Journal of Sport and Exercise Physiology
Autumn 2022/Vol.15/No.3/57-70

Comparison of Ig-M and some gastrointestinal disorders markers response to one-session continuous moderate training and high-intensity interval training in female athletes

Afshar Jafari[1], Maryam Taghizadfanid[2*], Saeed Nikookheslat[2], Yousef Bafandetiz[3]

1 Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti university, Tehran, Iran.
2 Faculty of Physical Education and Sport Science, Tabriz university, Tabriz, Iran.
3 Department of Internal Medicine, University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

Original Article

Abstract

Background and Purpose: Exercise-induced gastrointestinal syndrome" refers to disturbances of gastrointestinal integrity and function that are common features of strenuous exercise. Because of the ambiguities about the exercise-induced gastrointestinal disorders, the present study aimed to compare the responses of immunoglobulin M and some gastrointestinal disorders markers to one-session continuous moderate training and high-intensity interval training (MICT & HIIT) in female athletes.

Materials and Methods: To investigate the response of indicators related to the gastrointestinal syndrome, in a quasi-experimental design, thirty female athletes participated in three equal groups (MICT: n = 10, HIIT: n = 10, and control: n = 10). Athletes participated in the exercise test session on the 11th to 13th day of their menstruation after introductory course of training for two weeks. The training program in both MICT and HIIT groups included 7200 meters of treadmill running; So that the MICT group performed with an intensity of 70% VO2max and the HIIT group completed eighteen acute bout of 400 m runs at 110-100% VO2max. The control group was also at resting condition after taking the breakfast. Blood samples were collected before, immediately, and two h after the exercise protocols. Also, the symptoms of gastrointestinal symptoms were assessed by a questionnaire simultaneously. I-FABP, zonulin, LPS, and IgM amounts were measured using ELISA methods. All serum data expressed as mean ± SD and analyzed using repeated - measures analysis of variance and rank data of the symptoms of gastrointestinal symptoms analyzed using the Wilcoxon test at $P \leq 0.05$.

Results: Levels of I-FABP, LPS, and zonulin increased significantly ($P < 0.05$) after MICT and HIIT protocols, whereas Ig-M concentration decreased significantly ($P < 0.05$) after both types of exercise. Also, zonulin returned to baseline levels after 2 hours of HIIT ($P > 0.05$). Nevertheless, concentration of I-FABP 2 h after MICT, levels of zonulin and LPS 2 h after MICT and HIIT differences between with the control group was not significant ($P < 0.05$). However, acute decreased IgM and increased I-FABP, LPS and zonulin in responses to one-session MICT compare to HIIT protocols were not significant ($P > 0.05$).

Conclusion: Given the present results, an acute MICT and HIIT session may increase damage, permeability, endotoxemia and decrease humoral immunity. However, gastrointestinal dysfunction due to HIIT exercise appears to be more pronounced which is not accompanied by symptoms of gastrointestinal discomfort.

Keywords: intense intermittent exercise, intestinal damage, intestinal permeability, gastrointestinal syndrome.

How to cite this article: Jafari A, Taghizadfanid M, Nikookheslat S, Bafandetiz Y. Comparison of Ig-M and some gastrointestinal disorders markers response to one-session continuous moderate training and high-intensity interval training in female athletes. Journal of Sport and Exercise Physiology. 2022;15(3):57-70.

*Corresponding Author; E-mail: fanid@tabrizu.ac.ir
DOI: 10.52547/joeppa.15.3.57

Received: 29/01/2022 Revised:19/02/2022 Accepted: 19/02/2022

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
پاییز ۱۴۰۱/ دوره ۱۵/ شماره ۳/ صفحه‌های ۵۷-۷۰

مقایسهٔ پاسخ ایمنوگلوبولین M، و برخی از نشانگرهای اختلالات گوارشی به یک جلسه تمرین تداومی با شدت متوسط و تناوبی پرشدت در دختران ورزشکار

افشار جعفری[۱]، مریم تقی‌زاد فانید[۲*]، سعید نیکوخصلت[۲]، یوسف بافنده تیز[۳]

۱ دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲ دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳ گروه بیماری‌های داخلی، دانشکدهٔ پزشکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: عبارت «سندروم اختلالات گوارش ناشی از ورزش» به اختلالات عملکرد و یکپارچگی دستگاه گوارش اشاره دارد که از ویژگی‌های مشترک فعالیت‌های ورزشی پرشدت و طولانی‌مدت است. به‌دلیل ابهامات موجود دربارهٔ اختلالات گوارشی ناشی از انواع تمرینات ورزشی، تحقیق حاضر با هدف مقایسهٔ پاسخ ایمنوگلوبولین M، و برخی از نشانگرهای اختلالات گوارشی به یک جلسه تمرین تداومی با شدت متوسط (MICT) و تناوبی پرشدت (HIIT) در دختران ورزشکار انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی پاسخ شاخص‌های مرتبط با اختلالات گوارشی به یک جلسه تمرین، ۳۰ دختر ورزشکار داوطلب در قالب یک طرح نیمه‌تجربی سه‌گروهی (گروه‌های کنترل ۱۰ نفر، MICT ۱۰نفر و HIIT ۱۰ نفر) در تحقیق حاضر شرکت کردند. ورزشکاران پس از دو هفته شرکت در دورهٔ آشنایی تمرین، در روز یازدهم تا سیزدهم دورهٔ ماهانهٔ خود در جلسهٔ آزمون ورزشی موردنظر شرکت کردند. برنامهٔ تمرین در هر دو گروه MICT و HIIT شامل ۷۲۰۰ متر دویدن روی نوار گردان بود؛ به‌طوری‌که گروه MICT با شدت ۷۰ درصد VO_2max و گروه HIIT ۱۸ تکرار ۴۰۰ متر را با شدت ۱۰۰-۱۱۰ درصد VO_2max انجام دادند. گروه کنترل نیز پس از صرف صبحانه در حالت استراحت بود. نمونه‌های خون پیش، بلافاصله و دو ساعت پس از جلسات تمرینی موردنظر هر گروه جمع‌آوری شد. همچنین علائم اختلالات گوارشی همزمان از طریق پرسشنامه ثبت شد. مقدار I-FABP، زنولین، LPS و IgM سرم به روش الایزا اندازه‌گیری شد. داده‌های سرمی به‌صورت میانگین ± انحراف استاندارد، با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و داده‌های رتبه‌ای مربوط به علائم اختلالات گوارشی با استفاده از آزمون ویلکاکسون با $P\leq ۰/۰۵$ تجزیه‌وتحلیل شدند.

نتایج: سطوح I-FABP، LPS و زنولین پس از انجام قراردادهای ورزشی MICT و HIIT به‌طور معناداری افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). درحالی‌که سطح IgM پس از هر دو نوع تمرین به‌طور معناداری کاهش پیدا کرد ($P<۰/۰۵$). همچنین دو ساعت پس از تمرین HIIT سطوح زنولین به حالت پایه بازگشت ($P>۰/۰۵$). غلظت I-FABP دو ساعت پس از تمرین MICT و سطوح زنولین و LPS دو ساعت پس از تمرین MICT و HIIT با گروه کنترل تفاوت معنادار نداشتند ($P>۰/۰۵$). همچنین تفاوت پاسخ‌های حاد کاهندهٔ IgM و فزایندهٔ I-FABP، LPS و زنولین به قراردادهای ورزشی MICT در مقایسه با HIIT معنادار نبود ($P>۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: براساس نتایج تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت یک جلسه تمرین MICT و HIIT ممکن است موجب افزایش آسیب و نفوذپذیری روده، ایجاد اندوتوکسمی و کاهش ایمنی هومورال در دختران ورزشکار غیرنخبه شود. هرچند به‌نظر می‌رسد اختلالات عملکرد دستگاه گوارش ناشی از تمرین HIIT بیشتر باشد که با بروز علائم ناراحتی‌های گوارشی همراه نیست.

واژه‌های کلیدی: آسیب روده، تمرین تناوبی پرشدت، سندروم اختلال گوارشی، نفوذپذیری روده.

