



Effect of one-session and eight-week high-intensity interval training on gastrointestinal syndrome symptoms in female athletes

Afshar Jafari^{1*}, Maryam Taghizadfanid², Saeed Nikookheslat³, Yousef Bafandetiz⁴

1. Associate Professor at Department of Biological Sciences in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Ph.D in Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Associate Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Iran.
4. Professor of Department of Internal Medicine, University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

Abstract

Background and Aim: Gastrointestinal symptoms (increased intestinal damage, permeability & endotoxemia) are common and a limiting factor in acute, and prolonged strenuous exercises. Based on the ambiguous acute and chronic effects of high-intensity interval training (HIIT) on gastrointestinal function, this study was conducted to identify the effect of one-session and eight-week HIIT on some gastrointestinal syndrome markers in female athletes. **Materials and Methods:** Twenty athlete's girls participated in a quasi-experimental design that were allocated into equal groups: the control group (n=10) and HIIT (n=10). The single-session sports protocol consisted of 18 times of running 400 meters with an intensity of 100 to 110% of the maximal oxygen consumption, which increased from nine to 18 repetitions of 400 meters during the training period (eight weeks). Blood samples were collected immediately before and two hours after exercise protocols. Serum intestinal fatty acid-binding protein (I-FABP), Zonulin, lipopolysaccharide (LPS), and immunoglobulin M (IgM) markers were assessed using ELISA method. Data was analyzed using repeated-measures analysis of variance and Wilcoxon at a significance level of $p < 0.05$. **Results:** One-session acute HIIT induced a significant decrease in IgM, and increases in I-FABP, Zonulin and LPS concentrations at the beginning and end of the training period ($p < 0.05$). However, the acute increased response in Zonulin at the beginning; and Zonulin and IgM at the end of the training period returned to baseline levels after two hours of recovery. The LPS and IgM concentrations differences between the control and HIIT groups were not significant after eight weeks of training ($p > 0.05$). **Conclusion:** An acute HIIT session may increase permeability of I-FABP and gastrointestinal endotoxemia. However, the positive adaptations resulting from HIIT (eight weeks) can improve the exercise-induced response of intestinal integrity markers in female athletes.

Keywords: High intensity interval training, Intestinal damage, Intestinal permeability, Gastrointestinal syndrome.

Cite this article:

Jafari, A., Taghizadfanid, M., Nikookheslat, S., & Bafandetiz, Y., (2023). Effect of one-session and eight-week high-intensity interval training on gastrointestinal syndrome symptoms in female athletes. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*, 11(25), 54-67.

*Corresponding Author, Address: Department of Biological Sciences in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Shahid Shahrari Square, Evin, Tehran, Iran;

Email: af_jafari@sbu.ac.ir

doi <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2022.5073.1698>





اثرات تک جلسه ای و هشت هفته ای تمرینات تناوبی با شدت بالا بر سندروم روده ای - معدای در دختران ورزشکار

افشار جعفری^{۱*}، مریم تقی زادفانید^۲، سعید دباغ نیکوخصلت^۳، یوسف بافنده تیز^۴

۱. دانشیار گروه علوم زیستی ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، تهران، ایران.

۲. دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۴. استاد گروه بیماری های داخلی، دانشکده پزشکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: سندروم اختلالات گوارشی (افزایش آسیب و نفوذپذیری روده و اندوتوکسمی)، از عوامل محدود کننده و شایع در فعالیت های ورزشی شدید و درازمدت می باشد. با توجه به روشن نبودن اثرات حاد و درازمدت تمرینات تناوبی با شدت بالا (HIIT) بر عملکرد دستگاه گوارش، مطالعه حاضر با هدف تعیین اثرات تک جلسه ای و هشت هفته ای HIIT بر برخی از علائم و نشانگرهای سندروم اختلال گوارشی دختران ورزشکار انجام شد. **روش تحقیق:** تعداد ۲۰ دختر ورزشکار، در قالب یک طرح نیمه تجربی دو گروهی شامل گروه کنترل (۱۰ نفر) و گروه HIIT (۱۰ نفر) در مطالعه شرکت کردند. قرارداد ورزشی تک جلسه ای شامل ۱۸ بار دویدن ۴۰۰ متر با شدت ۱۰۰ تا ۱۱۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی بود که در دوره تمرین (هشت هفته) از نه به ۱۸ تکرار ۴۰۰ متر رسید. نمونه خون قبل، بلافاصله و دو ساعت پس از اجرای قراردادهای ورزشی جمع آوری گردید. شاخص های پروتئین متصل به اسید چرب روده (I-FABP)، زونولین، لیپوپلی ساکارید (LPS) و ایمونوگلوبین ام (IgM) سرم به روش الیزا اندازه گیری شدند و سپس همه داده ها با استفاده از روش های آماری تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر و ویلکاکسون در سطح معنی داری $p < 0/05$ نتایج استخراج گردید. **یافته ها:** یک جلسه HIIT در ابتدا و انتهای دوره تمرین، موجب افزایش معنی دار I-FABP، زونولین، LPS و کاهش معنی دار غلظت IgM سرمی شد ($p < 0/05$) و تنها تغییرات زونولین در جلسه ابتدایی؛ و زونولین و IgM در جلسه انتهایی دوره HIIT، پس از گذشت دو ساعت به حالت اولیه برگشت. تفاوت غلظت LPS و IgM گروه های کنترل و HIIT پس از هشت هفته تمرین معنی دار نبود ($p > 0/05$). **نتیجه گیری:** ممکن است یک جلسه HIIT باعث افزایش نفوذپذیری FABP روده ای و اندوتوکسمی دستگاه گوارش شود؛ اما سازگاری مثبت ناشی از انجام یک دوره HIIT (هشت هفته)، بهبود پاسخ ورزشی نشانگرهای یکپارچگی روده ای دختران ورزشکار را در پی دارد. **واژه های کلیدی:** تمرین تناوبی با شدت بالا، آسیب روده، نفوذپذیری روده، سندروم اختلال گوارشی.

* نویسنده مسئول، آدرس: تهران، اوین، میدان شهید شهرداری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، گروه علوم زیستی ورزش؛

مقدمه

در برخی از مطالعات از جمله تحقیق ادواردز^{۲۰} و دیگران (۲۰۲۱) و مارچ^{۲۱} و دیگران (۲۰۱۷)، نشان داده شده است که میزان نفوذپذیری و آسیب وارده به روده در اثر انجام فعالیت‌های ورزشی حاد شدید ۲۰ الی ۴۵ دقیقه ای (دویدن یا رکاب زدن) با شدتی معادل ۷۰ تا ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) افزایش می‌یابد. پوگ^{۲۲} و دیگران (۲۰۱۷) نیز به عنوان تنها مطالعه در رابطه با تأثیر HIIT بر اختلالات گوارشی، اظهار داشته اند که یک جلسه HIIT موجب افزایش I-FABP و نسبت لاکتوز به رامینوز سرم در مردان تمرین کرده می‌شود. در حالی که در مطالعه هیل^{۲۳} و دیگران (۲۰۲۰)، پس از یک وهله دویدن ۶۰ دقیقه ای با شدتی معادل ۶۵ درصد VO_{2max} ، هیچ گونه تغییر قابل توجهی در I-FABP به عنوان شاخص آسیب وارده به روده، مشاهده نشده است. این در حالی است که اختلال در یکپارچگی و عملکرد روده متعاقب وهله‌های ورزشی کوتاه مدت یا جلسات تمرینی، به ویژه مداخله‌های شدید بالای ۷۰ درصد توان هوازی، ممکن است بر بازیافت پس از فعالیت ورزشی، عملکرد ورزشی وهله‌های بعدی، و سازگاری به ورزش تأثیر منفی بگذارد (ون ویک و دیگران، ۲۰۱۳). از طرف دیگر، کیرینز^{۲۴} و دیگران (۲۰۲۰) در یک بررسی مروری نشان داده‌اند که فعالیت‌های ورزشی هوازی منظم با شدت متوسط، به عنوان یک عامل فشار آفرین (مطابق تئوری هورمز یا U وارونه) عمل کرده و احتمالاً منجر به سازگاری‌های مثبت می‌شوند. در این راستا، پاسینی^{۲۵} و دیگران (۲۰۱۹) به بهبود شاخص‌های مربوط به نفوذپذیری روده، از جمله زنونلین پس از شش ماه تمرین ترکیبی اشاره داشته اند. همچنین در برخی از بررسی‌های گذشته، به اثرات کاهش وزن بدن و کاهش چربی احشایی و سایتوکاین‌های التهابی بر بهبودی یکپارچگی سد روده، به عنوان سازگاری مثبت مرتبط با کاهش چربی احشایی و سایتوکاین‌های التهابی، اشاره شده است (موتیانی^{۲۶} و دیگران، ۲۰۲۰). با این حال، دقیقاً معلوم نیست که آیا دوره‌های درازمدت تمرین ورزشی به تنهایی و بدون کاهش چربی، نتایج یکسان خواهد داشت یا خیر؟ از طرفی هم، پژوهشگرانی مانند لامیرچ^{۲۷} و دیگران (۲۰۱۲) بر اساس نتایج برآمده از پژوهش‌های انجام شده معتقدند که فعالیت‌های ورزشی درازمدت، به ویژه با

