University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Summer 2023, 11(26), 56-66

Received: Dec 9, 2021 Revised: Apr 21, 2022 Accepted: Apr 25, 2022

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

The effect of endurance training and zinc supplementation on glutathione peroxidase activity and total antioxidant capacity of skeletal muscle of male wistar rats

Zohreh Zeighami[1], Aghaali Ghasemnian[2], Samaneh Hadi[1]*

1. MS.c in Applied Exercise Physiology, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2 . Associate Professor at Department of Sport Sciences, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan ,Iran.

Abstract

Background and Aim: Considering the role of zinc in activating antioxidant enzymes, the aim of the present study was to investigate the effect of eight weeks of endurance training and zinc supplementation on glutathione peroxidase activity and total antioxidant capacity in the skeletal muscle of male Wistar rats. **Materials and Methods:** Thirty two mature male Wistar rats, were randomly divided into four groups (each group was included eight rats) as control, endurance training, zinc supplementation and endurance training+supplement. The training protocol consisted of running on a treadmill for eight weeks (five days/week) with ad libitum access to water and food. In the zinc supplemented and endurance training+zinc groups, 227 mg of zinc sulfate were used per 100 ml of consumed water for eight weeks period. Then, 48 hours after the last exercise session and after eight hours of fasting, tissue samples of gastrocnemius muscle were collected and enzyme activity of glutathione peroxidase (GPX) and total antioxidant capacity (TAC) in gastrocnemius muscle was measured by spectrophotometric method. Data were analyzed using one-way analysis of variance and Tukey's post hoc tests at the significant level $p \leq 0.05$. **Results:** The results showed that after eight weeks of endurance training along with zinc supplementation there was a significant increase in GPX of gastrocnemius muscle compared to the endurance training group ($p=0.001$). In addition, eight weeks of endurance training showed a significant decrease in GPX of gastrocnemius muscle compared to the control group ($p=0.03$). Moreover, endurance training along with zinc supplementation also showed a significant increase in TAC of gastrocnemius muscle as compared to supplement ($p=0.008$) and training ($p=0.001$) groups. **Conclusion:** Considering the effect of zinc supplementation along with endurance training on increasing of GPX and TAC, zinc supplementation will probably prevent the reduction of antioxidant enzymes and complications caused by strenuous endurance training.

Keywords: Endurance training, Antioxidants, Oxidative stress, Zinc supplementation.

Cite this article:
Zeighami, Z., Ghasemnian, A., & Hadi, S. (2023). The effect of endurance training and zinc supplementation on glutathione peroxidase activity and total antioxidant capacity of skeletal muscle of male Wistar rats. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 11***(26), 56-66.**

*** Corresponding Author, Address: Department of Sport Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran;**
Email: S_hadi@alumni.znu.ac.ir
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.4933.1687

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
تابستان ۱۴۰۲، دوره ۱۱، شماره ۲۶، ص ۶۶-۵۶
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۸ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵
دانشگاه بیرجند
نشریه مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش

تاثیر تمرین استقامتی شدید و مکمل‌سازی با روی بر فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز و ظرفیت ضد اکسایشی تام عضلهٔ اسکلتی موش‌های صحرایی نر ویستار

زهره ضیغمی[۱]، آقاعلی قاسم‌نیان[۲]، سمانه هادی[۱*]

۱. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی کاربردی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانشیار گروه علوم ورزشی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به نقش روی در فعال‌سازی آنزیم‌های ضد اکسایشی، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر هشت هفته تمرین استقامتی شدید و مصرف مکمل روی بر فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز و ظرفیت ضد اکسایشی تام عضلهٔ اسکلتی موش‌های صحرایی نر ویستار بود. **روش تحقیق:** در این پژوهش، ۳۲ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار به طور تصادفی در چهار گروه (هر گروه ۸ سر موش) شامل گروه کنترل، تمرین، مکمل روی، و تمرین + مکمل قرار گرفتند. برنامهٔ تمرینی شامل هشت هفته اجرای تمرین استقامتی بر روی نوارگردان (پنج جلسه در هفته) بود. در گروه‌های مکمل روی و روی+تمرین میزان ۲۲۷ میلی‌گرم سولفات روی در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب در دورهٔ هشت هفته‌ای مصرف شد. آب و غذای مصرفی به صورت آزادانه در اختیار نمونه‌ها قرار گرفت و ۴۸ ساعت بعد از اتمام آخرین جلسهٔ تمرینی و پس از هشت ساعت ناشتایی، همه موش‌ها تشریح شدند و عضلهٔ دوقلوی موش‌ها جدا گردید. با استفاده از روش اسپکتروفتومتری میزان آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز و ظرفیت ضد اکسایشی تام عضلهٔ دوقلو سنجش شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل واریانس یک راهه و آزمون تعقیبی توکی در سطح معنی‌داری $p\leq ۰/۰۵$ استفاده شد. **یافته‌ها:** هشت هفته تمرین استقامتی شدید همراه با مصرف مکمل روی، سبب افزایش معنی‌دار میزان آنزیم گلوتاتیون‌پراکسیداز عضلهٔ دوقلو نسبت به اجرای تمرین استقامتی شدید به تنهایی شد (p=۰/۰۰۱). علاوه بر این، اجرای تمرین استقامتی شدید سبب کاهش معنی‌دار میزان آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز عضلهٔ دوقلو نسبت به گروه کنترل (p=۰/۰۳) شد. همچنین، تمرین استقامتی شدید همراه با مصرف مکمل روی موجب افزایش ظرفیت ضد اکسایشی تام عضلهٔ دوقلو نسبت به مصرف مکمل (p=۰/۰۰۸) و اجرای تمرین (p=۰/۰۰۱) شد. **نتیجه‌گیری:** با توجه به تاثیر مکمل روی همراه با تمرین استقامتی شدید بر افزایش سطح آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز و ظرفیت ضد اکسایشی تام، احتمالاً مکمل روی مانع از کاهش آنزیم ضد اکسایشی و عوارض ناشی از تمرینات استقامتی شدید خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تمرین استقامتی، ضد اکسایش‌ها، فشار اکسایشی، مکمل روی.

