فیزیولوژی ورزشی شماره ۲۶، تابستان ۱۳۹۴. صص ۳۲-۱۵

سازگاری‌های فیزیولوژیکی عملکرد در پی تمرینات تناوبی شدید

مهدی بیاتی[۱]، رضا قراخانلو[۲]، بابک فرزاد[۳]

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشیار دانشگاه تربیت مدرس*
۳. دانشجوی دکتری دانشگاه خوارزمی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۸

چکیده

هدف از این مطالعه، انجام یک مرور روایتی از ادبیات برای تعیین سازگاری‌های فیزیولوژیکی عملکرد در پی تمرینات تناوبی شدید می‌باشد. تمرینات تناوبی شدید، به وهله‌های تکراری با فعالیت‌های تناوبی به‌نسبت کوتاه با شدت تمام یا شدتی نزدیک به شدتی که VO2peak به‌دست می‌آید نسبت داده می‌شود. با توجه به شدت تمرینات، یک تلاش HIT ممکن است از چند ثانیه تا چندین دقیقه طول بکشد که وهله‌های گوناگون، به‌وسیلهٔ چند دقیقه استراحت یا فعالیت با شدت کم از هم جدا می‌شوند. از ویژگی‌های بارز این‌گونه تمرینات، حجم خیلی کم آن و درعین‌حال، اثربخشی بر هر سه سیستم انرژی می‌باشد. هرچند یک وهله فعالیت شدید، نیاز به میزان بیشتری از بازسازی ATP از سیستم‌های تولید انرژی بی‌هوازی دارد، با افزایش تواتر تکرارهای شدید و اجرای آن به‌صورت متناوب با ریکاوری بین وهله‌های فعالیت، نیاز سلول عضلانی و مسیرهای متابولیکی را تغییر می‌دهد، به‌گونه‌ای که سهم بازسازی انرژی از سیستم بی‌هوازی، به‌سمت سیستم هوازی تغییر کرده و هم‌زمان، این دو سیستم درگیر بازسازی ATP می‌شوند. درمجموع، سازگاری‌های فیزیولوژیکی درگیر در بهبود اجرا در تمرینات تناوبی شدید را می‌توان به تعامل نزدیک و هم‌زمانی سه بعد مهم از بدن انسان؛ یعنی سازگاری‌های محیطی (درون عضلهٔ اسکلتی)، عصبی (واحدهای حرکتی و CNS) و سازگاری‌های قلبی عروقی نسبت داد؛ بنابراین، با به‌کارگیری این تمرینات می‌توان دامنهٔ وسیعی از سازگاری‌های متابولیکی و عملکردی که موجب بهبود هر دو سیستم هوازی و بی‌هوازی و آمادگی دستگاه‌های عمدهٔ بدن می‌شود را انتظار داشت. این نتایج بیانگر این موضوع است که تمرینات تناوبی شدید با حجم بسیار کم، بدن را دستخوش تغییرات عمده‌ای می‌کند که حاکی از کارابودن و مقرون‌به‌صرفه‌بودن این‌گونه تمرینات، به‌ویژه از لحاظ زمانی می‌باشد.

واژگان کلیدی: تمرینات تناوبی شدید، اجرای هوازی و بی‌هوازی، سازگاری

* نویسنده مسئول Email: ghara_re@modares.ac.ir

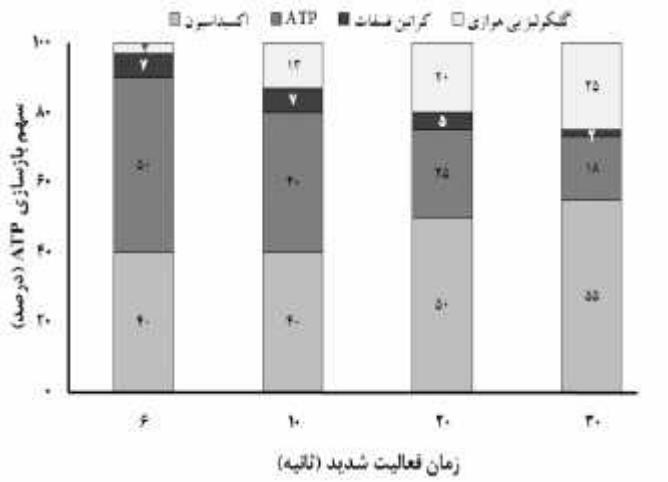
مقدمه

برنامه‌های تمرینی قهرمانان باید با توجه به ویژگی‌های جسمانی و فیزیولوژیکی ورزشکاران و براساس نظریه‌های علمی تنظیم شود. این برنامه‌ها باید بر پایهٔ نیازهای مربوط به رشتهٔ ورزشی خاص استوار باشند و عواملی نظیر دستگاه‌های انرژی درگیر، الگوهای حرکتی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی مؤثر در عملکرد مورد توجه قرار گیرند. حال، با توجه به اینکه در اکثر ورزش‌های انفرادی، ورزشکاران در زمانی بین یک الی هشت دقیقه با شدتی نزدیک به حداکثر و یا در ورزش‌های تیمی، از فعالیت‌های شدید کوتاه‌مدت مکرر بهره می‌گیرند و سهم تولید انرژی در این رشته‌ها بینابینی (هوازی و بی‌هوازی) می‌باشد، نیاز به استفاده از روش‌های تمرینی خاصی که هر دو سیستم را درگیر نماید احساس می‌شود که براین‌اساس، پژوهشگران با استفاده از ترکیب تمرینات سرعتی (ST)[1] و تمرینات تناوبی (IT)[2]، یک شیوهٔ جدید از تمرینات را با نام تمرین تناوبی شدید (HIT)[3] ابداع کردند (۱,۲). امروزه، HITبه‌عنوان یکی از روش‌های تمرینی سودمند برای بهبود اجرا مورد توجه می‌باشد که برای فهم و کاربرد بهتر این روش تمرینی لازم است تا با ابعاد آن و سازگارهای ناشی از آن که منجر به بهبود اجرا می‌گردد بیشتر آشنا شد؛ بنابراین، مقالهٔ حاضر به‌صورت مروری روایتی[4] با اتکا به تجربه و دانش نویسندگان مقاله و همچنین، مقالات مرتبط در نمایهٔ PubMed (از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴) و SID (از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳) انجام شد؛ لذا، هدف از این مطالعه، آشنایی با مبانی نظری و سازگاری‌های فیزیولوژیکی عملکرد ناشی از HIT می‌باشد.

ماهیت تمرینات تناوبی شدید: یک وهله فعالیت شدید، نیاز به میزانی از بازسازی ATP از هریک از سیستم‌های تولید انرژی دارد (۳,۴) (شکل۱). تمرینات تناوبی شدید، به وهله‌های تکراری با فعالیت‌های تناوبی به‌نسبت کوتاه با شدت تمام یا شدتی نزدیک به شدتی که VO2peak به‌دست می‌آید (≥ 90% of VO2peak) نسبت داده می‌شوند (۵) با توجه به شدت تمرینات، یک تلاش HIT ممکن است از چند ثانیه تا چندین دقیقه طول بکشد که وهله‌های گوناگون به‌وسیلهٔ چند دقیقه استراحت یا فعالیت با شدت کم از هم جدا می‌شوند (۱۰-۳). برخلاف تمرینات قدرتی که کوشش‌های شدید کوتاه به‌طور معمول علیه یک مقاومت سنگین برای افزایش تودهٔ عضلهٔ اسکلتی انجام می‌شود، HIT معمولاً با فعالیت‌هایی نظیر دوچرخه‌سواری یا دویدن همراه است که هایپرتروفی محسوسی را در تار ایجاد نمی‌کند (۱۱,۱۲)؛ اما، هزینهٔ انرژی قابل‌توجهی دارد. ویژگی

1. Sprint training
2. Interval training
3. High-intensity interval training
4. Narrative review

بارز این‌گونه تمرینات، حجم خیلی کم آن می‌باشد (۵،۹،۱۱،۱۲)؛ به‌نحوی‌که مثلاً در یک مطالعه، تنها با شش جلسه تمرین در طول دو هفته، بهبود قابل‌توجهی در اجرای ورزشی مشاهده شد (۱).



