصد HRmax اجرا گردید. انتهای هر جلسه، ۵ تا ۱۰ دقیقه به سرد کردن اختصاص یافت (تجونا[2] و دیگران، ۲۰۰۸) (جدول دو). در طول این دوره، گروه کنترل به زندگی و فعالیت های عادی و روزمره خود پرداختند و هیچ گونه فعالیت بدنی نداشتند.

جدول ۲. جزئیات پروتکل HIIT اجرا شده

متغیرها / هفته‌ها		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
تمرین	تعداد تکرار	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
	شدت	HRmax ٪۸۵	HRmax ٪۸۵	HRmax ٪۹۰	HRmax ٪۹۰	HRmax ٪۹۰	HRmax ٪۹۵	HRmax ٪۹۵	HRmax ٪۹۵
استراحت	تعداد تکرار	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
	شدت	HRmax ٪۶۰	HRmax ٪۶۰	HRmax ٪۶۵	HRmax ٪۶۵	HRmax ٪۶۵	HRmax ٪۷۰	HRmax ٪۷۰	HRmax ٪۷۰

نحوه اندازه گیری حداکثراکسیژن مصرفی (VO_2max): برای برآورد VO_2max از پروتکل ناختون[3] روی دستگاه نوارگردان استفاده شد. پروتکل در ۱۰ مرحله دو دقیقه ای اجرا شد و به جز مرحله اول که سرعت ۱/۶ کیلومتر در ساعت بود، سایر مراحل با سرعت ثابت ۳/۲ کیلومتر در ساعت به اجرا درآمد. شیب دستگاه نیز در مراحل یک و دو صفر و از مرحله سوم به بعد، در هر مرحله ۳/۵ درصد افزایش یافت (هاندلر[4]، ۱۹۸۴). در نهایت VO_2max با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

آزمون سرعت راه رفتن: از آزمودنی‌ها خواسته شد که به صورت ثابت پشت خط علامت‌گذاری شده بایستند. سپس با فرمان شروع «حرکت»، فاصله شش متر را که قبلا علامت گذاری شده، طی کنند. زمان آزمون با حرکت آزمودنی آغاز می گردید و پس از تماس یک پای فرد با خط پایان، زمان متوقف می شد. این آزمون دو بار انجام گردید و سریع ترین زمان (متر/ثانیه) بدست آمده، ثبت شد (سمبا[5] و دیگران، ۲۰۱۹).

آزمون TUG: آزمون با قرار گرفتن بر روی صندلی و در حالت نشسته شروع شد. خطی با فاصله سه متر از صندلی روی زمین مشخص گردید و آزمودنی می بایست از روی صندلی بلند شده و با سریع‌ترین حالت به سمت خط تعیین شده حرکت کند (به صورت راه رفتن)؛ سپس برگشته و دوباره روی صندلی بنشینند. شخص آزمون گیرنده مراحل اجرا را به آزمودنی‌ها نشان داد. آزمون با گفتن کلمه «حرکت» آغاز شد و هنگامی که آزمودنی مجددا بر روی صندلی می نشست، زمان متوقف گردید (ویکبرگ[6] و دیگران، ۲۰۱۹).

آزمون بلند شدن از صندلی: از آزمودنی‌ها خواسته شد

1. Tanaka
2. Tjonna
3. Naughton
4. Handler
5. Semba
6. Vikberg

که پنج مرتبه، با تمام سرعت و بدون توقف، در حالی که دست‌هایش به صورت ضربدری روی سینه قرار دارد، از روی صندلی بلند شود. فرد آزمون شونده در هر بار ایستادن، به طور کامل بلند می شد و در برگشت به طور کامل روی صندلی می نشست. آزمون با فرمان «حرکت» توسط شخص آزمون‌گیرنده شروع می‌شد و زمانی که فرد برای پنجمین بار می‌نشست، زمان متوقف می گردید. زمان انجام این آزمون به عنوان رکورد فرد ثبت شد (ویکبرگ و دیگران، ۲۰۱۹).