فشارهای مکانیکی - متابولیکی ناشی از انجام فعالیت ورزشی شدید و درازمدت، می‌تواند با افزایش سیستم سمپاتیک-آدرنالین^۱ و برهم زدن هومئوستاز^۲ یا تعادل زیستی، در بروز اختلال در عملکرد دستگاه‌های زیستی بدن، از جمله دستگاه گوارش نقش داشته باشند. این اختلال ممکن است در ۳۰ الی ۹۰ درصد ورزشکاران استقامتی نخبه، با علائمی مانند تهوع، استفراغ، انسداد شکمی، اسهال، خون ریزی، و در نهایت؛ کناره‌گیری از تمرین و رقابت همراه گردد و یا به طور مزمین (با ایجاد التهاب عمومی)، سلامتی را نیز تحت تأثیر قرار دهد (کارهو^۳ و دیگران، ۲۰۱۷؛ کوستا^۴ و دیگران، ۲۰۱۷). با وجود این که سازوکار پاسخ دستگاه گوارش به فشارهای ورزشی چند عاملی است، به نظر می‌رسد دلیل اصلی آن هایپوپرفیوژن^۵ و ایسکمی روده باشد (دی اولیویرا و بورینی^۶، ۲۰۰۹) که موجب التهاب مخاط روده می‌شود و سلول‌های اپیتلیال در اثر هایپوکسی و اندوتوکسمی^۷، آسیب می‌بینند (ون ویک^۸ و دیگران، ۲۰۱۱). در این رابطه، پروتئین متصل به اسید چرب روده^۹ (I-FABP) در پلاسما، به عنوان شاخص حساس و ویژه آسیب آنتروسیت‌ها شناخته می‌شود که با آسیب مخاط روده، به سرعت در گردش خون آزاد می‌شود و ارتباط زیادی با ایسکمی دارد (ادواردز^{۱۰} و دیگران ۲۰۲۱). به علاوه، با آسیب آنتروسیت‌ها، احتمالاً نفوذپذیری روده افزایش می‌یابد که معمولاً با استفاده از نسبت لاکتوز به رامینوز ادراری (اودگان^{۱۱} و دیگران، ۲۰۲۰) یا زنونلین^{۱۲} سرم اندازه‌گیری می‌شود (توتا^{۱۳} و دیگران، ۲۰۱۹). زنونلین تنها واسطه فیزیولوژیکی شناخته شده است که با ایجاد تغییرات ساختاری در پروتئین‌هایی به عنوان اتصالات محکم^{۱۴}، اختلال در دستگاه باز و بسته شدن کانال‌های میانی سلول‌های اپیتلیال روده را به همراه دارد و نفوذپذیری روده را افزایش می‌دهد (ال اسمار^{۱۵}، ۲۰۰۲). به این ترتیب، انتقال اجزای باکتریایی، مانند لیپوپلی ساکارید^{۱۶} (LPS) از مخاط روده به لایه‌های زیرین و گردش خون عمومی، بیشتر می‌گردد (گوش^{۱۷} و دیگران، ۲۰۲۰) و با ایجاد اندوتوکسمی، کاهش غلظت آنتی‌اندوتوکسین‌ها و آنتی‌بادی‌های سرمی مانند ایمونوگلوبین جی و ام^{۱۸} (IgG) و IgM (باریو^{۱۹} و دیگران، ۲۰۱۵).

1. Sympathoadrenal
2. Homeostasis
3. Karhu
4. Costa
5. Hypoperfusion
6. De Oliveira & Burini
7. Endotoxemia
8. Van Wijck
9. Intestinal fatty acid-binding protein

10. Edwards
11. Ogden
12. Zonulin
13. Tota
14. Tight junction
15. El Asmar
16. Lipopolysaccharide
17. Ghosh
18. Immunoglobulin G & M

19. Barberio
20. Edwards
21. March
22. Pugh
23. Hill
24. Keirns
25. Pasini
26. Motiani
27. Lamprecht

خودسرانه هرگونه دارو یا مکمل و بدون اطلاع قبلی، پرهیز نمایند. پس از اخذ رضایت نامه کتبی از داوطلبان، برخی از ویژگی‌های فردی اندازه گیری شدند.

با استفاده از دستگاه کالیپر هارپندن^۵ ضخامت چربی زیر پوستی با روش سه نقطه‌ای جکسون - پولاک^۶ (مخصوص زنان) اندازه گیری و سپس درصد چربی بدنی برآورد شد. شاخص VO_{2max} با آزمون بروس^۷ (ریبه^۸ و دیگران، ۲۰۱۸) بر روی نوارگردان اندازه‌گیری گردید. شرکت کنندگان دارای میانگین وزن $۵۴/۱۲ \pm ۵/۳۰$ کیلوگرم، شاخص توده بدن $۱۹/۸۹ \pm ۱/۵۲$ کیلوگرم بر متر مربع، چربی بدنی $۲۰/۶۴ \pm ۱/۵۴$ درصد، VO_{2max} $۴۱/۳۲ \pm ۳/۲۱$ میلی لیتر بر کیلوگرم در دقیقه بودند.

برنامه غذایی و محاسبه هزینه انرژی: برای حفظ تعادل کالری جهت عدم تغییر وزن و درصد چربی در طول دوره مطالعه، به افراد شرکت کننده یک برنامه غذایی داده شد و از آن‌ها خواسته شد طی هشت هفته مداخله، از دستورالعمل رژیم غذایی (تعادل کالری صفر برای عدم تغییرات وزنی) با محتوای ۶۰٪ کربوهیدرات، ۲۵٪ چربی و ۱۵٪ پروتئین پیروی کنند. به علاوه، جهت جلوگیری از مشکلات گوارشی ناشی از غذای دریافتی در دوره هشت هفته‌ای تمرین، از ورزشکاران خواسته شد آخرین وعده غذایی شان را سه ساعت قبل از شروع تمرین در نظر بگیرند. صبحانه روز آزمون ورزشی به طور معمول شامل دو کف دست نان سنگک، ۳۰ گرم پنیر کم چرب، یک عدد گردو معادل ۲۶۰ کالری و ۳۰۰ میلی لیتر آب بود. به علاوه، از شرکت کنندگان خواسته شد که ۲۴ ساعت قبل از آزمون ورزشی و همچنین در طول مطالعه، الکل، داروهای ضدالتهابی غیر استرادیول (NSAID)، غذاهای با فیبر زیاد یا بسیار تند؛ مصرف نکنند (پوگ و دیگران، ۲۰۱۷). هزینه کالری مصرفی و میزان کالری دریافتی روزانه داوطلبین به ترتیب با استفاده از داده‌های حاصله از پرسشنامه‌های یادآمد و عادت غذایی و فعالیت‌های روزانه، طی چهار روز قبل از شروع دوره پژوهش، با استفاده از نرم افزار Nutrition4 (نسخه ۳،۵،۲، ساخت کشور آمریکا) برآورد شد. هزینه انرژی استراحتی (RMR) با استفاده از فرمول کانینگهام^۹ (۱۹۹۱) (کیلوگرم توده بدون چربی بدن $\times ۲۲$) $+ ۵۰ = RMR [kcal \cdot d^{-1}]$ مشخص شد.

قرارداد های تمرینی اجرا شده: برنامه تمرینی بر اساس دستورالعمل انجمن پزشکی ورزشی آمریکا تنظیم گردید (ریبه و دیگران، ۲۰۱۸). تعداد تکرارها و جلسات، شدت تمرین، انرژی مصرفی و مسافت پیموده شده در هر جلسه در جدول یک ذکر شده است. پس از خونگیری اولیه در روز ۲۵ الی ۲۷ ام دوره ماهیانه، هر شرکت کننده در

شدت بالا، ممکن است اثرات تخریبی بر عملکرد روده در حالت پایه داشته باشند؛ به طوری که طبق گزارش های موجود، کاهش پیشرونده جریان خون اسپلانکنیک^۱ ناشی از افزایش شدت فعالیت‌های ورزشی، ممکن است در بروز پدیده فوق الذکر اثرگذار باشد (کوستا و دیگران، ۲۰۱۷). در کل، اطلاعات دقیقی در باره اثرات حاد و درازمدت انواع تمرینات با شدت بالا، به ویژه HIIT (به عنوان یک مداخله با شدت بالای موثر بر بهبود عملکرد و کارایی جسمانی ورزشکاران)، بر شاخص‌های مربوط به نفوذپذیری روده، در دست نیست. عدم شناخت کامل اثرات احتمالی HIIT بر نفوذپذیری روده و پیامدهای بعدی آن (پوگ و دیگران، ۲۰۱۷؛ کوستا و دیگران، ۲۰۱۷)، موجبات نگرانی‌هایی در بین برخی از مربیان و به ویژه ورزشکاران دختر شده است (بارتلت^۲ و دیگران، ۲۰۱۱؛ سیلیر^۳ و دیگران، ۲۰۱۰)؛ چرا که برخی مطالعات از جمله برسا^۴ و دیگران (۲۰۱۷) نشان داده‌اند زنان نسبت به مردان، بیشتر مستعد علائم سندروم اختلالات گوارشی هستند. از این رو، مطالعه حاضر با هدف تعیین اثرات حاد تک جلسه‌ای و هشت هفته‌ای HIIT بر تغییرات شاخص‌های گوارشی (FABP-I، زولین، LPS و IgM) دختران ورزشکار به اجرا درآمد.