* نویسنده مسئول، آدرس: زنجان، دانشگاه زنجان، گروه علوم ورزشی؛
پست الکترونیک: S_hadi@alumni.znu.ac.ir

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.4933.1687

مقدمه

فعالیت ورزشی، اثرات مفیدی بر اندام‌های مختلف بدن، از جمله دستگاه قلبی تنفسی و عصبی- عضلانی دارد (لیت[1] و دیگران، ۲۰۱۲). با وجود این واقعیت که ورزش مداوم اثرات مفیدی دارد؛ به خوبی مشخص شده است که فعالیت ورزشی بسته به شدت یا مدت آن، می‌تواند سبب بروز فشار اکسایشی[2] و مرگ سلولی گردد (اسکوپل[3] و دیگران، ۲۰۰۶). همچنین فعالیت ورزشی، تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن[4] (ROS) را افزایش می‌دهد. عواملی مانند ROS به راحتی ماکرومولکول‌های مختلف مانند چربی‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک را اکسیده می‌کنند و باعث کاهش سطح ضد اکسایش های بدن و بروز عوارض ناشی از فشار اکسایشی می‌گردند (باتیستلی[5] و دیگران، ۲۰۱۶). افزایش تولید ROS و رادیکال‌های آزاد[6] و پیشی گرفتن آن از دستگاه ضد اکسایشی ورزشکار، سبب بروز اختلالات جبران ناپذیر سلولی می‌شود روندی که می‌تواند به سلامت و عملکرد جسمانی فرد آسیب برساند (گرزی و اکرادی، ۲۰۲۰). در انسان، ROS به وسیلهٔ دستگاه ضد اکسایشی شامل مولکول‌های آنزیمی مانند سوپراکسیددیسموتاز[7] (SOD)، کاتالاز[8] (CAT)، گلوتاتیون‌پراکسیداز[9] (GPX) و مولکول‌های غیرآنزیمی مانند ویتامین E، C، A، گلوتاتیون و اسید اوریک، کنترل و خنثی می‌شود (میچالیدیس[10] و دیگران، ۲۰۱۳). آنزیم‌های ضد اکسایشی اولین خط دفاعی در برابر حمله انواع رادیکال‌های فعال اکسیژن هستند (قراخانلو و دیگران، ۲۰۰۷). هر یک از ترکیبات ضد اکسایشی نقش منحصر به فردی دارند که عمل یکدیگر را کامل می‌کنند و برآیند آنها تحت عنوان ظرفیت ضد اکسایشی تام[11] (TAC) تلقی می‌گردد (افضل‌پور و دیگران، ۲۰۰۵).

پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که علایم بالینی فشار اکسایشی و وضعیت نشانگرهای ضد اکسایشی (GPX و TAC) بسته به شدت، مدت، تکرار و نوع فعالیت ورزشی، تغییر می‌کند (مهر[12] و دیگران، ۲۰۱۶). در بسیاری از پژوهش‌های انجام گرفته در زمینهٔ فشار اکسایشی از تمرینات هوازی استفاده شده است. تانگ[13] و دیگران (۲۰۱۵) در پژوهش خود نشان دادند که شش هفته تمرین تداومی، موجب افزایش آنزیم‌های ضد اکسایشی بافت قلب می‌شود. علاوه بر این، گزارش شده است که به دنبال هشت هفته تمرین استقامتی شدید، بافت کبد و قلب بیشتر از عضلهٔ دوقلو تحت تاثیر فشار اکسایشی قرار می‌گیرد (گرزی و دیگران، ۲۰۱۸). به طور کلی، استفاده از تمرینات استقامتی با حجم زیاد توسط ورزشکاران نخبه، می‌تواند موجب کاهش کارآیی دستگاه ضد اکسایشی ، افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و در نهایت سطوح متفاوت فشار اکسایشی شود؛ تغییراتی که به نوع بافت بستگی دارد (گرزی و اکرادی، ۲۰۲۰). در همین راستا، گومز-کابررا[14] و دیگران (۲۰۰۸) بیان کرده‌اند که انجام دادن یک برنامهٔ تمرینی با حجم زیاد در مدت طولانی، می‌تواند موجب تخریب اکسایشی سلول شود و هومئوستاز آن را مختل کند؛ به ویژه اگر مواد ضد اکسایشی برون‌زا توسط ورزشکاران به میزان کافی مصرف نشده باشد. علاوه بر این، ورزشکاران به دلیل شرایط خاص مسابقه و تحمل این شرایط، نیازمند دستگاه ضد اکسایشی کارآمدتری نسبت به دیگر افراد هستند؛ زیرا بدون آن، دستگاه تولید انرژی ارگانیسم‌های هوازی بدن قادر نخواهد بود که وظیفهٔ خود را به درستی انجام دهند. یکی از این راه‌کارها توجه به تغذیه و مواد غذایی به ویژه مواد ضد اکسایشی است.