شکل۱ـ سهم بازسازی ATP از سیستم‌های تولید انرژی در زمان‌های متفاوت یک وهله فعالیت شدید

سازوکار این‌گونه تمرینات به این شرح است که یک وهله HIT، غلظت سوبستراهای انرژیکی و فعالیت آنزیم‌های مرتبط با متابولیسم بی‌هوازی را افزایش می‌دهد. با افزایش تواتر تکرارهای شدید و اجرای آن به‌صورت متناوب با ریکاوری بین وهله‌های فعالیت، نیاز سلول عضلانی و مسیرهای متابولیکی تغییر می‌کند، به‌گونه‌ای که سهم بازسازی انرژی از سیستم بی‌هوازی به سمت سیستم هوازی تغییر کرده و درنتیجه، هم‌زمان، سیستم‌های تولید انرژی هوازی و بی‌هوازی درگیر بازسازی ATP می‌شوند؛ ازاین‌رو است که تمرینات تناوبی شدید منجر به بهبود هر دو سیستم هوازی و بی‌هوازی می‌شوند (۱۳،۱۱،۳)؛ بنابراین، با به‌کارگیری این تمرینات می‌توان دامنهٔ وسیعی از سازگاری‌های متابولیکی و عملکردی را انتظار داشت (۶،۱۳). شواهد نشان می‌دهند که اگر زمان ریکاوری بین وهله‌های شدید کاهش یابد، سهم گلیکولیز نیز برای تأمین انرژی کاهش پیدا می‌کند و درنتیجه، سوخت‌وساز هوازی برای جبران این کسر انرژی افزایش پیدا می‌کند. لینوسیر[1] و همکاران (۱۹۹۳) پیشنهاد کردند که سوخت‌وساز هوازی در طول دوره‌های ریکاوری تمرینات شدید برای بازسازی کراتین فسفات (PCr)[2] و اکسیداسیون اسید لاکتیک (حذف لاکتات) نقش مهمی

1. Linossier
2. Phospho creatine

دارند. این آشکار خواهد کرد که HIT به‌سمت سوخت‌وساز هوازی سوق پیدا می‌کند و این امر، ظرفیت سوخت‌وساز هوازی را افزایش می‌دهد (۱۴).

با توجه به دامنهٔ وسیع مطالعات درمورد HIT که در آنها پژوهشگران از وهله‌های پنج ثانیه‌ای تا چهار دقیقه فعالیت را به‌عنوان HIT استفاده کرده‌اند (۶،۷)، در این بخش می‌توان این‌گونه تمرینات را بر پایهٔ زمان وهله‌های فعالیت‌ها به دو دسته تقسیم کرد:

تمرینات تناوبی شدید با وهله‌های کوتاه: وهله‌های فعالیت کم‌تر و یا برابر با۶۰ ثانیه که با شدتی برابر با حداکثر و یا نزدیک به حداکثر توان و یا سرعت انجام می‌شوند را به‌عنوان تمرینات تناوبی شدید با وهله‌های کوتاه درنظر می‌گیرند (۱۵)؛ به‌عنوان‌مثال، می‌توان به برنامهٔ تمرینی پژوهش لیتل[1] و همکاران (۲۰۱۰) در این زمینه اشاره کرد که عبارت است از: ۱۰ وهلهٔ ۶۰ ثانیه‌ای با ۱۰۰ درصد توان به‌دست‌آمده در آزمون VO2max (Pmax)[2] و ۷۵ ثانیه ریکاوری فعال بین هر وهله (۱۶).

تمرین تناوبی شدید با وهله‌های طولانی: فعالیت‌هایی با وهله‌های طولانی‌تر از یک تا چهار دقیقه که به‌عنوان HIT شناخته شده‌اند ولی با شدت کم‌تری نسبت به HIT با وهله‌های فعالیت کوتاه‌مدت انجام می‌شوند را به‌عنوان تمرینات تناوبی شدید با وهله‌های طولانی درنظر می‌گیرند (۱۵)؛ به‌عنوان مثال، می‌توان به برنامهٔ تمرینی پژوهش گورد[3] و همکاران (۲۰۱۰) در این زمینه اشاره کرد که عبارت است از: ۱۰ وهلهٔ چهار دقیقه‌ای با ۹۰ درصد VO2peak و دو دقیقه ریکاوری فعال بین هر وهله (۱۷).

برای طراحی یک جلسه فعالیت تناوبی شدید (HIE)[4] و یا یک دوره HIT، نیاز به متغیرهایی می‌باشد تا بتوان مدت‌زمان و شدت هر وهله و همچنین، مدت زمان و شدت مرحلهٔ ریکاوری را پایش مستمر نمود. این متغیرها براساس استفاده از چرخ کارسنج و یا نوارگردان این متغیرها متفاوت می‌باشد. روی چرخ کارسنج، از دو متغیر Pmax برای تعیین شدت فعالیت ورزشی و زمان تا واماندگی با Pmax (Tmax) برای تعیین مدت یک وهله HIE در طراحی برنامه‌های HIT بهره می‌گیرند (۶،۱۰،۱۸). همچنین، برای طراحی برنامه‌های HIT روی نوار گردان و یا به‌صورت میدانی، از ۲متغیر حداقل سرعت در VO2max (vVO2max)[5] و زمان تا واماندگی با vVO2max (Tmax) مانند موارد ذکرشده در چرخ کارسنج استفاده می‌شود (۷،۹،۱۹).

---

1. Little

۲ . حداکثر توان به‌دست‌آمده در آزمون VO2max

3. Gurd

4. High-intensity interval exercise

۵ . حداقل سرعت به‌دست‌آمده در آزمون VO2max

سازگاری‌های هوازی و بی‌هوازی تمرینات تناوبی شدید: مطالعات گسترده‌ای بهبود اجرای هوازی و بی‌هوازی را در هر دو مدل برنامهٔ کوتاه‌مدت و بلندمدت HIT گزارش نموده‌اند. همان‌طورکه در جدول۱ مشاهده می‌شود، این نوع تمرینات در آزمودنی‌های با سطح آمادگی متفاوت (غیرفعال، فعال و تمرین‌کرده) و در دوره‌های مختلف زمانی از دو تا هفت هفته و نیز با شیوه‌های متفاوت در اجرای برنامه (میدانی و چرخ کارسنج)، منجر به بهبود عملکرد هوازی و بی‌هوازی شده است (جدول۱).

