University of Birjand

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport Research Paper

Spring 2025, 13(33), 20-30

Received: Oct 30, 2023 Revised: Jan 29, 2024 Accepted: Jan 31, 2024

Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport

Comparison of the effects of plyometric training on indoor and grass on novel biomarkers of muscle damage in soccer players

Mohammad Ali Keyali Kushkghazi[1], Mohammad Faramarzi[2*], Sanaz Mirzayan Shanjani[3], Yaser Kazemzadeh[3]

1. Ph.D Student in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Islamshahr, Iran.
2. Professor at Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Letters and Humanities, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3. Assistant Professorat Department of Exercise Physiology, Islamic Azad University, Islamshahr Branch, Islamshahr, Iran.

Extended Abstract

Background and Aim: Football has become one of the most popular sports worldwide, attracting millions of fans (1, 2). Muscle damage following a football match presents a significant challenge for players due to the high metabolic demands and physical nature of the game. (3). Disturbances in the oxidant-antioxidant system following exercise can lead to skeletal muscle damage, tropomyosin disruption , increased serum levels of muscle troponin T (sTNT), and damage to mitochondrial DNA (mtDNA) (4-8). However, focusing on training-related injuries across different levels has become a challenge for researchers. When comparing the impact of plyometric exercises at various levels on physical performance and fitness, conflicting results have been reported (10, 14, 15). Due to the limited information in this field, this study aimed to compare the effects of eight weeks of plyometric training on grass versus indoor surfaces, with respect to markers of muscle damage in soccer players.

Materials and Methods: In this semi-experimental study, 36 soccer players from the first and second leagues of the Youth and Omid Kashiri leagues (average age 20.94 ± 2.81 years) were selected. The participants were randomly divided into three groups: (1) plyometric training on grass, (2) plyometric training in a gym, and (3) a control group. The control group followed their regular exercises under the supervision of a coach, while the two experimental groups performed two additional plyometric training sessions per week alongside their regular training. The plyometric program lasted for eight weeks, with each session lasting 60 minutes. The exercises focused on increasing strength and enhancing explosive power

Cite this article:
Keyali Kushkghazi MA, Faramarzi M, Mirzayan Shanjani S, Kazemzadeh Y. Comparison of the effects of plyometric training on indoor and grass on novel biomarkers of muscle damage in soccer players. Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport. 2025;13(33):20-30.

*** Corresponding Author; Adress; Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Letters and Humanities, Shahrekord University, Shahrekord, Iran;**
Email: md_faramarzy2000@yahoo.com
https://doi.org/10.22077/jpsbs.2024.6732.1821

Copyright: © 2025 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/).

through jumping movements, targeting the hip and leg muscles. Specific exercises included vertical jumps for maximum height, jumps emphasizing leg speed, and deep jumps from varying heights on both hard and soft surfaces.

To measure serum sTnT, an ELISA kit from Casabio (economic code CSB-EL024015RA) with a sensitivity of 0.97 ng/ml was used. For mtDNA analysis, the quantitative real-time PCR method was employed. Data were analyzed using paired sample t-test and one-way ANOVA, followed by Tukey's post-hoc test, with a significance level set at $p \leq 0.05$.

Findings: No significant differences were observed in serum sTnT levels between the groups. However, mtDNA levels were significantly higher in both the grass (p=0.001) and indoor (p=0.001) training groups compared to the control group. Additionally, mtDNA values were significantly higher in the grass training group compared to the indoor training group (p=0.001) (See Figure 1).

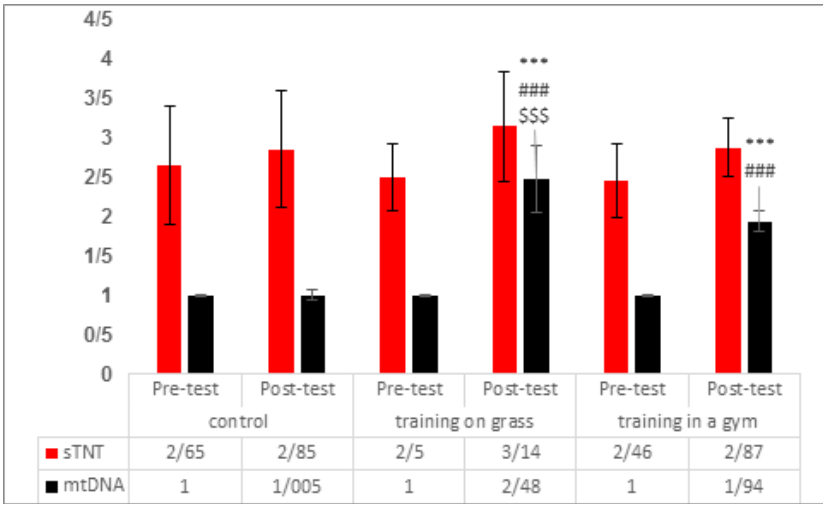


Figure 1. Serum sTNT values and mtDNA gene expression in the studied groups; * significant change compared to the pre-test, # significant change compared to the control group; $ significant change compared to the grass training group

Conclusion: The results suggest that muscle damage following intense training can serve as a catalyst for beneficial adaptations, leading to enhanced mitochondrial biogenesis and improved antioxidant function in the long term. While plyometric training in both indoor and grass environments results in increased mtDNA expression in blood leukocytes, training on grass appears to be more effective. Therefore, it is recommended that soccer players incorporate plyometric exercises on grass to enhance mitochondrial content.

Keywords: Exercise training, sTnT, mtDNA, Soccer players.

Ethical Considerations

All ethical guidelines were strictly followed in accordance with the Biomedical Research Monitoring Committee of Islamic Azad University, Islamshahr Branch.

Compliance with ethical guideline

Informed consent was obtained from all participants after providing them with comprehensive details about the research process, including its potential risks and benefits.

Funding

The authors declare that no financial support was received from any organization.