عنصر روی یکی از مواد غذایی ضد اکسایشی محسوب می‌شود. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که روی نقش بسیار مهمی بر عملکردهای بیولوژیک و فیزیولوژیک انسان دارد. به طور مثال، گزارش شده است که روی در فعال‌سازی بیش از ۳۰۰ نوع آنزیم که واسطهٔ تنظیم بیوسنتز ماکرومولکول‌ها در DNA، RNA و پروتئین‌ها هستند و در رشد و تکثیر و سایر سازوکارهای سلول نقش دارند، شرکت می‌کند (پراساد و بائو[15]، ۲۰۱۹). به طور کلی، روی یک عامل ضد اکسایش مستقیم نیست؛ اما می‌تواند به سولفور (تیولات)[16] دهندهٔ سیستئین متصل شده و تیولات روی تشکیل دهد؛ اکسایش‌ها می‌توانند با تیولات تعامل

1. Leite
2. Stress oxidative
3. Scopel
4. Reactive oxygen species
5. Battistelli
6. Free radicals
7. Superoxide dismutase
8. Catalase
9. Glutathione peroxidase
10. Michailidis
11. Total antioxidant capacity
12. Mohr
13. Tung
14. Gomez-Cabrera
15. Prasad & Bao
16. Thiolate

برقرار کنند و روی را آزاد کنند. این رهاسازی روی، یک پاسخ ضد اکسایشی در برابر فشار اکسایشی ایجاد می‌کند (پراساد و بائو[1]، ۲۰۱۹). در این میان، پژوهش‌های انجام گرفته به بررسی اثرات ضد اکسایشی مکمل روی در کنار تمرین ورزشی پرداخته اند. در پژوهش‌های انجام گرفته، گزارش شده است که مصرف مکمل روی (روزانه سه عدد قرص ۳۰ میلی‌گرمی) به مدت یک هفته در کنار تمرین حاد وامانده‌ساز، سبب افزایش مقادیر مالون‌دی‌آلدئید[2] (MDA) سرم و افزایش بیشتر مقادیر TAC سرم در دختران غیرفعال می شود (قربانی و دیگران، ۲۰۱۷). همچنین در پژوهشی دیگر، افزایش SOD و GPX به دنبال مصرف مکمل روی در کشتی‌گیران گزارش شده است (کارا[3] و دیگران، ۲۰۱۰). به طور کلی، گزارش شده است که مصرف مکمل روی با فعال کردن دستگاه ضد اکسایشی از تولید رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند، بنابراین دوزهای فیزیولوژیکی مکمل روی می‌تواند به سلامت و عملکرد ورزشکاران کمک کند (کارا و دیگران، ۲۰۱۰).

به طور کلی، مصرف مکمل‌های معدنی در بین ورزشکاران کمتر مورد توجه قرار گرفته است، به طوری که پژوهش‌های محدودی در زمینه مصرف مکمل روی گزارش شده است. به نظر می‌رسد که بررسی قابلیت دفاعی و اکسایشی عضلهٔ اسکلتی در ارتباط با پاسخ آن در مقابل تمرین استقامتی شدید و سازگاری آن در تنظیم برنامه‌های مناسب تمرینی و استفاده از مکمل‌های غذایی در ورزشکاران؛ ضروری باشد. علاوه بر این، با توجه به نقش آنزیم GPX به عنوان آخرین خط دفاعی ضد اکسایشی و نقش TAC به عنوان برآیند ترکیبات ضد اکسایشی بدن، پژوهش حاضر با اعمال فشار تمرینی و ارائهٔ مکمل معدنی روی، به بررسی این موضوع می‌پردازد که آیا مکمل روی می‌تواند آخرین خط دفاع ضد اکسایشی را از فشار اکسایشی ناشی از تمرین شدید حفظ کند؟ بنابراین، هدف پژوهش حاضر بررسی اثر هشت هفته فعالیت استقامتی شدید همراه با مصرف مکمل روی بر میزان آنزیم GPX و TAC عضلات اسکلتی موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار بود.

روش تحقیق

پژوهش حاضر به روش تجربی در آزمایشگاه حیوانات گروه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه زنجان صورت گرفت. تعداد ۳۲ سر موش نر بالغ (هشت هفته ای) نژاد ویستار با میانگین وزنی ۱۰±۲۰۴ گرم از انستیتو پاستور خریداری شدند. پس از دو هفته آشناسازی و وزن‌کشی، موش ها به صورت تصادفی به چهار گروه (هر گروه به تعداد هشت سر موش) شامل گروه کنترل، مکمل روی، تمرین، و تمرین + مکمل روی تقسیم شدند. موش‌ها در قفس‌های پلی‌کربنات به صورت مجزا (هر قفس چهار سر)، در دمای ۲۳±۲ درجهٔ سانتی‌گراد و چرخهٔ ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی و رطوبت ۵۵-۴۵ درصد نگهداری شدند. طرح پژوهش حاضر توسط کمیتهٔ اخلاق پژوهشگاه علوم ورزشی وزارت علوم تحقیقات و فناوری بررسی شده و با شناسه IR.SSRI.REC.1397.168 ثبت گردیده است. همچنین کلیهٔ اصول نگهداری و استفاده از حیوانات آزمایشگاهی، مطابق دستورالعمل موسسه ملی سلامت[4] (NIH) رعایت گردید..

برنامهٔ تمرین استقامتی با استفاده از نوارگردان مخصوص جوندگان انجام گرفت (جدول یک) و تمام جلسات تمرینی در ساعاتی مشابه (عصرها ساعت ۱۸/۳۰-۱۵) در روزهای شنبه، یکشنبه، سه‌شنبه، چهارشنبه و پنج‌شنبه به اجرا درآمد. تمرین با سرعت ابتدایی ۱۲ متر بر دقیقه و زمان ۱۵ دقیقه شروع شد و به تدریج، شدت تمرین به ۳۴ متر بر دقیقه و مدت تمرین به ۶۰ دقیقه در هفته هشتم رسید (معادل در حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد اکسیژن مصرفی بیشینه) و شیب نوارگردان در تمام مراحل بر روی صفر درجه تنظیم شد (پیانکا[5] و دیگران، ۲۰۱۵). هر زمان که موش‌ها از فعالیت امتناع ورزیدند، از شوک دستگاه نوارگردان استفاده شد، ولی به منظور جلوگیری از آثار احتمالی استفاده از شوک بر نتایج پژوهش، پژوهشگر سعی داشت تا از شرطی سازی‌هایی نظیر استفاده از صدا در هنگام نشستن و استراحت نمونه‌ها، استفاده نماید. طی این مدت، گروه کنترل و گروه مکمل روی، بدون فعالیت بودند.