روش های اندازه گیری متغیرهای خونی: برای اندازه‌گیری TAC از کیت اندازه گیری شرکت مای بیوسورس[1] ساخت کشور آلمان با حساسیت ۰/۵ میلی مول بر لیتر و شماره کاتالوگ MBS8243210 استفاده شد. برای این کار، ابتدا نمونه برای همگن بودن خوب تکان داده شد. سپس ۱۰ میلی لیتر نمونه استاندارد به لوله‌های مخصوص اضافه گردید. به محلول آماده، ۱۹۰ میکرو لیتر chromogen افزوده شد. سپس میزان جذب در ۴۹۰ نانومتر به وسیله الایزا خوانده شد. در ادامه، مقدار ۵۰ میکرولیتر R3 به آن اضافه شد و دو دقیقه محلول مورد نظر را در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار دادیم. سپس ۵۰ میکروگرم R4 به آن اضافه گردید و در نهایت، میزان جذب TAC در ۴۹۰ نانومتر خوانده شد. برای اندازه‌گیری TOS نیز از روش رنگ سنجی و با استفاده از کیت شرکت مای بیوسورس آمریکا با حساسیت ۲/۵ میکرومیلی مول بر لیتر و شماره کاتالوگ MBS2567995 با دقت اندازه گیری ۲/۵ میکرومول بر لیتر، استفاده شد. برای اندازه گیری، ابتدا بعد از تکان دادن نمونه‌های خونی، مقدار ۲۰ میکرولیتر از آن ها در یک میکروتیوب ریخته شد، سپس ۲۰۰ میکرولیتر از R1 اضافه شد و به مدت پنج ثانیه با میکروپلیت کاملا ترکیب شدند و مقدار OD آن در طول موج ۵۹۰ نانومتر قرائت شد. در ادامه، ۵۰ میکرولیتر از R2 اضافه شد و به مدت پنج ثانیه کاملا ترکیب شد و برای پنج دقیقه در دمای ۳۷ درجه انکوبه شد و دوباره مقدار OD آن در طول موج ۵۹۰ نانومتر قرائت گردید. سپس مقادیر مورد نظر برای TOS استخراج شد. برای اندازه‌گیری سیستین-۲ نیز از روش الایزا و با استفاده از کیت شرکت مای بیوسورس آمریکا با حساسیت ۰/۰۵۴ نانوگرم بر لیتر و شماره کاتالوگ MBS2024978 با دقت اندازه گیری کمترین مقدار پروتئین موجود، بهره‌برداری گردید. برای اندازه‌گیری، ابتدا نمونه‌های خونی به مدت دو ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند و سپس به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس سرم جداسازی گردید. مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه در داخل میکروتیوب ریخته شد و به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه انکوبه شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از معرف تشخیص A آماده شده اضافه، و برای یک ساعت در دمای ۳۷ درجه انکوبه گردید. سپس سه بار شستشو داده شد و ۱۰۰ میکرولیتر از معرف تشخیص B آماده شده، اضافه گردید و برای ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه انکوبه گردید. سپس پنج بار شستشو داده شد. در ادامه، مقدار ۹۰ میکرولیتر از محلول سوبسترا اضافه شد و برای ۲۰-۱۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه انکوبه گردید. مقدار ۹۰ میکرولیتر محلول توقف اضافه گردید و بلافاصله OD در طول موج ۴۵۰ نانومتر قرائت شد. سپس با استفاده از فرمول، مقادیر مورد نظر سستین-۲ خوانده شد.

ملاحظات اخلاقی: مراحل و روند تحقیق بر اساس اصول اخلاقی کار با نمونه انسانی و با توجه به بیانیه هلسینکی[2] (نورمایل[3]، ۲۰۰۸) صورت پذیرفت. همچنین، تمام آزمودنی‌ها مختار بودند هر زمانی که خواستند از تحقیق خارج شوند.

روش های آماری: برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو - ویلک[4] استفاده شد و پس از تایید؛ برای مقایسه گروه ها از آزمون تحلیل کوواریانس[5] (ANCOVA) استفاده شد. تمام عملیات آماری توسط نرم افزار SPSS نسخه ۲۴ در سطح معنی داری $p\leq ۰/۰۵$ انجام گرفت.

یافته ها

بر اساس نتایج حاصل از آزمون تحلیل کوواریانس، هشت هفته HIIT باعث کاهش معنی دار TOS در افراد سالمند از یک سو؛ و افزایش معنی‌دار TAC و سطوح سرمی سستین-۲ از دیگر سوی شد (جدول سه). همچنین، هشت هفته HIIT به طور معنی‌داری سرعت راه رفتن و VO_2max را افزایش داد، در حالی که زمان بلند شدن و حرکت کردن کاهش پیدا کرد (به ترتیب با $p<۰/۰۰۱$، $p<۰/۰۵$، $p<۰/۰۰۱$). با این حال، تمرینات اجرا شده نتوانست زمان آزمون برخاستن از صندلی را به طور معنی دار تغییر دهد (جدول سه). همچنین، نتایج نشان داد که توده چربی و ضربان قلب استراحتی به طور معنی‌داری پس از تمرین HIIT، کاهش یافته اند (برای هر دو $p<۰/۰۵$) (جدول سه).

