

کمی سازی ارتباط بین حجم و شدت دویدن وامانده ساز بر روی نوارگردان در مردان جوان فعال

معرفت سیاه کوهیان^{۱*}، لیلیا فصیحی^۲، آیدین ولی زاده^۳، لطفعلی بلبلی^۴، عباس نقی زاده باقی^۵

۱. استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

۳. استادیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴. دانشیار گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۵. دانشیار گروه مدیریت ورزشی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*نشانی نویسنده مسئول: اردبیل، خیابان دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، همراه: ۰۹۱۴۴۵۱۱۴۳۵

Email: m_siahkohian@uma.ac.ir

وصول: ۱۳۹۸/۱۰/۵ اصلاح: ۱۳۹۹/۱/۱۸ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۵

چکیده

مقدمه و هدف: ارتباط بین حجم و شدت تمرین به عنوان مولفه های کلیدی تمرین، موضوعی بسیار مهم و موثر برای اکثر مربیان است. لذا هدف از اجرای پژوهش حاضر کمی سازی ارتباط بین حجم تمرین و شدت تمرین مردان جوان فعال در طول دویدن وامانده ساز روی نوارگردان بود.

روش شناسی: به همین منظور، تعداد ۳۲ نفر از مردان جوان فعال با دامنه سنی ۲۱ سال به عنوان آزمودنی انتخاب و به صورت جداگانه در چهار جلسه مجزا دویدن با شدت ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی را با حداقل ۷۲ ساعت فاصله زمانی انجام دادند ارتباط بین حجم و شدت تمرین با استفاده از رگرسیون غیر خطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته ها: یافته ها نشان داد که ارتباط معکوس بین حجم و شدت دویدن وامانده ساز روی نوارگردان از تابع درجه ۲ غیرخطی تبعیت می کند که در آن حجم تمرین، متغیر وابسته و شدت تمرین به عنوان متغیر مستقل عمل می کند.

بحث و نتیجه گیری: بر اساس نتایج به دست آمده می توان نتیجه گیری نمود که ارتباط معکوس بین حجم و شدت دویدن وامانده ساز روی نوارگردان خطی نیست و بر همین اساس، به منظور برآورد حجم تمرین بر اساس شدت، معادله مربوطه برازش شد که می تواند برای مربیان و پژوهشگران علوم ورزشی مفید واقع شود.

واژه های کلیدی: حجم تمرین، شدت تمرین، رگرسیون چند جمله ای.

مقدمه

در یک جلسه تمرینی است (۲). به عبارت دیگر، هرچه در واحد زمان معینی کار بیشتری انجام شود، شدت تمرین بالاتر خواهد بود (۳). در برنامه ریزی تمرینات، افتراق بین حجم و شدت تمرین در برخی از رشته های ورزشی دشوار است؛ به طور نمونه، زمانی که شناگری به سرعت شنا می کند، مسافت و مدت زمان فعالیت، نشان دهنده حجم تمرین بوده و تندی اجرا، نشان دهنده شدت تمرین است (۴). تأکید متفاوت بر این

حجم و شدت تمرین، مهمترین مؤلفه های تمرینی است که به طور معمول در برنامه های مختلف تمرینی بسته به اهداف اصلی دستخوش تغییر می شوند؛ در واقع، اثربخشی هر برنامه تمرینی، بستگی به این مؤلفه ها دارد (۱). حجم تمرین جزء کمی تمرین بوده و به کل فعالیت در طی برنامه تمرینی اشاره می کند، از طرف دیگر، شدت تمرین جزء کیفی انجام کارها

اجزاء، اثرات متفاوتی بر سازگاری و وضعیت تمرینی بر جای می گذارد (۵).

به همین ترتیب، تعیین ترکیب مطلوب حجم و شدت کار، بسیار دشوار است و معمولاً به ویژگی های رشته ای ورزشی بستگی دارد. تعیین ترکیب مطلوب حجم و شدت در رشته های ساده که روش های عینی ارزیابی وجود دارد، به راحتی صورت می گیرد ولی در دیگر رشته های ورزشی، مانند رشته های تیمی، ژیمناستیک و شمشیربازی میزان کل فعالیت ها، عناصر تکنیکی، تکرارها، مسافت و سرعت انجام آن ها و ارتباط بین اجزای تشکیل دهنده ی تمرین، تعیین ترکیب مطلوب بین حجم و شدت را با مشکل مواجه می سازد. با این حال، اغلب، مدت زمان یک جلسه تمرین یا تعداد تکرارها، ابزار اصلی مورد استفاده در محاسبه ی حجم تمرین و سرعت انجام کار و یا میزان کار انجام شده در واحد زمان معمولاً به شدت تمرین اشاره دارد (۶). طبیعتاً رابطه بین حجم و شدت تمرین معکوس است. شدت تمرین هر چه بیشتر باشد، حجم تمرین کمتر می شود (۷، ۸). با این حال، با وجود رابطه معکوس بین حجم و شدت تمرین، هنوز چگونگی و ماهیت این رابطه معکوس مشخص نیست. گرچه در مرور ادبیات تحقیق، بومپا نشان داده است اگر شدت تمرین یک دوندۀ سرعت تا ۴۰ درصد کاهش یابد، می توان حجم کار او را به میزان ۴۰ تا ۵۰۰ درصد افزایش داد (۱)، ولی بغیر از مورد فوق الذکر، در مرور ادبیات تحقیق، در مورد چگونگی رابطه معکوس بین حجم و شدت تمرین به خصوص در طول فعالیت های استقامتی مانند دویدن هیچ مطالعه ای به چشم نمی خورد! به عبارت دیگر، هنوز در ادبیات تحقیق نشان داده نشده است که اگر شدت تمرین در حد معینی افزایش پیدا کند، حجم تمرین چه قدر کاهش پیدا می کند. حال نکته اساسی که می تواند مطرح می شود این است که در طول فعالیت بدنی استقامتی مانند دویدن، اگر شدت تمرین از ۷۰ درصد به ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی و یا از ۸۰ درصد به ۹۰ درصد ضربان قلب بیشینه افزایش یابد، حجم تمرین چند دقیقه کاهش پیدا می کند؟ آیا رابطه معکوس بین حجم و شدت تمرین خطی است؟ به عبارت دیگر، آیا سهم تغییرات حجم تمرین در شدت های مختلف برابر است؟ از این رو مطالعه حاضر با هدف کمی سازی ارتباط بین حجم و شدت تمرین در طول دویدن به روی نوارگردان با شدت های ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰

حداکثر اکسیژن مصرفی توسط مردان جوان فعال به اجرا در آمد تا اولاً معلوم شود که افزایش شدت تمرین، چه کاهشی را در حجم (مدت زمان دویدن) ایجاد می کند و ثانیاً معادله ریاضی مربوط به تغییرات حجم در برابر شدت تمرین در مردان جوان فعال برآزش شود.

روش ها

سی و دو جوان فعال با میانگین \pm انحراف معیار سنی $20/24 \pm 2/08$ سال، قد $172/78 \pm 5/19$ سانتی متر، وزن $65/60 \pm 7/24$ کیلوگرم و حداکثر مصرف اکسیژن $47/52 \pm 3/11$ میلی لیتر / کیلوگرم / دقیقه، به صورت در دسترس انتخاب و به عنوان آزمودنی مورد مطالعه قرار گرفتند. داشتن حداکثر مصرف اکسیژن بالای ۴۰ میلی لیتر / کیلوگرم / دقیقه به عنوان مبنای فعال بودن آزمودنی مد نظر قرار گرفت (۱۲). همه آزمودنی ها، فعال، غیر سیگاری بوده و هیچ مشکل و محدودیتی از نظر ارتوپدی یا عارضه پاتولوژیک نداشتند و تحت هیچ نوع معالجه پزشکی نبودند. افراد حداقل ۵ روز قبل از تحقیق هیچ برنامه تمرینی را انجام ندادند. این مطالعه مطابق با اعلامیه هلسینکی و کمیته اخلاق تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی با کد 901314107 انجام شد. به افراد آموزش داده شد که رژیم غذایی متداول خود را حفظ کنند و از آنها خواسته شد که از انجام فعالیت بدنی در طول مطالعه خودداری کنند (۹). شرایط استاندارد محیطی (دمای محیط ۲۳-۲۰ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۶۵-۵۵ درصد) در طول جلسات تمرین و آزمون های مختلف رعایت شد. همه تمرینات بهنگام قبل (۸ تا ۱۲) و بعد از ظهر (۱۴ تا ۱۸) انجام شد.

همه آزمون ها و اصول کار قبل از شرکت آزمودنی ها در برنامه تحقیق به آنها توضیح داده شد. همه آزمودنی ها در همه آزمون ها از تی شرت نخ، کفش و شورت ورزشی استفاده کردند. آزمون های تمرینی در سه مرحله جداگانه انجام شد. هر مرحله با فواصل زمانی ۷۲ ساعت انجام شد. ابتدا، هر آزمودنی آزمون های مربوط به متغیرهای جسمانی و ترکیب بدن را انجام داد. در مرحله دوم، آزمون استاندارد بروس با هدف تعیین ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی اجرا شد (۱۰)، (۱۱) و ضربان قلب و سرعت متناظر با این نقاط تعیین گردید. سرانجام چهار پروتکل تمرینی مجزا بر روی تردمیل در چهار مرحله جداگانه با حداقل ۷۲ ساعت فواصل استراحت، با شدت ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی به

اجرا در آمد. تشويق كلامی برای تلاش بیشینه توسط آزمودنی‌ها در طول اجرای آزمون‌ها انجام شد.

روش اجرای آزمون استاندارد بروس

قبل از دویدن روی تردمیل، ابتدا، آزمودنی‌ها به مدت ۵ دقیقه روی یک صندلی نشسته و استراحت کردند. آزمون بروس بعد از ۱۰ دقیقه گرم کردن با سرعت ۱/۷ کیلومتر در ساعت و با شیب به میزان ۱۰ درصد آغاز شد. در هر سه دقیقه، شیب تردمیل ۲ درصد و سرعت ۰/۸ کیلومتر در ساعت مطابق پروتکل استاندارد افزایش یافت تا آزمودنی‌ها به مرحله واماندگی برسند (۱۲). تهویه ریوی (VE)، اکسیژن مصرفی (VO_2) و دی‌اکسید کربن دفعی (VCO_2) در فواصل ۵ ثانیه با استفاده از دستگاه تجزیه و تحلیل گازهای تنفسی PowerCube-Ergo, Ganshorn Medizin Electronic GmbH, (Germany) اندازه‌گیری شد. این دستگاه مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده آن، قبل از اجرای آزمون کالیبره می‌شد و همچنین پس از استفاده برای ۱۰ نفر مجدداً کالیبره می‌شد.

بالاترین مقدار VO_2 در طول آزمون فزاینده بروس، زمانی به عنوان مقدار VO_{2peak} در نظر گرفته شد که یکی از چهار معیار زیر در آزمودنی‌ها مشاهده شد: (الف) فلات در VO_2 با وجود افزایش سرعت نوارگردان؛ (ب) نسبت تبادل تنفسی بالاتر از ۱/۲؛ (ج) مشاهده ضربان قلب بیشینه برابر با ۱۰۰ درصد معادله ۲۲۰ - سن؛ و (د) واماندگی آزمودنی به تشخیص آزمون‌گر (۱۲). آستانه اول و دوم تهویه‌ایی به طور خودکار با استفاده از نرم افزار کامپیوتری تعیین شد. در واقع، در این مدل تهویه ریوی نسبت به حجم اکسیژن مصرفی (VE/VO_2) افزایش و نسبت به دی‌اکسید کربن تولیدی (VE/VCO_2) با عدم افزایش همراه است (۱۳). آستانه تهویه دوم، به عنوان نقطه ای که در آن افزایش سریع VE/VCO_2 و افت فشار سهمی CO_2 رخ می‌دهد، تعیین شد (۱۴). هر دو آستانه تهویه‌ایی اول و دوم توسط محققان با تجربه تعیین و ثبت شد.