از روش خوراکی برای ارائهٔ مکمل به نمونه‌ها استفاده شد. به همین منظور، مکمل روی به صورت محلول در

1. Prasad & Bao
2. Malondialdehyde
3. Kara
4. National institutes of health
5. Pianca

جدول ۱. جزئیات برنامهٔ تمرین استقامتی به اجرا درآمده

هفته ها	جلسه های تمرین	سرعت (متر/دقیقه)	مدت تمرین (دقیقه)
اول	۱	۱۲	۱۵
	۲	۱۳	۲۰
	۳	۱۴	۲۵
	۴	۱۵	۳۰
	۵	۱۶	۳۵
دوم	۶	۱۶	۴۰
	۷	۱۶	۴۵
	۸	۱۶	۵۰
	۹	۱۶	۵۵
	۱۰	۱۶	۶۰
سوم	۱۱-۱۵	۱۹	۶۰
چهارم	۱۶-۲۰	۲۲	۶۰
پنجم	۲۱-۲۵	۲۵	۶۰
ششم	۲۶-۳۰	۲۸	۶۰
هفتم	۳۱-۳۵	۳۱	۶۰
هشتم	۳۶-۴۰	۳۴	۶۰

آب و به میزان ۲۲۷ میلی‌گرم روی سولفات در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مصرفی حل شد و به صورت آزادانه در اختیار نمونه‌های گروه تمرین + روی و گروه مکمل روی قرار گرفت (قاسم‌نیان و دیگران، ۲۰۱۹). علاوه بر این، دسترسی به آب و غذا برای موش‌ها آزاد بود.

پس از گذشت ۴۸ ساعت از آخرین جلسه تمرینی و پس از هشت ساعت ناشتایی، موش‌ها با استفاده از اتر بی‌هوش شده و به صورت متناوب هر گروه، تشریح شدند و عضله دوقلوی حیوان جدا شد. بافت عضلهٔ دوقلو پس از فریز شدن، در دمای ۸۰- نگهداری شد. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم GPX و TAC عضلهٔ دوقلو در زمان انجام آزمایش، نمونه‌ها از حالت انجماد خارج شده و به صورت دستی با بافر ۰/۱ میلی‌مول کلرید پتاسیم (KCl) حاوی پنج نانومول اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA) با PH=۷/۴ بر روی ازت مایع هموژن شد. سپس نمونه ها سانتریفیوژ (به مدت ۲۰ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه) شدند و پس از ته نشینی مواد جامد آن، از محلول بالایی جهت انجام آزمایش بیوشیمیایی استفاده گردید. ارزیابی هر دو متغیر وابسته با استفاده از روش اسپکتروفتومتری و با کیت آزمایشگاه فناوری سنجش زیستی[1] (با میزان حساسیت ۱/۵۲ نانوگرم بر میلی‌لیتر)، شرکت زلبایو[2] و در طول موج ۴۱۲ نانومتر برای GPX و ۴۱۴ نانومتر برای TAC صورت گرفت.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ابتدا از آزمون آماری شاپیرو - ویلک[3] برای اطمینان از طبیعی بودن دادها استفاده شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، از آزمون تحلیل واریانس یک راهه و در صورت معنی‌داری، از آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه‌های زوجی استفاده شد. سطح معنی‌داری در کلیه موارد $p\leq ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه نشان داد که در فعالیت آنزیم GPX عضلهٔ دوقلوی موش‌های صحرایی نر ویستار، بین گروه‌های پژوهش، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. مجذور ایتا به دست آمده، نشان دهندهٔ اندازهٔ اثر متوسط ($\eta^2=۰/۵$)گروه‌ها بود (شکل یک و جدول دو). نتایج آزمون تعقیبی توکی نیز نشان داد که فعالیت آنزیم GPX عضلهٔ دوقلوی موش‌های صحرایی نر ویستار در گروه تمرین نسبت به گروه کنترل پس از هشت هفته، به طور معنی‌داری پایین‌تر است. در صورتی که فعالیت آنزیم GPX عضلهٔ دوقلوی موش‌های صحرایی نر ویستار در گروه تمرین + مکمل نسبت به گروه تمرین، به طور معنی‌داری بالاتر

1. Bioassay technology laboratory
2. Zellbio
3. Shapiro–Wilk

بـود. نتایـج آزمـون تعقیبـی توکـی در مـورد مقایسـهٔ زوجـی گروه‌هـا در جـدول سـه ارائـه شـده اسـت.

آزمـون تحلیـل واریانـس یـک راهـه نشـان داد کـه میـزان TAC عضلـهٔ دوقلـوی موش‌هـای صحرایـی نـر ویسـتار بیـن گروه‌هـای پژوهـش تفـاوت معنـی‌داری دارد و مجـذور ایتـا بـه دسـت آمـده نشـان دهنـدهٔ انـدازه اثـر متوسـط (η^2=۰/۵) نـوع گـروه بـود (جـدول و شـکل دو). نتایـج آزمـون تعقیبـی توکـی نیـز نشـان داد کـه میـزان TAC عضلـهٔ دوقلـوی موش‌هـای صحرایـی نـر ویسـتار در گـروه تمریـن نسـبت بـه گـروه کنتـرل (پـس از هشـت هفتـه) تغییـر معنـی‌داری نـدارد؛ در صورتـی کـه میـزان TAC عضلـهٔ دوقلـوی موش‌هـای صحرایـی نـر ویسـتار در گـروه تمریـن + مکمـل نسـبت بـه سـایر گروه‌هـا (پـس از هشـت هفتـه) بـه طـور معنـی‌داری بالاتـر بـود. نتایـج آزمـون تعقیبـی توکـی در مـورد مقایسـهٔ زوجـی گروه‌هـا در جـدول سـه آورده شـده اسـت.