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اجرای هشت هفته HIIT

1. MyBioSource
2. Declaration of Helsinki
3. Normile
4. Shapiro-Wilk
5. Analysis of covariance

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس در مورد مقایسه متغیرهای وابسته در دو گروه تجربی و کنترل

متغیرها	گروه ها	پیش آزمون	پس آزمون	F	P
وضعیت اکسیدانی تام (میلی مول/میلی‌لیتر)	تمرین	۱۵/۸۰±۰/۹۱	۱۴/۷۳±۰/۹۴	۲۵/۹۹	۰/۰۰۱*
	کنترل	۱۵/۷۳±۱/۰۳	۱۵/۸۳±۰/۹۴		
ظرفیت آنتی اکسیدانی تام (میلی مول/میلی‌لیتر)	تمرین	۱/۱۹±۰/۱۳	۱/۶۵±۰/۲۱	۳۷/۳۳	۰/۰۰۱*
	کنترل	۱/۲۰±۰/۱۷	۱/۲۴±۰/۱۷		
سسترین-۲ (نانوگرم/میلی‌لیتر)	تمرین	۰۰/۲۳±۰/۱۷	۰۰/۴۲±۰/۱۸	۴۲/۴۲	۰/۰۰۱*
	کنترل	۰۰/۳۲±۰/۲۲	۰۰/۳۱±۰/۲۱		
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	تمرین	۳۶/۱۰±۱/۳۷	۴۰/۷۲±۳/۴۸	۲۱/۹۵	۰/۰۰۱*
	کنترل	۳۳/۹۵±۱/۵۳	۳۳/۸۴±۱/۳۷		
سرعت راه رفتن (ثانیه)	تمرین	۲/۳۲±۰/۴۲	۲/۰۵±۰/۴۳	۲۰/۲۰	۰/۰۰۱*
	کنترل	۲/۵۰±۰/۲۹	۲/۵۸±۰/۲۸		
زمان بلند شدن و حرکت کردن (ثانیه)	تمرین	۶/۳۵±۱/۱۷	۶/۱۰±۱/۳۶	۷/۱۷	۰/۰۵*
	کنترل	۶/۸۵±۲/۰۱	۷/۳۴±۲/۰۰		
بلند شدن از صندلی (ثانیه)	تمرین	۱۳/۵±۲/۹۳	۱۴/۵۸±۲/۰۱	۱/۵۸	۰/۲۲۲
	کنترل	۱۵/۰۰±۳/۶۱	۱۴/۱۷±۳/۱۵		
ضربان قلب استراحتی (ضربه/دقیقه)	تمرین	۷۴/۱۷±۱۴/۵۸	۷۱/۲۵±۱۰/۸۷	۵/۵۷	۰/۰۵*
	کنترل	۷۱/۰۸±۱۱/۳۴	۶۹/۹۲±۵/۴۳		
توده چربی (کیلوگرم)	تمرین	۳۷/۵۶±۱۰/۴۲	۳۶/۲۶±۱۰/۷۹	۴/۱۴	۰/۰۵*
	کنترل	۳۳/۷۸±۷/۲۹	۳۳/۷۵±۶/۸۷		

با شدت ۸۵ تا ۹۵ درصد HRmax باعث کاهش معنی‌دار TOS و افزایش معنی‌دار TAC می شود. نتایج تحقیق ما با نتایج تحقیق کاسیم[1] و دیگران (۲۰۲۰) و موتا[2] و دیگران (۲۰۱۶) مبنی بر بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی یا کاهش سطح استرس اکسیداتیو (به ترتیب) پس از ورزش تایچی و فعالیت ورزشی ترکیبی، همسو است. به علاوه، سینها و دیگران (۲۰۰۷) نشان داده اند که شش ماه تمرینات یوگا باعث افزایش سطوح TAC می شود. همین طور لوبکوفسکا[3] و دیگران (۲۰۱۳) گزارش کرده اند که انجام پنج هفته شنای زمستانی به مدت ۳۰ دقیقه در صبح، باعث کاهش سطوح TOS و افزایش سطوح TAC در مردان سالم می‌شود. پیترلی و دیگران (۲۰۱۸) نیز گزارش کرده‌اند که ۶۴ هفته تمرینات هوازی در موش‌های صحرایی، باعث کاهش استرس اکسیداتیو می‌گردد. ماجرزاک و دیگران (۲۰۱۰) نیز اظهار داشته اند که اجرای پنج هفته تمرینات استقامتی با شدت متوسط، فعالیت بهتر دفاع آنتی اکسیدانی در مردان جوان سالم را به همراه دارد. با این حال، تعداد محدودی از تحقیقات نیز نشان داده‌اند که فعالیت ورزشی با افزایش استرس اکسیداتیو همراه است. برای مثال، گزارش شده که فعالیت ورزشی با شدت بالا به شکل رکاب زدن می‌تواند باعث افزایش استرس اکسیداتیو و آسیب به عضله در افراد سالمند شود، در حالی‌که دوره کوتاه آن باعث کاهش استرس اکسیداتیو می شود (گونزالز- بارتولین[4] و دیگران، ۲۰۱۹). همچنین، گزارش شده که اجرای حاد HIIT، باعث افزایش استرس اکسیداتیو در افراد سالم می‌شود (بوگدانیس[5] و دیگران، ۲۰۱۳). دلایل