پروتکل‌های دویدن وامانده‌ساز

قبل از انجام هر یک از پروتکل‌های دویدن وامانده‌ساز، آزمودنی‌ها به مدت ۱۰ دقیقه گرم کردند. هر یک از پروتکل‌های وامانده‌ساز، با سرعت چهار کیلومتر بر ساعت شروع شده و در هر دقیقه به میزان یک کیلومتر در ساعت

افزایش یافت تا آزمودنی به مرحله واماندگی برسد. ضربان قلب و سرعت متناظر با ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد اکسیژن مصرفی (VO_{2peak}) برآورد شد. در طول اجرای پروتکل‌های دویدن وامانده‌ساز دمای محیطی بین ۲۰ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد.

اندازه‌گیری‌های آنروپومتریک

برای برآورد درصد چربی بدن به عنوان متغیر کنترلی، اندازه‌گیری ضخامت چربی زیر پوست از سه نقطه سینه، شکم و ران انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در حالت طبیعی بدن انجام گرفت (خشک بودن و گرم نبودن پوست). برای از بین بردن خطای اندازه‌گیری، تنها یک نفر کارشناس زنده سنجش چربی زیر پوستی را انجام داد. از چربی سنج مدل لافایت ساخت کشور انگلیس برای اندازه‌گیری ضخامت چربی پوست بر حسب میلی‌متر استفاده شد. چگالی بدن با استفاده از معادله جکسون و پولاک تعیین شد (۱۵، ۱۶). چربی نسبی بدن با استفاده از معادله سیری محاسبه شد (۱۷، ۱۸). برای پیشگیری از تاثیر تجمع آب میان بافتی بر ضخامت چربی زیر پوستی، تمام متغیرهای آنروپومتریک و ترکیب بدن بعد از گذشت ۱۴ ساعت از آخرین جلسه تمرین اندازه‌گیری شد. شاخص توده بدنی از تقسیم کردن وزن (کیلوگرم) بر مربع قد (متر) به دست آمد (۱۹).

محاسبه هزینه انرژی

هزینه انرژی مصرفی آزمودنی‌ها، با استفاده از تبدیل VO_2 به کیلوکالری برآورد شد. فرض بر این شد که یک میلی لیتر اکسیژن مصرفی تقریباً پنج کیلو کالری انرژی تولید می‌کند (۲۰، ۲۱). میزان مصرف اکسیژن بدن با استفاده از VO_2 و VCO_2 تنفس اندازه‌گیری شد و نسبت تبادل تنفسی از این مقادیر محاسبه شد (۱۳، ۲۲، ۲۳). برای توصیف داده‌ها از میانگین و انحراف استاندارد استفاده شد. برای بررسی تفاوت مسافت طی شده در هر یک از پروتکل‌های وامانده‌ساز و محاسبه هزینه انرژی، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شد. میزان خطا در حد پنج صدم مورد توجه قرار گرفت ($P \leq 0.05$). در تحلیل داده‌ها تنها از داده‌های حالت پایدار در هر یک از پروتکل‌های وامانده‌ساز استفاده شد. و به عنوان میانگین \pm انحراف معیار ثبت شد. از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط بین متغیرها استفاده شد. ارتباط معکوس بین

حجم و شدت تمرین با استفاده از رگرسین غیرخطی محاسبه شد.

یافته ها

میانگین و انحراف استاندارد ویژگی های ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی آزمودنی ها در جدول ۱ به صورت خلاصه ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی های ترکیب بدنی و فیزیولوژیکی آزمودنی ها

متغیر	میانگین و انحراف استاندارد
سن (سال)	۲۱/۰۹±۲/۰۸
قد (سانتی متر)	۱۷۲/۷۸±۵/۱۹
وزن (کیلو گرم)	۶۵/۶۰±۷/۲۴
چربی بدن (درصد)	۱۱/۰۷±۴/۸۶
توده بدون چربی (کیلوگرم/مترمربع)	۶۰/۵۷±۷/۶۲
حداکثر اکسیژن مصرفی (کیلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۴۷/۵۲±۳/۱۱

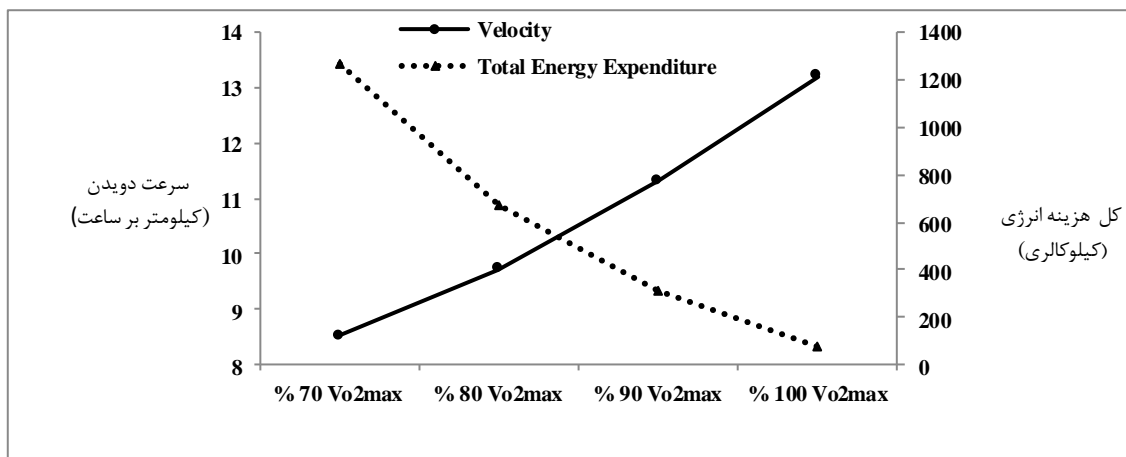
میانگین و انحراف استاندارد کل مسافت طی شده، سرعت، و سایر مقادیر فیزیولوژیکی در طول دویدن با ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای عملکردی و فیزیولوژیکی آزمودنی ها