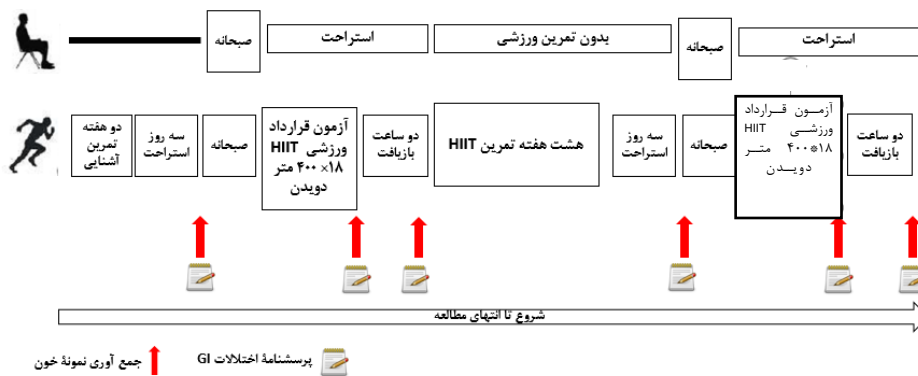
روش تحقیق

مطالعه حاضر در قالب یک طرح نیمه تجربی دو گروهی با اندازه گیری مکرر (قبل، بلافاصله و دو ساعت پس از یک جلسه HIIT در ابتدا و انتهای هشت هفته مداخله) به اجرا درآمد. مجوز طرح تحقیق از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه تبریز با شناسه IR.TABRIZU.REC.1398.022 اخذ گردید. شرکت کنندگان در پژوهش حاضر، دختران ورزشکار در رشته‌های جودو و کشتی با حداقل سه سال سابقه شرکت در مسابقات قهرمانی استانی - کشوری و دامنه سنی ۲۵-۲۰ سال بودند. تعداد ۳۰ نفر از ورزشکاران داوطلب در جلسه هماهنگی شرکت کردند. بر اساس پرسشنامه سلامتی که توسط شرکت کنندگان تکمیل گردید و معاینات اولیه توسط پزشک، ورزشکارانی که در فاصله یک ماه قبل از شرکت در پژوهش به بیماری‌های عفونی، اعم از سرماخوردگی مبتلا بودند و یا سابقه مشکلات گوارشی خاص داشتند و دارای دوره قاعدگی منظم نبودند؛ از مطالعه خارج شدند و ۲۰ نفر برای انجام مطالعه انتخاب گردیدند. این افراد به صورت تصادفی به دو گروه همگن ۱۰ نفری شامل گروه کنترل (C) و گروه HIT تقسیم شدند. از همه داوطلبین خواسته شد که از زمان ثبت نام تا پایان مطالعه، از مصرف

1. Splanchnic
2. Bartlett
3. Seiler

4. Bressa
5. Harpenden caliper
6. Jackson & Pollock

7. Bruce
8. Riebe
9. Cunningham



شکل ۱. طرح شماتیک انجام تحقیق

ایجاد شود. برنامه گرم کردن عمومی و سرد کردن برای تمامی جلسات تمرینی یکسان در نظر گرفته شد، به گونه ای که گرم کردن عمومی در مجموع در حدود ۱۰ دقیقه بود و به صورت یک نوبت پنج دقیقه ای دوی نرم با ۶۰ درصد VO_{2max} ، دو دقیقه حرکات کششی، دو دقیقه حرکات نرمشی، و یک دقیقه حرکات جهشی؛ اجرا گردید. سرد کردن شامل پنج دقیقه حرکات کششی بود که در انتهای هر جلسه صورت گرفت. ضربان قلب هدف با استفاده از حداکثر ضربان قلب ذخیره^۱ (HRR) به روش کاروونن^۲ محاسبه شد و توسط دستگاه ضربان سنج پولار کنترل گردید. شدت تمرین با مقیاس درک فشار بورگ^۳ و سرعت دویدن (با استفاده از سرعت در صفحه نمایش نوارگردان) نیز کنترل گردید. محاسبه هزینه انرژی یا مت^۴ و هزینه فعالیت ورزشی با استفاده از معادله های زیر صورت گرفت (آینسورث^۵ و دیگران ۲۰۱۱):

$$VO_2 = \%HRR \times VO_{2max}$$

$$\text{مت} = VO_2 \div 3/5$$

$$\text{وزن (کیلوگرم)} \times \text{زمان (ساعت)} \times \text{مت} = \text{انرژی مصرف شده (کیلوکالری)}$$

نمونه های خون در ابتدا و انتهای هشت هفته مداخله دوره تمرین (قبل، بلافاصله و دو ساعت پس از اجرای آزمون قرارداد ورزشی HIIT) با استفاده از آن، صورت گرفت. به علاوه، برای اطمینان از عدم وجود التهاب، عفونت یا کم خونی احتمالی؛ برخی از شاخص های هماتولوژیک (مانند هماتوکریت، هموگلوبین، سلول های سفید خون محیطی) در حالت ناشتایی اندازه گیری شدند. بدین این منظور، قبل از تمرین حاد، هشت میلی لیتر و در دو مرحله بعد از تمرین حاد، پنج میلی لیتر نمونه خون جمع آوری گردید. سه میلی لیتر نمونه خون حالت ناشتا برای آزمایش CBC به کار رفت و یک میلی لیتر نمونه خون در همه مراحل (برای

گروه تجربی به مدت دو هفته، ضمن رعایت رژیم غذایی توصیه شده، در برنامه دوره آشنایی با تمرینات و آزمون قرارداد ورزشی مورد نظر و تحمل آن شرکت کردند (هفته اول و دوم جدول یک). پس از دو روز استراحت، به مدت هشت هفته برنامه تمرینی اصلی اجرا شد (هفته سوم تا دهم جدول یک). همچنین، قبل و پس از دوره هشت هفته ای تمرین، آزمون قرارداد ورزشی مورد نظر (۱۸ تکرار، ۴۰۰ متر دویدن، با شدت ۱۰۰ تا ۱۱۰ VO_{2max}) اجرا شد. مسافت کل دویدن برای آزمون ورزشی مورد نظر، ۷۲۰۰ متر (۳ دوره، هر دوره شامل ۶ تکرار در مسافت ۴۰۰ متر) بود (پگ و دیگران، ۲۰۱۷) و ۶۰ دقیقه پس از صرف صبحانه مشخص، این مداخله صورت گرفت. در طول دوره تمرین ۱۰ هفته ای (آشناسازی و تمرین اصلی) با افزایش تکرارهای ۴۰۰ متر، افزایش تعداد جلسات در هر هفته، و کاهش زمان بازیافت؛ بار تمرین بیشتر شد تا سازگاری دستگاه های فیزیولوژیک

نمونه گیری خونی و روش اندازه گیری متغیرهای وابسته: برای اطمینان از نبود تأثیر کوفتگی ناشی از تمرینات، در ابتدای دوره پژوهش سه روز پس از آخرین تمرین دوره آشنایی، و در انتهای مطالعه، سه روز پس از هشت هفته تمرین (روز ۱۱ الی ۱۳ دوره ماهیانه هر فرد)؛ شرکت کنندگان ساعت هفت صبح به حالت ناشتا در محل فوریت های پزشکی بیمارستان شهریار تبریز حضور پیدا کردند. به دلیل تکرار خونگیری و نیاز به جمع آوری نمونه خون بلافاصله پس از تمرین و کاهش زمان تلف شده (از اتمام تمرین تا خونگیری)، ابتدا برای هر فرد، یک آنژیوکت صورتی در سیاهرگ وریدی پیش آرنجی قرار داده شد و هر سه مرحله جمع آوری

1. Heart rate reserve
2. Karvonen

3. Borg
4. MET

5. Ainsworth

الایزای شرکت Duoset ساخت کشور چین با شناسه DY3078، غلظت زنونلین سرم با استفاده از کیت الایزای شرکت Elab-science ساخت کشور آمریکا با شناسه E-EL-H5560، غلظت LPS سرم با استفاده از کیت الایزای شرکت MyBioSource ساخت کشور آمریکا با شناسه MBS702450، و میزان سرم IgM با استفاده از کیت تجاری شرکت Elabscience ساخت کشور آمریکا با شناسه E-EL-H1814؛ ارزیابی گردید.

نحوه ثبت پرسشنامه علائم اختلال گوارش: در طول قرارداد ورزشی، مطالعه ارزیابی ناراحتی علائم اختلال گوارشی با استفاده از مقیاس ناراحتی GI ثبت شد. پرسشنامه مقیاس بندی علائم اختلالات گوارشی^۶ (GSRs) بر اساس مقیاس ۱۰ نقطه‌ای (صفر تا ۱۰) طراحی شده است. با این فرض که اگر به عدد بزرگ تر از چهار اشاره شود، مشکل جدی است و اگر کمتر از چهار باشد، عواقب پزشکی حادی ندارد (فیفر^۷ و دیگران، ۲۰۰۹). همزمان با جمع‌آوری نمونه‌های خون، علائم ناراحتی گوارشی شرکت کنندگان در پرسشنامه GSRs که حاوی جزئیات کامل در مورد ناراحتی گوارشی مربوط به ناحیه بالا و پایین شکم است، ثبت شد و رتبه بندی گردید.