Conflicts of interest

The authors report no conflicts of interest in relation to this manuscript.

نشریه مطالعات کاربردی علوم‌زیستی در ورزش
مقاله پژوهشی
بهار ۱۴۰۴، دوره ۱۳، شماره ۳۳، ص ۳۰-۲۰
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۱

مقایسه اثر هشت هفته تمرین پلایومتریک روی سطح سالن و چمن بر نشانگرهای آسیب عضلانی در بازیکنان فوتبال

محمد علی کیالی کوشک قاضی[۱]، محمد فرامرزی[۲*]، ساناز میرزایان شانجانی[۳]، یاسر کاظم زاده[۳]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران.

۲. استاد فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: فوتبال به عنوان محبوب‌ترین رشته ورزشی در جهان شناخته می‌شود و با توجه به ماهیت این رشته ورزشی و آسیب‌های آن، محققین هنوز تاثیر تمرینات ورزشی بر روی سطوح مختلف را به خوبی نشناخته‌اند. لذا هدف از تحقیق حاضر مقایسه اثر هشت تمرین پلایومتریک روی سطوح سالن و چمن بر نشانگرهای آسیب عضلانی در بازیکنان فوتبال بود. **روش تحقیق**: در این مطالعه نیمه تجربی، ۳۶ بازیکن فوتبال لیگ دسته یک و دو رده جوانان و امید کشوری (با میانگین سنی ۲/۸۱ ± ۲۰/۹۴ سال) به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. سپس به‌طور تصادفی در سه گروه مساوی (۱۲ نفر) شامل تمرین پلایومتریک روی چمن، تمرین پلایومتریک در سالن و گروه کنترل تقسیم گردیدند. تمرینات منتخب پلایومتریک روی سطوح سالن و چمن به مدت هشت هفته، دو جلسه در هفته و هر جلسه ۶۰ دقیقه انجام شد. در ابتدا و انتهای دوره تحقیق، مقادیر سرمی تروپونین T ویژه عضلات اسکلتی (sTnT) به روش الایزا و DNA میتوکندریایی (mtDNA) در سلول های سفید خون به روش Real Time-PCR در سه گروه اندازه‌گیری شد. جهت تجزیه تحلیل یافته‌ها از آزمون‌های آماری t وابسته و آنالیز واریانس یک‌راهه همراه با آزمون تعقیبی توکی در سطح p≤۰/۰۵ استفاده شد. **یافته‌ها**: تفاوت معنی‌داری در مقادیر sTnT بین گروه‌های تحقیق وجود نداشت (p=۰/۴۷)؛ اما بیان ژنی mtDNA در گروه‌های تمرین در چمن (p=۰/۰۰۱) و تمرین در سالن (p=۰/۰۰۱) به طور معنی‌داری بالاتر از گروه کنترل بود. همچنین بیان ژن mtDNA در گروه تمرین در چمن به طور معنی‌داری بالاتر از گروه تمرین در سالن بود (p=۰/۰۰۱). **نتیجه‌گیری**: اگرچه تمرین پلایومتریک در چمن و سالن هر دو، با افزایش بیان ژنی mtDNA در سلول‌های لکوسیت خون همراه هستند؛ اما اثر تمرین در چمن نسبت به تمرین در سالن بر بیان ژنی mtDNA مطلوب‌تر است. بنابراین پیشنهاد می گردد به منظور افزایش محتوای DNA بازیکنان فوتبال از تمرینات پلیومتریک در چمن استفاده کنند.

واژه‌های کلیدی: تمرین ورزشی، تروپونین T ویژه عضله اسکلتی، DNA میتوکندریایی، فوتبال.

***نویسنده مسئول: آدرس: شهرکرد، بلوار رهبر، دانشگاه شهرکرد، دانشکده دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی؛**
پست الکترونیک: md_faramarzy2000@yahoo.com

https://doi.org/10.22077/jpsbs.2024.6732.1821

مقدمه

فوتبال از محبوب‌ترین ورزش‌های قرن اخیر است که طرفداران بسیاری را در سراسر جهان به خود جذب کرده است، به گونه ای که در سطوح حرفه ای این بازی پیچیده و پر برخورد با آسیب‌های زیادی همراه است (۱, ۲). محققین بر این عقیده اند که آسیب عضلانی متعاقب یک مسابقه فوتبال به دلیل نیاز به تماس فیزیکی شدید، کاهش و افزایش سرعت در سریع ترین زمان، افزایش شتاب و به کارگیری قدرت و استقامت عضلانی طی ۹۰ یا در مواردی، ۱۲۰ دقیقه بازی؛ به عنوان چالشی برای بازیکنان این رشته ورزشی شناخته می‌شود (۳). فعالیت های ورزشی حاد و چالش تامین انرژی حین ورزش فوتبال منجر به افزایش فشار اکسایشی و نشانگرهای آن، مانند مالون دی آلدئید[1] (MDA)، پروتئین کربونیل[2] (PC)، و کاهش ظرفیت ضد اکسایشی تام[3] (TAC)، کاهش سوپراکسید دیسموتاز[4] (SOD) و گلوتاتیون پراکسیداز[5] (GPx) می شوند (۴). این روند به آسیب عضلات اسکلتی، تخریب ساختار پروتئین‌های انقباضی، آسیب به میتوکندری و در نهایت، کاهش عملکرد عضلانی منجر می‌گردند، با این حال، تمرینات بلند مدت و منظم می‌توانند با فعال‌سازی بیان نشانگرهای ضداکسایشی و ضدالتهابی، عضله اسکلتی را در برابر شرایط آسیب‌زا مقاوم کند (۵, ۶). مطالعات نشان می‌دهند رهایش کلسیم (Ca^{2+}) متعاقب تمرینات ورزشی به‌عنوان یک تنظیم‌گر مسیرهای بیولوژیکی می‌باشد؛ به گونه‌ای که با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن[6] (ROS) متعاقب فعالیت ورزشی شدید به جایگاه اتصال یون Ca^{2+} به تروپومیوزین و تروپومیوزین متصل می‌شوند و به فیلامان‌های نازک[7] آسیب می‌زنند و در نهایت، موجب افزایش سطوح سرمی تروپونین T عضلانی[8] (sTNT) به‌عنوان یک نشانگر آسیب عضلانی می‌گردند (۷). همچنین بر اساس اطلاعات موجود ورزش تا حد خستگی با افزایش ROS موجب بر هم خوردن هموستاز Ca^{2+} می‌گردد و در نهایت، به آسیب به محتوای DNA سلول و DNA میتوکندریایی[9] (mtDNA) منجر می‌شود (۸). mtDNA یک مولکول حلقوی دو رشته ای با ۱۶۵۶۹ جفت باز است که به طور اختصاصی در روند فسفریلاسیون اکسایشی نقش داشته و در میتوکندری برای تکثیر و تمایز آن اهمیت فراوان دارد (۹).