متغیر	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
درصد حداکثر اکسیژن مصرفی				
مسافت طی شده (کیلو متر)	۱۷/۰۸±۳/۱۵	۸/۹۸±۲/۴۹	۴/۶۹±۲/۰۲	۱/۱۸±۱/۰۵
سرعت دویدن (کیلو متر بر ساعت)	۸/۵۱±۰/۵۱	۹/۷۲±۰/۶۸	۱۱/۳۲±۰/۹۱	۱۳/۲۱±۰/۹۳
ضربان قلب (ضربه دقیقه)	۱۴۱/۰۳±۵/۸۴	۱۵۹/۵۳±۶/۲۱	۱۸۰/۰۹±۷/۲۷	۲۰۰/۳۴±۸/۲۸
حجم اکسیژن مصرفی (میلی لیتر/کیلوگرم/دقیقه)	۳۱/۷۳±۱/۷۱	۳۵/۷۸±۴/۳۱	۴۱/۲۳±۳/۰۵	۴۷/۵۲±۳/۱۱
کل هزینه انرژی (کیلو کالری)	۱۲۶۳/۶۰±۲۸۸/۱۸	۶۶۸/۲۷±۱۸۸/۱۹	۳۰۷/۷۳±۹۴/۴۳	۷۸/۱۶±۴۶/۲۳

سرعت دویدن و هزینه انرژی مصرفی به طور عمده به دلیل کاهش مسافت طی شده بود (نمودار ۱).

نتایج ما نشان داد همگام با افزایش سرعت دویدن، کل هزینه انرژی مصرفی آزمودنی ها کاهش می یابد. ارتباط معکوس بین



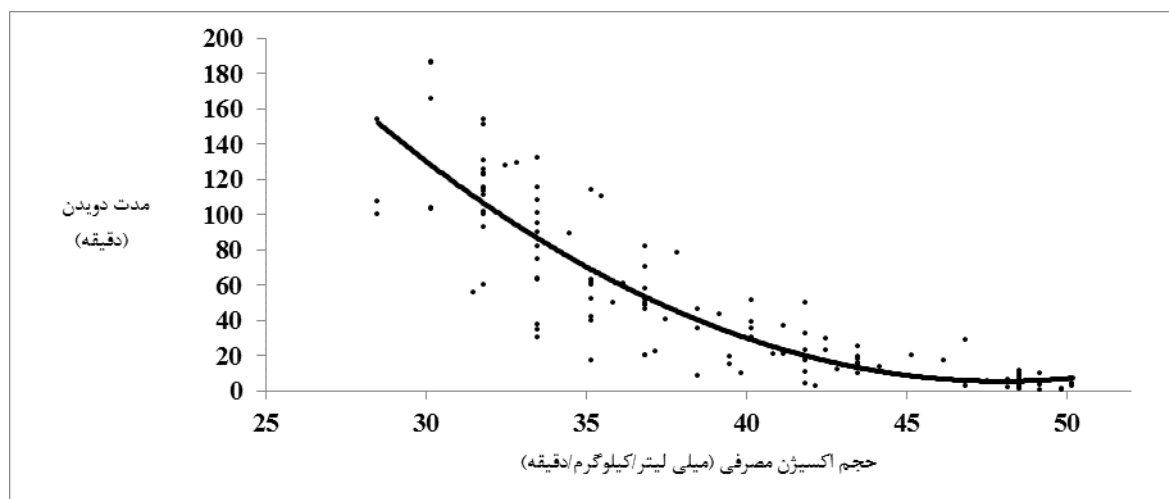
نمودار ۱- ارتباط معکوس بین سرعت دویدن و هزینه انرژی مصرفی

میزان ۳۰ درصد از ۷۰ درصد به ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی موجب کاهش مدت زمان دویدن از ۱۲۲ دقیقه به ۵ دقیقه شد. در این تحقیق نشان داده شد که کاهش مدت زمان دویدن با افزایش شدت تمرین، از تابع رگرسیون غیرخطی درجه ۲ تبعیت می‌کند و این ارتباط معکوس خطی نبوده و حجم تمرین (VE) تابعی از شدت تمرین است. رابطه بین حجم و شدت تمرین بر اساس میزان اکسیژن مصرفی در معادله زیر نشان داده شده است:

$$VE_{min} = 0.3866 (Vo_2)^2 - 37.089 (Vo_2) + 895.19$$

$$(R^2 = 0.6994)$$

نتایج این تحقیق نشان داد زمانی که شدت تمرین (دویدن) به میزان ۱۰ درصد افزایش پیدا می‌کند (از ۷۰ درصد به ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی)، مدت دویدن به کمتر از نصف یعنی از ۱۲۲ دقیقه به ۵۷ دقیقه کاهش می‌یابد. به همین ترتیب، زمانی که شدت تمرین به میزان ۱۰ درصد از ۸۰ درصد به ۹۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی افزایش پیدا می‌کند، مدت دویدن از ۵۷ دقیقه به ۲۳ دقیقه کاهش می‌یابد. اگرچه در نمودار ۲ به وضوح مشخص نیست، با این حال، زمانی که شدت تمرین از ۹۰ درصد به ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی افزایش یافت، مدت زمان دویدن از ۲۳ دقیقه به ۵ دقیقه کاهش یافت. به طور کلی، افزایش شدت تمرین به