جدول۱ـ بهبود اجرای هوازی و بی‌هوازی با تمرینات تناوبی شدید

پژوهشگر	آزمودنی‌ها	برنامهٔ تمرینی	دورهٔ تمرینی	اجرای هوازی	اجرای بی‌هوازی	منبع
بورگومستر و همکاران (۲۰۰۸)	۱۰ مرد و زن تمرین‌نکرده	چهار تا شش وهلهٔ شدید ۳۰ ثانیه‌ای با ۴/۵ دقیقه استراحت	شش هفته، سه جلسه در هفته	VO_{2peak}*	PPO* MPO*	(۲)
بیلی و همکاران (۲۰۰۹)	۱۵ مرد فعال	چهار تا هفت وهلهٔ شدید ۳۰ ثانیه‌ای با چهار دقیقه بازگشت به حالت اولیهٔ فعال	دو هفته، سه جلسه در هفته	VO_{2max}*	-	(۲۰)
اسپلیج و همکاران (۲۰۱۰)	۲۶ شناگر نوجوان	۳۰ دقیقه فعالیت تناوبی شدید	پنج هفته، پنج جلسه در هفته	VO_{2max}* T2000m**	Lacmax*	(۲۱)
بیاتی و همکاران (۲۰۱۱)	هشت مرد فعال	سه تا پنج وهلهٔ شدید ۳۰ ثانیه‌ای با چهار دقیقه بازگشت به حالت اولیهٔ فعال	چهار هفته، سه جلسه در هفته	VO_{2max}* P_{max}*	PPO* MPO*	(۲۲)
فرزاد و همکاران (۲۰۱۱)	۱۵ مرد کشتی‌گیر	چهار تا شش وهلهٔ پروتکل RAST با چهار دقیقه بازگشت به حالت اولیهٔ فعال	چهار هفته، دو جلسه در هفته	VO_{2max}* P_{max}*	PPO* MPO*	(۱۹)
آستورینو و همکاران (۲۰۱۲)	۱۱ مرد و نه زن فعال	چهار تا شش وهلهٔ شدید ۳۰ ثانیه‌ای با پنج دقیقه بازگشت به حالت اولیهٔ فعال	دو تا سه هفته، شش جلسه در مجموع	VO_{2max}* P_{max}*	PPO* MPO* MiPO*	(۲۳)
ویلیامز، پاترسون و کووال‌چوک (۲۰۱۳)	هشت مرد تمرین‌نکرده	هشت تا ۱۲ وهلهٔ شدید ۶۰ ثانیه ای با ۶۰ ثانیه بازگشت به حالت اولیه	چهار هفته، سه جلسه در هفته	VO_{2max}* P_{max}* T_{max}*	-	(۲۴)
اسفندیاری، ساسون و گودمن (۲۰۱۴)	هشت مرد تمرین‌نکرده	هشت تا ۱۲ وهلهٔ شدید ۶۰ ثانیه‌ای با ۷۵ ثانیه بازگشت به حالت اولیه	دو هفته، سه جلسه در هفته	VO_{2max}* P_{max}*	-	(۲۵)

VO2peak اوج اکسیژن مصرفی، VO2max حداکثر اکسیژن مصرفی، Pmax حداکثر توان در VO2max، PPO حداکثر برون‌ده توان، MPO میانگین برون‌ده توان، MiPO حداقل برون‌ده توان، Lacmax حداقل برون‌ده توان، T2000 m رکورد ۲۰۰۰ متر، * افزایش معنادار و ** کاهش معنادار.

سازگاری‌های درگیر در بهبود اجرا با تمرین تناوبی شدید: در این بخش، سازگاری‌های درگیر در بهبود اجرا در تمرینات تناوبی شدید ارائه شد که برای سهولت و حفظ یکپارچگی، مطالب در سه قسمت سازگاری‌های محیطی، عصبی و قلبی عروقی تفکیک شده‌اند.

سازگاری‌های محیطی با تمرینات تناوبی شدید: سازگاری‌های محیطی درون عضلهٔ اسکلتی، به‌سرعت در پی حتی یک برنامهٔ کوتاه‌مدت HIT نیز صورت می‌گیرد که به‌صورت مختصر می‌توان به افزایش سوبستراهای دردسترس عضله، تغییر در فعالیت‌های آنزیمی، افزایش نشانگرهای بیوژنز میتوکندریایی، بهبود ظرفیت بافرینگ عضله و غیره اشاره کرد (۲۶).

افزایش سوبستراهای دردسترس عضله: روداس[1] و همکاران (۲۰۰۰) افزایش معنادار فسفوکراتین (۳۱ درصد) و گلیکوژن عضلانی (۳۲ درصد) را پس از دو هفته HIT روزانه گزارش کردند (۲۷). بارنت[2] و همکاران (۲۰۰۴) نیز اثر هشت هفته HIT را در آزمودنی‌هایی که به‌گونهٔ تفریحی فعال بودند بررسی کردند. تمرینات موجب افزایش ۱۷ درصد در محتوای استراحتی گلیکوژن عضلانی شد (۲۸). بورگومستر[3] و همکاران (۲۰۰۵) افزایش محتوای گلیکوژن استراحتی عضله (۲۶ درصد) را با شش جلسه HIT در طول دو هفته گزارش کردند؛ اما غلظت‌های استراحتی ATP، PC و کراتین عضلانی تغییری نکرد (۱). جیبالا و همکاران[4] (۲۰۰۶) اثر دو نوع تمرین HIT (چهار تا شش وهله آزمون وینگیت با چهار دقیقه بازگشت به حالت اولیهٔ غیرفعال و یا فعالیت سبک در هر جلسه) و تمرین استقامتی (۱۲۰-۹۰ دقیقه دوچرخه‌سواری با ۶۵ درصد VO2peak) را بر سازگاری‌های عضلانی در مدت دو هفته بررسی کردند. آنها افزایش معنادار محتوای گلیکوژن عضلانی را در هر دو برنامه مشاهده نمودند (۱۲). لازم‌به‌ذکر است که کل مدت زمان هر دو برنامهٔ ورزشی را باید مدنظر داشته باشیم. کل زمان فعالیت در طول دو هفته در گروه HIT، ۱۵ دقیقه و در گروه تمرین استقامتی، ۶۳۰ دقیقه بوده است (۱۲). این نتایج بیانگر این موضوع است که تمرینات تناوبی شدید با حجم بسیار کم، محتوای سوبسترایی عضله را دستخوش تغییرات عمده می‌کند که حاکی از کارابودن و مقرون‌به‌صرفه‌بودن این‌گونه تمرینات از لحاظ زمانی می‌باشد. همچنین، فوربز[5] و همکاران (۲۰۰۸) کاهش ثابت زمان بازگشت به‌حالت اولیهٔ فسفوکراتین را با شش جلسه HIT گزارش کردند که به مفهوم افزایش میزان بازسازی فسفوکراتین می‌باشد (۲۹).