جدول ۲. نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه در مورد مقایسه فعالیت آنزیم GPX و TAC عضلهٔ دوقلوی موش ها

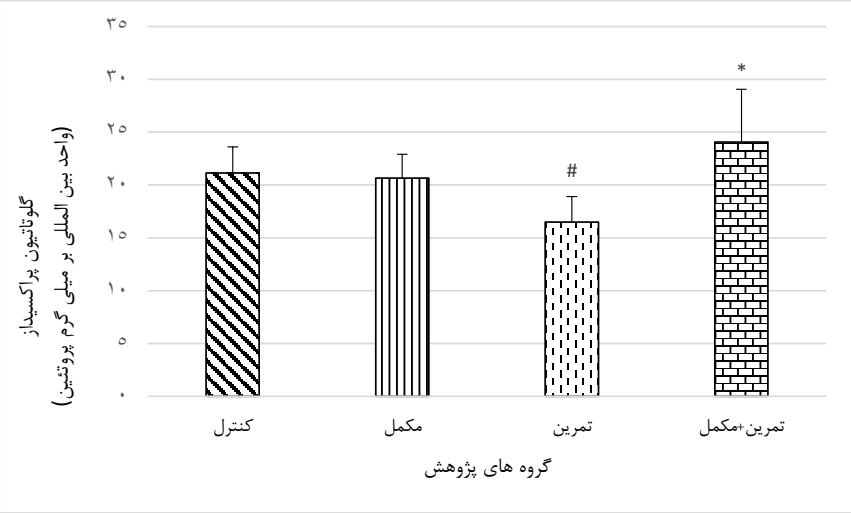
متغیرها	گروه ها	میانگین ± انحراف استاندارد	F	p
گلوتاتیون پراکسیداز (واحد بین‌المللی/ میلی‌گرم پروتئین)	کنترل	۲۱/۱۳±۲/۴۷	۷/۴۰	۰/۰۰۱*
	تمرین	۱۶/۴۹±۲/۴۱		
	مکمل روی	۲۰/۶۴±۲/۲۶		
	تمرین + مکمل روی	۲۴/۰۶±۴/۹۹		
ظرفیت ضد اکسایشی تام (واحد بین‌المللی/ میلی‌گرم پروتئین)	کنترل	۰/۰۷۹±۰/۰۱۱	۹/۵۴	۰/۰۰۱*
	تمرین	۰/۰۸۱±۰/۰۳		
	مکمل روی	۰/۰۸۹±۰/۰۱		
	تمرین + مکمل روی	۰/۱۲±۰/۰۲		

*نشانه تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها در سطح p<۰/۰۵.

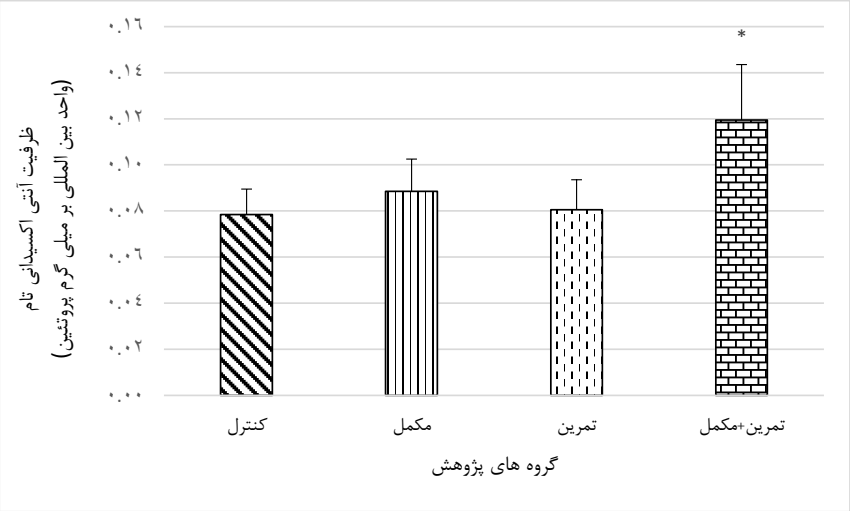
جدول ۳. نتایج آزمون تعقیبی در مورد مقایسه زوجی فعالیت آنزیم GPX و TAC عضلهٔ دوقلوی موش‌ها

متغیرها	گروه‌ها		سطح معنی‌داری
گلوتاتیون پراکسیداز (واحد بین‌المللی/میلی‌گرم پروتئین)	کنترل	روی	۰/۹۹
		تمرین استقامتی	۰/۰۳*
		تمرین استقامتی+روی	۰/۲۹
	مکمل روی	تمرین استقامتی	۰/۰۶
		تمرین استقامتی+روی	۰/۱۸
	تمرین استقامتی	تمرین استقامتی+روی	۰/۰۰۱*
ظرفیت ضد اکسایشی تام (واحد بین‌المللی/میلی‌گرم پروتئین)	کنترل	روی	۰/۵۴
		تمرین استقامتی	۰/۹۹
		تمرین استقامتی+روی	۰/۰۰۱*
	مکمل روی	تمرین استقامتی	۰/۷۲
		تمرین استقامتی+روی	۰/۰۰۸*
	تمرین استقامتی	تمرین استقامتی+روی	۰/۰۰۱*

*نشانه تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها در سطح p<۰/۰۵.



شکل ۱. مقایسه فعالیت آنزیم GPX عضلهٔ دوقلوی موش ها؛ #:نشانه کاهش معنی‌دار نسبت به گروه کنترل؛ * نشانه افزایش معنی‌دار نسبت به گروه تمرین؛ سطح معنی داری ۰/۰۵>p.



شکل ۲. مقایسه میزان TAC عضلهٔ دوقلوی موش‌ها؛ * نشانه افزایش معنی‌دار نسبت به سایر گروه‌ها؛ سطح معنی داری ۰/۰۵>p.