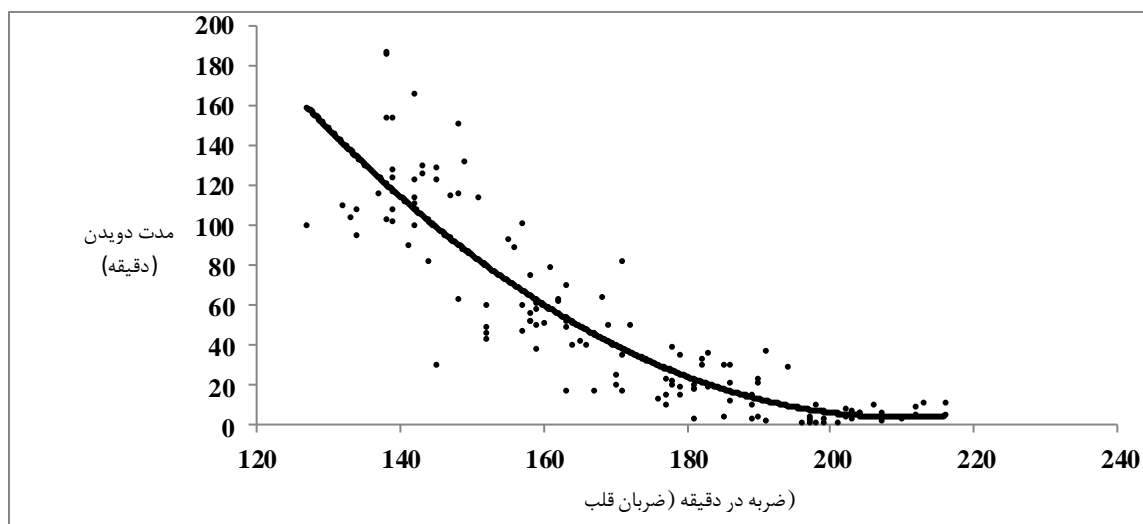
نمودار ۲- ارتباط معکوس بین حجم و شدت تمرین بر اساس حجم اکسیژن مصرفی

شدت تمرین مبتنی بر ضربان قلب نیز از تابع رگرسیونی درجه دوم تبعیت می‌کند:

$$VE_{min} = 0.0225(HR)^2 - 9.4672(HR) + 997.91$$

$$(R^2 = 0.7926)$$

الگوی تغییرات بین حجم و شدت تمرین زمانی که بر اساس ضربان قلب مورد توجه قرار می‌گیرد، مشابه تغییرات درصد اکسیژن مصرفی است (نمودار ۳). ارتباط معکوس بین حجم و



نمودار ۳- ارتباط معکوس بین حجم و شدت تمرین مبتنی بر ضربان قلب

بحث و نتیجه گیری

کمی سازی ارتباط معکوس بین حجم و شدت تمرین در طول آزمون های وامانده ساز به نظر می رسد که یکی از کمیاب ترین تحقیقاتی است که می توان در ادبیات مشاهده کرد، چرا که در تحقیق حاضر به منظور کمی سازی این دو مولفه مهم تمرین ۱۲۸ جلسه آزمون آزمایشگاهی در طول سه ماه در روزهای متوالی به انجام رسید. با این حال، با توجه به اینکه این تحقیق، در محیط آزمایشگاهی و به روی نوارگردان به اجرا درآمد، ما در تحقیق حاضر تاثیر افزایش شدت تمرین به عنوان متغیر مستقل را بر کاهش میزان حجم تمرین به عنوان متغیر وابسته مورد مطالعه قرار دادیم.

نتایج تحقیق نشان داد زمانی که شدت تمرین (سرعت دویدن به روی تردمیل) از ۷۰ درصد اکسیژن مصرفی به ۱۰۰ درصد اکسیژن مصرفی افزایش می یابد، کاهش بسیار زیادی در حجم تمرین (مدت زمان دویدن) رخ می دهد. این کاهش مدت زمان دویدن، کاهش هزینه انرژی مصرفی را به دنبال دارد. به عبارت دیگر زمانی که شدت تمرین از ۷۰ درصد به ۱۰۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی می رسد، نه تنها حجم تمرین کاهش پیدا می کند، بلکه کل هزینه انرژی مصرفی دچار کاهش زیادی می شود. این ارتباط معکوس بین حجم و شدت تمرین در پروتکل های وامانده ساز، از چند جمله ای درجه دو یا تابع رگرسیونی درجه دو تبعیت می کند. در این تابع شدت تمرین به

عنوان متغیر و حجم تمرین به عنوان تابع مورد توجه قرار می گیرد.

استاوتونو و همکارانش نشان دادند که حداکثر و میانگین ضربان قلب در طول یک رویداد ورزشی به تدریج همراه با افزایش مدت فعالیت، کاهش پیدا می کند. به همین ترتیب، فعالیت های متابولیکی همزمان با افزایش مدت فعالیت، دستخوش تغییرات اساسی می شود. به طور خاص، ضربان قلب در ماده ۵ کیلومتر در مقایسه با ماده فوق ماراتون رشته دو و میدانی بالا بوده و با شدت بالا انجام می شود (۲۴). در یک کار پژوهشی دیگر، این پژوهشگران نشان دادند که میانگین درصد ضربان قلب بیشینه و از این رو میانگین شدت تمرین در طول مسابقات طولانی مدت به طور سیستماتیک و منظم دچار کاهش می شود و هر چقدر مدت مسابقه و رویداد ورزشی طولانی باشد، شدت کار کم می شود. به نظر می رسد سیستم های فیزیولوژیکی مختلفی برای برقراری هموستاز و تعادل بدن ورزشکار به منظور حفظ ضرباهنگ فعالیت ورزشکار دست به دست هم می دهند تا بتوانند ادامه فعالیت ورزشکار را ممکن سازد (۲۴، ۲۵).