* نویسنده مسئول: رایانامه: fanid@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

مقدمه

نشانگان یا سندروم اختلالات گوارشی ناشی از ورزش، به مجموعهٔ پیچیده‌ای از پاسخ‌های فیزیولوژیکی و اختلالات بدن گفته می‌شود که اغلب به‌دلیل کاهش خون‌رسانی اسپلانکنیک ناشی از انجام فعالیت‌های ورزشی شدید و سنگین و فشارهای مکانیکی-متابولیکی مرتبط با آن بروز می‌کند (۱-۳). کاهش خون‌رسانی و هایپوکسی سلول‌های اپیتلیال روده نیز می‌تواند با ایجاد تغییر در ساختار پروتئین‌های اتصالات تنگ سبب کاهش یکپارچگی و آسیب سلول‌های اپیتلیال روده‌ای شود (۴). از طرفی، افزایش دما به‌همراه کاهش خون‌رسانی اسپلانکنیک روده ممکن است مقدمات افزایش نفوذپذیری روده، انتقال باکتریایی، تولید اندوتوکسین و بروز التهاب روده‌ای را فراهم سازد (۴-۵). افزایش نفوذپذیری و ایجاد اندوتوکسمی روده‌ای نیز می‌تواند موجب افزایش خطر عفونت، سوء جذب مواد مغذی و کاهش جذب مایعات شود و پیامدهای ناگواری (مانند اسهال، درد روده، تهوع و استفراغ و دوری از تمرینات و انصراف از ادامهٔ مسابقات) را برای ورزشکاران درگیر در تمرینات شدید و رویدادهای استقامتی در پی داشته باشد (۵-۷). در این زمینه انگبرسین و همکاران (۲۰۱۲) نیز اختلالات گوارشی را دومین مشکل کل ورزشکاران به‌عنوان بیماری در مسابقات المپیک ۲۰۱۲ لندن گزارش کردند (۸). با این حال، بسیاری از این علائم گذرا و بی‌خطرند، ولی تداوم برخی از آن‌ها (مانند استفراغ و اسهال یا التهاب عمومی درازمدت) ممکن است پیامدهای پزشکی مهمی ایجاد کند (۲). البته برخی تحقیقات از جمله پوگ و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند افزایش شاخص‌های آسیب و نفوذپذیری روده و نشانه‌های EIGS همیشه مرتبط نبوده‌اند (۹). همچنین نتایج مطالعات متعدد افزایش نفوذپذیری یا اندوتوکسمی را همراه با یا بدون نشانه‌های EIGS در ورزشکاران گزارش کرده‌اند (۲، ۹). مشکلات گوارشی چند ساعت پس از تمرین نیز می‌تواند موجب اختلال در بازیافت شود که بر وهله‌های ورزشی بعدی و سازگاری با تمرین تأثیر منفی خواهد داشت (۶). افزون‌بر این به‌دلیل ناهمگونی و تفاوت روش‌شناختی در زمینهٔ مدت زمان و شدت فعالیت ورزشی، شرایط محیطی و تغذیه‌ای، سازگاری‌های قبلی ورزشکاران به ورزش و نیز روش‌های متفاوت تعیین اختلالات گوارشی، مقایسهٔ نتایج پژوهش‌های مربوط به ارزیابی ناراحتی‌های دستگاه GI ناشی از فعالیت ورزشی دشوار است (۵، ۱۰). در این تحقیقات آسیب روده به‌طور معمول با استفاده از پروتئین متصل به اسید چرب روده‌ای پلاسما (یک پروتئین سیتزولی با جرم اتمی ۱۵ کیلودالتون) اندازه‌گیری می‌شود که شاخص حساس و ویژهٔ آسیب انتروسیت‌هاست و با آسیب مخاط روده به‌سرعت در گردش خون آزاد می‌شود و اغلب افزایش هایپوکسی روده با انتشار بیشتر I-FABP همراه است (۱۱). همچنین آسیب انتروسیت‌ها احتمالاً موجب افزایش نفوذپذیری روده می‌شود که به‌طور معمول با استفاده از نسبت لاکتوز به رامینوز ادراری و سرم (۹) یا زنولین سرم بررسی می‌شود (۱۲، ۱۳). زنولین، پروتئین ۴۷ کیلودالتونی و تنها واسطهٔ فیزیولوژیکی شناخته شده است که ترشح بیش‌ازحد آن با ایجاد تغییرات ساختاری در پروتئین‌های اتصالات تنگ موجب اختلال در باز و بسته شدن کانال‌های میانی سلول‌های پوششی و اختلال در دستگاه جذب بدن و افزایش نفوذپذیری روده می‌شود (۱۴). بنابراین، یکپارچگی سد روده مختل شده و انتقال مولکول‌های درشت و هضم‌نشده، سموم و اجزای باکتریایی مانند لیپوپلی‌ساکارید به گردش خون بیشتر می‌شود (۱۵). ازاین‌رو سطوح زنولین در گردش خون نشانگر نفوذپذیری روده محسوب می‌شود و گسترش التهاب در میکروبیوتای روده‌ای بیان زنولین را افزایش می‌دهد. افزون‌بر این با ایجاد اندوتوکسمی ناشی از فعالیت ورزشی ممکن است کاهش غلظت آنتی‌اندوتوکسین‌ها و آنتی‌بادی‌های سرمی (مانند IgG و IgM) بروز کند (۱۶). یکی از سازوکار محافظتی برای مقابله با انتقال باکتری افزایش‌یافته مربوط به آنتی‌بادی آنتی‌اندوتوکسین (مانند ایمونوگلوبولین M) برای تخریب و پاکسازی اندوتوکسین‌های باکتریایی است و توجه به غلظت کاهش‌یافتهٔ این آنتی‌بادی‌ها پس از فعالیت ورزشی مهم است و می‌تواند نشان‌دهندهٔ اندوتوکسمی حاد باشد (۱۶، ۱۷). ایمونوگلوبولین M توسط سلول‌های B یا لنفوسیت‌های دستگاه ایمنی بدن انسان تولید می‌شود و بزرگ‌ترین آنتی‌بادی دستگاه گردش خون است و به‌عنوان اولین آنتی‌بادی در معرض آنتی‌ژن قرار می‌گیرد (۵، ۱۶). در این زمینه ادواردز و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند پس از دویدن به مدت ۲۰ دقیقه با شدت ۸۰ درصد VO_2max شاخص‌های آسیب روده افزایش

می‌یابد (۱۰). همچنین توتا و همکاران (۲۰۱۹) افزایش زنولین را پس از مسابقهٔ سه‌گانه گزارش کردند (۱۲). در پژوهش اسنیپ و همکاران (۲۰۱۷) پس از دو ساعت دویدن (با شدت ۶۰ درصد VO_2max) کاهش عملکرد سد روده مشاهده شد (۱۸). درحالی‌که در پژوهش هیل و همکاران (۲۰۲۰) پس از یک وهله دویدن به مدت ۶۰ دقیقه با شدتی معادل ۶۵ درصد VO_2max تغییر زیادی در I-FABP دیده نشد (۱۹).

اغلب ورزشکاران با هدف نیل به کسب آمادگی هوازی بیشتر وهله‌های ورزشی دویدن به‌صورت استقامتی یا تناوبی پرشدت را در برنامهٔ تمرینی خود دارند (۲۰). قراردادهای MICT به‌صورت تمرین تداومی با شدت متوسط و ثابت (لاکتات کمتر از ۲ میلی‌مول و مدت زمان بیشتر از ۲۰ دقیقه) تعریف می‌شود و قراردادهای HIIT شامل تمرینات تناوبی پرشدت (با شدتی بالاتر از ۸۵ درصد توان هوازی و لاکتات بیشتر از ۴ میلی‌مول) به مدت پنج ثانیه تا هشت دقیقه و دوره‌های بازیافت متفاوت است (۲۰، ۲۱). به هر حال، نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد که رابطهٔ معکوسی بین جریان خون اسپلانکنیک و شدت فعالیت ورزشی وجود دارد و افزایش شدت فعالیت ورزشی موجب افزایش بیشتر نفوذپذیری روده می‌شود (۱). ازاین‌رو تصور می‌شود تمرینات HIIT با تشدید محدودیت خون‌رسانی اسپلانکنیک و تحریکات سمپاتوآدرنالی موجب آسیب بیشتر به اپیتلیال روده و ایجاد التهاب شود (۹). درحالی‌که برخی پژوهشگران از جمله کوستا و همکاران (۲۰۱۷) معتقدند در شرایط دمایی طبیعی مدت زمان ورزش عامل اصلی و مهم برای مقدار بزرگی آسیب اپتلیال روده ناشی از فعالیت ورزشی است (۲۲). بنابراین، هنوز معلوم نیست که در صورت برابر بودن حجم تمرین MICT و HIIT؛ آیا شدت بالاتر در وهله‌های ورزشی تناوبی پرشدت موجب تشدید اختلال در عملکرد یکپارچگی سد روده می‌شود یا نه؟

با این حال، تصور می‌شود تمرینات تناوبی پرشدت (HIIT) در برنامهٔ تمرینی ورزشکاران بسیار مهم است و راهبرد ورزشی کارامدتری نسبت به MICT برای بهبود عملکرد، افزایش بیشتر اکسیژن مصرفی بیشینه و کارایی دوندگان، تحریک بیشتر کاهش چربی و لذت و علاقهٔ بیشتر ورزشکاران محسوب می‌شود. افزون بر این انجام این تمرینات برای ورزشکاران اغلب رشته‌های ورزشی و نیز برخی مشاغل (مانند سربازان و آتش‌نشان‌ها) ضروری است (۲۰، ۲۱). از طرفی، با وجود تعداد زیاد گزارش مسائل گوارشی در رویدادهای ورزشی نگرانی‌هایی دربارهٔ تأثیرات جانبی تمرینات ورزشی با شدت بالاتر بر دستگاه GI به‌وجود آمده است (۹). بنابراین به‌دلیل برخی تناقض‌های موجود و دسترسی نداشتن به مستندات معتبر و پژوهش‌های جامع، شناسایی پاسخ دستگاه گوارش به انواع فعالیت‌ها و تمرینات ورزشی (استقامتی و HIIT) با شدت و مدت مختلف به‌ویژه در دختران ورزشکار (مادران و آینده‌سازان جامعه) ضرورتی انکارناپذیر به‌نظر می‌رسد؛ اگرچه برخی تحقیقات نشان داده‌اند که زنان بیشتر از مردان مستعد علائم سندروم اختلال گوارشی‌اند (۲۳). بنابراین، تحقیق حاضر با هدف تعیین تفاوت پاسخ ورزشی عملکرد دستگاه گوارش به تمرینات HIIT و MICT در دختران ورزشکار انجام گرفت.