1. Rodas
2. Barnett
3. Burgomaster
4. Gibala
5. Forbes

تغییر در فعالیت‌های آنزیمی: از مهم‌ترین تغییرات زیست‌شیمیایی، تغییر در میزان و فعالیت آنزیم‌های مختلف درگیر در مسیرهای تولید انرژی تمرین است. اجرای HIT موجب افزایش در فعالیت هر دو آنزیم هوازی و بی‌هوازی می‌شود که دراین‌رابطه، پژوهشگران با پروتکل‌های مختلف HIT این سازگاری را گزارش کرده‌اند. دراین‌رابطه، مک‌دوگال[1] و همکاران (۱۹۹۸) افزایش معنادار فعالیت آنزیم‌های هگزوکیناز[2]، فسفوفروکتوکیناز[3]، سیترات سینتاز[4]، سوکسینات دهیدروژناز[5] و مالات دهیدروژناز[6] را پس از هفت هفته HIT گزارش کردند و نتیجه‌گیری کردند HIT می‌تواند موجب افزایش هر دو آنزیم‌های اکسایشی و گلیکولیتیکی شود (۳۰). پارا[7] و همکاران (۲۰۰۰) تمرینات تناوبی شدید را با تواتر تمرینی متفاوت بررسی کردند. آنها اثرات ۱۴ جلسه HIT را در طول دو هفته و یا در طول شش هفته مقایسه کردند. هر دو برنامه موجب افزایش معنادار در فعالیت آنزیم‌های گلیکولیتیکی فسفوفروکتوکیناز و آلدولاز[8] و فعالیت آنزیم‌های اکسایشی سیترات سینتاز و ۳-هیدروکسی آسیل کوآنزیم آ دهیدروژناز[9] شد؛ ولی درصد تغییرات در گروه دو هفته، بیش‌تر از گروه شش هفته بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که ۱۴ جلسه HIT، فعالیت آنزیم‌های گلیکولیتیکی و اکسایشی را بهبود می‌بخشد که این تغییرات به‌وسیلهٔ دوره‌های استراحت بین جلسات تمرین تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (۳۱). بورگومستر و همکاران (۲۰۰۵) افزایش حداکثر فعالیت سیترات سینتاز (۳۸ درصد) را با شش جلسه HIT در طول دو هفته گزارش کردند (۱). این شواهد گویای این موضوع است که تمرینات تناوبی شدید، هر دو سیستم تولید انرژی هوازی و بی‌هوازی را تحت فشار قرار می‌دهد و به‌عنوان یک شوک تمرینی عمل می‌کند؛ ازاین‌رو است که به تمرینات تناوبی شدید، تمرینات هایپوکسیک نیز گفته می‌شود.

افزایش نشانگرهای بیوژنز میتوکندریایی: در فرایند بیوژنز میتوکندریایی، تقریباً ۱۵۰۰ ژن سهیم هستند که مهم‌ترین تنظیم‌کنندهٔ آن PGC-1α[10] است که یک فاکتور فعال‌کنندهٔ همکارگیرندهٔ گامای فعال‌شده با تکثیر پروگسیزوم می‌باشد. PGC-1α به‌عنوان مهم‌ترین نشانگر بیوژنز میتوکندریایی، با HIT تنظیم مثبت می‌شود (۲۲،۳۲). دراین‌رابطه، بورگومستر و همکاران (۲۰۰۸)

1. MacDougall
2. Hexokinase
3. Phosphofructokinase
4. Citrate synthase
5. Succinate dehydrogenase
6. Malate dehydrogenase
7. Parra
8. Aldolase
9. 3-Hydroxyacyl-coA dehydrogenase
10. Peroxisome proliferator-activated receptor-γ coactivator-1α (PGC-1α)

افزایش شاخص‌های میتوکندریایی اکسایش کربوهیدرات و چربی عضلانی را با شش هفته HIT گزارش کردند. آنها نشان دادند مقدار پروتئین پیروات دهیدروژناز E1α[1] و حداکثر فعالیت ۳-هیدروکسی آسیل کوآنزیم آ دهیدروژناز و نیز محتوای پروتیینی PGC-1α با HIT افزایش می‌یابد. بر مبنای پژوهش آنها، مصرف گلیکوژن و فسفوکراتین پس از تمرینات کاهش یافت اما میزان اکسایش کربوهیدرات و چربی در هنگام فعالیت ورزشی، به‌ترتیب کاهش و افزایش داشت. آنها نتیجه‌گیری کردند HIT یک راهکار کارا از منظر زمانی برای افزایش ظرفیت اکسایشی عضلهٔ اسکلتی و ایجاد سازگاری‌های متابولیکی می‌باشد (۲). جیبالا (۲۰۰۹) اثر یک جلسه فعالیت تناوبی شدید را در شش آزمودنی فعال سالم بر بیوژنز میتوکندریایی بررسی کرد. چهار نوبت نمونه‌برداری عضلانی (در حالت پایه، بلافاصله بعد از اولین وهلهٔ وینگیت، بلافاصله بعد از چهارمین وهلهٔ وینگیت و سه ساعت بعد از چهارمین وهله) گرفته شدند. درنتیجه، یک جلسه تمرین تناوبی شدید فسفوریلاسیون AMPK[2] (زیربخش‌های α۱ وα۲) و پروتئین کیناز فعال‌شده توسط میتوژن p38 (p38 AMPK)[3] بلافاصله بعد از نوبت چهارم در مقایسه با پیش از تمرین بالاتر بود. بیان PGC-1α، تقریباً سه ساعت بعد از آخرین وهلهٔ تناوبی شدید نسبت به حالت استراحت، دو برابر افزایش داشت. باوجوداین، مقدار پروتئین PGC-1α بدون تغییر باقی ماند. از این نتایج می‌توان چنین نتیجه گرفت که مسیر پیام‌رسانی AMPK و MAPK -p38 برای PGC-1α ممکن است توجیه‌کنندهٔ توضیح‌دهندهٔ قسمتی از تغییرات متابولیکی ناشی از تمرین تناوبی شدید با حجم کم باشد که شامل بیوژنز میتوکندریایی و افزایش ظرفیت اکسیداسیون چربی و گلوکز می‌باشد (۳۲). لیتل و همکارن (۲۰۱۰) اثر شش جلسه تمرین HIT را بر سازگاری‌های متابولیکی، عملکردی و مولکولی مورد آزمایش قرار دادند. آنها فاکتورهای فعالیت آنزیم سیترات سنتاز، سیتوکروم C اکسیداز همچنین کل و فاکتور رونویسی میتوکندریایی A (Tfam)[4]، محتوای گلیکوژن استراحتی،GLUT-4[5]،SIRT1[6]، فاکتور تنفسی هسته‌ای۱ (NRF-1)[7] و همچنین، PGC-1α را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این شیوهٔ تمرین، یک روش مؤثر کاربردی با کارایی زمانی بالا است که در مدت زمان کوتاهی موجب سازگاری‌های میتوکندریایی از جمله بیوژنز میتوکندریایی و همچنین، افزایش فعالیت آنزیم‌های سیترات سنتاز و سیتوکروم C اکسیداز و نیز بالارفتن سطح گلیکوژن استراحتی

1. Pyruvate dehydrogenase E1α
2. AMP-activated protein kinase
3. P38 mitogen-activated protein kinase
4. Mitochondrial transcription factor A (Tfam)
5. Glucose transporter 4
6. Silent information regulator T1 (SIRT1)
7. Nuclear respiratory factor 1

می‌شود. همچنین، نشان داده شد که GLUT-4، SIRT1، NRF-1 و PGC-1α پس از HIT به‌گونهٔ معناداری افزایش پیدا می‌کنند (۱۶).

بهبود ظرفیت بافرینگ عضله: یکی از تغییرات متابولیکی در عضلهٔ اسکلتی پس از HIT، افزایش توانایی در بافرکردن یون هیدروژن (+H) می‌باشد. دراین‌رابطه، شارپ[1] و همکاران (۱۹۸۶) نشان دادند که ظرفیت بافرینگ عضله با هشت هفته تمرینات شدید روی چرخ کارسنج، به‌گونهٔ معناداری افزایش می‌یابد (۶). وستون[2] و همکاران (۱۹۹۷)، افزایش معنادار ظرفیت بافرینگ عضلات اسکلتی را تنها پس از سه هفته HIT مشاهده کردند. همچنین، آنها دریافتند رابطهٔ معناداری بین اجرای ۴۰ کیلومتر تایم‌تریل و ظرفیت بافرینگ عضلهٔ اسکلتی در دوچرخه‌سواران بسیار تمرین‌کرده وجود دارد. این یافته‌ها پیشنهاد می‌کنند بهبود اجرای هوازی در پی HIT ممکن است به‌واسطهٔ افزایش توانایی در بافرکردن یون هیدروژن (+H) باشد (۳۳). همچنین، جیبالا و همکاران (۲۰۰۶) افزایش معنادار ظرفیت بافرینگ عضلات اسکلتی را تنها پس از دو هفته HIT مشاهده کردند. از منظر بیوشیمیایی، ظرفیت عضله برای حفظ توان بیشینه به‌دلیل تحمل گلیکولیز بی‌هوازی (تحمل لاکتات)، بافرکردن اسیدهای متابولیکی و متابولیزه‌کردن منابع سوختی برای تولید انرژی به‌صورت هوازی می‌باشد (۱۲)؛ بنابراین، هنگامی که ظرفیت بافرینگ عضله در پی تمرینات تناوبی شدید افزایش می‌یابد ـ آن‌چنان‌که در پژوهش جیبالا و همکاران (۲۰۰۶) تنها با دو هفته HIT تحقق یافت ـ می‌توان انتظار داشت که فرد ورزشکار قابلیت حفظ توان بیشینهٔ خود را در دقایق پایانی مسابقه داشته باشد.