در طول فعالیت با شدتی معادل صد در صد حداکثر اکسیژن مصرفی، آزمودنی ها با بالاترین ظرفیت های استقامتی خود فعالیت می کنند (۲۴، ۲۶). در این حالت، اکسیژن مورد نیاز نمی تواند برای مدت طولانی تامین شود. از نظر گاندلسمن و اسمیرنوف در طول دویدن با شدت بالا، بدن در هر دقیقه به

بیش از ۶۶ تا ۸۰ لیتر اکسیژن نیاز دارد. به دلیل اینکه اکسیژن ذخیره شده در بافت‌های بدن نمی‌تواند نیازمندی‌های ورزشکار را تامین کند، ممکن است ورزشکار با کسر اکسیژنی معادل ۸۰ تا ۹۰ درصد برای حفظ ضرباهنگ خود مواجه شود (۲۷). در صورتی که چنین فعالیتی ادامه داشته باشد، بدن نمی‌تواند اکسیژن مورد نیاز ورزشکار را تامین کند و به همین ترتیب، فسفاژن ذخیره شده در سلول‌های عضلانی هم نمی‌تواند انرژی مورد نیاز را تامین کند و نهایتاً ورزشکار با کسر اکسیژن بسیار بالایی مواجه شده و قادر به ادامه فعالیت نخواهد بود و این زمانی است که ورزشکار به حالت واماندگی می‌رسد (۲۸، ۲۹).

بهنگام دویدن با ۹۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی، شدت تمرین هنوز در سطح بیشینه بوده و فشار زیادی را به سیستم اعصاب مرکزی وارد می‌کند و این توانایی حفظ شدت و سرعت بالا به مدت طولانی با مشکل مواجه می‌سازد. تبادل انرژی در سلول‌های عضلانی به سطوح بسیار بالایی می‌رسد، با این حال، دستگاه قلبی تنفسی زمان کافی را برای پاسخ به محرک تمرینی ندارد و از این رو، پاسخ سیستم قلبی عروقی به محرک تمرینی در سطح پایینی قرار دارد. در این حالت ورزشکار با کسر اکسیژنی معادل ۶۰ تا ۷۰ درصد از انرژی مورد نیاز برای دویدن را تجربه می‌کند (۳۰، ۳۱).

زمانی که فعالیت با ۸۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی انجام می‌شود، ارگانیزم بدن ورزشکار برای فعالیت‌های طولانی مدت به چالش کشیده می‌شود. فعالیت دستگاه قلبی-تنفسی به طور قابل توجهی شتاب می‌گیرد و عضله قلبی در بازه زمانی طولانی تحت فشار قرار می‌گیرد. در طول دویدن اشباع اکسیژن خون کاهش پیدا می‌کند و انرژی هوازی غالب است و می‌تواند حداکثر تا ۹۰ درصد انرژی مورد نیاز را تامین کند. حفظ ضرباهنگ گام و توزیع یکنواخت انرژی در طول سرتاسر دویدن به مدت طولانی بسیار با اهمیت است (۳۲، ۳۳). به هنگام دویدن با شدت پایین یعنی با ۷۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی، با توجه به طولانی بودن فعالیت، کل هزینه انرژی مصرفی خیلی بالاست (۳۴). در این نوع فعالیت، میزان قند خون کاهش پیدا می‌کند برای این که ذخایر گلیکوژنی تخلیه می‌شود (۳۵). در طول این فعالیت و دویدن‌های طولانی مدت، انرژی مورد نیاز برای انقباض عضلانی به طور عمده از سوخت و ساز چربی تامین می‌شود (۲۴).

تعدیل و تنظیم برون‌ده توانی عضلات در طول فعالیت استقامتی یعنی دویدن در مدت زمان طولانی عمدتاً به بازخوردهای حسی که به تدریج از عضلات خسته ارسال می‌شود، بستگی دارد (۳۶). سیستم اعصاب مرکزی این بازخوردهای حسی را دریافت و فرامین بازدارنده ارسال می‌کند که اساساً مبتنی بر اطلاعاتی است که از عضلات خسته به سیستم اعصاب مرکزی ارسال می‌شود. مکانیزم بازدارنده سیستم اعصاب مرکزی به میزان تجمع محصولات جانبی متابولیکی تولید شده در عضلات فعال وابسته است (۳۷). از این رو، میزان افزایش خستگی محیطی در سطح بالایی تنظیم می‌شود (۳۸) و بازخوردهای حسی که از عضلات فعال به سیستم اعصاب مرکزی ارسال می‌شود، باعث می‌شود تا خستگی محیطی عضلات کاهش پیدا کند. این موضوع به طور بالقوه می‌تواند موجب آسیب عضلات بشود. این یافته‌ها با شواهد علمی مبنی بر افزایش خستگی در طول دویدن با مسافت‌های مختلف هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که میزان فشار فیزیولوژیکی که به ارگانیزم بدن ورزشکار وارد می‌شود، از طریق مکانیزم‌های فعال کنترل می‌شود (۳۹-۴۳). با توجه به پدیده سوق قلبی، شاید استفاده از ضربان قلب برای ارزیابی و سنجش فشارهای فیزیولوژیکی را بتوان به عنوان محدودیت در تحقیق حاضر نام برد. در پدیده سوق قلبی با افزایش مدت زمان دویدن در شدت‌های پایین و طولانی شدن زمان فعالیت، مقادیر ضربان قلب به تدریج افزایش پیدا می‌کند. بعلاوه هر چقدر مدت انجام تمرین بیشتر شود، میزان افزایش ضربان قلب در نتیجه سوق قلبی-عروقی هم بیشتر می‌شود. سوق قلبی عروقی در فعالیت‌هایی با شدت بالا در مقایسه با تمرینات طولانی مدت کمتر است (۴۳).