روش پژوهش

پژوهش حاضر، پس از اخذ مجوز از کمیتهٔ اخلاق در پژوهش دانشگاه تبریز (IR.TABRIZU.REC.1398.022) در قالب یک طرح نیمه‌تجربی سه‌گروهی با اندازه‌گیری مکرر (پیش، بلافاصله و دو ساعت پس از یک جلسه تمرین HIIT و MICT) انجام گرفت.

نمونه‌های پژوهش: جامعهٔ آماری پژوهش شامل دختران ورزشکار رشتهٔ جودو و کشتی با حداقل سه سال سابقهٔ شرکت در مسابقات قهرمانی استان و کشور است. بدین‌ترتیب، دو هفته پیش از تحقیق، افراد داوطلب به‌منظور آشنایی بیشتر با طرح پژوهش، تمرینات و آزمون‌های ورزشی، تکمیل پرسشنامه‌های وضعیت سلامت عمومی، یادآمد غذایی و هزینهٔ فعالیت‌های روزانه، و برگهٔ رضایت‌مندی آگاهانهٔ شرکت در پژوهش، در جلسهٔ هماهنگی شرکت کردند. در این زمینه اهداف و جزئیات مراحل اجرایی پژوهش، به‌همراه نحوهٔ تکمیل پرسشنامه‌ها و برگه‌های ضروری توسط پژوهشگر برای همهٔ شرکت‌کنندگان توضیح داده شد. برای کنترل تغییرات هورمونی دورهٔ ماهانهٔ دختران هر فرد در یکی از روزهای بیست‌وپنجم تا بیست‌وهفتم دورهٔ خود در آزمایشگاه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه تبریز حاضر شد و برای برآورد غیرمستقیم توان هوازی بیشینه (VO_2max: $ml.kg^{-1}.min^{-1}$) در آزمون نوار گردان بروس شرکت کرد

(۲۴). تودهٔ چربی بدن با استفاده از اندازه‌گیری ضخامت پوستی به‌وسیلهٔ کالیپر و روش سه‌نقطه‌ای جکسون - پولاک برای زنان برآورد شد (۲۵). سپس تودهٔ بدون چربی از تفاضل وزن بدن با تودهٔ چربی بدن محاسبه شد. بنابراین، براساس برخی ویژگی‌های فردی و فیزیولوژیکی مانند سن، قد، وزن، شاخص تودهٔ بدن، درصد چربی، بیشینهٔ اکسیژن مصرفی هوازی، ضربان حالت پایه و بیشینه که توسط پزشک و کارشناسان ورزشی اندازه‌گیری شد (۲۴، ۲۵) و۳۰ ورزشکار دختر (با دامنهٔ سنی ۲۰-۲۵ سال، چربی ۱۶-۲۳ درصد، اکسیژن مصرفی بیشینه ۳۵-۴۵ میلی‌لیتر/کیلوگرم)، به‌صورت تصادفی در گروه‌های همگن ده‌نفری کنترل (C) و تمرین تناوبی پرشدت (HITT) و تمرین تداومی با شدت متوسط (MICT) جایگزین شدند (جدول ۲).

براساس پرسشنامهٔ سلامتی که توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد و معاینات اولیه توسط پزشک، هیچ‌یک از ورزشکاران در فاصلهٔ یک ماه پیش از شرکت در پژوهش به بیماری‌های عفونی، اعم از سرماخوردگی مبتلا نشده بودند و از داروهای ضدبارداری استفاده نمی‌کردند. همچنین سابقهٔ مشکلات گوارشی خاصی نداشتند و دارای دورهٔ قاعدگی منظم بودند. با این حال، از همهٔ آن‌ها درخواست شد تا از زمان ثبت‌نام تا پایان تحقیق از مصرف هرگونه دارو یا مکمل به‌طور سرخود و بدون اطلاع قبلی بپرهیزند.

روش اجرای پژوهش: کالری مصرفی و روش کنترل و دستور غذایی مورد نیاز روزانه: هزینهٔ کالری مصرفی و مقدار کالری دریافتی روزانهٔ داوطلبان به‌ترتیب با استفاده از داده‌های حاصله از پرسشنامه‌های یادآمد و عادت غذایی و فعالیت‌های روزانه طی چهار روز پیش از شروع دورهٔ پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Nutrition4 (نسخهٔ ۳،۵،۲ سال ۲۰۱۱ ساخت آمریکا) برآورد شد. هزینهٔ انرژی استراحتی با استفاده از فرمول کانینگهام (RMR [kcal.d^{-1}]=۳۷۰+ (۲۱/۶ ×بدن خالص توده [kg]) مشخص شد (۲۶). همچنین برای کنترل غذایی و عدم تداخل مشکلات گوارشی ناشی از تغذیه از آن‌ها درخواست شد تا روز یازدهم تا سیزدهم دورهٔ ماهانهٔ خود دستورالعمل رژیم غذایی ارائه‌شده (تعادل کالری صفر) با محتوای۶۰ درصد کربوهیدرات، ۲۵ درصد چربی و ۱۵ درصد پروتئین را پیروی کنند. همچنین صبحانهٔ روز آزمون ورزشی به‌طور معمول (شامل دو کف دست نان سنگک، ۳۰ گرم پنیر کم‌چرب، یک عدد گردو معادل ۲۶۰ کالری و ۳۰۰ میلی‌لیتر آب) بود. افزون‌بر این ۲۴ ساعت پیش از آزمون ورزشی شرکت‌کنندگان نباید هیچ‌گونه الکل، داروهای ضدالتهابی غیراسترادیول (NSAID)، غذاهای با فیبر زیاد یا بسیار تند مصرف می‌کردند (۱، ۹).

روش اجرای یک جلسه تمرینات تداومی با شدت متوسط و تناوبی پرشدت: طراحی یک جلسه تمرین تداومی با شدت متوسط و تناوبی پرشدت براساس رهنمودهای دانشکدهٔ پزشکی ورزشی آمریکا تنظیم شد (۲۵). هر شرکت‌کننده از روز بیست‌وپنجم تا بیست‌وهفتم دورهٔ ماهیانهٔ خود به مدت دو هفته، ضمن استفاده از رژیم غذایی توصیه‌شده، در برنامهٔ دورهٔ آشنایی با آزمون قرارداد ورزشی موردنظر (HIIT یا MICT) و تحمل آن شرکت کرد و برای اطمینان از نبود تأثیر کوفتگی ناشی از تمرینات دورهٔ آشنایی، پس از سه روز استراحت در روز یازدهم تا سیزدهم دورهٔ ماهانهٔ خود در آزمون ورزشی موردنظر شرکت کردند. تمرینات دورهٔ آشنایی مشابه با آزمون ورزشی با شدت و مدت کمتر و در سالن ورزشی فوتسال انجام گرفت که مسافت طی‌شده، شدت تمرین، تعداد تکرارها و انرژی مصرفی در هر دو نوع تمرین در جدول ۱ ذکر شده است. آزمون ورزشی روی نوار گردان انجام گرفت؛ به‌طوری‌که یک ساعت پس از صرف صبحانه، شرکت‌کنندگان گروه MICT به مدت ۶۰ دقیقه با شدت ۷۰ درصد ضربان قلب ذخیره در حالت پایدار روی نوار گردان دویدند که کل مسافت ۷۲۰۰ متر بود. همچنین ورزشکاران گروه HIIT مسافت کل ۷۲۰۰ متر را به‌صورت تناوبی (۳ دوره، هر دوره شامل شش تکرار ۴۰۰ متر) و با سرعت بیشینه به اتمام رساندند (۹). برنامهٔ گرم کردن عمومی و سرد کردن برای تمامی جلسات تمرینی و آزمون ورزشی یکسان بود، به‌طوری‌که گرم کردن عمومی در مجموع حدود ده دقیقه به‌صورت یک نوبت پنج‌دقیقه‌ای دوی نرم با ۶۰ درصد توان هوازی، همراه با دو دقیقه حرکات کششی، دو دقیقه حرکات نرمشی و یک دقیقه حرکات جهشی بود. همچنین سرد کردن شامل پنج دقیقه حرکات کششی انجام گرفت. در ضمن برای کنترل شدت فعالیت تمرین هوازی (پس از تعیین شدت فعالیت با استفاده از فرمول ضربان قلب ذخیرهٔ کارونن) از ضربان‌سنج پلار و اندازه‌گیری سرعت دویدن استفاده شد. محاسبهٔ MET و هزینهٔ فعالیت ورزشی با استفاده از روابط زیر انجام گرفت (۲۷).