1. Kasim
2. Mota
3. Lubkowska
4. González-Bartholin
5. Bogdanis

احتمالی این اختلاف در نتایج، به شدت بالای تمرینات و یا حاد بودن فعالیت بر می گردد.

یکی از مکانیسم های دفاعی بدن در برابر رادیکال های آزاد، دستگاه دفاع آنتی اکسیدانی است. در تحقیق حاضر نیز اجرای هشت هفته HIIT توانست باعث افزایش معنی‌دار TAC شود که احتمالاً از طریق سازوکارهای احیای رادیکال‌های آزاد، حذف رادیکال آزاد هیدروکسیل و خنثی نمودن پراکسید هیدروژن؛ دفاع آنتی اکسیدانی را بهبود می بخشد. از سوی دیگر، شواهد تحقیقی متعددی وجود دارد که بین بافت چربی و دفاع آنتی اکسیدانی رابطه معنی‌داری وجود دارد، به طوری که با افزایش بافت چربی، قدرت آنتی اکسیدانی کاهش می‌یابد (مانا[1] و دیگران، ۲۰۱۵). با این حال، شواهد بسیاری نیز وجود دارد که بین سطح فعالیت بدنی و نشانگرهای التهابی رابطه معکوسی وجود دارد، به گونه ای که هر چه سطح آمادگی بالاتر باشد، کاهش این نشانگرها قابل توجه‌تر است (متسیوس[2] و دیگران، ۲۰۲۰). در تحقیق حاضر نیز پس از اجرای HIIT، توده چربی بدن کاهش معنی‌داری پیدا کرد و این تغییرات می‌تواند توجیه کننده بهبود عملکرد دفاع سیستم آنتی اکسیدانی بدن افراد شرکت کننده در مطالعه باشد. اعتقاد بر آن است اجرای HIIT باعث افزایش فعالیت کمپلکس IV[3] و محتوای کراتین کیناز[4] میتوکندریایی می شود. کراتین کیناز میتوکندریایی از اجزای مهم شاتل فسفوکراتین[5] است و فسفوریله شدن مجدد کراتین آزاد، به عنوان یک فرآیند هوازی شناخته می شود که منعکس کننده عملکرد زنجیره انتقال الکترونی می باشد (گیبالا و دیگران، ۲۰۰۸). این موضوع احتمالاً منجر به کاهش فشار اکسیداتیو و افزایش جریان انتقال الکترون شده و در نتیجه، گلوتاتیون کمتری اکسیده می شود. از این رو، افزایش در TAC پس از HIIT را می توان به این تغییرات نسبت داد.

نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که اجرای هشت هفته HIIT موجب افزایش معنی‌دار سطوح سرمی سسترین-۲ در مردان سالمند می شود. در همین راستا، لِنهار و دیگران (۲۰۱۷) نشان داده اند که یک وهله فعالیت ورزشی شنا باعث افزایش سطوح این پروتئین در عضله نعلی موش‌ها می شود. کریسول و دیگران (۲۰۱۸) نیز نشان داده اند که تمرینات استقامتی به مدت چهار هفته و با شدت ۶۰ درصد حداکثر بارکاری، موجب افزایش سطوح سسترین-۲ در موش های صحرایی می شود. تحقیقات اندکی در مورد تاثیر تمرینات ورزشی بر سطوح سیسترئین-۲ انجام گرفته است و این باعث شده که مکانیسم‌های تبیین کننده نقش آن، بخوبی مشخص و روشن نباشد. با این حال، طبق مطالعات قبلی، سسترین-۲ هنگام استرس اکسیداتیو و اکسیداسیون اسیدهای نوکلئیک فعال شده و به طور مستقیم باعث کاهش رادیکال های آزاد شده (پاشا و دیگران، ۲۰۱۷) و محافظت از سلول‌ها در مقابل استرس‌های فیزیولوژیک را به همراه دارد (کریسول و دیگران، ۲۰۱۸). همچنین، مطالعات قبلی نشان داده اند که تمرین ورزشی به شکل شنا می‌تواند باعث افزایش سطوح سیسترین-۲ شده و توانایی اتوفاژی سلول عضلانی را افزایش دهد (لِنهار و دیگران، ۲۰۱۷). از طرفی، در مطالعات جدیدتر، کیم[6] و دیگران (۲۰۲۰) نشان داده اند که سسترین‌ها بعنوان میانجی‌های نوین در ایجاد و بروز سازگاری‌ها و فواید تمرینات ورزشی عمل می کنند. آن‌ها گزارش کرده اند که گیرنده فعال شده با تکثیرکننده پروکسی زوم – هم فعال کننده گاما –۱ آلفا[7] (PGC1-α) از مهم ترین اهداف پائین دست سسترین‌ها است که به طور ویژه در تعدیل آثار آن ها در پاسخ به تمرینات استقامتی بلندمدت، نقش بازی می‌کند. همچنین، مطالعات دیگر نشان داده‌اند که تمرینات هوازی بلند مدت می‌توانند از طریق فعال سازی مسیر پیام دهی PGC1-a/ پروتئین کیناز فعال شده با ای ام پی[8] (AMPK) و نیز فعال‌سازی عملکرد اتوفاژی، روند شکست پروتئین و ایجاد سارکوپنیای سالمندی را کندتر کنند (لیانگ[9] و دیگران، ۲۰۲۱؛ آلیسون[10] و دیگران، ۲۰۱۶). بنابراین، با توجه به این که سسترین-۲ می تواند باعث فعال‌سازی PGC1-a شود و آن نیز کاهش تجزیه پروتئین را در پی دارد، سسترین-۲ می تواند نقش مهمی در کند کردن روند پیری داشته باشد. از طرف دیگر، زنگ و دیگران (۲۰۱۷) نشان داده اند که یک جلسه تمرینی حاد، باعث افزایش بیان سسترین-۲ در عضلات اسکلتی مردان جوان می‌شود. با این حال، این مطالعات تک جلسه‌ای بوده و اثر حاد فعالیت را مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین، فعالیت مورد استفاده در مطالعه مذکور از نوع تمرینات مقاومتی بوده که به لحاظ سازگاری‌های می‌تواند با تمرین هوازی متفاوت باشد. در کل، چنین یافته‌هایی با نتایج مطالعه حاضر که تاثیر مزمن تمرین را مورد بررسی قرار داده است، به طور مستقیم قابل مقایسه نمی باشد. مطالعه بیشتر در این زمینه و مقایسه اثر تمرینات مختلف، دیدگاه روشن تری فراهم خواهد آورد.

1. Monna
2. Metsios
3. Complex IV
4. Creatine kinase
5. Phosphocreatine shuttle
6. Kim
7. Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha (PGC-1α)
8. AMP-activated protein kinase (AMPK)
9. Liang
10. Allison

دیگر نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اجرای هشت هفته HIIT باعث افزایش معنی‌دار VO_2max و بهبود زمان آزمون سرعت راه رفتن و آزمون TUG می شود. با این حال، تغییر معنی‌داری در رکورد آزمون بلند شدن از صندلی مشاهده نشد. در همین راستا، نتایج تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که تمرینات ورزشی می‌توانند باعث بهبود این شاخص‌های عملکردی در افراد سالمند شوند. برای مثال، سکورا[1] و دیگران (۲۰۱۹) نشان داده اند که ۱۲ هفته تمرینات ورزشی جامع، شامل ۳۰ دقیقه راه رفتن، فعالیت‌های مقاومتی و تمرین تعادلی با شدت متوسط؛ باعث بهبود زمان آزمون TUG در سالمندان دارای سارکوپنیا[2] می شود. همچنین، استاور[3] و دیگران (۲۰۱۶) نشان داده اند که ۱۶ هفته تمرین مقاومتی با شدت ۸۰ تا ۸۵ درصد یک تکرار بیشینه، باعث بهبود آزمون عملکردی تعدیل‌شده در سالمندان می گردد. ویکبرگ و دیگران (۲۰۱۹) نیز نشان داده اند که ۱۰ هفته تمرین مقاومتی (سه جلسه در هفته و ۴۵ دقیقه در هر جلسه) با شدت ۶ تا ۱۰ در مقیاس بورگ؛ باعث افزایش قدرت عملکردی از جمله آزمون نشستن و بلند شدن می گردد؛ با این حال، تغییر معنی داری در نتایج آزمون TUG ایجاد نمی‌کند. مالتیاس[4] و دیگران (۲۰۱۶) گزارش کرده اند که ۱۶ هفته تمرین بدنی ترکیبی (۶۰ دقیقه در هفته) با شدت متوسط، باعث افزایش توان هوازی، بهبود آزمون TUG و بلند شدن از صندلی می‌شود. چنین به نظر می‌رسد که انجام هشت هفته HIIT می‌تواند به وسیله تحت فشار قرار دادن دستگاه هوازی، باعث سازگاری‌هایی در سالمندان شود که افزایش VO_2max را به همراه دارد. از طرفی، این تمرینات باعث بهبود عملکرد در آزمون سرعت راه رفتن و آزمون TUG می‌شود؛ یعنی تغییراتی که احتمالاً به دلیل نزدیکی الگوی حرکتی به کار رفته در این نوع از تمرینات و آزمون‌های مذکور است؛ همچنان که این تمرینات تاثیری بر آزمون بلند شدن از صندلی نداشت.