بالا بودن میزان آسیب در بازی فوتبال و نیاز به ارائه تمریناتی که بتواند آمادگی ورزشکاران را برای پیشگیری از این آسیب‌ها به ویژه آسیب‌های سلولی مولکولی محافظت کند؛ به چالشی برای محققین تبدیل شده است. البته این نکته قابل ذکر است که تمرین در سطوح مختلف نیز اثرات متفاوتی بر سازگاری عضلانی، میزان آسیب و عملکرد ورزشی در ورزشکاران دارد. اعتقاد بر این است که تفاوت در مقاومت سطح، تفاوت در مقدار اینرسی و اصطکاک سطح و تفاوت در نرمی یا سختی سطوح تمرین می‌تواند اثرات متفاوتی بر سازگاری های عضلانی داشته باشد (۱۰). اگرچه در مطالعات پیشین، عملکرد ورزشی متعاقب تمرین در سطوح مختلف مورد توجه قرار بوده است، اما مقایسه تاثیر تمرین در سطوح مختلف بر نشانگرهای سلولی مولکولی عضلانی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، تمرین پلایومتریک یکی از اشکال مختلف تمرین برای تقویت توان عضلات است (۱۱). محققین نشان دادند که تمرینات پلایومتریک به مدت شش هفته موجب بهبود عملکرد ورزشی در زنان ورزشکار می‌شود (۱۱). این نوع تمرین که شامل حرکات سریع و توانمند درگیر در انقباض برونگرا هستند و بلافاصله پس از آن، انقباضات درون گرای انفجاری صورت می‌گیرد، سازگاری‌های مناسبی در سیستم عصبی عضلانی ایجاد می‌کند؛ به طوری که در مطالعه‌ای، محققین بهبود عملکرد عصبی- عضلانی را متعاقب این‌گونه تمرینات گزارش کرده‌اند (۱۲). از سوی دیگر، به نظر می‌رسد ناهموار بودن زمین چمن نسبت به زمین فوتبال داخل سالن از دیگر دلایل آسیب عضلانی است و محققین هم در مطالعات مختلف، تفاوت میزان آسیب را در این دو سطح بررسی نموده‌اند (۱۳). مطالعاتی نیز در زمینه مقایسه تاثیر تمرینات پلایومتریک در سطوح مختلف انجام شده است؛ به طوری که نشان داده شده تمرینات پلایومتریک بر روی شن، تاثیر بیشتری بر افزایش چابکی، پرش طول

1. Malondialdehyde
2. Protein carbonyl
3. Total antioxidant capacity
4. Superoxide dismutase
5. Glutathione peroxidase
6. Reactive oxygen spaces
7. Thin filaments
8. Slow skeletal muscle troponin T
9. Mitochondrial DNA

و توان انفجاری در فوتبالیست‌ها (نسبت به تمرین در چمن) دارد (۱۴). همچنین مطالعه‌ای نشان داد تمرین در زمین چمن و تمرین در شن هر دو، موجب بهبود سرعت و توان در فوتبالیست‌ها می گردد؛ اما حین تمرین در چمن، پرش درجا (طولی) و قابلیت انقباض استریک مطلوب تر از تمرین بر روی سطح شنی بود؛ و این که حین تمرین در شن، بازیکنان درد عضلانی کمتری نسبت به تمرین روی چمن داشتند (۱۰). در مطالعه‌ای دیگر نیز محققین نشان دادند که تمرین روی شن و چوب پارکت هر دو، موجب بهبود سرعت و چابکی در بسکتبالیست‌ها می‌گردد (۱۵). این در حالی است که در ارتباط با تاثیر تمرینات ورزشی هوازی بر نشانگر های آسیب عضلانی در بافت قلب و عضله اسکلتی نتایج مطالعات متفاوت بوده است. به عنوان مثال، نتایج مطالعه ای حاکی از عدم تغییر در مقادیر تروپونین T قلبی در موش های صحرایی متعاقب هشت هفته تمرین هوازی بود (۱۶). اما در مطالعه‌ای نتایج نشان داد که ۱۰ هفته تمرین هوازی با شدت فزآینده، منجر به افزایش بیان پروتئین کیناز وابسته به کالمودولین/کلسیم در عضله کند انقباض موش های صحرایی سالمند می‌گردد (۱۷). به نظر می رسد اطلاعات موجود حاکی از نتایج ضد و نقیض در ارتباط با تغییرات نشانگرهای آسیب عضلانی متعاقب تمرینات ورزشی هستند؛ همچنین اطلاعات دقیقی در مورد تفاوت تمرین در سطوح مختلف بر نشانگر های آسیب عضلانی وجود ندارد. بنابراین انجام مطالعه حاضر می‌تواند به کسب دانش بیشتر در مورد تفاوت تمرین در سطوح مختلف بر نشانگرهای آسیب عضلانی منجر شود. همچنین به نظر می رسد بررسی نشانگرهای آسیب عضلانی متعاقب تمرینات پلایومتریک در سطوح مختلف می تواند اطلاعات جامع‌تری به محققین حوزه علوم ورزشی ارائه نماید تا بتوانند با روش تمرینی مناسب میزان آمادگی خود را افزایش دهند. لذا مطالعه حاضر به مقایسه اثر هشت هفته تمرین پلایومتریک روی سطوح سالن و چمن بر نشانگرهای آسیب عضلانی در بازیکنان فوتبال پرداخته است.