$VO_2 = \%HRR \times VO_2max$ $MET = VO_2 / 3.5$

$Kcal = MET \times time\ (h) \times weight\ (kg)$

روش‌های آزمایشگاهی: آزمودنی‌ها در ابتدای دورهٔ پژوهش سه روز پس از آخرین تمرین دورهٔ آشنایی (روز یازدهم تا سیزدهم دورهٔ ماهیانهٔ هر فرد) ساعت هفت صبح در حالت ناشتا در بخش فوریت‌های پزشکی بیمارستان حضور داشتند. به‌دلیل تکرار خون‌گیری و نیاز به جمع‌آوری نمونهٔ خون بلافاصله پس از تمرین و کاهش زمان تلف‌شده (از اتمام قراردادهای تمرین تا خون‌گیری) ابتدا برای هر فرد یک آنژیوکت صورتی در سیاهرگ وریدی پیش‌آرنجی قرار داده شد و هر سه مرحلهٔ جمع‌آوری نمونه‌های خون (پیش، بلافاصله و دو ساعت پس از اجرای یک جلسه HIIT یا MICT) با استفاده از آن انجام گرفت. شایان ذکر است برای کنترل اثر دورهٔ شبانه‌روزی و سایر عوامل مزاحم احتمالی، در همین فاصلهٔ زمانی، مشابه گروه‌های تجربی از گروه کنترل نمونه‌های خونی نمونه خونی گرفته شد.

برای اطمینان از نبود التهاب، عفونت یا کم‌خونی احتمالی، برخی شاخص‌های هماتولوژیک (مانند هماتوکریت، هموگلوبین و سلول‌های سفید خون محیطی) و در حالت ناشتایی اندازه‌گیری شد. به این منظور پیش از تمرین هشت میلی‌لیتر و دو مرحله پس از تمرین پنج میلی‌لیتر نمونهٔ خون جمع‌آوری شد. سه میلی‌لیتر نمونهٔ خونِ حالت ناشتا مورد نیاز برای آزمایش CBC، و یک میلی‌لیتر نمونهٔ خون مربوط به دو مرحله پس از تمرین (برای تعیین هموگلوبین و هماتوکریت به‌منظور برآورد تغییرات حجم پلاسما و تصحیح متغیرهای پلاسما) داخل لوله‌های حاوی اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) جمع‌آوری شد. باقیماندهٔ خون (هر سه مرحله) به‌منظور تهیهٔ سرم استفاده شد. برای جداسازی سرم، نمونه‌ها به مدت ۱۵تا ۲۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه ۲۲-۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد تا لخته شوند. سپس در دستگاه سانتریفیوژ (۱۵ دقیقه با ۱۵۰۰ گرم و در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد) قرار داده شدند و نمونه‌های سرم جدا شده و در دمای ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. البته نیم میلی‌لیتر از سرم برای تعیین اسمولالیتهٔ پلاسما با استفاده از اسمومتر کنار گذاشته شد (۹، ۲۸). غلظت گلوکز با روش گلوکز اکسیداز و لاکتات با روش آنزیماتیک به‌عنوان متغیر کنترل پیش، بلافاصله و دو ساعت پس از ورزش نیز با استفاده از همان نمونه‌های خونی تعیین شدند.

هر چهار شاخص I-FABP، زنولین، LPS و IgM با استفاده از روش الایزا اندازه‌گیری شد. غلظت IFABP سرم با استفاده از کیت الایزای شرکت Duoset ساخت چین به شمارهٔ DY3078، سطح زنولین سرم با استفاده از کیت الایزای شرکت Elabscience ساخت آمریکا به شمارهٔ E-EL-H5560، غلظت LPS سرم با استفاده از کیت الایزای شرکت MyBioSource ساخت آمریکا به شمارهٔ MBS702450، و IgM سرم با استفاده از کیت تجاری شرکت Elabscience ساخت آمریکا به شمارهٔ E-EL-H1814، با استفاده از روش ساندویچ الایزا اندازه‌گیری شدند. فرایند اندازه‌گیری در هر چهار شاخص تقریباً یکسان است. به این منظور نمونه‌ها و استانداردها در چاهک‌های میکروتیتر که با آنتی‌بادی‌های ویژهٔ شاخص موردنظر پوشیده شده‌اند، ریخته شد تا با آنتی‌بادی‌های ویژه انکوبه شوند. در این فرایند به‌طور مثال در مورد I-FABP آنتی‌بادی ردیاب I-FABP بیوتینیله‌شده به I-FABP انسانی متصل می‌شود. مزدوج استرپتاویدین پراکسیداز به آنتی‌بادی ردیاب بیوتینیله وصل می‌شود. این مزدوج با سوبسترا، تترامتیل بنزیدین (TMB) واکنش می‌دهد و رنگ آن تغییر می‌کند و در نهایت واکنش آنزیمی با افزودن اسید سیتریک متوقف می‌شود. محلول رنگی در دستگاه اسپکتوفتومتر با تنظیم طول موج ۲۴۵۰±nm قرار داده شده و با اندازه‌گیری چگالی نور با دستگاه میکروپلیت‌خوان به‌صورت کمی تعیین و غلظت آن با استفاده از منحنی استاندارد تصحیح شد (۹). مقدار I-FABP و LPS با واحد پیکوگرم بر میلی‌لیتر، زنولین با واحد نانوگرم بر میلی‌لیتر، IgM با واحد میلی‌گرم بر دسی‌لیتر اعلام شدند.

نحوهٔ ثبت پرسشنامهٔ علائم اختلال گوارش: در طول قرارداد ورزشی ارزیابی ناراحتی علائم اختلال گوارشی با استفاده از مقیاس ناراحتی GI ثبت شد. پرسشنامهٔ مقیاس GI براساس مقیاس ده‌نقطه‌ای (صفر تا) طراحی شده است؛ با این فرض که اگر به عدد بزرگ‌تر از ۴ اشاره شود، مشکل جدی است (۲۸). شرکت‌کنندگان همزمان با جمع‌آوری نمونه‌های خون و همچنین ۲۴ ساعت پس از قرارداد ورزشی و نیز در مورد سابقهٔ تجربهٔ علائم ناراحتی GI در طول سایر فعالیت‌های ورزشی شخصی پرسشنامه

را با جزئیات کامل پر کردند. همچنین با استفاده از این پرسشنامه، شرکت‌کنندگان علائمی را که به‌طور معمول در تمرینات قبلی و همیشگی خود و همچنین فعالیت‌هایی مانند دویدن‌های کوتاه‌مدت در حالت پایدار (کمتر از ۶۰ دقیقه) و نیز دویدن‌های درازمدت در حالت پایدار (بیش از ۶۰ دقیقه) و دویدن‌های با شدت بالا و همچنین علائم هنگام استراحت تجربه می‌کنند، رتبه‌بندی کردند.

تحلیل آماری: داده‌ها به‌صورت میانگین و انحراف استاندارد با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخهٔ ۲۳ تحت ویندوز بررسی شد. پس از تأیید وضعیت توزیع طبیعی داده‌ها (با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک)، همگنی داده‌های پایه در سه گروه با استفاده از تحلیل واریانس یکطرفه و به‌منظور بررسی اثر مداخلهٔ تمرین بر متغیرهای مورد مطالعه، از آزمون تحلیل واریانس ۳×۳ و آزمون تعقیبی بنفرونی و توکی در سطح معنادار مساوی و کمتر از ۰/۰۵ بررسی شد. همچنین داده‌های رتبه‌ای مربوط به علائم نشانه‌های گوارشی با استفاده از آزمون ویلکاکسون بررسی شد.

نتایج

میانگین و انحراف استاندارد داده‌های مربوط به ویژگی‌های فردی دختران ورزشکار شرکت‌کننده در تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. علائم ناراحتی‌های گوارشی ورزشکاران در جدول ۴ و میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های آسیب، نفوذپذیری، اندوتوکسمی و ایمونوگلوبولین M دختران ورزشکار در جدول ۳ در سه گروه HIIT، MICT و کنترل و در سه مرحلهٔ قبل، بلافاصله و دو ساعت پس از تمرین نشان داده شده است. مقادیر تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده از توزیع طبیعی پیروی می‌کنند و تفاوت معناداری بین سه گروه قبل از مداخله مشاهده نشد (P>۰/۰۵). براساس نتایج آزمون بنفرونی، پاسخ I-FABP بلافاصله و دو ساعت پس از یک جلسه تمرین MICT و HIIT به‌طور مشابه فزاینده و معنادار بود (P<۰/۰۵). به‌عبارتی، مقادیر این شاخص دو ساعت پس از هر دو نوع تمرین به حالت پایه بازنگشت. نتایج آمون توکی نیز نشان داد غلظت IFABP بلافاصله پس از تمرین در هر دو گروه و دو ساعت بعد فقط در گروه HIIT نسبت به گروه کنترل به‌طور معنادار بیشتر بود (P<۰/۰۵). پاسخ زنولین پس از تمرین در هر دو گروه مشابه IFABP بود. ولی، دو ساعت بعد فقط در گروه MICT سطوح این شاخص نسبت به حالت پایه به‌طور معنادار بیشتر بود (P<۰/۰۵). همچنین غلظت زنولین فقط بلافاصله پس از جلسهٔ تمرین در هر دو گروه نسبت به گروه کنترل به‌طور معنادار بیشتر بود (P<۰/۰۵). پاسخ افزایشی LPS بلافاصله و دو ساعت پس از تمرین همانند IFABP است و غلظت این شاخص تنها بلافاصله پس از تمرین در گروه HIIT به‌طور معنادار بیشتر از گروه کنترل بود (P<۰/۰۵). پاسخ کاهشی IgM نیز بلافاصله و دو ساعت پس از جلسهٔ تمرین در هر دو گروه نسبت به حالت پایه و در مقایسه با گروه کنترل معنادار بود (جدول ۳).