نتیجه گیری: نتیجه تحقیق حاضر و نتایج تحقیقات قبلی، نشان از آن دارد که انجام تمرینات ورزشی می‌تواند باعث بهبود تعادل اکسیدانی/آنتی اکسیدانی و افزایش شاخص‌های عملکردی در افراد سالمند شود؛ تغییراتی که می‌تواند باعث استقلال فردی در این افراد شده و عامل مهمی در بالارفتن کیفیت زندگی آن ها باشد. در مجموع، می توان گفت HIIT در سالمندان با در نظر گرفتن ملاحظات تمرینی، به عنوان یک روش تمرینی سودمند قابل استفاده می باشد. در پژوهش حاضر محدودیت هزینه‌ای برای کنترل دیگر متغیرهای درگیر در تعادل اکسیدانی/آنتی اکسیدانی وجود داشت؛ بنابراین، مطالعه در زمینه بررسی تاثیرات این مدل تمرینی بر دیگر شاخص‌ها در سالمندان پیشنهاد می گردد.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله حاضر هیچگونه تعارض منافعی ندارند.

قدردانی و تشکر

از تمام سالمندانی که در انجام این طرح ما را یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را داریم. همچنین از معاونت پژوهشی دانشگاه علامه طباطبائی برای حمایت مالی این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارد.

منابع

Allison, H., Chun-Seok, C., Sim, N., Uhn-soo, C., & Jun, H.L. (2016). Biochemical basis of sestrin physiological activities. *Trends in Biochemical Sciences, 41***(7), 621-632. https://doi.org/10.1016/j.tibs.2016.04.005.**

Batacan JR, R.B., Duncan, M.J., Dalbo, V.J., Tucker, P.S., & Fenning, A.S. (2016). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Columbia Journal of Sports Medicine, 51*, **494–503. https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095841.**

Bogdanis, G.C., Stavrinou, P., & Fatouros I.G. (2013). Short-term high-intensity interval exercise training attenuates oxidative stress responses and improves antioxidant status in healthy humans. *Food and Chemical Toxicology, 61*, **171–177. https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.046.**

Crisol, B.M., Lenhare, L., Gaspar, R.S., Gaspar, R.C., Muñoz, V.R., da Silva, A.S.R., … & Ropelle, E.R. (2018). The role of physical exercise on Sestrin1 and 2 accumulations in the skeletal muscle of mice. *Life Sciences, 194*, **98-103. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2017.12.023.**

1. Tsekoura
2. Sarcopenia
3. Stoever
4. Maltais

Cui, H., Kong, Y., Zhang, H. (2012). Oxidative stress, mitochondrial dysfunction, and aging. *Journal of Signal Transduct, 2012,* **646354. https://doi.org/10.1155/2012/646354.**

Fex, A., Leduc-Gaudet, J.P., Filion, M.E., Karelis, A.D., & Aubertin-Leheudre, M. (2015). Effect of elliptical high intensity interval training on metabolic risk factor in pre- and type 2 diabetes patients: a pilot study. *Journal of Physical Activity and Health, 12*, **942–946. https://doi.org/10.1123/jpah.2014-0123.**

Finkel, T., & Holbrook, N.J. (2012). Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature, 408*(**6809), 239-48. https://doi.org/10.1038/35041687.**

García-Pinillos, F., Cámara-Pérez, J.C., Soto-Hermoso, V.M., & Latorre-Román, P.Á. (2017). A high intensity interval training (HIIT)-based running plan improves athletic performance by improving muscle power. *Journal of Strength and Conditioning Research, 31,* **146–153. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001473.**

Gibala, M.J., Little, J.P., Macdonald, M.J., & Hawley, J.A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *Journal of Physiology, 590*(**5**),**1077-84. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725.**

Gibala, M.J., Little, J.P., Van Essen, M., Wilkin, G.P., Burgomaster, K.A., Safdar, A., … & Tarnopolsky, M.A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology, 575*, **901–911. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112094.**

Gibala, M.J., & McGee, S.L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?. *Exercise and Sport Sciences Reviews, 36*, **58–63. https://doi.org/10.1097/jes.0b013e318168ec1f.**