تعیین هموگلوبین و هماتوکریت جهت برآورد تغییرات حجم پلاسما و تصحیح متغیرهای پلاسما) داخل لوله‌های حاوی اتیلن دی آمین تتراسید^۱ (EDTA) ریخته شد. باقیمانده خون (هر شش مرحله) جهت تهیه سرم مورد استفاده قرار گرفت. جهت جداسازی سرم، نمونه‌ها به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه ۲۵-۲۲ قرار داده شدند، تا لخته شوند. سپس با دستگاه سانتریفیوژ (۱۵ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد) نمونه‌های سرم جدا شد و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. البته ۵۰ میکرولیتر از سرم برای تعیین اسمولالیت پلاسما با استفاده از اسمومتر کنار گذاشته شد (اسنیپ^۲ و دیگران، ۲۰۱۸؛ پوگ و دیگران، ۲۰۱۷). غلظت گلوکز با روش گلوکز اکسیداز^۳ و لاکتات با روش آنزیماتیک^۴ به عنوان متغیر کنترل در زمان‌های قبل، بلافاصله و دو ساعت پس از اجرای آزمون قرارداد HIIT؛ با استفاده از همان نمونه‌های خونی تعیین شدند.

هر چهار شاخص I-FABP، زنونلین، LPS و IgM با استفاده از روش الایزای^۵ اندازه‌گیری شدند. غلظت I-FABP سرم با استفاده از کیت

جدول ۱. جزئیات برنامه دو هفته اول تمرین (دوره آشنایی) و هشت هفته اصلی دوره تمرین

مرحله (هفته)	تعداد جلسات در هفته	تکرار ۴۰۰ متر	نسبت فعالیت به استراحت بین هر ۴۰۰ متر	تعداد تکرار در هر نوبت	زمان باز اوقات بین نوبت ها (دقیقه)	%HRHR	مقیاس درک فشار	مدت کل (دقیقه)	هزینه انرژی (کیلوکالری)	مسافت جابجا شده (متر)
اول	۳	۳×۴۰۰	۱:۲	۳	۳	۸۵-۸۰	۱۶	۵۰	۳۰۰	۳۶۰۰
دوم	۳	۴×۴۰۰	۱:۲	۳	۳	۸۵-۸۰	۱۶	۶۰	۳۴۰	۴۸۰۰
سوم	۴	۴×۴۰۰	۱:۱/۷۵	۳	۳	۹۰-۸۵	۱۷	۶۰	۳۷۵	۴۸۰۰
چهارم	۴	۵×۴۰۰	۱:۱/۷۵	۳	۳	۹۰-۸۵	۱۷	۷۰	۴۰۰	۶۰۰۰
پنجم	۵	۵×۴۰۰	۱:۱/۵	۳	۳	۹۵-۹۰	۱۸	۷۰	۴۵۰	۶۰۰۰
ششم	۵	۵×۴۰۰	۱:۱/۲۵	۳	۳	۹۵-۹۰	۱۸	۷۰	۵۰۰	۶۰۰۰
هفتم	۵	۶×۴۰۰	۱:۱/۲۵	۳	۳	۱۰۰-۹۵	۱۹	۸۰	۵۳۰	۷۲۰۰
هشتم	۶	۶×۴۰۰	۱:۱	۳	۳	۱۱۰-۱۰۰	۲۰	۸۰	۵۷۰	۷۲۰۰
نهم	۶	۷×۴۰۰	۱:۱	۳	۳	۱۱۰-۱۰۰	۲۰	۹۰	۶۰۰	۸۴۰۰
دهم	۵	۶×۴۰۰	۱:۱	۳	۳	۱۰۰-۹۵	۱۷	۸۰	۵۷۰	۷۲۰۰

واریانس با اندازه‌گیری مکرر^۹، آزمون تعقیبی بونفرونی^{۱۰} (برای مقایسه تغییرات بین مراحل اندازه‌گیری)، و آزمون تعقیبی

روش‌های آماری: پس از تأیید توزیع طبیعی داده‌ها (با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک^۸)، با استفاده از آزمون تحلیل

1. Ethylenediaminetetraacetic acid
2. Snipe
3. Glucose oxidase
4. Enzymatic method

5. Elisa
6. Gastrointestinal scale rating symptom
7. Pfeiffer
8. Shapiro-Wilk

9. Repeated measurement ANOVA
10. Bonferroni

(پس از هشت هفته) و پاسخ افزایشی آن پس از HIIT حاد، مانند I-FABP بود؛ اما مقادیر این شاخص دو ساعت پس از HIIT حاد در ابتدا و انتهای هشت هفته تمرین، با سطوح پایه تفاوت معنی داری نداشت (به ترتیب با $p=0/12$ و $p=0/20$). غلظت زنونین گروه تمرین بلافاصله پس از HIIT حاد در ابتدا و انتهای مطالعه نسبت به گروه کنترل، به طور معنی دار بیشتر بود (به ترتیب با $p=0/001$ و $p=0/04$). تغییرات کاهشی سطوح پایه LPS در انتهای هشت هفته تمرین HIIT منظم و پاسخ افزایشی آن بلافاصله و دو ساعت پس از HIIT حاد، مانند I-FABP بود؛ اما تنها در ابتدای مطالعه غلظت این شاخص بلافاصله پس از تمرین HIIT حاد نسبت به گروه کنترل، به طور معنی دار بیشتر بود ($p=0/04$). پاسخ IgM به تمرین HIIT حاد نیز در ابتدا و انتهای مطالعه کاهشی و معنی دار بود (به ترتیب با $p=0/001$ و $p=0/01$)؛ اما این شاخص دو ساعت بعد از HIIT حاد در ابتدای مطالعه نسبت به شرایط پایه، به طور معنی دار کاهش یافت ($p=0/001$). این در حالی بود که در انتهای مطالعه دو ساعت پس از HIIT حاد، تغییرات IgM معنی دار نبود و میزان آن به حالت اولیه بازگشت ($p=0/07$). سطوح پایه IgM نیز در انتهای هشت هفته تمرین HIIT افزایش غیرمعنی دار داشت ($p=1/00$). میزان این شاخص بلافاصله و دو ساعت پس از HIIT حاد تنها در ابتدای مطالعه نسبت به گروه کنترل، به طور معنی دار پایین تر بود (به ترتیب با $p=0/001$ و $p=0/01$) و در انتهای مطالعه با گروه کنترل تفاوت معنی داری نداشت (به ترتیب با $p=0/11$ و $p=0/26$). علاوه بر این ها، نتایج آزمون ویلکاکسون (جدول پنج) در مورد علائم اختلالات گوارشی نشان داد که رفلکس معده و حالت تهوع بلافاصله پس از HIIT حاد در ابتدای مطالعه (به ترتیب با $p=0/04$ و $p=0/01$) به طور معنی داری افزایش یافت و در انتهای هشت هفته HIIT فقط علامت حالت تهوع بلافاصله پس از HIIT حاد به طور معنی داری افزایش یافت ($p=0/02$). در مورد مشکلات عمومی، تنها گرفتگی عضلات بلافاصله پس از HIIT حاد در ابتدا و انتهای مطالعه، به طور معنی دار افزایش یافت ($p=0/01$).

توکی^۱ (برای مقایسه تفاوت‌های بین گروهی)؛ نتایج استخراج گردید. همچنین داده‌های رتبه‌ای مربوط به علائم نشانه‌های گوارشی، با استفاده از آزمون ویلکاکسون^۲ بررسی گردید. کلیه محاسبات آماری با نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ در سطح معنی داری مساوی و کمتر از ۰/۰۵ صورت گرفت.

یافته‌ها

میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های ترکیب بدن دختران ورزشکار شرکت کننده در تحقیق قبل و بعد از هشت هفته دوره تمرین؛ و میانگین و انحراف استاندارد غلظت گلوکز و لاکتات خون و نیز شاخص‌های اندازه گیری شده طی شش مرحله اندازه‌گیری در دو گروه تجربی (تمرین HIIT) و کنترل (بدون تمرین)؛ به ترتیب در جدول‌های دوم تا چهارم گزارش شده است. دامنه و میانۀ علایم اختلالات گوارشی در شش مرحله اندازه‌گیری در دو ناحیه بالا و پایین شکم و علایم مشکلات عمومی نیز در جدول پنج گزارش شده است. بر اساس نتایج آزمون شاپیرو-ویلک، تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده از توزیع طبیعی برخوردار بودند. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که تغییرات مراحل اندازه‌گیری و تفاوت‌های درون گروهی برای شاخص‌های I-FABP، زنونین، LPS و IgM معنی دار است ($p<0/05$)؛ به طوری که متعاقب HIIT حاد در ابتدا و انتهای هشت هفته دوره تمرین، I-FABP به طور معنی دار افزایش یافت ($p=0/001$). سطوح این شاخص دو ساعت پس از HIIT حاد همچنان به طور معنی دار بالاتر از مقادیر پایه بود ($p=0/001$). به عبارت دیگر، میزان این شاخص پس از دو ساعت به حد پایه نرسید. به علاوه، سطوح I-FABP در انتهای هشت هفته مداخله، کاهش غیرمعنی داری داشت ($p=0/09$). طبق نتایج آزمون توکی، میزان این شاخص بلافاصله پس از HIIT حاد در ابتدا و انتهای هشت هفته تمرین نسبت به گروه کنترل، به طور معنی دار بیشتر بود (به ترتیب با $p=0/001$ و $p=0/01$)؛ اما دو ساعت پس از HIIT حاد، تنها در ابتدای مطالعه با گروه کنترل تفاوت معنی داری داشت ($p=0/04$) (جدول چهار). تغییرات کاهشی سطوح پایه زنونین در انتهای مطالعه

جدول ۲. توصیف (میانگین و انحراف استاندارد) شاخص‌های ترکیب بدنی دختران ورزشکار شرکت کننده در تحقیق