جدول ۱. نمونهٔ برنامهٔ تمرین دورهٔ آشنایی دوهفته‌ای و آزمون MICT و HIIT برای هر ورزشکار

مرحله (هفته)	تعداد جلسات در هفته	تکرار×۴۰۰ متر	زمان بازیافت بین هر ۴۰۰ متر	تعداد تکرار هر نوبت	زمان بازیافت بین نوبت‌ها (دقیقه)	HRR٪	HR ضربه در دقیقه	MET	مقیاس درک فشار	مدت کل (دقیقه)	هزینهٔ انرژی (کیلوکالری)	مسافت جابه‌جاشده (متر)
برنامهٔ HIIT												
اول	۳	۳×۴۰۰	۱:۲	۳	۳	۸۰-۸۵	۱۷۰-۱۷۷	۱۱/۸	۱۶	۵۰	۳۰۰	۳۶۰۰
دوم	۳	۴×۴۰۰	۱:۲	۳	۳	۸۰-۸۵	۱۷۰-۱۷۷	۱۱/۸	۱۶	۶۰	۳۴۰	۴۸۰۰
آزمون	-	۶×۴۰۰	۱:۱	۳	۳	۱۰۰-۱۱۰	۲۰۰-۲۱۵	۱۴/۸	۲۰	۸۰	۵۷۰	۷۲۰۰

ادامه جدول ۱. نمونهٔ برنامهٔ تمرین دورهٔ آشنایی دوهفته‌ای و آزمون MICT و HIIT برای هر ورزشکار

مرحله (هفته)	تعداد جلسات در هفته	تکرار ۴۰۰ متر	زمان بازیافت بین هر ۴۰۰ متر	تعداد تکرار هر نوبت	زمان بازیافت بین نوبت‌ها (دقیقه)	HRR٪	HR ضربه در دقیقه	MET	مقیاس درک فشار	مدت کل (دقیقه)	هزینهٔ انرژی (کیلوکالری)	مسافت جابه‌جاشده (متر)
برنامهٔ MICT												
اول	۳		۴۵ دقیقه دویدن تداومی			۵۰	۱۲۵	۷/۴	۱۳	۴۵	۳۰۵	۳۶۰۰
دوم	۳		۵۰ دقیقه دویدن تداومی			۵۵	۱۳۲	۸/۲	۱۲	۵۰	۳۷۵	۴۸۰۰
آزمون	-		۶۰ دقیقه دویدن تداومی			۷۰	۱۵۵	۱۰/۴	۱۳	۶۰	۵۷۲	۷۲۰۰

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد مشخصات دختران ورزشکار در شروع پژوهش (۳۰ نفر)

سن (سال)	وزن (kg)	شاخص تودهٔ بدن (kg/m^2)	درصد چربی (٪)	VO_2max (ml/kg/min)	هزینه انرژی پایه (kcal/kgFFM)	انرژی دریافتی روزانه (kcal/kgFFM)	هموگلوبین (g/dl)	هماتوکریت (٪)
۲۰/۸±۳/۱	۵۸/۲±۶/۴	۲۱/۷±۳/۵	۲۱/۹±۴/۳	۳۹/۲±۳/۴	۳۰/۲±۰/۳	۶۰/۳±۱/۵	۱۳/۱±۱/۲	۴۰/۳±۱/۱

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در دختران ورزشکار پیش، بلافاصله و دو ساعت پس از تمرین در سه گروه کنترل، HIIT ،MICT (۳۰ نفر)

شاخص‌ها	مرحله	Control	MICT	HIIT
I-FABP	پیش	۸۱۲/۰۰ ± ۱۲۷/۸۳	۷۸۸/۱۲ ± ۱۲۷/۸۳	۸۹۷/۷۵ ± ۱۲۷/۸۳
	بلافاصله بعد	۸۱۸/۲۵ ± ۱۱۷/۸۲	۱۷۱۹/۱۲ ± ۱۱۷/۸۲*#	۱۷۶۷/۷۵ ± ۱۱۷/۸۲*#
	دو ساعت بعد	۸۲۴/۵۰ ± ۱۱۴/۸۲	۱۰۸۹/۱۲ ± ۱۱۴/۸۲*	۱۲۵۱/۱۲ ± ۱۱۴/۸۲*#
Zonulin	پیش	۸/۵۲ ± ۱/۴۱	۷/۰۵ ± ۰/۹۷	۸/۰۹ ± ۱/۵۴
	بلافاصله بعد	۷/۶۶ ± ۱/۴۰	۱۵/۴۵ ± ۱/۳۰*#	۱۵/۸۴ ± ۱/۱۴*#
	دو ساعت بعد	۸/۵۸ ± ۱/۰۸	۱۰/۶۰ ± ۰/۷۷ *	۱۱/۰۰ ± ۱/۳۹
LPS	پیش	۵/۱۱ ± ۰/۸۲	۳/۹۷ ± ۰/۶۱	۴/۲۶ ± ۰/۸۸
	بلافاصله بعد	۴/۹۲ ± ۰/۷۵	۷/۵۱ ± ۱/۰۲*	۷/۷۲ ± ۰/۳۷*#
	دو ساعت بعد	۴/۹۶ ± ۰/۷۸	۷/۵۳ ± ۰/۵۲ *	۷/۳۷ ± ۱/۰۰*
IgM	پیش	۲۰۷/۸۷ ± ۱۶/۱۵	۲۱۸/۷۵ ± ۱۴/۹۰	۱۹۵/۳۷ ± ۱۹/۴۲
	بلافاصله بعد	۲۲۰/۸۷ ± ۱۳/۵۷	۸۸/۷۵ ± ۱۵/۱۴*#	۱۱۱/۶۲ ± ۲۰/۲۱*#
	دو ساعت بعد	۲۲۰/۲۵ ± ۱۶/۱۹	۱۳۲/۸۷ ± ۱۴/۸۰*#	۱۳۲/۵۰ ± ۲۴/۳۶*#
Lactate	پیش	۱/۳۶ ± ۰/۱۰	۱/۵۰ ± ۰/۱۰	۱/۴۹ ± ۰/۱۰
	بلافاصله بعد	۱/۳۰ ± ۰/۲۱	۳/۶۳ ± ۰/۲۱	۵/۳۸ ± ۰/۲۱
	دو ساعت بعد	۱/۴۵ ± ۰/۱۱	۱/۴۱ ± ۰/۱۱	۱/۳۷ ± ۰/۱۱

ادامه جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در دختران ورزشکار پیش، بلافاصله و دو ساعت پس از تمرین در سه گروه کنترل، HIIT ،MICT (۳۰ نفر)

شاخص‌ها	مرحله	Control	MICT	HIIT
Glucose	پیش	۵/۴۸ ± ۰/۲۹	۵/۴۲ ± ۰/۲۹	۵/۳۳ ± ۰/۲۹
	بلافاصله بعد	۵/۴۲ ± ۰/۱۵	۵/۲۱ ± ۰/۱۵	۵/۱۸ ± ۰/۱۵
	دو ساعت بعد	۵/۴۶ ± ۰/۲۲	۵/۴۵ ± ۰/۲۲	۵/۳۷ ± ۰/۲۲

* در مقایسه با حالت پایه P≤ ۰/۰۵ #در مقایسه با گروه کنترل P≤ ۰/۰۵

جدول ۴. دامنه و میانهٔ علائم اختلالات گوارشی در شش مرحلهٔ اندازه‌گیری در دو ناحیهٔ بالا و پایین شکم و علائم مشکلات عمومی

	علائم گوارشی	گروه تمرین HIIT			گروه تمرین MICT		
ناحیهٔ بدن		پیش از تمرین	پس از تمرین	دو ساعت پس از تمرین	پیش از تمرین	پس از تمرین	دو ساعت پس از تمرین
بالای شکم	رفلاکس معده	۰ (۰)	*۱/۵ (۰-۱۰)	۰ (۰-۱)	۰ (۰)	۰ (۰-۷)	۰ (۰-۱)
	سوزش معده	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰-۱)	۰ (۰)	۰ (۰-۱)	۰ (۰)
(دامنه) میانه	نفخ معده	۰ (۰)	۰ (۰-۱)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰-۱)
	گرفتگی عضلات شکم	۰ (۰-۱)	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰-۱)
	استفراغ	۰ (۰)	۰ (۰-۶)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰)
	حالت تهوع	۰ (۰)	*۰ (۰-۹)	۰ (۰)	۰ (۰)	*۰ (۰-۸)	۰ (۰)
پایین شکم	گرفتگی روده	۰ (۰)	۰ (۰-۱)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)
	نفخ شکم	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰)
(دامنه) میانه	اصرار به اجابت مزاج	۰ (۰)	۰ (۰-۱۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰-۴)	۰ (۰)
	درد سمت چپ شکم	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)
	درد سمت راست شکم	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)
	مدفوع شل	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)
	اسهال	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)
عمومی	سرگیجه	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)
	سردرد	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)
(دامنه) میانه	گرفتگی عضلات	۰ (۰)	*۲ (۱-۵)	۰(۰-۲)	۰ (۰)	*۲ (۱-۳)	۰ (۰-۱)
	اصرار به ادرار کردن	۰ (۰)	۰ (۰-۲)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)	۰ (۰)