Gillen, J.B., & Gibala, M.J. (2014). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 39*, **409–412. https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0187.**

González-Bartholin, R., Mackay, K., Valladares, D., ZbindenFoncea, H., Nosaka, K., & Peñailillo, L. (2019). Changes in oxidative stress, inflammation and muscle damage markers following eccentric versus concentric cycling in older adults. *European Journal of Applied Physiology, 119*(**10), 2301– 2312. https://doi.org/10.1007/s00421-019-04213-7.**

Gutteridge, J.M.C., & Halliwell, B. (2018). Mini-Review: Oxidative stress, redox stress or redox success?. *Biochemical and Biophysical Research Communications, 502*(**2**),**183-186. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.05.045.**

Hamilton, M.L., Van Remmen, H., Drake, J.A., Yang, H., Guo, Z.M., Kewitt, K., … & Richardson, A. (2001) Does oxidative damage to DNA increase with age?. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 98*(**18), 10469-74. https://doi.org/10.1073/pnas.171202698.**

Handler, E., & Sowton, E. (1984). A comparison of the Naughton and modified Bruce treadmill exercise protocols in their ability to detect ischaemic abnormalities six weeks after myocardial infarction. *European Heart Journal, 5*(**9), 752-5. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a061737.**

Karlsen, T., Aamot, I.L., Haykowsky, M., & Rognmo, T. (2017). High intensity interval training for maximizing health outcomes. *Progress in Cardiovascular Diseases, 60,* **67–77. https://doi.org/10.1016/j.pcad.2017.03.006.**

Kasim, N.F., Veldhuijzen van Zanten, J., & Aldred, S. (2020). Tai Chi is an effective form of exercise to reduce markers of frailty in older age. *Experimental Gerontology, 135*, **110925. https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.110925.**

Kim, M., Sujkowski, A., Namkoong, S., Gu, B., Cobb, T., Kim, B., … & Lee, J.H. (2020). Sestrins are evolutionarily conserved mediators of exercise benefits. *Nature Communications, 11*, **190. https://doi.org/10.1038/s41467-019-13442-5**

Knowles, A.M., Herbert, P., Easton, C., Sculthorpe, N., & Grace, F.M. (2015). Impact of low-volume, high-intensity interval training on maximal aerobic capacity, health-related quality of life and motivation to exercise in ageing men. *Age, 37*, **1-12. https://doi.org/10.1007/s11357-015-9763-3.**

Lee, J.H., Budanov, A.V., & Karin, M. (2013). Sestrins orchestrate cellular metabolism to attenuate aging. *Cell Metabolism, 18*(**6**), **792-801. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.08.018.**

Lenhare, L., Crisol, B.M., Silva, V.R.R., Katashima, C.K., Cordeiro, A.V., Pereira, K.D., … & Ropelle, E.R. (2017). Physical exercise increases Sestrin 2 protein levels and induces autophagy in the skeletal muscle of old mice. *Experimental Gerontology, 15*(**97**), **17-21. https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.07.009.**

Liang, J., Zhang, H., Zeng, Z., Wu, L., Zhang, Y., Guo, Y., … & Chen, N. (2021). Lifelong aerobic exercise alleviates sarcopenia by activating autophagy and inhibiting protein degradation via the AMPK/PGC-1α signaling pathway. *Metabolites, 11*(**5**), **323. https://doi.org/10.3390/metabo11050323.**

Ling, X.C., & Kuo, K.L. (2014). Oxidative stress in chronic kidney disease. *Renal Replacement Therapy , 4*(**1**), **53. https://doi.org/10.1186/s41100-018-0195-2.**

Lubkowska, A., Dolegowska, B., Szygula, Z., Bryczkowska, I., Stanczyk-Dunaj, M., Salata, D., & Budkowska, M. (2013). Winter-swimming as a building-up body resistance factor inducing adaptive changes in the oxidant/antioxidant status. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation, 73*(**4**), **315-25. https://doi.org/10.3109/00365513.2013.773594.**

Majerczak, J., Rychlik, B., Grzelak, A., Grzmil, P., Karasinski, J., Pierzchalski, P., … & Zoladz, J.A. (2010). Effect of 5-week moderate intensity endurance training on the oxidative stress, muscle specific uncoupling protein (UCP3) and superoxide dismutase (SOD2) contents in vastus lateralis of young, healthy men. *Journal of Physiology and Pharmacology, 61*(**6**), **743-51. PMID: 21224506.**

Manna, P., & Jain, S.K. (2015). Obesity, oxidative stress, adipose tissue dysfunction, and the associated health risks: causes and therapeutic strategies. Metabolic Syndrome and Related Disorders, 13(10): 423–444. https://doi.org/10.1089/met.2015.0095.