شاخص‌ها	گروه تجربی		گروه کنترل	
	قبل از دوره تمرین	بعد از هشت هفته	قبل از دوره تمرین	بعد از هشت هفته
وزن (کیلوگرم)	۵۴/۹۸±۵/۳۵	۵۳/۹۰±۵/۱۵	۵۴/۲۷±۵/۷۴	۵۴/۱۸±۵/۶۱
شاخص توده بدن (کیلوگرم/متر مربع)	۱۹/۹۴±۱/۶۵	۱۹/۹۱±۱/۵۶	۲۰/۰۵±۱/۸۲	۲۰/۰۲±۱/۷۷
چربی بدن (درصد)	۲۰/۵۱±۱/۷۲	۲۰/۵۳±۱/۵۲	۲۰/۸۳±۱/۱۶	۲۰/۷۷±۱/۱۷
توده چربی بدن (کیلوگرم)	۱۱/۱۳±۱/۸۸	۱۱/۱۲±۱/۷۳	۱۱/۳۴±۱/۵۹	۱۱/۲۰±۱/۵۳
توده بدون چربی (کیلوگرم)	۴۲/۸۵±۳/۶۲	۴۲/۷۸±۳/۵۵	۴۲/۹۳±۴/۲۸	۴۲/۹۰±۴/۲۳

جدول ۳. توصیف (میانگین و انحراف استاندارد) غلظت گلوکز و لاکتات خون دختران ورزشکار طی شش مرحله اندازه گیری در دو گروه HIIT و کنترل

متغیرها	مراحل	گروه تمرین HIIT	
		میانگین ± انحراف استاندارد	گروه کنترل
گلوکز (میلی مول /لیتر)	اول	۵/۳۴±۰/۸۶	۵/۴۸±۰/۵۹
	دوم	۵/۱۹±۰/۱۹	۵/۴۳±۰/۵۲
	سوم	۵/۳۸±۰/۴۵	۵/۴۶±۰/۸۱
	چهارم	۵/۴۱±۰/۵۹	۵/۴۲±۰/۶۴
	پنجم	۵/۰۸±۰/۵۵	۵/۴۵±۰/۴۰
	ششم	۵/۲۵±۰/۶۴	۵/۳۴±۰/۵۳
لاکتات (میلی مول /لیتر)	اول	۱/۴۹±۰/۲۴	۱/۳۷±۰/۲۰
	دوم	۵/۳۹±۰/۹۱	۱/۳۱±۰/۲۳
	سوم	۱/۳۷±۰/۳۳	۱/۴۵±۰/۳۵
	چهارم	۱/۲۱±۰/۱۹	۱/۴۹±۰/۴۲
	پنجم	۷/۴۹±۰/۹۴	۱/۴۵±۰/۳۴
	ششم	۱/۳۹±۰/۳۳	۱/۳۱±۰/۲۳

جدول ۴. توصیف و مقایسه متغیرهای وابسته تحقیق طی شش مرحله اندازه گیری در گروه HIIT و کنترل

متغیرها	مراحل	گروه HIIT		اختلاف میانگین	مقدار p
		میانگین ± انحراف استاندارد	گروه کنترل		
I-FABP (پیکوگرم /میلی لیتر)	اول	۸۹۷/۷۵ ± ۱۲۷/۸۳	۸۱۲/۰۰ ± ۱۲۷/۸۳	۸۵/۷	۰/۸۸
	دوم	۱۷۶۷/۷۵ ± ۱۱۷/۸۲ °	۸۱۸/۲۵ ± ۱۱۷/۸۲	۹۴۹/۵ [†]	۰/۰۰۱
	سوم	۱۲۵۱/۱۲ ± ۱۱۴/۸۲ °	۸۲۴/۵۰ ± ۱۱۴/۸۲	۴۲۶/۶ [†]	۰/۰۴
	چهارم	۷۱۷/۱۲ ± ۱۰۷/۹۹	۸۳۰/۷۵ ± ۱۰۷/۹۹	۱۱۳/۶	۰/۷۴
	پنجم	۱۳۱۳/۱۲ ± ۱۰۲/۰۳ °°	۸۳۷/۰۰ ± ۱۰۲/۰۳	۴۷۶/۱ [†]	۰/۰۱
	ششم	۱۰۲۲/۷۵ ± ۱۱۳/۰۷ °°	۸۴۳/۲۵ ± ۱۱۳/۰۷	۱۷۹/۵	۰/۵۱
زنولین (نانوگرم /میلی لیتر)	اول	۸/۰۹ ± ۱/۵۴	۸/۵۲ ± ۱/۴۱	-۰/۴۳	۰/۹۷
	دوم	۱۵/۸۴ ± ۱/۱۴ °	۷/۶۶ ± ۱/۴۰	۸/۱۸ [†]	۰/۰۰۱
	سوم	۱۱/۰۰ ± ۱/۳۹	۸/۵۸ ± ۱/۰۸	-۲/۴۲	۰/۳۰
	چهارم	۶/۸۰ ± ۱/۱۶	۷/۵۰ ± ۰/۸۶	-۰/۷۰	۰/۸۷
	پنجم	۱۲/۶۱ ± ۱/۴۲	۸/۱۷ ± ۱/۳۵	۴/۴۴ [†]	۰/۰۴
	ششم	۹/۳۸ ± ۱/۳۶ °°	۸/۶۳ ± ۱/۳۸	-۰/۷۵	۰/۹۰
لیپوبلی ساکاید (پیکوگرم /میلی لیتر)	اول	۴/۲۶ ± ۰/۸۸	۵/۱۱ ± ۰/۸۲	-۰/۸۶	۰/۷۲
	دوم	۷/۷۲ ± ۰/۳۷ °	۴/۹۲ ± ۰/۷۵	۲/۸۰ [†]	۰/۰۴
	سوم	۷/۳۷ ± ۱/۰۰ °	۴/۹۶ ± ۰/۷۸	۲/۴۱	۰/۱۰
	چهارم	۳/۹۸ ± ۶۲۰	۴/۷۲ ± ۰/۶۴	-۰/۷۴	۰/۶۶
	پنجم	۶/۹۰ ± ۰/۸۷ °°	۴/۶۶ ± ۰/۶۴	۲/۲۴	۰/۱۰
	ششم	۷/۰۵ ± ۰/۷۱ °°	۴/۳۰ ± ۰/۵۰	۲/۷۴ [†]	۰/۰۱
ایمونوگلوبولین M (میلی گرم /دسی لیتر)	اول	۱۹۵/۳۷ ± ۱۹/۴۲	۲۰۷/۸۷ ± ۱۶/۱۵	-۱۲/۵۰	۰/۸۶
	دوم	۱۱۱/۶۲ ± ۲۰/۲۱ °	۲۲۰/۸۷ ± ۱۳/۵۷	-۱۰۹/۲۵ [†]	۰/۰۰۱
	سوم	۱۳۲/۵۰ ± ۲۴/۳۶	۲۲۰/۲۵ ± ۱۶/۱۹	-۸۷/۷۵ [†]	۰/۰۱
	چهارم	۲۲۳/۰۰ ± ۲۴/۰۹	۲۱۴/۸۷ ± ۱۱/۰۹	۸/۱۳	۰/۹۴
	پنجم	۱۴۶/۸۷ ± ۲۶/۳۸ °°	۲۰۷/۱۲ ± ۱۷/۳۱	-۶۰/۲۵	۰/۱۱
	ششم	۱۵۱/۵۰ ± ۲۹/۰۲	۲۰۲/۸۷ ± ۱۵/۱۲	-۵۲/۳۸	۰/۲۶

° نشانه تغییر معنی دار نسبت به مرحله اول در سطح $p < 0.05$; °° نشانه تغییر معنی دار نسبت به مرحله چهارم در سطح $p < 0.05$; † نشانه

تفاوت معنی دار بین دو گروه در سطح $p < 0.05$.

جدول ۵. مقایسه (دامنه و میانه) علائم اختلالات گوارشی در شش مرحله اندازه گیری در دو ناحیه بالا و پایین شکم و علائم مشکلات عمومی