روش تحقیق

در این مطالعه نیمه‌تجربی که با طرح پیش آزمون – پس آزمون همراه با گروه کنترل انجام شد، از بین تمام بازیکنان فوتبال لیگ دسته یک و دو رده جوانان و امید کشوری و به روش نمونه گیری تصادفی خوشه ای، ۳۶ نفر به‌عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. ملاک‌های ورود به مطالعه داشتن سابقه ورزش فوتبال حداقل به مدت پنج سال، سطح آمادگی جسمانی یکسان از دیدگاه مربی، سن تقریبی ۱۸ تا ۲۲ سال، حضور در لیگ دسته یک و دو کشوری بود و ملاک‌های خروج از مطالعه، آسیب‌دیدگی، مصرف مکمل و داروهای نیروزا، انصراف شخص از ادامه روند تحقیق و مصرف دخانیات بود. برای انجام تحقیق، فرم رضایت‌نامه پس از تشریح روند کامل تحقیق، خطرات و مزیت‌ها؛ توسط آزمودنی‌ها تکمیل و امضا شد. در ادامه، نمونه‌های آماری به‌طور تصادفی به سه گروه مساوی (۱۲ نفر) شامل تمرین پلایومتریک روی چمن، تمرین پلایومتریک در سالن، و کنترل تقسیم شدند. گروه کنترل در طی دوره صرفا تمرینات معمولی خود را زیر نظر مربی انجام دادند و گروه‌های تمرین پلایومتریک در چمن و سالن، علاوه بر تمرین معمولی، هفته ای دو جلسه تمرینات منتخب را اجرا کردند.

نحوه اجرای تمرینات پلایومتریک: برنامه تمرین پلایومتریک به مدت هشت هفته، دو جلسه در هفته و هر جلسه ۶۰ دقیقه به دو شکل، تمرین با هدف افزایش قدرت و تمرین با هدف توان انفجاری بازیکنان فوتبال؛ به اجرا درآمد (جدول یک). لازم به توضیح است که حرکات پرشی با تاکید بر عضلات ناحیه لگن و پا؛ لی لی کردن با تاکید بر حداکثر ارتفاع عمودی و حداکثر سرعت پا؛ پرش ها با تاکید بر حداکثر ارتفاع و سرعت؛ جهیدن به صورت حداکثر پرش عمودی و حداکثر مسافت افقی به دو صورت یک پا و دو پا؛ و پرش عمقی به صورت پرش از ارتفاع بر روی سطوح سخت و نرم؛ به اجرا درآمدند (۱۸).

سنجش متغیرهای بیوشیمیایی: پس از گروه‌بندی، آزمودنی‌ها در ساعت مشخص، بدون هیچ‌گونه فعالیت بدنی از ۴۸ ساعت قبل، راس ساعت ۱۰ صبح در محل آزمایشگاه حاضر شدند و مقدار پنج میلی لیتر خون از ورید بازویی دست چپ آنها گرفته شد. در ادامه، ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی (پس از هشت هفته تمرین)، آزمودنی‌ها در ساعت و زمان مشخص، مشابه با

جدول ۱. جزئیات برنامه تمرینی پلایومتریک برای افزایش قدرت و توان انفجاری بازیکنان فوتبال

هفته / اشکال تمرین	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم و ششم	هفته هفتم و هشتم	شدت (ضربان قلب بیشینه)
جهش ها جست وخیز کوتاه	۲ ست ۴-۶ تکرار	۲ ست ۴-۶ تکرار	۲ ست ۴-۶ تکرار	۲ ست ۴-۶ تکرار	بدون تمرین	بدون تمرین	۵۵ تا ۶۰ درصد
پرش بطرف جلو بصورت لی لی	۳ ست ۱۰ تکرار	۳ ست ۱۰ تکرار	۳ ست ۱۰ تکرار	۳ ست ۱۰ تکرار	بدون تمرین	بدون تمرین	۵۵ تا ۶۰ درصد
جهش روی یک پله با یک پا	بدون تمرین	بدون تمرین	۲ ست ۴-۶ تکرار	۲ ست ۴-۶ تکرار	۲ ست ۴-۶ تکرار	۲ ست ۴-۶ تکرار	۶۵ تا ۷۵ درصد
پرش همراه با جمع کردن زانوها	بدون تمرین	بدون تمرین	بدون تمرین	۳ ست ۴-۶ تکرار	۳ ست ۴-۶ تکرار	۳ ست ۴-۶ تکرار	۶۵ تا ۷۵ درصد
پرش عمقی	بدون تمرین	بدون تمرین	بدون تمرین	۴ ست ۸ تکرار	۴ ست ۸ تکرار	۴ ست ۸ تکرار	۷۵ تا ۸۰ درصد
لی لی متوالی جفت پا	۳ ست ۴-۶ تکرار	۳ ست ۴-۶ تکرار	۳ ست ۴-۶ تکرار	بدون تمرین	۳ ست ۴-۶ تکرار	۳ ست ۴-۶ تکرار	۷۵ تا ۸۰ درصد