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که اجرای هشت هفته تمرین استقامتی شدید، سبب کاهش معنی‌دار آنزیم GPX و عدم تغییر TAC عضلهٔ دوقلو موش‌های صحرایی نر ویستار می‌شود. علاوه بر این، مصرف مکمل روی در کنار تمرین استقامتی شدید (با هم)، سبب افزایش معنی‌دار این شاخص‌های ضد اکسایشی در عضلهٔ دوقلو موش‌های صحرایی نر ویستار شد. در این میان، مصرف مکمل روی به تنهایی تغییرات معنی‌داری را در شاخص‌های ضد اکسایشی در عضلهٔ دوقلو موش‌های صحرایی نر ویستار ایجاد نکرد.

با توجه به یافته‌های گزارش شده، همسو با نتایج پژوهش حاضر، قاسم‌نیان و دیگران (۲۰۱۹) نشان داده‌اند که اجرای هشت هفته تمرین استقامتی شدید، سبب کاهش SOD عضلهٔ دوقلو در موش‌های صحرایی نر می‌شود. در مقابل، گرزی و دیگران (۲۰۱۸) نشان داده‌اند که اجرای هشت هفته تمرین استقامتی شدید (با شدت ۸۰ تا ۸۵ درصد VO_{2max})، تغییر معنی‌داری در آنزیم GPX عضلهٔ دوقلو ایجاد نمی‌کند. همچنین، دی کاروالهو گانکالوز[1] و دیگران (۲۰۱۹) گزارش کرده‌اند که شش هفته تمرین استقامتی مشتمل بر ۶۰ دقیقه شنا با دو درصد وزن، سبب عدم

1. de Carvalho Gonçalves

تغییر معنی‌دار در آنزیم‌های ضد اکسایشی SOD و CAT عضلهٔ دوقلو می‌شود. یافته‌های گزارش شده با یافته‌های پژوهش حاضر ناهمسو است. به نظر می‌رسد که شدت، نوع و طول دورهٔ تمرین؛ و نوع آنزیم‌های اندازه‌گیری شده از عوامل ناهمسویی یافته‌های پژوهش حاضر با پژوهش‌های یاد شده باشد. از سوی دیگر، با توجه به تشابه نوع و شدت تمرین و روش‌های اندازه‌گیری متغیرها در پژوهش گرزی و دیگران (۲۰۱۸) و پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد که کاهش بار در هفتهٔ پنجم در پژوهش یاد شده، از بروز فشار اکسایشی عضلهٔ دوقلو در موش‌های صحرایی نر پیشگیری کرده است؛ اما شدت تمرین استقامتی در پژوهش حاضر به طور فزآینده تا هفته هشتم افزایش یافت و احتمالاً آستانهٔ بحرانی تحریک و تضعیف دستگاه ضد اکسایشی را در موش‌های صحرایی نر ایجاد کرده است. به طور کلی، در پی انجام تمرینات هوازی شدید و پر فشار، افزایش ROS و فشار اکسایشی مشاهده شده و عنوان گردیده است که کاهش فعالیت آنزیم‌های ضد اکسایشی ممکن است به دلیل استفادهٔ بیشتر آن ها بر علیه رادیکال‌های آزاد و به علت محدود شدن آنزیم‌های ضد اکسایشی توسط ROS باشد.

با این که اجرای تمرین استقامتی شدید سبب کاهش GPX در پژوهش حاضر شد، مصرف مکمل روی در کنار تمرین استقامتی شدید، بهبودی شاخص‌های اندازه‌گیری شده را در پی داشت. به عبارت دیگر، مکمل روی با ایجاد پاسخ ضد اکسایشی در برابر فشار اکسایشی ایجاد شده، سبب بهبود وضعیت ضد اکسایشی گردیده است. احتمالاً این پاسخ به صورت غیر مستقیم با اکسایش‌ها رخ داده است (پراساد و بائو، ۲۰۱۹). یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش حسنی و دیگران (۲۰۲۰) و کارا و دیگران (۲۰۱۰) همسو است. حسنی و دیگران (۲۰۲۰) در پژوهش خود نشان داده اند که مصرف مکمل روی سولفات (به میزان نه میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن) در کنار تمرین تداومی و تناوبی، سبب بهبود وضعیت ضد اکسایشی (کاهش MDA، افزایش SOD، CAT و TAC) در بافت کبد موش‌های صحرایی مسموم شده با مورفین می‌شود. همچنین، کارا و دیگران (۲۰۱۰) گزارش کرده‌اند که مصرف مکمل روی در کشتی‌گیران پس از هشت هفته، سبب افزایش معنی‌دار فعالیت ضد اکسایش‌ها از جمله GPX و سایر آنزیم‌ها می‌گردد. از سویی، قاسم‌نیان و دیگران (۲۰۱۹) نشان داده‌اند که تمرین استقامتی شدید همراه با مصرف مکمل روی (۲۲۷ میلی‌گرم روی سولفات)، بر آنزیم SOD تاثیر معنی‌داری ندارد که ناهمسو با یافته‌های پژوهش حاضر است. با توجه به شدت تمرین و نوع و میزان مکمل روی مصرف شده، به نظر می‌رسد نوع آنزیم اندازه‌گیری شده جهت بررسی فشار اکسایشی از عوامل ناهمسویی نتایج است. به نظر می‌رسد با توجه به این که SOD اولین خط دفاعی بدن در برابر رادیکال‌های آزاد است (برزوسا[1] و دیگران، ۲۰۱۱)، طول دورهٔ تمرین سبب بروز سازگاری در فعالیت آنزیم SOD شده است؛ در حالی که در سایر آنزیم‌ها تغییر (سازگاری) حاصل نشده است، از این رو ملاحظه می‌شود که تغییرات آنزیم‌های ضد اکسایشی در یک بافت نسبت به محرک یکسان، متفاوت است. به طور کلی، به نظر می‌رسد که با پیدایش سازگاری به دنبال تمرین‌های منظم در طولانی مدت، نیاز بدن به رهاسازی آنزیم مذکور کمتر خواهد شد و در نتیجه، با میزان کمتر آنزیم‌های ضد اکسایشی، بدن توانایی لازم برای پاسخ به فشارهای اکسایشی ناشی از فعالیت‌های ورزشی را پیدا می‌کند (هوانلو و دیگران، ۲۰۱۱).