تغییرات لاکتات و ناقل‌های آن: افزایش ناقل‌های لاکتات عضلهٔ اسکلتی در پی یک دوره تمرین تناوبی شدید نیز گزارش شده است. دراین‌رابطه، پلگراد[3] و همکاران (۱۹۹۹) تأثیر تمرینات تناوبی شدید را بر انتقال سارکولمائی لاکتات و +H در عضلات اسکلتی بررسی کردند. در این مطالعه، پاسخ محتوی انتقال‌دهنده‌های لاکتات،MCT1 MCT4 و همچنین، میزان رهاسازی لاکتات و +H در خلال تمرین شدید نیز مورد بررسی قرار گرفت. پس از هشت هفته تمرین، نرخ انتقال لاکتات / +H در ویزیکول‌های سارکولمائی تهیه‌شده به‌میزان ۱۲ درصد افزایش معنادار یافت. همچنین، محتوای MCT1 و MCT4 در عضلات تمرین‌کرده به‌میزان ۷۲ درصد و ۳۲ درصد افزایش یافت. این پژوهشگران پیشنهاد کردند که تمرین تناوبی شدید می‌تواند افزایش ظرفیت انتقال لاکتات/ +H را در عضلات اسکلتی انسان افزایش دهد و این‌که توانایی عضلات اسکلتی در آزادسازی لاکتات و +H در خلال تمرین، بعد از یک دوره تمرین شدید افزایش می‌یابد (۳۴).

1. Sharp
2. Weston
3. Pilegaard

یکی دیگر از تغییرات متابولیکی در عضلهٔ اسکلتی پس از HIT، افزایش حداکثر غلظت لاکتات و کاهش لاکتات دورهٔ ریکاوری می‌باشد که ارتباط تنگاتنگی با بهبود ظرفیت بافرینگ عضله دارد. کریر[1] و همکاران (۲۰۰۴) به‌دنبال چهار هفته HIT، افزایش حداکثر غلظت لاکتات خون را گزارش کردند (۳۵). فرزاد و همکاران (۲۰۱۱) نیز به دنبال چهار هفته تمرین تناوبی شدید، افزایش حداکثر غلظت لاکتات خون و کاهش لاکتات خون در دورهٔ ریکاوری را در کشتی‌گیران تمرین‌کرده نتیجه گرفتند (۱۹). سازوکار افزایش حداکثر غلظت لاکتات که دارای یک سازوکار تسلسل‌وار می‌باشد به این صورت است که در پی تمرینات تناوبی شدید، قدرت عضلات، افزایش یافته (که این افزایش قدرت می‌تواند ناشی از تعدیلات در سیستم عصبی مرکزی (CNS)[2] باشد) و به‌دنبال آن، افزایش برون‌ده توان صورت می‌پذیرد. درنتیجهٔ افزایش برون‌ده توان، آزمودنی با توان بیشتری فعالیت ورزشی موردنظر را انجام می‌دهد که در این حالت، لاکتات بیشتری تولید می‌گردد. سپس، افزایش تولید لاکتات، سلول‌های میان‌بافتی لیدیگ[3] را تحریک کرده تا تولید و ترشح تستوسترون افزایش یابد که با افزایش تستوسترون، قدرت عضلات (یکی از کارکردهای هورمون تستوسترون افزایش قدرت عضلانی می‌باشد) افزایش پیدا می‌کند (۳،۶) و درنتیجه، این سازوکار چرخه‌ای ادامه می‌یابد (شکل۳).

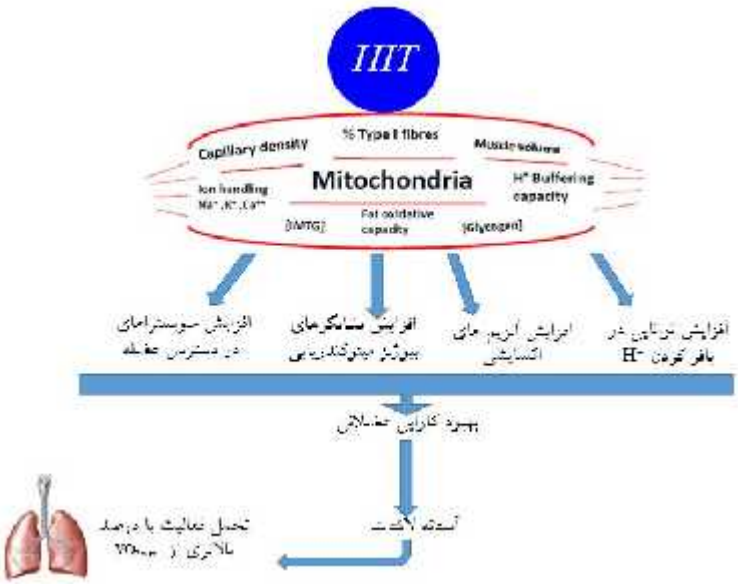
شکل۳ـ سازوکارهای افزایش حداکثر غلظت لاکتات در اثر تمرینات تناوبی شدید

1. Creer
2. Central nervous system
3. Interstitial cells of Leydig

تغییر در فنوتیپ تار: در رابطه با تغییر در نوع تار، جاکوبز[1] و همکاران (۱۹۸۷) به‌دنبال شش هفته HIT، افزایش معنادار درصد تارهای تند تنش اکسایشی (FTa)[2] و کاهش غیرمعنادار تارهای کند تنش (ST)[3] را گزارش کردند (۳۶). داوسون[4] و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند که شش هفته HIT، نسبت تارهای نوع II را افزایش داده و تارهای نوع I را به‌گونهٔ معناداری کاهش می‌دهد (۱۳). همچنین، جانسون[5] و همکاران (۱۹۹۰) اثر چهارتا شش هفته تمرین تناوبی شدید را بر نسبت تارها بررسی کردند. آنها افزایش نسبت تارهای نوع II را از ۳۲ درصد به ۳۸ درصد و کاهش نسبت تارهای نوع I را از ۵۷ درصد به ۴۸ درصد گزارش کردند (۳۷). هرچند تغییرات در زیرگروه‌های تارهای نوع دو به‌خوبی شناخته‌شده نمی‌باشد و نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد؛ اما به‌نظر می‌رسد که درصد تارهای نوع II b (FTb)، با تمرینات تناوبی شدید کم‌تر شود. دراین‌رابطه، لینوسیر و همکاران (۱۹۹۳) اثر هفت هفته تمرین تناوبی شدید بر نسبت تارها را بررسی کردند. آنها افزایش نسبت تارهای کند تنش و کاهش نسبت تارهای تند تنش نوع b را نشان دادند که این را واکنشی سازشی برای افزایش ظرفیت اکسایشی با تمرینات تناوبی شدید تحلیل کردند (۱۴). همچنین، آلمیر[6] و همکاران (۱۹۹۴) در پی شش هفته تمرین تناوبی شدید نشان دادند که درصد زنجیرهٔ سنگین میوزین (MHC)[7] تارهای FTb تمایل به کاهش داشت، درحالی که درصد MHC تارهای نوع FTa تمایل به افزایش را نشان داد (۶). این تغییر در کاهش تارهای FTb و افزایش تارهای نوع FTa در بهبود عملکرد هوازی و بی‌هوازی، با توجه به ویژگی‌های بینابینی (اکسایشی-گلیکولیتیکی) تارهای نوع FTa هم‌خوانی دارد.