حالت پیش‌آزمون، آزمودنی‌ها مجدد در محل آزمایشگاه حاضر شدند و مقدار پنج میلی لیتر از ورید بازویی سمت چپ آزمودنی‌ها گرفته شد. سپس نمونه های خونی به سرعت به آزمایشگاه منتقل شدند و نمونه ها برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا به مدت ۱۰-۱۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. این نکته قابل ذکر است که برای اندازه‌گیری متغیر sTnT از کیت الایزا ساخت شرکت کازایایو[1] با کد اقتصادی CSB-EL024015RA و حساسیت ۰/۹۷ نانوگرم بر میلی لیتر استفاده شد؛ همچنین برای mtDNA از روش PCR[2] استفاده شد. در این روش ابتدا از گلبول های سفید موجود در خون RNA با استفاده از روش ستونی و کیت ویژه و بر اساس دستورالعمل موجود در کیت 16S RNA (Rnr2)، با درجه خلوص بالا استخراج شد. پس از آن cDNA با استفاده از کیت بیورد آی سایکلر[3] و راهنمای آن استخراج گردید و برای واکنش رونویسی از پرایمرهای از پیش طراحی شده که توالی آن در زیر آمده است، استفاده شد. پس از اطمینان از اتمام کار دستگاه برای کمی‌سازی سیکل آستانه بیان از روش فولد چنج[4] و با کمک ژن کنترل داخلی GAPDH استفاده شد.

جدول ۲. توالی پرایمرهای مورد استفاده در تحقیق

نام ژن	موقعیت	توالی پرایمر	اندازه محصول (bp)
Rnr2	Forward	5 -AGC TAT TAA TGG TTC GTT TGT-3	۱۳۲
	Reverse	5-AGG AGG CTC CAT TTC TCT TGT-3	
GAPDH	Forward	5 -GGA AAG ACA GGT GTT TTG CA-3	۱۲۹
	Reverse	5-AGG TCA GAG TGA GCA GGA CA-3	

روش تجزیه و تحلیل آماری: ابتدا برای بررسی نحوه توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[5] استفاده شد. برای بررسی تغییرات پیش آزمون و پس آزمون هر گروه از آزمون t زوجی استفاده شد و برای بررسی تفاوت بین گروهی از آزمون آنالیز واریانس یک راهه استفاده گردید و در صورت وجود تفاوت معنی‌دار، برای تعیین محل تفاوت بین گروه‌ها، از آزمون تعقیبی توکی[6] بهره‌برداری شد. داده‌های تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه

1. CUSABIO
2. Quantitative real-time PCR
3. BioRad iCycler
4. Fold change
5. Kolmogorov–Smirnov
6. Tukey

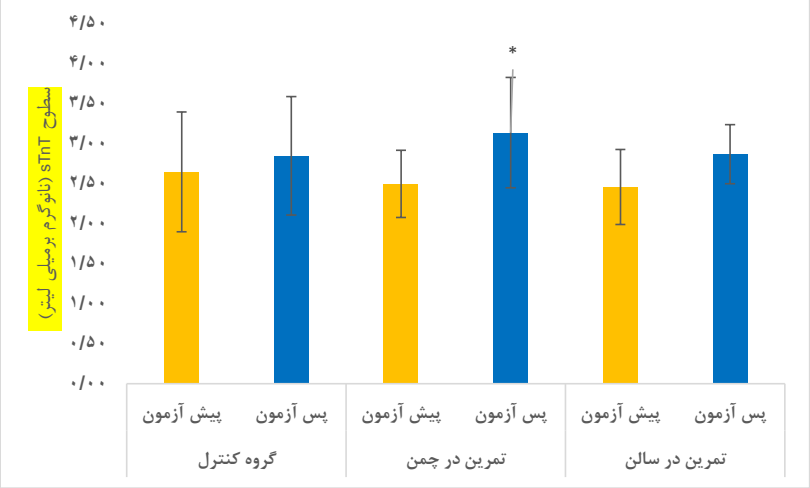
۲۲ تجزیه و تحلیل شدند. برای طراحی نمودارها از نرم‌افزار اکسل[1] ۲۰۱۹ استفاده شد. همچنین سطح معنی‌داری برای تمام آزمون‌ها p<۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در جدول سه، اطلاعات فردی و آنتروپومتریک آزمودنی‌ها ارائه شده است. نتایج آزمون t زوجی نشان داد مقادیر sTnT در پس آزمون گروه تمرین در چمن، به طور معنی‌داری بالاتر از پیش آزمون بود (p=۰/۰۲)، اما تفاوت معنی‌داری در مقادیر sTnT بین پیش آزمون و پس آزمون گروه کنترل (p=۰/۴۳) و تمرین در سالن (p=۰/۰۶) وجود ندارد. همچنین نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه نشان داد که تفاوت معنی‌داری در sTnT گروه‌های تحقیق وجود ندارد (p=۰/۴۷) (شکل یک). مقادیر پس آزمون بیان ژنی mtDNA در گروه های تمرین روی چمن (p=۰/۰۰۱) و تمرین در سالن (p=۰/۰۰۱) به طور معنی‌داری بالاتر از مقادیر پیش آزمون این گروه‌ها بود؛ اما تفاوت معنی‌داری در مقادیر پیش آزمون و پس آزمون mtDNA در گروه کنترل مشاهده نشد (p=۰/۷۸). نتایج آزمون آنالیز وایانس یک راهه نشان داد تفاوت معنی‌داری در مقادیر بیان ژنی mtDNA در گروه‌های تحقیق وجود دارد (p=۰/۰۰۱). در ادامه، نتایج آزمون تعقیبی توکی نشان داد مقادیر بیان ژنی mtDNA در گروه‌های تمرین روی چمن (p=۰/۰۰۱) و تمرین در سالن (p=۰/۰۰۱) به طور معنی داری بالاتر از گروه کنترل بود. همچنین این مقادیر در گروه تمرین در چمن به طور معنی‌داری بالاتر از گروه تمرین در سالن بود (p=۰/۰۰۱) (شکل دو).