گرچه مکانیزم‌ها و عوامل فیزیولوژیکی متفاوتی در پاسخ‌های ضربان قلب نسبت به شدت‌های تمرینی مختلف درگیر است، با این حال، از حیث کاربرد، نتایج تحقیق حاضر می‌تواند مفید واقع شود؛ چرا که اساساً کنترل حجم و شدت به عنوان متغیرهای اصلی تمرین برای همه مربیان و ورزشکاران امری بسیار مهم است. اگر چه در پژوهش حاضر تعداد نمونه‌های مورد مطالعه ۳۲ نفر از مردان جوان فعال را شامل می‌شد، با این حال، نتایج این تحقیق توانست پایه ایی را برای برآزش معادلات ریاضی با هدف تعیین حجم تمرین بر اساس شدت تمرین فراهم نماید. به عبارت دیگر، نتایج تحقیق حاضر دو

معادله مفید را در اختیار مربیان و ورزشکاران قرار داد که از حیث کاربرد در رشته‌های مختلف بخصوص ورزشکاران رشته‌های مختلف دو و میدانی می‌تواند بسیار مفید و کارآمد باشد و با استفاده از این دو معادله می‌توان هم در محیط آزمایشگاهی و هم در محیط میدانی، حجم تمرین را بر اساس شدت تمرین برآورد نمود. به طور خاص، ضربان قلب به عنوان شاخص فیزیولوژیکی مهم و در دسترس برای همه مربیان، می‌تواند با استفاده از معادله برازش شده به راحتی مدت زمان دویدن مردان جوان فعال را برآورد نماید. به طور کلی، با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان نتیجه‌گیری نمود که رابطه معکوس بین حجم و شدت تمرین خطی نیست و از تابع رگرسیونی درجه ۲ تبعیت می‌کند و در سایه چنین یافته‌هایی،

دو معادله کاربردی مبتنی بر حجم اکسیژن مصرفی و ضربان قلب برای پیش‌گویی حجم تمرین بر اساس شدت تمرین در بین مردان جوان فعال پیشنهاد و ارائه شد که به نظر می‌رسد برای ورزشکاران و مربیان رشته‌های ورزشی مختلف به ویژه رشته دو و میدانی می‌تواند مفید واقع شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از کلیه آزمودنی‌های تحقیق که اجرای عملیاتی پژوهش حاضر را فراهم ساختند، و همچنین از کمک‌های فنی و تکنیکی آزمایشگاه فیزیولوژی ورزش دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

1. Bompa TO, Buzzichelli C. Periodization-: theory and methodology of training: Human kinetics; 2018. 67-81.
2. Baechle TR, Earle RW. Essentials of strength training and conditioning: Human kinetics; 2008.102-111.
3. Bompa T, Haff G. Periodization: Theory and Methodology of Training.: Human kinetics. USA; 2009.102-123.
4. Laursen PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? Scand J Med Sci Sports. 2010; 20:1-10.
5. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Harada T, Moritani T, Mutoh Y, et al. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1993; 66:90-5.
6. Cummins C, Welch M, Inkster B, Cupples B, Weaving D, Jones B, et al. Modelling the relationships between volume, intensity and injury-risk in professional rugby league players. J Sci Med Sport. 2019; 22:653-60.
7. Lloyd RS, Faigenbaum AD, Myer G, Stone M, Oliver J, Jeffreys I, et al. UKSCA position statement: Youth resistance training. Prof Strength Cond. 2012; 26:26-39.
8. Seiler S, Tønnessen E. Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. Sports Sci. 2009; 13: 23-31.
9. Basu A, Sanchez K, Leyva MJ, Wu M, Betts NM, Aston CE, et al. Green tea supplementation affects body weight, lipids, and lipid peroxidation in obese subjects with metabolic syndrome. J Amer Coll Nutr. 2010; 29:31-40.
10. Yoon B-K, Kravitz L, Robergs R. VO₂max, protocol duration, and the VO₂ plateau. Med Sci Sports Exerc. 2007; 39:1186-92.
11. Unha F, Midgley A, Monteiro W, Farinatti P. Influence of cardiopulmonary exercise testing protocol and resting VO₂ assessment on% HRmax,% HRR,% VO₂max and% VO₂R relationships. Int J Sports Med. 2010; 31:319-26.
12. Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake. Sports Med. 2007; 37:1019-28.
13. Binder RK, Wonisch M, Corra U, Cohen-Solal A, Vanhees L, Saner H, et al. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil. 2008;15:726-34
14. Albesa-Albiol L, Serra-Payá N, Garnacho-Castaño MA, Cano LG, Cobo EP, Maté-Muñoz JL, et al. Ventilatory efficiency during constant-load test at lactate threshold intensity: Endurance versus resistance exercises. PloS One. 2019; 14:39-44.
15. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. Bri J Nutr. 1978; 40:497-504.
16. Barnas J, Ball SD. Validation of a Skinfold Prediction Equation Based on Dual-Energy X-Ray Absorptiometry to Estimate Body Fat Percentage in Women. Measu Phys Edu Exerc Sci. 2020; 32:1-8.
17. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. Tech Meas Body Comp. 1961;61:223-44
18. Rudnev SG, editor Body Composition in Athletes: History, Methodology and Computational Prospects. Int Symp Com Sci Sport; 2019; 71:221-225.
19. Siahkhouian M, Esmaeilzadeh S. Comparison of serum C - reactive protein in young soccer players and non-athletes. Biology of Sport. 2011; 28:75-81.
20. Hall C, Figueroa A, Fernhall B, Kanaley JA. Energy expenditure of walking and running: comparison with prediction equations. Med Sci Sports Exerc. 2004; 36:2128-34.
21. Stodefalko K, Hawkins MA. The accuracy of the ACSM prediction equations, for determining walking caloric expenditure, in college-aged males and females. J Am Col Health. 2020;76:1-4
22. Barbosa FP, Silva PE, Guimarães AC, Pernambuco CS, Dantas EH. Prediction of maximum oxygen uptake through incremental exercise testing using ventilometry: a cross-sectional study. Bra J Phy Ther. 2019; 45:112-131.
23. Braga ACM, Pinto A, Pinto S, de Carvalho M. The role of moderate aerobic exercise as determined by cardiopulmonary exercise testing in ALS. Neuro Res Int. 2018; 88:23-28.
24. Esteve-Lanao J, Lucia A, Dekoning JJ, Foster C. How do humans control physiological strain during strenuous endurance exercise? PloS One. 2008; 3:117-152.
25. Noorbergen OS, Konings MJ, Micklewright D, Elferink-Gemser MT, Hettinga FJ. Pacing behavior and tactical positioning in 500-and 1000-m short-track speed skating. Int J sports Physiol Perfor. 2016; 11(6):742-8.
26. Bassami M, Ahmadizad S, Doran D, MacLaren DP. Effects of exercise intensity and duration on fat metabolism in trained and untrained older males. Eur J Appl Physiol. 2007; 101:525-32.
27. Gandelsman A, Smirnov K. The physiological foundations of training. Moscow, Physkultura I Sport. 1970. 19-30.
28. Fryer SM, Stoner L, Dickson TG, Draper SB, McCluskey MJ, Hughes JD, et al. Oxygen recovery kinetics in the forearm flexors of multiple ability groups of rock climbers. J Stre Cond Res. 2015; 29:1633-9.
29. Kodejska J, Michailov ML, Balas J. Forearm muscle oxygenation during sustained isometric contractions in rock climbers. Acta Univ Carol. 2015; 51:67-75.
30. Hasanli M, Nikoie R, Aveseh M, Mohammad F. Prediction of aerobic and anaerobic capacities of elite cyclists from changes in lactate during isocapnic buffering phase. J Stre Con Res. 2015; 29:321-9.
31. Hirakoba K, Yunoki T. Blood lactate changes during isocapnic buffering in sprinters and long distance runners. J Phys Anthropol Appl Hum Sci. 2002; 21:143-9.
32. Bompa T, Buzzichelli C. Periodization Training for Sports, 3E: Human kinetics; 2015.128-139.
33. Zatsiorsky VM, Kraemer WJ, Fry AC. Science and practice of strength training: Human Kinetics Publishers; 2020.78-95.