* در مقایسه با حالت پایه P≤ ۰/۰۵

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف مقایسهٔ تأثیرات یک جلسه تمرین تداومی با شدت متوسط و تناوبی پرشدت بر نفوذپذیری و اندوتوکسمی رودهای، ایمونوگلوبولین M سرم، و برخی علائم اختلالات گوارشی در دختران ورزشکار انجام گرفت. در پژوهش حاضر برای اولین بار نشان داده شد که یک جلسه تمرین MICT و HICT با هزینهٔ انرژی و حجم یکسان تقریباً به‌طور مشابه موجب افزایش شاخص‌های آسیب روده (IFABP) و نفوذپذیری روده (زنولین) و اندوتوکسمی (افزایش LPS) و کاهش در دختران ورزشکار غیرنخبه شده و در نهایت اختلال در پاسخ دستگاه ایمنی (کاهش IgM) ظاهر می‌شود. با وجود این، در بین علائم ناراحتی‌های گوارشی حالت تهوع در پاسخ به یک جلسه تمرین MICT و HIIT و نیز

رفلاکس معده پس از تمرین HIIT مشاهده شد. برخی از نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های مارچ و همکاران (۲۰۱۷) (۲۹) و پوگ و همکاران (۲۰۱۷) (۹)، همسوست. در این زمینه باید گفت که شاخص‌های آسیب و نفوذپذیری روده پس از ۲۰ تا ۴۵ دقیقه دویدن با شدت بیشتر از ۸۰ درصد توان هوازی (بدون علائم اختلالات گوارشی) افزایش می‌یابند. اسنیپ و همکاران (۲۰۱۷) نیز اشاره داشتند دویدن به‌صورت استقامتی (به مدت دو ساعت و با شدت ۶۰ درصد VO_2max) موجب افزایش I-FABP، L/R و LPS همراه با بروز علائم اختلالات گوارشی می‌شود (۱۸). در هر حال، مطالعات پیشین سازوکار اصلی افزایش آسیب و نفوذپذیری روده در پاسخ به فشار ورزشی را به کاهش جریان خون اسپلانکنیک نسبت داده‌اند که با کاهش آب بدن و حجم کل خون ناشی از ورزش تشدید شده و هایپوپرفیوژن اسپلانکنیک به هایپوکسی و آسیب سلول‌های اپیتلیال روده منجر می‌شود (۵). در تحقیق حاضر، امکان اندازه‌گیری میزان پرفیوژن اسپلانکنیک و هایپوکسی وجود نداشت. اما با توجه به اینکه در طول انجام یک جلسه تمرین در این تحقیق ورزشکاران دریافت آب کافی داشتند، می‌توان گفت اختلال در یکپارچگی سد روده در پژوهش حاضر نیز احتمالاً به‌دلیل کاهش جریان خون اسپلانکنیک ناشی از توزیع مجدد جریان خون به عضلات در حال کار و تغییر فعالیت دستگاه عصبی روده با افزایش فعال‌سازی سمپاتیک و در نهایت کاهش ظرفیت عملکرد کلی دستگاه گوارش باشد (۲، ۵). البته به‌نظر می‌رسد میزان پاسخ افزایشی آسیب روده در پژوهش ما بیشتر از سایر تحقیقات باشد که احتمالاً ناشی از میزان آمادگی جسمانی پایین‌تر و نبود سازگاری دستگاه گوارش به فعالیت ورزشی با شدت و مدت بالا در شرکت‌کنندگان این مطالعه باشد. با توجه به سطح لاکتات پس از تمرین (۰/۲۱ ± ۳/۶۳ و ۰/۲۱ ± ۵/۳۸ به‌ترتیب پس از تمرین MICT و HIIT) که نشان‌دهندهٔ درصدی از آستانهٔ بی‌هوازی است و کنترل شدت تمرین در هر دو گروه، دختران ورزشکار پژوهش حاضر نسبت به شرکت‌کنندگان تمرین‌کرده در سایر مطالعات از آمادگی کمی برخوردار بودند. همچنین ممکن است فعالیت ورزشی با بار یکسان موجب اختلال بیشتر در یکپارچگی سد روده در دختران ورزشکار شود. در این زمینه اسنیپ و همکاران (۲۰۱۸) اعلام داشتند که احتمالاً زنان نسبت به مردان بیشتر مستعد علائم سندروم اختلالات گوارشی‌اند.

در پژوهش حاضر با وجود تشابه پاسخ ورزشی شاخص‌های یکپارچگی سد روده به جلسهٔ تمرین MICT و HIIT نسبت به حالت پایه، برخی تفاوت‌های دو گروه نشان‌دهندهٔ آسیب احتمالی بیشتر در گروه HIIT است. از جمله غلظت IFABP دو ساعت پس از ورزش و مقادیر LPS بلافاصله پس از ورزش تنها در گروه HIIT نسبت به گروه کنترل به‌طور معنادار بیشتر بود. در این زمینه می‌توان به خون‌رسانی مجدد و ناگهانی اشاره کرد. در شرایط هایپوکسیک ناشی از فعالیت ورزشی با شدت بالا انتقال سریع ATP به AMP در سلول‌های اپیتلیال روده به تولید هایپوگزانتین از مشتقات پورین منجر می‌شود (۴) و طی خون‌رسانی مجدد و ناگهانی به‌نظر می‌رسد در دوره‌های بازیافت تمرینات HIIT بیشتر از فعالیت ورزشی به‌صورت MICT اتفاق بیفتد؛ گزانتین اکسیداز، گزانتین را به اسید اوریک تبدیل می‌کند و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید می‌شود و به آسیب بیشتر سلول‌های اپیتلیال روده می‌انجامد. در نتیجه احتمالاً پاسخ افزایشی نفوذپذیری روده بیشتر می‌شود (۱۹). خون‌رسانی مجدد ناگهانی به روده پس از یک دوره فعالیت ورزشی نیز عملکرد سد روده‌ای را به خطر می‌اندازد و موجبات افزایش انتقال باکتری و ایجاد اندوتوکسمی به‌ویژه در تمرینات تناوبی پرشدت را تشدید می‌کند (۳۰، ۳۱). در هر حال، با افزایش LPS امکان راه‌اندازی آبشار واسطه‌های سلولی ایمنی نیز وجود خواهد داشت. به‌طور کلی، اندوتوکسمی ناشی از ورزش در شرایط افزایش LPS تا ۵ pg/ml و کاهش غلظت آنتی‌اندوتوکسین‌ها و آنتی‌بادی‌های سرمی (مانند IgG و IgM) بروز می‌کند (۱۶) که در تحقیق حاضر نیز افزایش معنادار LPS و کاهش معنادار IgM در هر دو گروه مشاهده شد. با این حال، درصد کاهش IgM پس از تمرین MICT (۵۹ درصد) تا حدودی بیشتر از درصد کاهش غلظت این شاخص پس از تمرین HIIT (۴۲ درصد) است که می‌تواند ناشی از خطای آماری باشد. مطالعات محدودی به اندازه‌گیری ایمنی هومورال و اندوتوکسمی پس از فعالیت ورزشی پرداخته‌اند. در هر حال، کاهش معنادار ایمونوگلوبولین M پس از تمرین MICT و HIIT می‌تواند نشان‌دهندهٔ اندوتوکسمی حاد ناشی از فعالیت ورزشی باشد که احتمالاً به‌دلیل اتصال به LPSها به‌منزلهٔ اجسام مضر و پاکسازی آنها غلظت IgM کاهش

یافته است (۱۶). با این حال سطوح افزایش‌یافتهٔ LPS تا دو ساعت پس از تمرین MICT و HIIT نشان می‌دهد ایمنی هومورال ظرفیت کافی برای تخریب و غلبه بر اندوتوکسین‌های باکتریایی منتقل‌شده از لومن روده به جریان خون را ندارد.