جدول ۳. میانگین± انحراف استاندارد ویژگی های فردی گروه‌های شرکت‌کننده در تحقیق

گروه ها	سن (سال)	قد (سانتی‌متر)	وزن (کیلوگرم)
کنترل	۲۰/۱۸ ± ۳/۱۴	۱۶۹/۱۹ ± ۱۸/۴۱	۶۶/۲۲ ± ۶/۲۱
تمرین در چمن	۲۱/۱۴ ± ۲/۱۱	۱۶۸/۲۲ ± ۱۱/۱۳	۶۵/۳۱ ± ۴/۳۵
تمرین در سالن	۲۱/۵۰ ± ۳/۱۸	۱۶۹/۳۸ ± ۱۱/۳۶	۶۵/۳۵ ± ۵/۳۱

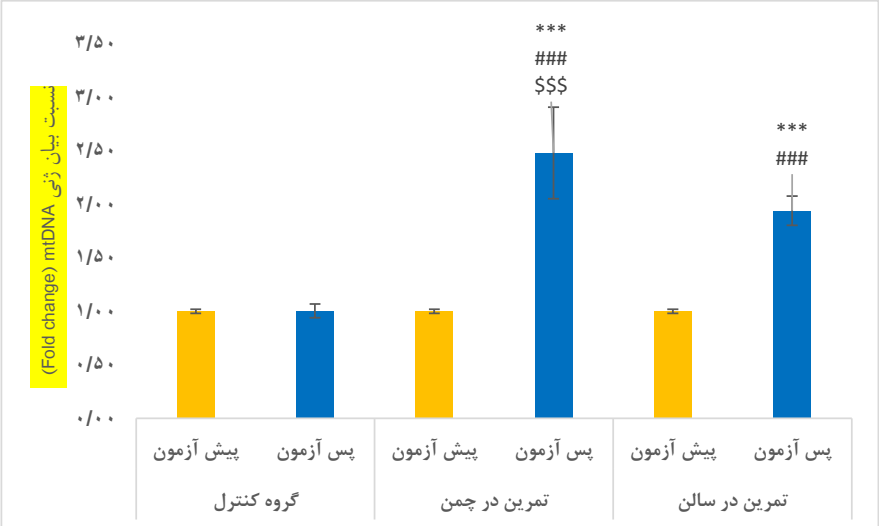


شکل ۱. مقایسه sTnT پلاسمایی در پیش آزمون و پس آزمون؛ * نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به پیش آزمون؛ سطح معنی‌داری p<۰/۰۵.

بحث

مطالعه حاضر نشان داد تفاوت معنی‌داری در مقادیر sTnT در گروه‌های تحقیق وجود ندارد؛ اما مقادیر بیان ژنی mtDNA در گروه‌های تمرین در چمن و تمرین در سالن به طور معنی‌داری بالاتر از گروه کنترل است. همچنین این شاخص در گروه تمرین در چمن به طور معنی‌داری بالاتر از گروه تمرین در سالن بود. عامل TnTعاملی است که نقش ساختاری دارد و به کمپلکس تروپومیوزین متصل می‌شود. TnT همچنین، در فعال کردن اکتیومیوزین- ATP نقش دارد. TnT عاملی است که با تروپومیوزین در ارتباط

1. Excel



شکل ۲. نسبت بیان ژنی mtDNA در پیش آزمون و پس آزمون گروه‌های مورد مطالعه؛ * نشانه تفاوت معنی‌دار با پیش آزمون؛ ### نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه کنترل؛ $$$ نشانه تفاوت معنی‌دار نسبت به گروه تمرین در سالن؛ سطح معنی‌داری p<۰/۰۵.**

است و در تنظیم انقباض عضله نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۹). نشان داده شده است که تمرینات ورزشی مختلف تاثیرات متفاوتی بر سطوح sTnT می‌گذارد و محققان با توجه به این ویژگی‌ها، نتایج متعددی به دست آورده اند. برای مثال در مطالعه ای آبریو[1] و دیگران (۲۰۲۲) گزارش نمودند که هشت تمرینات ترکیبی استقامتی و مقاومتی با شدت متوسط می تواند منجر به افزایش sTnT گردد (۲۰). با این وجود، در مطالعه‌ای دیگر آبریو و دیگران (۲۰۱۴) نشان دادند هشت هفته تمرین مقاومتی با شدت متوسط می‌تواند منجر به کاهش سطوح سرمی sTnT گردد (۲۱). تناقض در یافته این مطالعات با یافته مطالعه حاضر می‌تواند ناشی از تفاوت نوع تمرین، تفاوت در شیوه و محل اندازه‌گیری، و میزان آمادگی جسمانی باشد. برای مثال، در تحقیقی کردی و دیگران (۲۰۱۸) اشاره کرده اند که زمان اندازه‌گیری پس از فعالیت از دیگر عوامل موثر می‌باشد، چرا که اوج غلظت تروپونین‌های سرم سه تا شش ساعت پس از فعالیت می‌باشد و بعد از ۲۴ ساعت به وضعیت پایه بر می‌گردد. بنابراین، تفاوت در زمان اندازه‌گیری، میزان TnT را در پژوهش‌های مختلف، متفاوت نشان می‌دهد (۱۹). مطالعه حاضر نشان داد هشت هفته تمرین در چمن و سالن منجر به افزایش سطوح بیان ژنی mtDNA می‌گردد و این‌که تمرین روی چمن نسبت به تمرین در سالن، اثر بیشتری بر افزایش سطوح بیان ژنی mtDNA دارد. برای اولین بار فرضیه بروز جهش در mtDNA عضله اسکلتی متعاقب تمرین شدید، در سال ۱۹۹۹ ارائه شد. اطلاعات نشان می‌دهد یک جلسه فعالیت بدنی شدید می‌تواند منجر به جهش‌های نامناسب در mtDNA میتوکندریایی عضله نعلی شود. با این وجود، در رابطه با آسیب‌های اکسایشی mtDNA می‌بایست ویژگی تارهای عضلانی را نیز در نظر گرفت (۹). مطالعات حاکی از آن است که تمرینات سنگین بدنی با برهم زدن تعادل بین عوامل اکسایشی و ضد اکسایشی، در بروز آسیب ریز مولکولی نقش دارند. اما همین اتفاق در طولانی مدت منجر به سازگاری‌های مفید و در نهایت افزایش mtDNA و افزایش آنزیم‌های ضداکسایشی در بافت‌های فعال می‌شود (۹). همسو با یافته‌های مطالعه حاضر، المر[2] و دیگران (۲۰۱۱) نشان دادند هشت هفته تمرین با چرخ کارسنج منجر به افزایش معنی‌دار mtDNA در مردان دوچرخه سوار می‌گردد (۲۲). همچنین مطالعه‌ای دیگر نشان داد هشت هفته تمرین هوازی با شدت متوسط، منجر به افزایش mtDNA در دانش آموزان جوان می‌گردد (۲۳)؛ با این وجود، در تناقض با یافته‌های مطالعه حاضر میرزایی و دیگران (۲۰۱۰) بیان نمودند که هشت هفته تمرینات هوازی اثر معنی‌داری بر mtDNA دانشجویان پسر غیرورزشکار ندارد (۹). گزارش شده است که افزایش