بررسی‌های انجام گرفته در ارتباط با مکمل روی نشان داده است که این مکمل اثرات متعدد مفیدی از جمله اثرات ضد التهابی، ضد اکسایشی و ضد افسردگی دارد (جعفری و دیگران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، گزارش شده است که مکمل روی با اثربخشی بر مسیرهای ضد التهابی و ضد اکسایشی، در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله بیماری کبد، سرطان‌ها، بیماری قلبی و اختلالات دستگاه عصبی مرکزی، موثر است (سانتوس[2] و دیگران، ۲۰۲۰). به طور کلی، با توجه به موارد یاد شده، خواص ضد اکسایشی روی در دستگاه‌های بیوشیمیایی مشخص است و به نظر می‌رسد بخشی از این فعالیت مستقل از فعالیت متالوآنزیمی روی باشد. اثرات مزمن ضد اکسایشی روی مرتبط به القای موادی مثل متالوتیونین‌ها[3] است، اما اثرات حاد آن احتمالاً ناشی از حفاظت گروه‌های سولفیدریل پروتئینی و کاهش

1. Berzosa
2. Santos
3. Metallothioneins

تشکیل رادیکال OH از O_2 و H_2O_2 است؛ تغییری که از طریق آنتاگونیسم فلزات واسطه فعال از ردوکس صورت می‌گیرد (پاول[1]، ۲۰۰۰). به طور کلی، با بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با اثرات مکمل روی گزارش شده است که وجود عنصر روی برای عمل برخی از ضد اکسایش‌ها از جمله SOD موثر بوده و در تعدیل عوامل ROS نقش بسزایی دارد (نظری و دیگران، ۲۰۱۵). همچنین، روی می‌تواند به سولفور (تیولات) دهندهٔ سیستئین متصل شود و تیولات روی را تشکیل دهد؛ بدین ترتیب اکسایش‌ها می‌توانند با تیولات تعامل برقرار کنند و روی را آزاد نمایند. این رهاسازی عنصر روی، یک پاسخ ضد اکسایشی در برابر فشار اکسایشی ایجاد می‌کند (پراساد و بائو، ۲۰۱۹). بنابراین، به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت ضد اکسایشی عضلهٔ دوقلو در پژوهش حاضر، ناشی از چنین تعاملاتی باشد. به طور کلی، با توجه به موارد یاد شده برای بررسی و یافتن نتایج دقیق‌تر در این زمینه نیازمند پژوهش‌های بیشتری است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، احتمالاً مصرف مکمل روی در کنار تمرینات شدید می‌تواند در حفظ یا افزایش دفاع ضد اکسایشی آنزیمی موثر باشد. به دلیل آن که نتایج پژوهش در این زمینه می‌تواند به عوامل مختلفی از جمله تفاوت در میزان مکمل مصرفی، تفاوت در نوع برنامهٔ تمرین، نوع بافت هدف و تفاوت در آزمودنی‌های به کار گرفته شده ارتباط داشته باشد؛ برای رسیدن به یک نتیجه قطعی،به انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه نیاز است. با توجه به موارد یاد شده در پژوهش حاضر، عدم بررسی سایر ضد اکسایش‌ها و اکسایش‌ها در جهت شناسایی برهم خوردن تعادل آن ها به دنبال تمرین ورزشی شدید و عدم کنترل مصرف یکسان مکمل با استفاده از روش خوراکی، از محدودیت‌های پژوهش است. بدین منظور، با توجه به پیچیده بودن دستگاه ضد اکسایشی - اکسایشی (قابضی و دیگران، ۲۰۲۱)، بررسی سایر شاخص‌های اکسایشی و ضد اکسایشی به دنبال تمرین شدید و مصرف مکمل معدنی روی در هر دو جنس، با دوره‌های مختلف تمرینی و روش‌های دقیق ارائهٔ مکمل، همچون تزریق و گاواژ پیشنهاد می‌گردد. به طور کلی، در صورت تایید سایر پژوهش‌ها، این یافته‌ها می‌توانند کاربردهای وسیعی در استفاده از مکمل‌های غذایی در کنار تمرینات شدید ورزشکاران داشته باشد.

تعارض منافع

تضاد منافعی بین نویسندگان گزارش نشده است.

قدردانی و تشکر

پژوهش حاضر حاصل پایان نامهٔ کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی دانشگاه زنجان است که با هزینهٔ شخصی دانشجو و حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه انجام شده است.

منابع

Afzalpour, M., Gharakhanlou, R., Gaeini, A., Mohebbi, H., & Hedayati, M. (2005). Effects of moderate and vigorous aerobic training on enzyme activity arylesterase (ARE) and total anti-oxidation capacity (TAC) in healthy sedentary men. *Journal of Research in Exercise Science, 3***(9), 105-123. [In Persian]**

Battistelli, M., Malatesta, M., & Meschini, S. (2016). Oxidative stress to promote cell death or survival. *Hindawi Publishing Corporation, 2016***, 1-2.**

Berzosa, C., Cebrian, I., Fuentes-Broto, L., Gomez-Trullen, E., Piedrafita, E., Martinez-Ballarin, E., Garcia, J. (2011). Acute exercise increases plasma total antioxidant status and antioxidant enzyme activities in untrained men. *BioMed Research International. Hindawi Publishing Corporation, 2011***, 1-7.**

de Carvalho Gonçalves, Á., Leão, R. C., Orsatti, F. L., & Portari, G. V. (2019). Benfotiamine reduces oxidative damage in muscle of endurance-trained mouse. *Acta Scientiarum. Health Sciences, 41***, e46888-e46888.**