ناحیه بدن	علائم گوارشی	ابتدای مطالعه			انتهای هشت هفته دوره تمرین		
		قبل از HIIT حاد	بلافاصله پس از HIIT حاد	دو ساعت بعد از HIIT حاد	قبل از HIIT حاد	بلافاصله پس از HIIT حاد	دو ساعت بعد از HIIT حاد
بالای شکم	رفلاکس معده p	۰ (۰)	۱/۵ (۰-۱۰) ۰/۰۴*	۰ (۰-۱) ۰/۱۵	۰ (۰) ۰/۱۰	۰ (۰-۱) ۰/۳۱	۰ (۰-۱) ۰/۳۱
	سوزش معده p	۰ (۰)	۰ (۰-۲) ۰/۳۱	۰ (۰-۱) ۰/۳۱	۰ (۰) ۰/۳۱	۰ (۰-۱) ۰/۳۱	۰ (۰) ۱/۰۰
	نفخ معده p	۰ (۰)	۰ (۰-۱) ۰/۳۱	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰-۱) ۰/۳۱
	گرفتگی عضلات شکم p	۰ (۰-۱)	۰ (۰) ۰/۳۱	۰ (۰-۲) ۰/۳۱	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰-۱) ۰/۳۱
	استفراغ p	۰ (۰)	۰ (۰-۶) ۰/۱۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۰/۱۸	۰ (۰-۲) ۰/۱۸	۰ (۰) ۱/۰۰
	حالت تهوع p	۰ (۰)	۰ (۰-۹) ۰/۰۱*	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۰/۰۳*	۰ (۰-۸) ۰/۰۳*	۰ (۰) ۱/۰۰
پایین شکم	گرفتگی روده p	۰ (۰)	۰ (۰-۱) ۰/۳۱	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰
	نفخ شکم p	۰ (۰)	۰ (۰-۲) ۰/۱۵	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۰/۱۸	۰ (۰-۲) ۰/۱۸	۰ (۰) ۱/۰۰
	اصرار به اجابت مزاج p	۰ (۰)	۰ (۰-۱۰) ۰/۰۶	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۰/۰۶	۰ (۰-۴) ۰/۰۶	۰ (۰) ۱/۰۰
	درد سمت چپ شکم p	۰ (۰)	۰ (۰-۲) ۰/۳۱	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰
	درد سمت راست شکم p	۰ (۰)	۰ (۰) ۰	۰ (۰) ۱/—	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰
	مدفوع شل p	۰ (۰)	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰
عمومی	اسهال p	۰ (۰)	۰ (۰-۲) ۰/۳۱	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰
	سرگیجه p	۰ (۰)	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰
	سردرد p	۰ (۰)	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰
	گرفتگی عضلات p	۰ (۰)	۲ (۱-۵) ۰/۰۱*	۰ (۰-۲) ۰/۱۰	۰ (۰) ۰/۰۱*	۲ (۱-۳) ۰/۰۱*	۰ (۰-۱) ۰/۱۵
	اصرار به ادرار کردن p	۰ (۰)	۰ (۰-۲) ۰/۱۸	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰	۰ (۰) ۱/۰۰

بحث

نتایج پژوهش حاضر شامل دو بخش پاسخ ورزشی و تأثیر فعالیت ورزشی منظم (سازگاری) بر عملکرد یکپارچگی سد روده می‌باشد. یافته‌ها نشان داد که یک جلسه HIIT حاد، موجب افزایش معنی دار I-FABP، زنونین، LPS و کاهش معنی دار IgM می‌شود. از طرف دیگر، هشت هفته HIIT موجب کاهش غیرمعنی دار شاخص‌های I-FABP، زنونین، LPS و افزایش غیرمعنی دار IgM در حالت پایه (نسبت به

مقادیر آن قبل از هشت هفته تمرین) و کاهش نسبی پاسخ افزایشی I-FABP، زنونین، LPS به یک جلسه HIIT (حاد) گردید. به علاوه، نشانه‌های ناراحتی گوارشی (رفلاکس معده و حالت تهوع) شرکت کنندگان فقط پس از HIIT به طور معنی دار افزایش یافت.

نتایج پژوهش حاضر مبنی بر افزایش I-FABP متعاقب یک جلسه HIIT در ابتدا و انتهای هشت هفته مداخله (به ترتیب با ۹۶ و ۸۳ درصد)، با یافته‌های پوگ و دیگران (۲۰۱۷)

ورزشی هوازی با شدت متوسط به مدت شش هفته، موجب کاهش اندوتوکسمی و التهاب روده می‌شود. نتایج مطالعه پاسینی و دیگران (۲۰۱۹) نیز حاکی از آن است که شش ماه تمرین ترکیبی، موجب کاهش شاخص‌های مربوط به نفوذپذیری روده از جمله زنونلین می‌شود. جین^۲ و دیگران (۲۰۱۷) هم گزارش کرده‌اند که ۱۲ هفته تمرین دایره‌ای (۳۰ دقیقه/روز) موجب کاهش پاسخ LPS به دریافت وعده غذایی پرچرب می‌شود. لازم به ذکر است که در بیشتر مطالعات اجرا شده، درجات مختلفی از کاهش وزن و کاهش دور کمر دیده شده است؛ و این بدان معنی است که کاهش چربی احشایی و کاهش سایتوکاین‌های التهابی، ممکن است به عنوان سازوکار تأثیر فعالیت ورزشی منظم بر بهبود یکپارچگی سد روده مطرح شود. در کل، میزان تأثیر فعالیت ورزشی به تنهایی و بدون مداخله سایر عوامل، مانند کاهش وزن و درصد چربی، در مطالعات اشاره شده معلوم نیست. درجات مختلفی از اختلالات متابولیک در شرکت کنندگان مطالعه کیرینز و دیگران (۲۰۲۰) وجود داشته که خود مقایسه مستقیم نتایج آنان را با یافته‌های مربوط به ورزشکاران سالم (در پژوهش حاضر) دشوار می‌سازد. پژوهش حاضر از جمله مطالعات بسیار محدود می‌باشد که بدون وجود کاهش چربی بدنی (مطابق با نتایج جدول دو) یا مشکلات متابولیکی؛ بهبود نسبی شاخص‌های سد روده‌ای را متعاقب هشت هفته HIIT نشان می‌دهد؛ هر چند تغییرات به دلیل مدت زمان کم دوره مداخله، معنی دار نشده‌اند. ضمن آن که می‌توان گفت در رویکردی جدید، تأثیر مثبت سازگاری به تمرین بر پاسخ افزایشی شاخص‌های آسیب و نفوذپذیری روده متعاقب هشت هفته HIIT نشان داده شد.

مطالعات پیشین سازوکار اصلی افزایش آسیب و نفوذپذیری روده در پاسخ به فشار ورزشی را به کاهش جریان خون اسپلانکتیک نسبت داده‌اند؛ وضعیتی که با کاهش آب بدن و حجم کل خون ناشی از ورزش، تشدید گردیده و منجر به هایپوکسی و آسیب سلول‌های اپیتلیال روده می‌شود (کوستا و دیگران، ۲۰۱۷). در مطالعه حاضر، امکان اندازه‌گیری میزان پرفیوژن اسپلانکتیک و هایپوکسی وجود نداشت، اما با توجه به دریافت آب کافی در طول انجام HIIT حاد، می‌توان گفت اختلال در یکپارچگی سد روده احتمالاً از کاهش جریان خون اسپلانکتیک ناشی از توزیع مجدد جریان خون به عضلات در حال کار، تغییر فعالیت دستگاه عصبی روده با افزایش فعال‌سازی سمپاتیک و در نهایت، کاهش ظرفیت عملکرد کلی دستگاه گوارش

که نشان داده‌اند متعاقب یک جلسه HIIT، میزان I-FABP سرم و نسبت لاکتوز به رامینوز مردان دوندۀ تمرین کرده، به ترتیب در حدود ۷۲ و ۵۹ درصد افزایش می‌یابد؛ همسو است. ون ویک و دیگران (۲۰۱۱) نیز افزایش I-FABP سرم را متعاقب ۶۰ دقیقه رکاب زدن گزارش کرده‌اند. میزان پاسخ افزایشی آسیب روده در پژوهش حاضر بیشتر از تغییر آن در سایر مطالعات است که احتمالاً از میزان آمادگی جسمانی پایین‌تر و نبود سازگاری دستگاه گوارش به فعالیت ورزشی با شدت و مدت بالا در شرکت کنندگان مطالعه حاضر نشأت می‌گیرد. همچنین، ممکن است فعالیت ورزشی با بار یکسان، موجب اختلال بیشتر در یکپارچگی سد روده در دختران ورزشکار شود. در این راستا، برسا و دیگران (۲۰۱۷) اعلام داشته‌اند که احتمالاً زنان نسبت به مردان، بیشتر مستعد علائم سندروم اختلالات گوارشی هستند. علاوه بر این‌ها، سطوح طبیعی I-FABP در حالت پایه نشان دهنده سلامت عملکرد روده در شرکت کنندگان تحقیق حاضر بود و دیدیم که متعاقب هشت هفته HIIT، کاهش غیرمعنی‌داری در مقادیر پایه I-FABP شرکت کنندگان بدست آمد. در حالی که نتایج برخی مطالعات نشان از آن دارد که در افراد تمرین کرده و به ویژه نخبه، انجام تمرینات شدید و درازمدت موجب افزایش شاخص‌های آسیب روده در حالت پایه و افزایش بیشتر پاسخ ورزشی می‌شود. در این رابطه و ناهمسو با نتایج مطالعه حاضر؛ پوگ و دیگران (۲۰۱۷) گزارش کرده‌اند که مقادیر پایه I-FABP برخی از شرکت کنندگان (مردان تمرین کرده نخبه) بیشتر از مقادیر طبیعی در حالت استراحت است. به هر حال، غلظت این شاخص در حالت پایه، شرایط آمادگی جسمانی و جنسیت می‌تواند بر میزان پاسخ آن به تمرین تأثیر داشته باشد. لامیرچ و دیگران (۲۰۱۲) با مشاهده مقادیر بالای برخی شاخص‌ها از جمله زنونلین در حالت پایه، اظهار داشته‌اند که ورزشکاران نخبه احتمالاً در حالت پایه از افزایش خفیف نفوذپذیری روده رنج می‌برند؛ وضعیتی که احتمالاً ناشی از اجرای تمرینات ورزشی شدید و درازمدت می‌باشد. با این حال، کیرینز و دیگران (۲۰۲۰) در مطالعه مروری اعلام کرده‌اند که فعالیت ورزشی منظم می‌تواند موجب بهبود شاخص‌های یکپارچگی سد روده در هنگام استراحت (نه در شرایط پس از فعالیت ورزشی حاد) شود. لیرا^۱ و دیگران (۲۰۱۰) نشان داده‌اند که LPS پلاسمایی (استراحتی) دوچرخه سواران تمرین کرده، سه برابر پایین‌تر از افراد کم تحرک با شاخص توده بدنی طبیعی می‌باشد. همچنین، موتیانی و دیگران (۲۰۲۰) نشان داده‌اند که فعالیت