درمجموع، آن‌چنان‌که در مدل شماتیک در شکل۴ ارائه شده است، تمرینات تناوبی شدید موجب سازگاری‌های محیطی در سطح عضلهٔ اسکلتی می‌گردد که درنهایت، منجر به بهبود اجرا می‌شود.

1. Jacobs
2. Fast twitch a
3. Slow twitch
4. Dawson
5. Jansson
6. Allemeier
7. Myosin heavy chain



شکل۴ـ مدل سازگاری‌های محیطی با تمرینات تناوبی شدید

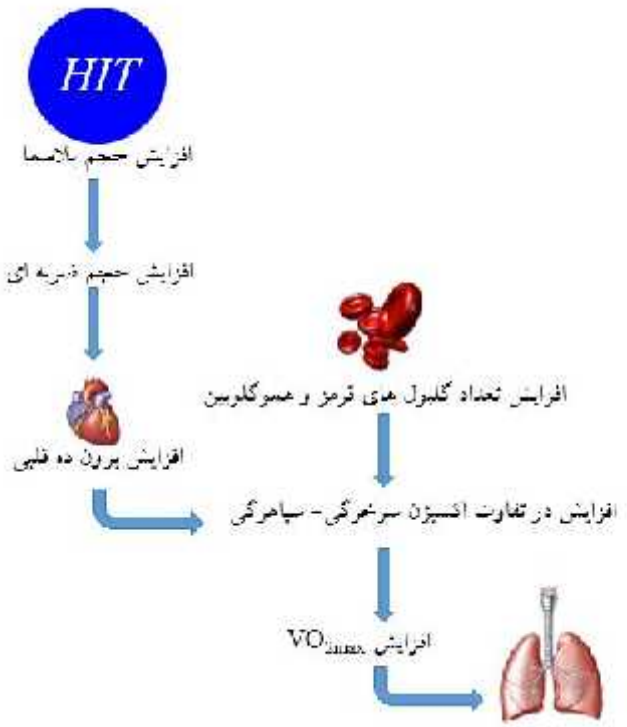
سازگاری‌های عصبی با تمرینات تناوبی شدید: از منظر سازگاری‌های عصبی، تغییراتی پس از یک دوره HIT روی می‌دهد که شامل افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی، فرکانس و هم‌زمانی واحدهای حرکتی می‌باشد که درنهایت، سبب افزایش نیرو، کارایی و هماهنگی عضلانی می‌شوند (۳۷). بهبود کارایی ناشی از سازگاری‌های عصبی، خستگی را به تأخیر انداخته و ورزشکاران را قادر می‌سازد تا سطوح بالاتری از تولید برون‌دۀ توان را تحمل کنند (۲۸). دراین‌رابطه، کریر و همکاران (۲۰۰۴) میزان فعال‌سازی واحدهای حرکتی را با چهار هفته HIT بررسی کردند. آنها افزایش فعال‌سازی واحدهای حرکتی را که به‌وسیلۀ EMG[1] مشخص شده بود مشاهده نمودند (۳۵). همچنین، نشان داده شده است که این نوع تمرینات، موجب افزایش سرعت هدایت عصبی (NVC)[2] و سرعت هدایت عضلانی (MVC)[3] می‌شود (۳). تغییر ترکیب نوع تارها در پی تمرینات تناوبی شدید ممکن است با الگوی تغییریافتۀ فعال‌سازی نوع تار عضلانی (افزایش تواتر تحریک) مرتبط باشد (۳۷).

سازگاری‌های قلبی عروقی با تمرین تناوبی شدید: سازگاری‌های قلبی عروقی نسبت به سازگاری‌های محیطی، به مدت زمان بیشتری نیاز دارند تا بتوانند منجر به بهبود اجرا گردند. این سازگاری‌ها

1. Electromyogram
2. Nerve conduction velocity
3. Muscle conduction velocity

به‌صورت مختصر شامل افزایش حجم پلاسما و حجم ضربه‌ای که پیامد آن افزایش برون‌ده قلب، افزایش تعداد گلبول‌های قرمز و هموگلوبین، افزایش در تفاوت اکسیژن سرخرگی ـ سیاهرگی و غیره است می‌باشد. بهبود در اجرای هوازی در اثر HIT می‌تواند به بهبود در حمل و تحویل اکسیژن به عضلات اسکلتی از طریق افزایش حجم ضربه‌ای، افزایش دانسیتهٔ مویرگی و میتوکندریایی و درنتیجه، افزایش برداشت اکسیژن توسط عضلات فعال نسبت داده شود (۱۹,۲۲). افزایش در حجم ضربه‌ای و VO2max پس از تمرینات تناوبی شدید در مردان سالم مشاهده شده است (۳۸). همچنین، افزایش در مقادیر VO2max که ناشی از افزایش ۸ درصد در برون‌ده قلبی و ۳/۶ درصد در تفاوت اکسیژن سرخرگی ـ سیاهرگی می‌باشد، پس از ۱۲ هفته تمرین تناوبی در ورزشکاران غیرنخبه گزارش شده است (۳۸). فرزاد و همکاران (۲۰۱۱) به‌دنبال چهار هفته تمرین تناوبی شدید، افزایش معنادار۷/۷ درصد حداکثر نبض اکسیژن، افزایش ۶/۷ درصد در مقدار هموگلوبین، افزایش ۴/۹ درصد در میانگین وزن هموگلوبین در گلبول قرمز و افزایش ۴/۴ درصد در میانگین غلظت هموگلوبین در گلبول قرمز را گزارش کردند (۱۹). دراین‌راستا، چندین پژوهش‌گر ارتباط نبض اکسیژن با حجم ضربه‌ای و اختلاف اکسیژن خون سرخرگی ـ سیاهرگی را مطالعه کرده‌اند. آنها هم‌بستگی معناداری را بین مقدار حجم ضربه‌ای و نبض اکسیژن پیشنهاد کردند (۳۹)؛ بنابراین، می‌توان افزایش حداکثر نبض اکسیژن در مطالعهٔ فرزاد و همکاران (۲۰۱۱) را برآورد غیرمستقیمی از افزایش حجم ضربه‌ای دانست (۱۹). ازطرف‌دیگر، لارسن[1] و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی تأثیر تمرین تناوبی شدید را بر پارامترهای هماتولوژیکی در دوچرخه‌سواران استقامتی تمرین‌کرده بررسی کردند. اجرای تایم‌تریل ۴۰ کیلومتر، VO2peak و ظرفیت بی‌هوازی در مطالعهٔ آنها به‌گونهٔ معناداری پس از چهار هفته تمرین افزایش یافت؛ ولی پارامترهای هماتولوژیکی و حجم پلاسما تغییری نکرد. آنها بیان کردند سازگاری‌های محیطی نسبت به سازگاری‌های مرکزی، مسئول بهبود اجرا می‌باشند (۴۰). آن‌چنان‌که در شکل۵ مدل شماتیک ارائه شده است، تمرینات تناوبی شدید موجب سازگاری‌های مرکزی می‌گردد.