با توجه به اختلاف میانگین‌ها و اینکه درصد پاسخ افزایشی IFABP، زنولین و LPS و درصد پاسخ کاهشی IgM در گروه MICT بیشتر از HIIT است، به‌نظر می‌رسد این تناقض‌ها احتمالاً ناشی از مشکلات آماری (کم بودن تعداد آزمودنی‌ها؛ مقدار n) و خطای آزمایشگاهی باشد. همچنین در این تحقیق به‌دلیل عدم اندازه‌گیری دمای مرکزی و میزان کاهش خون‌رسانی احشایی، در مورد اینکه آیا فعالیت ورزشی تناوبی پرشدت نسبت به تمرین تداومی با شدت متوسط موجب اختلال بیشتری در عملکرد سد روده می‌شود یا نه، با قطعیت نمی‌توان نظر داد. ازاین‌رو می‌توان گفت که عدم اندازه‌گیری دمای مرکزی از جمله محدودیت‌های اصلی تحقیق حاضر به‌شمار می‌رود. به هر حال، به‌نظر می‌رسد وجود وهله‌های پرشدت در تمرین HIIT موجب افزایش بیشتر دمای مرکزی می‌شود. بنابراین، با در نظر گرفتن اینکه هایپرترمی ناشی از فعالیت ورزشی و افزایش احتمالی نفوذپذیری روده می‌توان حدس زد افزایش بیشتر دما یکی از عوامل تشدید آسیب انتروسیت‌ها در گروه تمرین HIIT باشد (۴). در هر حال، نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد رابطهٔ معکوسی بین جریان خون احشایی و شدت فعالیت ورزشی وجود دارد، به‌طوری‌که افزایش شدت فعالیت ورزشی موجب نفوذپذیری بیشتر روده می‌شود (۱۹، ۳۱). لیپر و همکاران (۲۰۰۱) نیز اذعان داشتند تمرین HIIT نسبت به MICT موجب تشدید بیشتر نشانه‌های ناراحتی گوارشی ناشی از ورزش می‌شود. این موضوع احتمالاً به‌دلیل کاهش سرعت تخلیهٔ معده است (۳۲). همچنین براساس نتایج تحقیق برخی پژوهشگران از جمله کوستا و همکاران (۲۰۱۷) در شرایط دمایی طبیعی افزایش مدت زمان فعالیت ورزشی به آسیب بیشتر اپتلیال روده منجر می‌شود (۲۲). بنابراین با توجه به اینکه در این پژوهش حجم فعالیت برای دو نوع ورزش MICT و HIIT یکسان‌سازی شده است و طبق نتایج برخی تحقیقات که رابطهٔ معکوسی بین جریان خون اسپلانکنیک و شدت فعالیت ورزشی وجود دارد (۳۲)، تصور می‌شود که یک جلسه HIIT ممکن است موجب افزایش محدودیت خون‌رسانی احشایی و تحریک اعصاب سمپاتیک و در نتیجه آسیب بیشتر به اپیتلیال روده و ایجاد التهاب شود (۲، ۹).

از طرفی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد افزون‌بر پاسخ افزایشی زنولین بلافاصله پس از تمرین در هر دو گروه، که همسو با نتایج تحقیق توتا و همکاران (۲۰۱۹) است (۱۲)، غلظت این شاخص دو ساعت پس از تمرین MICT به‌طور معناداری بیشتر از سطوح پایه است، اما این پاسخ افزایشی در گروه HIIT معنادار نیست. به‌عبارتی، دو ساعت پس از تمرین HIIT مقدار زنولین به حالت پایه نزدیک می‌شود. در هر حال، تمرین تناوبی شامل دوره‌های بازیافت و استراحت بین هر نوبت فعالیت ورزشی شدید است که می‌تواند با خون‌رسانی مجدد از میزان هایپوکسی اپیتلیال روده بکاهد. در این زمینه، برخی پژوهشگران نشان داده‌اند که افزایش میزان نفوذپذیری روده ناشی از فعالیت ورزشی افزون‌بر دمای محیط، شرایط تغذیه، مدت و شدت تمرین، به دفعات تکرار تمرین و بازیافت بین دوره‌های تناوب و جلسات مرتبط است (۳۳، ۳۴). به‌طوری‌که مدت زمان بازیافت ناکافی به میزان افزایش نفوذپذیری روده ناشی از ورزش کمک می‌کند، زیرا سلول‌های اپیتلیال، اتصالات محکم و دستگاه عصبی سمپاتیک قادر به ترمیم و اصلاح کافی نیستند (۵، ۳۳). بنابراین، می‌توان گفت برنامهٔ HIIT تحقیق حاضر برای یک جلسه، شامل دوره‌های تناوب و بازیافت متناسب با شرایط شرکت‌کنندگان بوده است تا جایی که آسیب دستگاه گوارش ناشی از HIIT بیشتر از MICT نشود.

بخشی از نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهش توتا و همکاران (۲۰۱۹) متناقض است. توتا و همکاران (۲۰۱۹) افزایش معنادار مقدار زنولین همراه با کورتیزول و پروتئین واکنشی را یک و دوازده ساعت پس از مسابقهٔ سه‌گانه نشان دادند که مقدار آن پس از ۴۸ ساعت با وجود کاهش به مقدار پایهٔ اولیه بازنگشت. افزایش پروتئین واکنشی همراستا با زنولین نشان می‌دهد غلظت بالای نشانگرهای آسیب سلول‌های عضلانی پس از فعالیت ورزشی شدید و درازمدت می‌تواند بر عملکرد سد روده‌ای تأثیر بسزایی داشته باشد (۱۲). با توجه به مدت زمان طولانی‌تر و شرایط استرس روانی مسابقه در این پژوهش تناقض عدم کاهش زنولین نسبت به نتایج پژوهش حاضر قابل پیش‌بینی است. شایان ذکر است

که تغییرات غلظت زنولین در خون ممکن است افزون‌بر فعالیت ورزشی شدید همچنین تحت تأثیر رژیم‌های غذایی نادرست و باکتری‌های روده قرار گیرد (۵). البته در تحقیق حاضر این موضوع کنترل شده بود. افزون‌بر این برخی پژوهشگران از جمله کوستا و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشته‌اند در شرایط دمایی طبیعی مدت زمان ورزش احتمالاً عامل اصلی مقدار بزرگی آسیب اپتلیال روده ناشی از فعالیت ورزشی باشد (۲).

مشابه با نتایج بسیاری از تحقیقات با وجود افزایش معنادار شاخص‌های آسیب و نفوذپذیری روده، علائم اختلالات گوارشی در تحقیق حاضر به‌طور محدود (رفلاکس پس از تمرین HIIT، و حالت تهوع پس از تمرین MICT و HIIT) گزارش شد. به هر حال، شدت وقوع این اختلالات به‌طور معمول با استفاده از درک و مقیاس ذهنی فردی توسط ورزشکاران گزارش می‌شود. بنابراین کمی‌سازی دقیق میزان شیوع علائم اختلالات دستگاه گوارش در بین ورزشکاران دشوار است. با وجود این، پوگ و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که ۸۶ درصد ورزشکاران دست‌کم یک علامت GI را تجربه می‌کنند (۱). در هر حال، سبب‌شناسی وقوع این اختلالات یک تعامل چندعاملی و پیچیده بین سازوکارهای فیزیولوژیکی (ایسکمی)، فشار مکانیکی (به‌دلیل ماهیت ضربه‌ای برخی ورزش‌ها مانند دویدن) و عوامل روان‌شناختی است (۲، ۵)، زیرا برخی ورزشکاران فقط در حین رقابت علائم ناراحتی GI را تجربه می‌کنند و در طول دوره‌های تمرین یا شرایط آموزشی یا آزمایشگاهی مانند پژوهش حاضر اختلالات GI بروز نمی‌کند (۶، ۱۰).

به‌طور کلی، مقایسهٔ پاسخ دستگاه گوارش به دو نوع فعالیت ورزشی HIIT و MICT با حجم یکسان و در مورد ورزشکارانی بدون سازگاری با این تمرینات برای اولین بار در این تحقیق انجام گرفت. شرکت‌کنندگان این تحقیق دختران ورزشکار رشتهٔ جودو و کشتی و غیرنخبه بودند که در دورهٔ خارج از فصل مسابقات قرار داشتند. همچنین شرایط پیش از آزمون تا حد ممکن از نظر یکسان بودن آمادگی جسمانی شرکت‌کنندگان، نبود سابقهٔ مشکلات گوارشی، در نظر گرفتن زمان دورهٔ ماهانهٔ دختران استانداردشده بود. همچنین به‌منظور اطمینان از یکسان بودن شرایط فیزیولوژیکی پس از تمرین، غلظت لاکتات و گلوکز نیز اندازه‌گیری شد. افزون‌بر این جمع‌آوری نمونه‌های خون بلافاصله پس از اتمام آخرین تناوب ۴۰۰ متر انجام گرفت که به‌طور معمول در بیشتر مطالعات به‌ویژه در شرایط مسابقه‌ای این اندازه‌گیری مقدور نیست. بنابراین، می‌توان به نتایج پژوهش حاضر در مورد پاسخ دستگاه گوارش به تمرین HIIT و MICT بدون وجود سازگاری‌های درازمدت قبلی به‌ویژه در مورد دختران اعتماد کرد. البته در خصوص تفاوت‌های جنسیتی، نتایج برخی تحقیقات از جمله اسنیپ و همکاران (۲۰۱۸) نشان می‌دهد زمانی‌که زنان در دورهٔ فولیکولی قرار دارند، تغییرات هورمونی جنسی تأثیری بر آسیب اپیتلیال و نفوذپذیری روده ندارد (۲۳). بنابراین، با توجه به کنترل دورهٔ ماهانهٔ شرکت‌کنندگان در پژوهش حاضر، دختران ورزشکار در دورهٔ فولیکولی قرار داشتند و می‌توان تغییرات شاخص‌های این پژوهش را با سایر تحقیقات نیز مقایسه کرد.