پایه باز می‌گردد. با توجه به این که غلظت زنونین پس از HIIT حاد (در ابتدا و انتهای مطالعه) به طور معنی‌دار بیشتر از گروه کنترل می‌باشد؛ دو ساعت بعد از تمرین، این تفاوت (با گروه کنترل) از بین رفت. از طرف دیگر، این افزایش هم راستا با افزایش غلظت I-FABP (شاخص آسیب روده) می‌باشد و می‌توان گفت که این تغییر موجب افزایش نفوذپذیری روده می‌شود. هم‌راستا با نتایج پاسخ افزایشی زنونین به HIIT حاد؛ نتایج مطالعه توتا و دیگران (۲۰۱۹) نیز افزایش معنی‌دار غلظت زنونین همراه با کورتیزول و پروتئین واکنشی $^{\circ}C$ (CRP) را یک ساعت بعد از مسابقه سه گانه نشان داده است. با این حال، در مطالعه توتا و دیگران (۲۰۱۹) مقدار زنونین ۱۲ و ۴۸ ساعت بعد از مسابقه همچنان به طور معنی‌دار بیشتر از حالت پایه بود. این تناقض را می‌توان به مدت زمان طولانی‌تر و شرایط فشار روانی مسابقه نسبت داد؛ زیرا فعالیت ورزشی شدید و دراز مدت همراه با فشار روانی مضاعف می‌تواند در افزایش بیشتر مقادیر کورتیزول و CRP مؤثر باشد. چنانچه، در مطالعه توتا و دیگران (۲۰۱۹) گرفتگی عضلات بعد از تمرین گزارش شده است که ممکن است ناشی از آسیب سلول‌های عضلانی باشد و در نهایت می‌تواند موجب اختلال بیشتر در عملکرد سد روده‌ای گردد. لازم به ذکر است که تغییرات غلظت زنونین در خون ممکن است علاوه بر فعالیت ورزشی شدید، تحت تأثیر رژیم‌های غذایی نادرست و باکتری‌های روده قرار گیرد (کیرینز و دیگران، ۲۰۲۰). در مطالعه حاضر نیز این موضوع کنترل شد. به علاوه، برخی پژوهشگران از جمله کوستا و دیگران (۲۰۱۷) اظهار داشته‌اند که در شرایط دمایی طبیعی، مدت زمان ورزش احتمالاً عامل کلیدی برای مقدار بزرگی آسیب اپیتلیال روده ناشی از فعالیت ورزشی می‌باشد.

به طور کلی، شرکت کنندگان این مطالعه دختران ورزشکار رشته جودو و کشتی بودند که در دوره خارج از فصل مسابقات قرار داشتند، سازگاری دراز مدت به تمرین دوییدن در آن‌ها ایجاد نشده بود و قبل از شروع دوره HIIT؛ شرایط شرکت کنندگان تا حد ممکن از نظر یکسان بودن شرایط فیزیولوژیکی و آمادگی جسمانی، نبود سابقه مشکلات گوارشی، در نظر گرفتن زمان دوره ماهانه دختران، استاندارد شده بود و ورزشکاران یک دوره تمرینی واقعی را شروع کرده بودند. همچنین جهت اطمینان از یکسان بودن شرایط فیزیولوژیکی پس از تمرین، غلظت لاکتات و گلوکز نیز اندازه‌گیری گردید. به علاوه، جمع‌آوری نمونه‌های خون بلافاصله پس از اتمام آخرین تناوب ۴۰۰

نشات می‌گیرد (کوستا و دیگران، ۲۰۱۷؛ کیرینز و دیگران، ۲۰۲۰). همچنین، در شرایط کاهش اکسیژن، انتقال سریع ATP به AMP در سلول‌های اپیتلیال روده منجر به تولید هیپوگزانتین^۱ (از مشتقات پورین) می‌گردد (دوکلندی^۲ و دیگران، ۲۰۱۶) و طی خون‌رسانی مجدد، گزانتین اکسیداز، گزانتین را به اسید اوریک تبدیل کرده و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولید شده، باعث آسیب بیشتر به سلول‌های اپیتلیال روده می‌گردند. نتیجه این تغییرات، افزایش احتمالی نفوذپذیری روده می‌باشد (ساساکی و جان^۳، ۲۰۰۷). خون‌رسانی مجدد ناگهانی به روده پس از یک دوره فعالیت ورزشی نیز، عملکرد سد روده‌ای را بیشتر به خطر می‌اندازد و انتقال باکتری و ایجاد اندوتوکسمی را تشدید می‌کند (ون ویک و دیگران، ۲۰۱۱) که ممکن است در طی اجرای HIIT که فعالیت بدنی با دوره‌های منقطع استراحت همراه است، بیشتر اتفاق بیفتد. در مطالعه حاضر دیدیم که افزایش معنی‌دار LPS (۸۱ و ۷۳ درصد) و کاهش معنی‌دار IgM (۴۲ و ۳۴ درصد)، به ترتیب در ابتدا و انتهای مطالعه، مشاهده گردید. هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، اسنپ و دیگران (۲۰۱۷) با بررسی دوندگان استقامت، اشاره داشته‌اند که افزایش LPS، I-FABP و نسبت لاکتوز به رامینوز سرمی متعاقب دو ساعت دوییدن (با شدت ۶۰ درصد VO_{2max})، با تغییر معنی‌دار علائم اختلال گوارشی (تا حدود ۸۲ درصد) همراه است. ایجاد آسیب و افزایش نفوذپذیری سد روده می‌تواند با افزایش LPS همراه باشد، تغییری که خود موجب راه اندازی آبشار واسطه‌های سلولی ایمنی می‌شود. به طور کلی، اندوتوکسمی ناشی از ورزش در شرایط افزایش LPS (تا ۵ پیکوگرم/میلی‌لیتر) و کاهش غلظت آنتی‌اندوتوکسین‌ها و آنتی‌بادی‌های سرمی (مانند IgG و IgM) بروز می‌کند (باربریو^۴ و دیگران، ۲۰۱۵). با این حال، باید اشاره داشت که شدت و مدت فعالیت ورزشی، سطح آمادگی و دسترسی به مواد غذایی قبل، حین و پس از انجام فعالیت‌های ورزشی؛ ممکن است در دست‌یابی به نتایج متفاوت و ناهمسو نقش داشته باشد (کوستا و دیگران، ۲۰۱۷). به طوری که کارهو و دیگران (۲۰۱۷) با بررسی تأثیر ۹۰ دقیقه دوییدن (با ۸۰٪ بهترین سرعت دوی ۱۰ کیلومتر)، افزایش معنی‌دار I-FABP سرمی، نفوذپذیری روده و علائم اختلال گوارشی را بدون تغییر معنی‌دار در LPS سرمی گزارش کرده‌اند.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پاسخ افزایشی زنونین به یک جلسه HIIT (به ترتیب ۹۵ و ۸۵ درصد در ابتدا و انتهای هشت هفته مداخله)، پس از دو ساعت تقریباً به حالت

1. Hypoxanthine
2. Dokladny

3. Sasaki & John
4. Barberio

5. C-reactive protein

پایه نمی‌شود؛ ورزشکاران دختر غیر نخبه می‌توانند با در نظر گرفتن دوره بازیافت مناسب، تمرینات HIIT حاد را در برنامه ورزشی خود قرار دهند. در هر حال با توجه به این که در مطالعه حاضر، گروه تمرینی متفاوت مانند تمرین استقامتی برای مقایسه با تمرین HIIT وجود نداشت؛ و نیز سائیتوکاين‌ها، کورتیزول، متابولیت‌های مربوط به آسیب‌های عضلانی، و دمای مرکزی شرکت کنندگان بعد از تمرین حاد برای بررسی کامل و سازوکار تأثیرگذار بر پاسخ ورزشی دستگاه گوارشی، اندازه‌گیری نشد؛ پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده ارزیابی عملکرد دستگاه گوارش در پاسخ به وهله‌های ورزشی طولانی‌تر HIIT و در مقایسه با سایر انواع تمرین، از جمله تمرین استقامتی (دویدن، رکاب زدن) که دارای هزینه انرژی یکسان باشند، همراه با برخی مکمل‌های موثر بر کاهش آسیب روده‌ای، بررسی شود. همچنین تأثیر برنامه‌های HIIT با دوره‌های تناوب و بازیافت متفاوت، جهت بررسی کاهش آسیب‌های احتمالی دستگاه گوارش مورد مطالعه قرار گیرد.

تضاد منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند.

قدردانی و تشکر

از همکاری تمامی آزمودنی‌ها در زمینه اجرای مراحل عملی پژوهش، تشکر و قدردانی می‌نماییم. بخشی از بودجه تحقیقاتی توسط منابع مالی دانشگاه تبریز و مابقی به‌طور شخصی تأمین شده است.