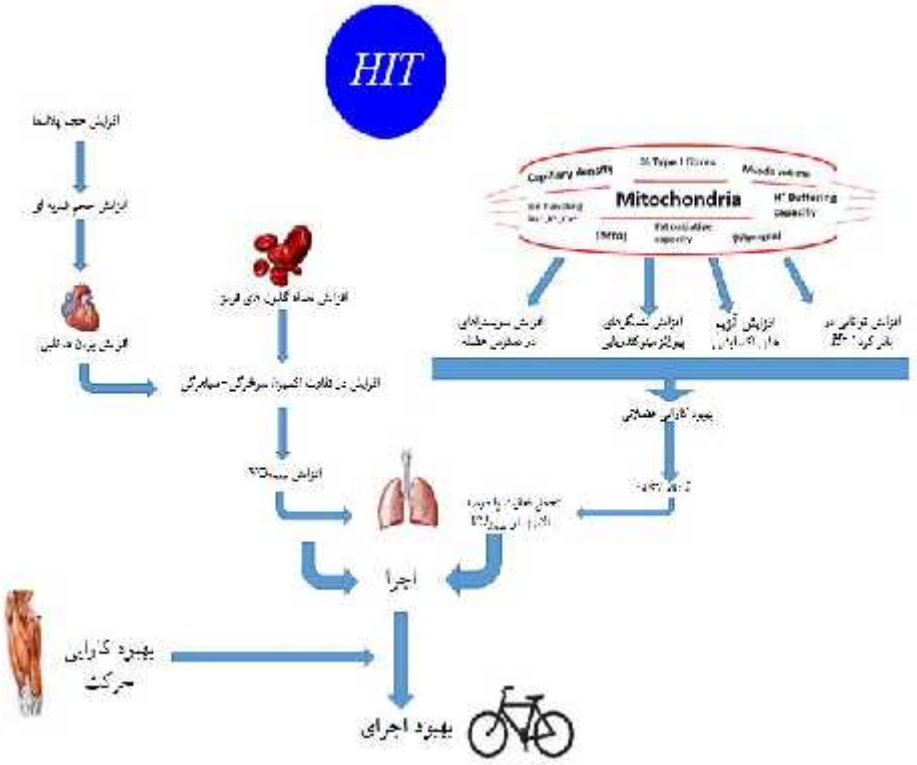
1. Laursen



شکل۵ـ مدل سازگاری‌های قلبی عروقی با تمرینات تناوبی شدید

نتیجه گیری

مطالعهٔ حاضر، سازگاری‌های فیزیولوژیکی عملکرد در پی تمرین تناوبی شدید را مورد بحث قرار داده است. دراین‌رابطه، مطالعات متعددی بهبود اجرای هوازی و بی‌هوازی را در اثر یک دوره HIT گزارش کرده‌اند که این بهبود را می‌توان به تعامل نزدیک و هم‌زمانی سازگاری‌های محیطی (در درون سلول عضلهٔ اسکلتی)، عصبی (واحدهای حرکتی و CNS) و سازگاری‌های قلبی عروقی نسبت داد؛ بنابراین، با به‌کارگیری این تمرینات می‌توان دامنهٔ وسیعی از سازگاری‌های متابولیکی و عملکردی که موجب بهبود هر دو سیستم هوازی و بی‌هوازی می‌شوند را انتظار داشت (۱۳،۱۱،۳). تعامل سیستمی بین سازگاری‌های محیطی، عصبی و قلبی عروقی با تمرینات تناوبی شدید که درنهایت، موجب بهبود اجرا می‌گردد در شکل۶ ارائه شده‌است.



شکل۶ـ مدل تعامل سازگاری‌های محیطی، عصبی و قلبی عروقی با تمرینات تناوبی شدید

این نتایج بیانگر این موضوع است که تمرینات تناوبی شدید با حجم بسیار کم، بدن را دستخوش تغییرات عمده‌ای می‌کند که حاکی از کارابودن و مقرون‌به‌صرفه‌بودن این‌گونه تمرینات از لحاظ زمانی می‌باشد. البته، ناگفته‌های بسیاری نیز وجود دارند که در پی پژوهش‌های آتی معلوم خواهند شد؛ به‌عنوان‌مثال، از لحاظ علم تمرین، اصل ویژگی تمرین و تمرینات HIT محل تأمل است و این که آیا این نوع از تمرینات برای ورزشکاران رشته‌های خاصی سودمندتر از دیگران است یا خیر؟ و سؤالات دیگری از قبیل این‌که چه مدت زمان (ثبات) سازگاری کسب‌شده در پی این نوع تمرینات حفظ می‌گردد؟ و این‌که از لحاظ پزشکی، مداخلات و سازوکار سلولی ـ مولکولی این تمرینات در بیماری‌های غیرواگیر از قبیل دیابت، چاقی و بیماری‌های قلبی عروقی چگونه است؟

منابع

1) Burgomaster K A, Hughes S C, Heigenhauser G J, Bradwell S N, Gibala M J. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. J Appl Physiol (1985). 2005; 98(6): 1985-90.

2) Burgomaster K A, Howarth K R, Phillips S M, Rakobowchuk M, Macdonald M J, McGee S L, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. J Physiol. 2008; 586(1): 151-60.

۳) بیاتی مهدی, قراخانلو رضا, آقاعلی‌نژاد حمید, فرزاد بابک. اثر ۴ هفته تمرین تناوبی شدید بر شاخص‌های منتخب فیزیولوژیکی و متابولیکی مردان فعال. پژوهش‌نامهٔ فیزیولوژی ورزشی کاربردی. ۱۳۸۹؛ ۶(۱۱): ۱۰۷ـ۲۴.

4) Billaut F, Bishop D. Muscle fatigue in males and females during multiple-sprint exercise. Sports Med. 2009; 39(4): 257-78.

5) Gibala M J, McGee S L. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: A little pain for a lot of gain? Exerc Sport Sci Rev. 2008; 36(2): 58-63.

۶) بیاتی مهدی. اثر دو تمرین تناوبی شدید (HIT) بر اجرای هوازی و بی هوازی مردان فعال. دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۸.

۷) فرزاد بابک. اثر ۴ هفته تمرین تناوبی شدید (HIT) بر اجرای هوازی و بی‌هوازی کشتی‌گیران. دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۸.

۸) قراخانلو رضا، بیاتی مهدی، امانی‌شلمزاری صادق. فیزیولوژی کاربردی ورزش سه‌گانه. تهران: نشر حتمی؛۱۳۹۰. ص. ۱۳۲.

۹) یوسفی وحید. اثر یک‌دورهٔ کوتاه‌مدت تمرین تناوبی شدید (HIT) بر اجرای هوازی و بی‌هوازی مردان فعال. دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۸.

10) Laursen P B, Jenkins D G. The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. Sports Med. 2002; 32(1): 53-73.

۱۱) بیاتی مهدی، قراخانلو رضا، آقاعلی‌نژاد حمید، فرزاد بابک. تأثیر برنامهٔ تمرین تناوبی سرعتی شدید بر اجرای هوازی و بی‌هوازی مردان تمرین‌نکرده. نشریهٔ فیزیولوژی ورزشی. ۱۳۹۰؛ ۸(۱): ۴۰ـ۲۵.

12) Gibala M J, Little J P, Van Essen M, Wilkin G P, Burgomaster K A, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. J Physiol. 2006; 575(3): 901-11.

13) Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1998; 78(2): 163-9.

14) Linossier M T, Denis C, Dormois D, Geyssant A, Lacour J R. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1993; 67(5): 408-14.