1. Abreu
2. Elmer

فـراوان مصـرف اکسـیژن میتوکندریایـی هنـگام ورزش بـه علـت تولیـد ROS، می‌توانـد موجـب آسـیب بـه mtDNA تحـت شـرایط اسـترس گـردد (۹). ایـن امـر خـود موجـب اختـلال در رونـد تولیـد انـرژی در مسـیر فسفوریلاسـیون اکسایشـی می‌شـود. از طرفـی، کاهـش مـداوم تامیـن انـرژی بـر عملکردهـای سـلول آسـیب وارد کـرده و باعـث پیـری زودرس و افزایـش خطـر ابتـلا بـه بیماری‌هـای مختلـف می‌گـردد (۹). در ایـن راسـتا، میرزایـی و دیگـران (۲۰۰۵) نشـان دادنـد کـه تمریـن هـوازی تـا سـر حـد واماندگـی موجـب افزایـش بـروز جهـش و حـذف mtDNA در لکوسـیت دانشـجویان غیرورزشـکار می‌گـردد (۲۵). بـا توجـه بـه اینکـه میرزایـی و همـکاران ایـن متغیـر را در لکوسـیت هـا بـه عنـوان سیسـتم دفاعـی بـدن ارزیابـی کرده‌انـد، بـه نظـر می‌رسـد محـل انـدازه گیـری mtDNA (خـون یـا بافـت)، نـوع تـار عضلانـی و تفـاوت در نـوع آزمودنی‌هـا، از مهم‌تریـن دلایـل بـرای توجیـه تغییـرات و تناقـض در نتایـج اسـت (۹). بـا توجـه بـه تفـاوت عملکـرد mtDNA در خـون و بافـت بـه نظـر می‌رسـد عـدم اندازه‌گیـری ایـن متغیـر در بافـت، از محدودیت‌هـای مطالعـه حاضـر باشـد. بنابرایـن، پیشـنهاد می‌گـردد در مطالعـات آتـی تفـاوت محـل اندازه‌گیـری ایـن متغیـر مـورد ارزیابـی قـرار گیـرد. همچنیـن بـا توجـه بـه نقـش اسـترس اکسایشـی در عملکـرد mtDNA، بـه نظـر می‌رسـد عـدم ارزیابـی ایـن شـاخص‌ها از دیگـر محدودیت‌هـای مطالعـه حاضـر اسـت. از ایـن رو پیشـنهاد می‌گـردد در مطالعـات آتـی شـاخص‌های اکسـایش-ضد اکسایشـی نیـز مـورد ارزیابـی قـرار گیرنـد.

نتیجه‌گیـری: اگرچـه تمریـن پلایومتریـک در چمـن و سـالن هـر دو بـا افزایـش بیـان ژنـی mtDNA در سـلول‌های لکوسـیت خـون همـراه هسـتند؛ امـا اثـر تمریـن در چمـن نسـبت بـه تمریـن در سـالن بـر بیـان ژنـی mtDNA مطلوب‌تـر اسـت. بنابرایـن پیشـنهاد مـی گـردد بـه منظـور افزایـش محتـوای DNA بازیکنـان فوتبـال، از تمرینـات پلایومتریـک در چمـن اسـتفاده کننـد.

تعارض منافع

نویسـندگان ایـن مقالـه هیـچ گونـه تعـارض منافعـی را گـزارش نکـرده انـد.

قدردانی و تشکر

ایـن مقالـه مسـتخرج از رسـاله دکتـری دانشـگاه آزاد اسـلامی واحـد اسلامشـهر می‌باشـد. بدیـن وسـیله از تمامـی آزمودنی‌هـای شـرکت‌کننده در ایـن تحقیـق و تمـام افـرادی کـه در انجـام ایـن تحقیـق مـا را یـاری نموده‌انـد تقدیـر و تشـکر بـه عمـل مـی آیـد.