در کل می‌توان نتیجه گرفت یک جلسه تمرین تناوبی پرشدت مشابه با تمرین تداومی با شدت متوسط موجب افزایش معنادار IFABP، زنولین و LPS و کاهش معنادار IgM خون می‌شود. اما پس از دو ساعت فقط مقادیر غلظت IFABP، و IgM در گروه HIIT؛ و غلظت IFABP، زنولین، LPS و IgM در گروه MICT به حالت پایه بازنگشتند. در هر حال، مقادیر غلظت هر چهار شاخص پس از تمرین در گروه کنترل با هر دو گروه MICT و HICT به‌طور معنادار متفاوت بود، ولی دو ساعت بعد غلظت IFABP گروه کنترل و HIIT؛ همچنین غلظت IgM گروه کنترل با هر دو گروه MICT و HIIT تفاوت معنادار داشت. بنابراین آسیب دستگاه گوارش ناشی از هر دو تمرین (در صورت یکسان بودن بار تمرین و در نظر گرفتن دوره‌های تناوب و استراحت متناسب) برای بهبود آمادگی هوازی احتمالاً یکسان است. هرچند با توجه به اینکه غلظت IFABP دو ساعت پس از تمرین فقط بین گروه کنترل و HIIT تفاوت معنادار داشت، آسیب ناشی از تمرین HIIT بیشتر از MICT باشد. این نتایج احتمالاً برای پژوهش‌های آینده که شامل شرکت‌کنندگان ورزشکاران غیرنخبه است، مفید باشد. تحقیقات آینده باید برای اندازه‌گیری رابطهٔ عملکردی شاخص‌های آسیب روده، به‌ویژه در طول جلسات تمرین درازمدت و بررسی پاسخ ورزشی پس از دورهٔ سازگاری ناشی از تمرین، همچنین در مقایسه با سایر انواع برنامه‌های HIIT با دوره‌های تناوب و بازیافت متفاوت و استفاده از برخی مکمل‌ها به‌منظور کاهش آسیب احتمالی دستگاه گوارش، و

همراه با اندازه‌گیری هایپوپرفیوژن اسپلانکنیک، دمای مرکزی انجام گیرد.

حامی/ حامیان مالی

هزینه‌های این تحقیق بر عهدهٔ پژوهشگر بوده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته‌اند.

تعارض منافع

بر اساس نظر نویسندگان، هیچ گونه تعارض منافعی در این مقاله وجود ندارد.

منابع

1. Pugh JN, Fearn R, Morton JP, Close GL. Gastrointestinal symptoms in elite athletes: time to recognise the problem? : BMJ Publishing Group Ltd and British Association of Sport and Exercise Medicine; 2018.
2. Costa R, Snipe R, Kitic C, Gibson P. Systematic review: exercise-induced gastrointestinal syndrome—implications for health and intestinal disease. Alimentary pharmacology & therapeutics. 2017;46(3):246-65.
3. De Oliveira EP, Burini RC. The impact of physical exercise on the gastrointestinal tract. Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care. 2009;12(5):533-8.
4. Dokladny K, Zuhl MN, Moseley PL. Intestinal epithelial barrier function and tight junction proteins with heat and exercise. Journal of Applied Physiology. 2016;120(6):692-701.
5. Keirns BH, Koemel NA, Sciarrillo CM, Anderson KL, Emerson SR. Exercise and intestinal permeability: another form of exercise-induced hormesis? American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology. 2020;319(4):G512-G8.
6. van Wijck K, Pennings B, van Bijnen AA, Senden JM, Buurman WA, Dejong CH, et al. Dietary protein digestion and absorption are impaired during acute postexercise recovery in young men. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2013;304(5):R356-R61.
7. Stuempfle KJ, Hoffman MD. Gastrointestinal distress is common during a 161-km ultramarathon. Journal of sports sciences. 2015;33(17):1814-21.
8. Engebretsen L, Soligard T, Steffen K, Alonso JM, Aubry M, Budgett R, et al. Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. Br J Sports Med. 2013;47(7):407-14.
9. Pugh JN, Impey SG, Doran DA, Fleming SC, Morton JP, Close GL. Acute high-intensity interval running increases markers of gastrointestinal damage and permeability but not gastrointestinal symptoms. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2017;42(9):941-7.
10. Edwards KH, Ahuja KD, Watson G, Dowling C, Musgrave H, Reyes J, et al. The influence of exercise intensity and exercise mode on gastrointestinal damage. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2021 (ja).
11. Ogden HB, Fallowfield JL, Child RB, Davison G, Fleming SC, Edinburgh RM, et al. Reliability of gastrointestinal barrier integrity and microbial translocation biomarkers at rest and following exertional heat stress. Physiological reports. 2020;8(5):e14374.
12. Tota Ł, Piotrowska A, Pałka T, Morawska M, Mikuľáková W, Mucha D, et al. Muscle and intestinal damage in triathletes. PLos One. 2019;14(1):e0210651.
13. Lamprecht M, Bogner S, Schippinger G, Steinbauer K, Fankhauser F, Hallstroem S, et al. Probiotic supplementation affects markers of intestinal barrier, oxidation, and inflammation in trained men; a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2012;9(1):1-13.
14. El Asmar R, Panigrahi P, Bamford P, Berti I, Not T, Coppa GV, et al. Host-dependent zonulin secretion causes the impairment of the small intestine barrier function after bacterial exposure. Gastroenterology. 2002;123(5):1607-15.
15. Ghosh SS, Wang J, Yannie PJ, Ghosh S. Intestinal barrier dysfunction, LPS translocation, and disease development. Journal of the Endocrine Society. 2020;4(2):bvz039.
16. Barberio M, Elmer D, Laird R, Lee K, Gladden B, Pascoe D. Systemic LPS and inflammatory response during consecutive days of exercise in heat. International journal of sports medicine. 2015;36(03):262-70.
17. Taheri Kalani, A. and M. Nikseresht, The effect of official competition on blood leucocyte subsets and serum immunoglobulins in male karateka. Journal of Sport and Exercise Physiology, 2018. 11(2): p. 39-48. (In Persian).
18. Snipe RM, Khoo A, Kitic CM, Gibson PR, Costa RJ. Carbohydrate and protein intake during exertional heat stress ameliorates intestinal epithelial injury and small intestine permeability. Applied physiology, nutrition, and metabolism. 2017;42(12):1283-92.
19. Hill GW, Gillum TL, Lee BJ, Romano PA, Schall ZJ, Hamilton AM, et al. Prolonged treadmill run-

1991;54(6):963-9.
27. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR, Tudor-Locke C, et al. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(8):1575-81.
28. Pfeiffer B, Cotterill A, Grathwohl D, Stellingwerff T, Jeukendrup AE. The effect of carbohydrate gels on gastrointestinal tolerance during a 16-km run. International journal of sport nutrition and exercise metabolism. 2009;19(5):485-503.
29. March DS, Marchbank T, Playford RJ, Jones AW, Thatcher R, Davison G. Intestinal fatty acid-binding protein and gut permeability responses to exercise. European journal of applied physiology. 2017;117(5):931-41.
30. Motiani KK, Collado MC, Eskelinen J-J, Virtanen KA, Löyttyniemi E, Salminen S, et al. Exercise training modulates gut microbiota profile and improves endotoxemia. Medicine and science in sports and exercise. 2020;52(1):94.
31. Van Wijck K, Lenaerts K, Van Loon LJ, Peters WH, Buurman WA, Dejong CH. Exercise-induced splanchnic hypoperfusion results in gut dysfunction in healthy men. PloS one. 2011;6(7):e22366.
32. Leiper JB, Broad NP, Maughan RJ. Effect of intermittent high-intensity exercise on gastric emptying in man. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2001;33(8):1270-8.
33. Pires W, Veneroso CE, Wanner SP, Pacheco DA, Vaz GC, Amorim FT, et al. Association between exercise-induced hyperthermia and intestinal permeability: a systematic review. Sports Medicine. 2017;47(7):1389-403.
34. Pals KL, Chang R-T, Ryan AJ, Gisolfi CV. Effect of running intensity on intestinal permeability. Journal of Applied Physiology. 1997;82(2):571-6.
ning in normobaric hypoxia causes gastrointestinal barrier permeability and elevates circulating levels of pro-and anti-inflammatory cytokines. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2020;45(4):376-86.
20. Afzalpour, M.E., et al., The effect of vigorous continuous and interval exercise training along with resveratrol on SIRT3 and OGG1 proteins in the liver tissue of male Wistar rats. Journal of Sport and Exercise Physiology, 2020. 13(1): p. 111-127. (In Persian).
21. Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? International journal of sports physiology and performance. 2010;5(3):276-91.
22. Costa RJ, Miall A, Khoo A, Rauch C, Snipe R, Camões-Costa V, et al. Gut-training: The impact of two weeks repetitive gut-challenge during exercise on gastrointestinal status, glucose availability, fuel kinetics, and running performance. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. 2017;42(5):547-57.
23. Snipe RM, Costa RJ. Does biological sex impact intestinal epithelial injury, small intestine permeability, gastrointestinal symptoms and systemic cytokine profile in response to exertional-heat stress? Journal of sports sciences. 2018:1-9.
24. Gibson AL, Wagner D, Heyward V. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription, 8E: Human kinetics; 2018.
25. Liguori G, Medicine ACoS. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: Lippincott Williams & Wilkins; 2020.
26. Cunningham JJ. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. The American journal of clinical nutrition.