34. Welcker J, Speakman JR, Elliott KH, Hatch SA, Kitaysky AS. Resting and daily energy expenditures during reproduction are adjusted in opposite directions in free-living birds. *Func Ecol.* 2015; 29:250-8.
35. Kohn N, Toygar T, Weidenfeld C, Berthold-Losleben M, Chechko N, Orfanos S, et al. In a sweet mood? Effects of experimental modulation of blood glucose levels on mood-induction during fMRI. *Neuroimage.* 2015; 113:246-56.
36. Amann M, Romer LM, Subudhi AW, Pegelow DF, Dempsey JA. Severity of arterial hypoxaemia affects the relative contributions of peripheral muscle fatigue to exercise performance in healthy humans. *J Physiol.* 2007;581:389-403
37. Amann M, Dempsey JA. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. *J Physiol.* 2008; 586:161-73.
38. Calbet JA. The rate of fatigue accumulation as a sensed variable. *J Physiol.* 2006; 57:5-11.
39. Billat VL, Demarle A, Slawinski J, Paiva M, Koralsztein JP. Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33:2089-97.
40. Cottin F, Papelier Y, Durbin F, Koralsztein JP, Billat VL. Effect of fatigue on spontaneous velocity variations in human middle-distance running: use of short-term Fourier transformation. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 87:17-27.
41. Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA. The bioenergetics of world class cycling. *J Sci Med Sport.* 2000; 3:414-33.
42. Joseph T, Johnson B, Battista RA, Wright G, Dodge C, Porcari JP, et al. Perception of fatigue during simulated competition. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40:381-6.
43. Eston R, Faulkner J, St Clair Gibson A, Noakes T, Parfitt G. The effect of antecedent fatiguing activity on the relationship between perceived exertion and physiological activity during a constant load exercise task. *Psychophysiology.* 2007; 44:779-86.

Quantification of the relationships between volume and intensity of exhaustive treadmill running in active young men

Marefat Siahkuhian^{1*}, Leila Fasihi², Aidin Valizadeh-Orang³ Lotfali Bolboli⁴, Abbas Taghizaeh-Baghi⁵

1. Professor Department of Exercise Physiology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. M.S, Exercise physiology, University of Allameh Tabatabaai, Tehran, Iran
3. Assistant Professor Department of Exercise Physiology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4. Associate Professor Department of Exercise Physiology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
5. Associate Professor Department of Exercise Management, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 2019/12/26 Revised: 2020/04/06 Accepted: 2020/08/15

*Correspondence

Email:

m_siahkohian@uma.ac.ir

Abstract

Introduction: Quantifying the relationship between volume and intensity as key components of training is a precise manner that is complicated for most coaches. The aim of this study was to quantify the inverse relationships between training volume and intensity during exhaustive treadmill running among active young men.

Methods: 32 active young men aged 21 years selected as subjects and completed four exhaustive treadmill running in the four separate phases at 70%, 80%, 90%, and 100% $\dot{V}O_2$ with at least 72 hours rest intervals. The inverse relationship between volume and intensity of exercise was analyzed by the non-linear regression.

Results: The results showed that the inverse relationship between volume and intensity of exhaustive treadmill running obeys a second-order polynomial regression where the volume of exercise (VE_{min}) is a function of exercise intensity ($EI_{beat/min}$) ($VE_{min} = 0.0225(EI_{beat/min})^2 - 9.4672(EI_{beat/min}) + 997.91$).

Conclusion: It can be concluded that the inverse relationship between volume and intensity of exhaustive treadmill running is non-linear and the fitted equation can be used to predict the volume of exercise based on the exercise intensity among active young men.

Key Words: Exercise intensity; Volume of exercise; Polynomial regression.