متر انجام شد که معمولاً در بیشتر مطالعات به ویژه در شرایط مسابقه‌ای، این اندازه‌گیری مقدور نیست. بنابراین، می‌توان به نتایج بخش اول پژوهش حاضر در مورد پاسخ دستگاه گوارش به HIIT حاد بدون وجود سازوکارهای دراز مدت قبلی، به ویژه در مورد دختران، اعتماد کرد. البته در رابطه با تأثیر تفاوت‌های جنسیتی بر پاسخ ورزشی دستگاه گوارش، نتایج برخی مطالعات از جمله اسنیپ و دیگران (۲۰۱۸) دال بر آن است که با قرار داشتن زنان در دوره فولیکولی، تغییرات هورمونی جنسی تأثیری بر آسیب اپیتلیال و نفوذپذیری روده ندارد. با توجه به کنترل دوره ماهانه شرکت کنندگان در مطالعه حاضر، دختران ورزشکار در دوره فولیکولی قرار داشتند و می‌توان تغییرات شاخص‌های این پژوهش را با سایر مطالعات نیز مقایسه کرد.

نتیجه‌گیری: در کل می‌توان گفت که اجرای یک جلسه HIIT در دختران ورزشکار، موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های آسیب و نفوذپذیری روده و ایجاد اندوتوکسمی و نیز کاهش معنی‌دار IgM می‌شود؛ اما دوره هشت هفته‌ای HIIT با هدف افزایش آمادگی هوازی و سازگاری، موجب بهبود تقریبی سد روده‌ای گردید. با این حال، سازوکارهای مثبت ناشی از این نوع تمرین (به شکل بهبود نشانگرهای یکپارچگی روده‌ای) نمی‌تواند به طور کامل بر پاسخ افزایشی شاخص‌های آسیب و نفوذپذیری روده تأثیر معنی‌داری داشته باشد. در کل، می‌توان گفت با توجه به این که هشت هفته HIIT موجب اختلال در عملکرد دستگاه GI در حالت

منابع

- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett, D.R., Tudor-Locke, C., ... & Leon, A.S. (2011). Compendium of physical activities: A second update of codes and MET values. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(8), 1581-1575.
- Barberio, M.D., Elmer, D.J., Laird, R.H., Lee, K.A., Gladden, B., & Pascoe, D.D. (2015). Systemic LPS and inflammatory response during consecutive days of exercise in heat. *International Journal of Sports Medicine*, 36(03), 262-270.
- Bartlett, J.D., Close, G.L., MacLaren, D.P., Gregson, W., Drust, B., & Morton, J.P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *Journal of Sports Sciences*, 29(6), 547-553.
- Bressa, C., Bailén-Andrino, M., Pérez-Santiago, J., González-Soltero, R., Pérez, M., Montalvo-Lominchar, M.G., ... & Larrosa, M. (2017). Differences in gut microbiota profile between women with active lifestyle and sedentary women. *Public Library of Science*, 12(2), e0171352.
- Costa, R.J., Miall, A., Khoo, A., Rauch, C., Snipe, R., Camões-Costa, V., & Gibson, P. (2017). 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*, 42(5), 547-557.

- Costa, R.J.S., Snipe, R.M.J., Kitic, C.M., & Gibson, P.R. (2017). Systematic review: exercise-induced gastrointestinal syndrome—implications for health and intestinal disease. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 46(3), 246-265.
- Cunningham, J.J. (1991). Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 54(6), 963-969.
- De Oliveira, E.P., & Burini, R.C. (2009). The impact of physical exercise on the gastrointestinal tract. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 12(5), 538-533.
- Dokladny, K., Zuhl, M.N., & Moseley, P.L. (2016). Intestinal epithelial barrier function and tight junction proteins with heat and exercise. *Journal of Applied Physiology*, 120(6), 692-701.
- Edwards, K.H., Ahuja, K.D., Watson, G., Dowling, C., Musgrave, H., Reyes, J., ... & Kitic, C.M. (2021). The influence of exercise intensity and exercise mode on gastrointestinal damage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 46(9), 1105-1110.
- El Asmar, R., Panigrahi, P., Bamford, P., Berti, I., Not, T., Coppa, G.V., ... & Fasano, A. (2002). Host-dependent zonulin secretion causes the impairment of the small intestine barrier function after bacterial exposure. *Gastroenterology*, 123(5), 11615-607
- Ghosh, S.S., Wang, J., Yannie, P.J., & Ghosh, S.H. (2020). Intestinal barrier dysfunction, LPS translocation, and disease development. *Journal of the Endocrine Society*, 4(2), bvz039.
- Hill, G.W., Gillum, T.L., Lee, B.J., Romano, P.A., Schall, Z.J., Hamilton, A.M., & Kuennen, M.R. (2020). Prolonged treadmill running in normobaric hypoxia causes gastrointestinal barrier permeability and elevates circulating levels of pro-and anti-inflammatory cytokines. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(4), 376-386.
- Jin, S., Kim, S.K., Seo, H.J., Kim, M., Ahn, K.T., Kim, J.H., ... & Jeong, J. (2017). The curves exercise suppresses endotoxemia in korean women with obesity. *Journal of Korean Medical Science*, 32(2), 272-277.
- Karhu, E., Forsgård, R.A., Alanko, L., Alfthan, H., Pussinen, P., Hämläinen, E., & Korpela, R. (2017). Exercise and gastrointestinal symptoms: running-induced changes in intestinal permeability and markers of gastrointestinal function in asymptomatic and symptomatic runners. *European Journal of Applied Physiology*, 117(12), 2519-2526.
- Keirns, B.H., Koemel, N.A., Sciarrillo, C.M., Anderson, K.L., & Emerson, S.R. (2020). Exercise and intestinal permeability: another form of exercise-induced hormesis? *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 319(4), G512-G518.
- Lamprecht, M., Bogner, S., Schippinger, G., Steinbauer, K., Fankhauser, F., Hallstroem, S., ... & Greilberger, J.F. (2012). 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*, 9(1), 1-13.
- Lira, F.S., Rosa, J.C., Pimentel, G.D., Souza, H.A., Caperuto, E.C., Carnevali, L.C., ... & de Mello, M.T. (2010). Endotoxin levels correlate positively with a sedentary lifestyle and negatively with highly trained subjects. *Lipids in Health and Disease*, 9(1), 1-5.
- March, D.S., Marchbank, T., Playford, R.J., Jones, A.W., Thatcher, R., & Davison, G. (2017). Intestinal fatty acid-binding protein and gut permeability responses to exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 117(5), 931-941.
- Motiani, K.K., Collado, M.C., Eskelinen, J., Virtanen, K.A., Löyttyniemi, E., Salminen, S., ... & Hannukainen, J.C. (2020). Exercise training modulates gut microbiota profile and improves endotoxemia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(1), 94.

- Ogden, H.B., Fallowfield, J.L., Child, R.B., Davison, G., Fleming, S.C., Edinburgh, R.M., ... & Layden, J.D. (2020). Reliability of gastrointestinal barrier integrity and microbial translocation biomarkers at rest and following exertional heat stress. *Physiological Reports*, 8(5), e14374.
- Pasini, E., Corsetti, G., Assanelli, D., Testa, C., Romano, C., Dioguardi, F.S., & Aquilani, R. (2019). Effects of chronic exercise on gut microbiota and intestinal barrier in human with type 2 diabetes. *Minerva Medica*, 110(1), 3-11.
- Pfeiffer, B., Cotterill, A., Grathwohl, D., Stellingwerff, T., & Jeukendrup, A.E. (2009). The effect of carbohydrate gels on gastrointestinal tolerance during a 16-km run. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(5), 485-503.
- Pugh, J.N., Impey, S.G., Doran, D.A., Fleming, S.C., Morton, J.P., & Close, G.L. (2017). Acute high-intensity interval running increases markers of gastrointestinal damage and permeability but not gastrointestinal symptoms. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(9), 941-947.
- Riebe, D., Ehrman, J.K., Liguori, G., Magal, M. (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. 10th Edition. American College of Sports Medicine.
- Sasaki, M., & Joh, T. (2007). Oxidative stress and ischemia-reperfusion injury in gastrointestinal tract and antioxidant, protective agents. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 40(1), 1-12.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276-291.
- Snipe, R.M.J., & Costa, R.J.S. (2018). 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*, 36(24), 2827-2835.
- Snipe, R.M.J., Khoo, A., Kitic, C.M., Gibson, P.R., & Costa, R.J.S. (2017). Carbohydrate and protein intake during exertional heat stress ameliorates intestinal epithelial injury and small intestine permeability. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(12), 1283-1292.
- Snipe, R.M.J., Khoo, A., Kitic, C.M., Gibson, P.R., & Costa, R.J.S. (2018). The impact of mild heat stress during prolonged running on gastrointestinal integrity, gastrointestinal symptoms, systemic endotoxin and cytokine profiles. *International Journal of Sports Medicine*, 39(04), 255-263.
- Tota, L., Piotrowska, A., Palka, T., Morawska, M., Mikuiáková, W., Mucha, D., & ... Pilch, W. (2019). Muscle and intestinal damage in triathletes. *PLoS One*, 14(1), e0210651.
- Van Wijck, K., Lenaerts, K., Van Loon, L.J.C., Peters, W.H.M., Buurman, W.A., & Dejong, C.H.C. (2011). Exercise-induced splanchnic hypoperfusion results in gut dysfunction in healthy men. *PloS One*, 6(7), e22366.
- van Wijck, K., Pennings, B., van Bijnen, A.A., Senden, J.M.G., Buurman, W.A., Dejong, C.H.C., ... & Lenaerts, K. (2013). Dietary protein digestion and absorption are impaired during acute postexercise recovery in young men. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 304(5), R356-R361.