15) Gibala M J, Little J P, Macdonald M J, Hawley J A. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol. 2012; 590 (5): 1077-84.

16) Little J P, Safdar A, Wilkin G P, Tarnopolsky M A, Gibala M J. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: Potential mechanisms. J Physiol. 2010; 588(6): 1011-22.

17) Gurd B J, Perry C G, Heigenhauser G J, Spriet L L, Bonen A. High-intensity interval training increases SIRT1 activity in human skeletal muscle. Appl Physiol Nutr Metab. 2010; 35(3): 350-7.

18) Laursen P B, Blanchard M A, Jenkins D G. Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee. 2002; 27(4): 336-48.

19) Farzad B, Gharakhanlou R, Agha-Alinejad H, Curby D G, Bayati M, Bahraminejad M, et al. Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. J Strength Cond Res. 2011; 25(9): 2392-9.

20) Bailey S J, Wilkerson D P, Dimenna F J, Jones A M. Influence of repeated sprint training on pulmonary O2 uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. J Appl Physiol (1985). 2009; 106(6): 1875-87.

21) Sperlich B, Zinner C, Heilemann I, Kjendlie P L, Holmberg H C, Mester J. High-intensity interval training improves VO (2peak), maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9-11-year-old swimmers. Eur J Appl Physiol. 2010; 110(5): 1029-36.

22) Bayati M, Farzad B, Gharakhanlou R, Agha-Alinejad H. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out' sprint interval training. J Sports Sci Med. 2011; 10(3): 571-6.

23) Astorino T A, Allen R P, Roberson D W, Jurancich M. Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO2max, and muscular force. J Strength Cond Res. 2012; 26(1): 138-45.

24) Williams A M, Paterson D H, Kowalchuk J M. High-intensity interval training speeds the adjustment of pulmonary O2 uptake, but not muscle deoxygenation, during moderate-intensity exercise transitions initiated from low and elevated baseline metabolic rates. J Appl Physiol (1985). 2013; 114(11): 1550-62.

25) Esfandiari S, Sasson Z, Goodman J M. Short-term high-intensity interval and continuous moderate-intensity training improve maximal aerobic power and diastolic filling during exercise. Eur J Appl Physiol. 2014; 114(2): 331-43.

۲۶) فرزاد بابک، قراخانلو رضا، آقاعلی‌نژاد حمید، بهرامی‌نژاد مرتضی، بیاتی مهدی، محرابیان فرهاد و همکاران. اثر ۴ هفته تمرین تناوبی سرعتی فوق‌بیشینه بر برخی عوامل فیزیولوژیک، هورمونی و متابولیک. مجلهٔ غدد درون‌ریز و متابولیسم ایران. ۱۳۸۹؛ ۱۲(۱): ۴۱-۳۴.

27) Rodas G, Ventura J L, Cadefau J A, Cusso R, Parra J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. Eur J Appl Physiol. 2000; 82(5-6): 480-6.

28) Barnett C, Carey M, Proietto J, Cerin E, Febbraio M A, Jenkins D. Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. J Sci Med Sport. 2004; 7(3): 314-22.

29) Forbes S C, Slade J M, Meyer R A. Short-term high-intensity interval training improves phosphocreatine recovery kinetics following moderate-intensity exercise in humans. Appl Physiol Nutr Metab. 2008; 33(6): 1124-31.

30) MacDougall J D, Hicks A L, MacDonald J R, McKelvie R S, Green H J, Smith K M. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. J Appl Physiol (1985). 1998; 84(6): 2138-42.

31) Parra J, Cadefau J A, Rodas G, Amigo N, Cusso R. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. Acta Physiologica Scandinavica. 2000; 169(2): 157-65.

32) Gibala M. Molecular responses to high-intensity interval exercise. Appl Physiol Nutr Metab. 2009; 34(3): 428-32.

33) Weston A R, Myburgh K H, Lindsay F H, Dennis S C, Noakes T D, Hawley J A. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1997; 75(1): 7-13.

۳۴) نیکویی روح‌اله. تأثیر تمرین استقامتی بر محتوای پروتئینی و بیان ناقل‌های سارکولمایی و میتوکندریایی لاکتات در رت‌های سالم و دیابتی نوع ۲. دانشگاه خوارزمی؛ ۱۳۸۹.

35) Creer A R, Ricard M D, Conlee R K, Hoyt G L, Parcell A C. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. Int J Sports Med. 2004; 25(2): 92-8.

36) Jacobs I, Esbjornsson M, Sylven C, Holm I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. Med Sci Sports Exerc. 1987; 19(4): 368-74.

37) Jansson E, Esbjornsson M, Holm I, Jacobs I. Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. Acta Physiologica Scandinavica. 1990; 140(3): 359-63.

38) Wisloff U, Ellingsen O, Kemi O J. High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? Exerc Sport Sci Rev. 2009; 37(3): 139-46.

۳۹) فرزاد بابک، قراخانلو رضا، بیاتی مهدی، آقاعلی‌نژاد حمید، بهرامی‌نژاد مرتضی، محرابیان فرهاد و همکاران. اثر یک دوره تمرین تناوبی شدید بر منتخبی از شاخص‌های عملکرد هوازی، بی‌هوازی و هماتولوژیکی ورزشکاران. نشریهٔ فیزیولوژی ورزشی. ۱۳۹۰؛ ۸(۲): ۸۸ـ۶۹.

40) Laursen P B, Shing C M, Peake J M, Coombes J S, Jenkins D G. Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. J Strength Cond Res. 2005; 19(3): 527-33.

ارجاع دهی به روش ونکوور

بیاتی مهدی، قراخانلو رضا، فرزاد بابک. سازگاری‌های فیزیولوژیکی عملکرد در پی تمرینات تناوبی شدید. فیزیولوژی ورزشی. تابستان ۱۳۹۴؛ ۷(۲۶): ۳۲-۱۵.

Adaptations of physiological performance following high-intensity interval training

M. Bayati[1], R. Gharakhanlou[2], B. Farzad[3]

1. PhD student at Tarbiat Modares University
2. Associate professor at Tarbiat Modares University*
3. PhD student at Kharazmi University

Received date: 2014/05/30 **Accepted date: 2014/10/28**

Abstract

The objective of this study was to perform a narrative review of the literature to determine the adaptations of physiological performance following high-intensity interval training (HIT). High-intensity interval training generally refers to repeated bouts of relatively brief intermittent exercise, often performed with an all-out effort or at intensity close to that which elicits VO2peak. Depending on the training intensity, a single effort may last from a few seconds to up to several minutes, with multiple efforts separated by up to a few minutes of rest or low-intensity exercise. An apparent characteristic of this type of training is the very low training volume. A single high-intensity exercise bout requires the ATP provision of both aerobic and anaerobic metabolism. By increasing the intense frequent bouts and performing in an intermittent practice with recovery among the bouts, the demand of the muscular cells and metabolic pathways will change and then alter contribution of aerobic metabolism for ATP provision. As a result, both aerobic and anaerobic energetic systems are involved in ATP resynthesis. Overall, Physiological adaptations involving in performance improvement following HIT can refer to closed and synchronized interactions of peripheral adaptations (in skeletal muscle), neural (motor unites and CNS) and cardiovascular adaptations. Therefore, by applying this type of training can expect a wide range of metabolic and performance adaptations that result in improvement of both aerobic and anaerobic systems. These findings show that high-intensity interval training with very low volume can cause major adjustments in body and suggests high-intensity interval training is a time-efficient strategy.

Keywords: High-intensity interval training, Aerobic and anaerobic performance, Adaptation

Corresponding author E-mail: ghara_re@modares.ac.ir*