1. Powel

Ghabezi, S., Khajehlandi, A., & Mohammadi, A. (2021). The effect of endurance training and crocin consumption on serum levels of catalase and glutathione peroxidase in ovarictomized rats. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport, 9***(17), 20-31. [In Persian]**

Gharakhanlou, R., Afzalpour, M.E., Gaeini, A.A., & Rahnama, N. (2007). Effects of aerobic exercises on the serum paraoxonase 1/arylesterase activity and lipid profile in non-active healthy men. *International Journal of Sports Science and Engineering, 1*, **105-112.**

Gomez-Cabrera, M.C., Domenech, E., & Viña, J. (2008). Moderate exercise is an antioxidant: upregulation of antioxidant genes by training. *Free Radical Biology and Medicine, 44***(2), 126-131.**

Gorbani, R., Tofighi, A., & Babaei, S. (2017). Copper supplementation response to lipid peroxidation and total antioxidant capacity in passive girls following exhaustive activity. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology, 4***(1), 74-81. [In Persian]**

Gorzi, A., Ekradi, S., & Rahmani, A. (2018). Effect of endurance training on antioxidant and lipid peroxidation in male wistar rats. *Journal of Sport Biosciences, 10***(3), 333-345. [In Persian]**

Gorzi, A., & Ekradi, S. (2020). The effect of intake duration of curcumin supplementation during strenuous endurance training on GPX activity and MDA levels of liver, heart and skeletal muscle in male Wistar rats. *Sport Physiology, 12***(46), 139-156. [In Persian]**

Hasani, S., Ghasemi, H., Ranjbar, A., Ghahremani, R., Heidarianpour, A., Abotalebian, H., & Kheiripour, N. (2020). Protective effect of zinc sulfate and continuous/interval training on liver oxidative stress in morphine-withdrawal syndrome in rats. *Physiology & Pharmacology, 24***(4), 276-284. [In Persian]**

Hovanloo, F., Hedayati, M., Ebrahimi, M., & Abednazari, H. (2011). Effect of various time courses of endurance training on alterations of antioxidant enzymes activity in rat liver tissue. *Research in Medicine, 35***(1), 14-19. [In Persian]**

Jafari, F., Amani, R., & Tarrahi, M.J. (2020). Effect of zinc supplementation on physical and psychological symptoms, biomarkers of inflammation, oxidative stress, and brain-derived neurotrophic factor in young women with premenstrual syndrome: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Biological Trace Element Research*, *194***(1), 89-95. [In Persian]**

Kara, E., Gunay, M., Cicioglu, I., Ozal, M., Kilic, M., Mogulkoc, R., & Baltaci, A.K. (2010). Effect of zinc supplementation on antioxidant activity in young wrestlers. *Biological Trace Element Research, 134***(1), 55-63.**

Leite, H.R., Mourão, F.A., Drumond, L.E., Ferreira-Vieira, T.H., Bernardes, D., Silva, J.F., ... & Carvalho-Tavares, J. (2012). Swim training attenuates oxidative damage and promotes neuroprotection in cerebral cortical slices submitted to oxygen glucose deprivation. *Journal of Neurochemistry, 123***(2), 317-324.**

Michailidis, Y., Karagounis, L.G., Terzis, G., Jamurtas, A.Z., Spengos, K., Tsoukas, D., ... & Papassotiriou, I. (2013). Thiol-based antioxidant supplementation alters human skeletal muscle signaling and attenuates its inflammatory response and recovery after intense eccentric exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition, 98***(1), 233-245.**

Mohr, M., Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Barbero-Álvarez, J.C ,.Castagna, C., Douroudos, I., ... & Flouris, A.D. (2016). Muscle damage, inflammatory, immune and performance responses to three football games in 1 week in competitive male players. *European Journal of Applied Physiology, 116***(1), 179-193.**

Nazari, M., Kordi, M., & Choobineh, S. (2015). The Effect of high intensity interval training (HIIT) on gelatinase-a (MMP-2) serum levels and muscle damage indices in young sedentary girls. *Journal of Arak University of Medical Sciences, 18***(1), 78-86. [In Persian]**

Pianca, E., Krause Neto, W., Pithon-Curi, T.C., Gama, E.F., Sabbag, A., & de Souza, R.R. (2015). Endurance training induces structural and morphoquantitative changes in rat vagus nerve. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte, 21***(5), 6-403.**

Powell, S.R. (2000). The antioxidant properties of zinc. *The Journal of Nutrition, 130***(5), 1447S-1454S.**

Prasad, A.S., & Bao, B. (2019). Molecular mechanisms of zinc as a pro-antioxidant mediator: *Clinical Therapeutic Implications. Antioxidants, 8***(6), 164.**

Qasemnian, A., Zighami, Z., & Hadi, S. (2019). The effect of eight weeks of increased aerobic exercise with zinc supplementation on muscle superoxide dismutase activity and serum leptin levels and weight changes in adult wistar rats. *Armaghane Danesh, 24***(6), 1054- 1072. [In Persian]**

Santos, H.O., Teixeira, F.J., & Schoenfeld, B.J. (2020). Dietary vs. pharmacological doses of zinc: A clinical review. *Clinical Nutrition*, *39***(5),1345-1353.**

Scopel, D., Fochesatto, C., Cimarosti, H., Rabbo, M., Belló-Klein, A., Salbego, C., ... & Siqueira, I. R. (2006). Exercise intensity influences cell injury in rat hippocampal slices exposed to oxygen and glucose deprivation. *Brain Research Bulletin, 71***(1-3), 155-159.**

Tung, B.T., Rodriguez-Bies, E., Thanh, H.N., Le-Thi-Thu, H., Navas, P., Sanchez, V.M., & López-Lluch, G. (2015). Organ and tissue-dependent effect of resveratrol and exercise on antioxidant defenses of old mice. *Aging Clinical and Experimental Research, 27***(6), 775-783.**