Maltais, M.L., Ladouceur, J.P., & Dionne, I.J. (2016). The effect of resistance training and different sources of postexercise protein supplementation on muscle mass and physical capacity in sarcopenic elderly men. *Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(**6**), **1680-7. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001255.**

Metsios, G.S., Moe, R.H., & Kitas, G.D. (2010). Exercise and inflammation. *Best Practice & Research: Clinical Rheumatology, 34*(**2**), **101504. https://doi.org/10.1016/j.berh.2020.101504.**

Moro, T., Tinsley, G., Bianco, A., Gottardi, A., Gottardi, G.B., Faggian, D., … & Paoli, A. (2017). High intensity interval resistance training (HIIRT) in older adults: Effects on body composition, strength, anabolic hormones and blood lipids. *Experimental Gerontology, 98*, **91-98. https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.08.015.**

Mota, M.P., Dos Santos, Z.A., Soares, J.F.P., de Fátima Pereira, A., João, P.V., Gaivão, I.O.N., & Oliveira, M.M. (2019). Intervention with a combined physical exercise training to reduce oxidative stress of women over 40 years of age. *Experimental Gerontology, 123*, **1-9. https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.05.002.**

Normile, D. (2008). ETHICS: Clinical trials guidelines at odds with U.S. policy. *Science, 322*(**5901**), **516. https://doi.org/10.1126/science.322.5901.516**

Pasha, M., Eid, A.H., Eid, A.A., Gorin, Y., & Munusamy, S. (2017). Sestrin2 as a novel biomarker and therapeutic target for various diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017*, **1-10. 3296294. https://doi.org/10.1155/2017/3296294.**

Pietrelli, A., Di Nardo, M., Masucci, A., Brusco, A., Basso, N., & Matkovic, L. (2018). Lifelong aerobic exercise reduces the stress response in rats. *Neuroscience, 376*, **94-107. https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.02.019.**

Semba, R.D., Gonzalez-Freire, M., Tanaka, T., Biancotto, A., Zhang, P., Shardell, M., ... & Ferrucci, L. (2020). Elevated plasma growth and differentiation factor 15 is associated with slower gait speed and lower physical performance in healthy community-dwelling adults. The Journals of Gerontology. *Series A, Biological Sciences and Medical Sciences, 75*(1), **175-180. https://doi.org/10.1093/gerona/glz071.**

Sinha, S., Singh, S.N., Monga, Y.P. & Ray, U.S. (2007). Improvement of glutathione and total antioxidant status with yoga. *Journal of Integrative and Complementary Medicine, 13*(10), **1085-90. https://doi.org/10.1089/acm.2007.0567.**

Stoever, K., Heber, A., Eichberg, S., & Brixius, K. (2018). Influences of resistance training on physical function in older, obese men and women with sarcopenia. *Journal of Geriatric Physical Therapy, 41*(1), **20-27. https://doi.org/10.1519/jpt.0000000000000105.**

Tanaka, H., Monahan, K.D., Seals, D.R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journals of the American College of Cardiology, 37*, **153-6. https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8.**

Tjonna, A.E., Lee, S.J., Rognmo, O., Stolen, T., Bye, A., Haram, P.M., … & Wisloff, E. (2008). Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome. *Circulation, 118*(4), **346–354. https://doi.org/10.1161/circulationaha.108.772822.**

Tsekoura, M., Billis, E., Tsepis, E., Dimitriadis, Z., Matzaroglou, C., Tyllianakis, M., … & Gliatis, J. (2018). The effects of group and home-based exercise programs in elderly with sarcopenia: a randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine, 7*(12), **480. https://doi.org/10.3390/jcm7120480.**

Vikberg, S., Sörlén, N., Brandén, L., Johansson, J., Nordström, A., Hult, A., & Nordström, P. (2019). Effects of resistance training on functional strength and muscle mass in 70-year-old individuals with pre-sarcopenia: a randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Directors Association, 20*(1), **28-34. https://doi.org/10.1016/j.jamda.2018.09.011.**

Wang, P., Li, C.G., Qi, Z., Cui, D., & Ding, S. (2016). Acute exercise stress promotes Ref1/Nrf2 signalling and increases mitochondrial antioxidant activity in skeletal muscle. *Experimental Physiology,101*(3), **410-20. https://doi.org/10.1113/ep085493.**

Zeng, N., D'Souza, R.F., Figueiredo, V.C., Markworth, J.F., Roberts, L.A., Peake, J.M., … & Cameron-Smith, D. (2017). Acute resistance exercise induces Sestrin2 phosphorylation and p62 dephosphorylation in human skeletal muscle. *Physiological Reports, 5*(24), **e13526. https://doi.org/10.14814/phy2.13526.**