منابع

1. Martins F, França C, Marques A, Iglésias B, Sarmento H, Henriques R, et al. Sports injuries of a portuguese professional football team during three consecutive seasons. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(19):12582. https://doi.org/10.3390/ijerph191912582

2. Mohtasham HM, Shahrbanian S, Khoshroo F. Epidemiology and history of knee injury and its impact on activity limitation among football premier league professional referees. Journal of Injury and Violence Research. 2018;10(1):45. https://doi.org/10.5249/jivr.v10i1.963

3. Mancini A, Vitucci D, Randers M, Schmidt J, Hagman M, Andersen T, et al. Lifelong football training: effects on autophagy and healthy longevity promotion. Frontiers in Physiology. 2019. 00132. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00132

4. Nalçakan R, Nalçakan M, Var A, Taneli F, Ulman C, Güvenç Y, et al. Acute oxidative stress and antioxidant status responses following an American football match. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2011;51(3):533-9. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21904294/

5. Hagman M, Fristrup B, Michelin R, Krustrup P, Asghar M. Football and team handball training postpone cellular aging in women. Scientific Reports. 2021;11(1):11733. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-275962/v1

6. Busquets-Cortés C, Capó X, Martorell M, Tur JA, Sureda A, Pons A. Training and acute exercise modulates mitochondrial dynamics in football players' blood mononuclear cells. European Journal of Applied Physiology. 2017;117:1977-87. https://doi.org/10.1007/s00394-014-0683-2

7. Rasmussen M, Jin J-P. Troponin variants as markers of skeletal muscle health and diseases. Frontiers in Physiology. 2021;12:747214.https://doi.org/10.3389/fphys.2021.747214

8. Shi M, Dong Z, Zhao K, He X, Sun Y, Ren J, et al. Novel insights into exhaustive exercise-induced myocardial injury: Focusing on mitochondrial quality control. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 2022;9:1015639. https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1015639

9. Mirzaei B, Salami F, Rahmani-Nia F, Jafari A, Houshmand M, Shafa Shariat Panahi M, et al. Does aerobic exercises induce mtDNA mutation in human blood leucocytes? South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation. 2010;32(1):99-106. https://doi.org/10.4314/sajrs.v32i1.54103

10. Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Martino F, Fiorini S, Wisloff U. Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. British Journal of Sports Medicine. 2008;42(1):42-6. https://doi.org/10.1136/bjsm.2007.038497

11. Chimera NJ, Swanik KA, Swanik CB, Straub SJ. Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes. Journal of Athletic Training. 2004;39(1):24. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC385258/

12. Momeni S, Barati A, Letafatkar A, Jamshidi A, Hovanlo F. The effects of plyometric training on performance and the feed-forward activation of calf muscles in active females with functional ankle instability in single leg drop landing. Journal of Ilam University of Medical Sciences. 2017;25(2):42-54. [In Persian]. https://doi.org/10.29252/sjimu.25.2.42

13. Voloshina AS, Kuo AD, Daley MA, Ferris DP. Biomechanics and energetics of walking on uneven terrain. Journal of Experimental Biology. 2013;216(21):3963-70. https://doi.org/10.1242/jeb.081711

14. Bonavolontà V, Carvutto R, Di Gioia A, De Candia M. Plyometric training on sand versus grass: Effects on sprinting, jumping, agility and balance in soccer players. Journal of Functional Morphology and Kinesiology. 2021;7(17): 1-15. https://doi.org/10.14198/jhse.2021.16.proc3.27

15. Ozen G, Atar O, Koc H. The Effects of A 6-Week Plyometric Training Programme on Sand Versus Wooden Parquet Surfaces on the Physical Performance Parameters of Well-Trained Young Basketball Players. Montenegrin Journal of Sports Science & Medicine. 2020;9(1). https://doi.org/10.26773/mjssm.200304

16. Liu W, Kuang H, Xia Y, Pope Z C, Wang Z, Tang C, Yin D. Regular aerobic exercise-ameliorated troponin I carbonylation to mitigate aged rat soleus muscle functional recession. Experiment Physiol, 2019;104(5): 715-728. https://doi.org/10.1113/ep087564

17. Shadmehri S, Shabani M, Daryanoosh F, Sherafati Moghadam M. The effect of eight weeks aerobic exercise on troponin T and metallothionein levels of cardiac tissue in healthy male rats. Journal of Physical Activity and Hormones,

2018; 2(1): 47-60.

18. Maciejczyk M, Błyszczuk R, Drwal A, Nowak B, Strzała M. Effects of short-term plyometric training on agility, jump and repeated sprint performance in female soccer players. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(5):2274. https://doi.org/10.3390/ijerph18052274

19. Kordi MR, Khodayari B, Gaeini AA, Reza N. The comparison of three exercise protocols on specific biochemical markers of cardiac cells in overweight men. Journal of Applied Exercise Physiology. 2018;13(26):41-54. [In persian]. https://doi.org/10.22080/jaep.2017.1675

20. Abreu EL, Vance A, Cheng A-L, Brotto M. Musculoskeletal biomarkers response to exercise in older adults. Frontiers in Aging. 2022;3:867137. https://doi.org/10.3389/fragi.2022.867137

21. Abreu EL, Cheng A-L, Kelly PJ, Chertoff K, Brotto L, Griffith E, et al. Skeletal muscle troponin as a novel biomarker to enhance assessment of the impact of strength training on fall prevention in the older adults. Nursing Research. 2014;63(2):75-82. https://doi.org/10.1097/nnr.0000000000000018

22. Elmer SJ. Fatigue during multijoint exercise: Biomechanical central, peripheral, and age-related aspects: The University of Utah; 2011.

23. Qi Z, He J, Zhang Y, Shao Y, Ding S. Exercise training attenuates oxidative stress and decreases p53 protein content in skeletal muscle of type 2 diabetic Goto-Kakizaki rats. Free Radical Biology and Medicine. 2011;50(7):794-800. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.12.022

24. Jafari A, Hosseinpourfaizi M, Houshmand M, Ravasi A. Effect of aerobic exercise training on mtDNA deletion in soleus muscle of trained and untrained Wistar rats. British Journal of Sports Medicine. 2005;39(8):517-20. https://doi.org/10.1136/bjsm.2004.014068

25. Mirzaei B, Salami F, Rahmanian F, Jafari A, Houshmand M, Shafa M. Correlation between lactate and mt DNA deletion in blood lekocites after an exhoustive aeirobic exercise. Harkat. 2005;(14):21-9. [In Persian].