فیزیولوژی ورزشی شماره ۱۲، زمستان ۱۳۹۰، صص ۴۶-۲۷

مقایسهٔ هزینهٔ انرژی و کارایی دوچرخه‌سواری در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور

محمدرضا حامدی‌نیا[۱]، مهدی زارعی[۲]، محمد شبانی[۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۱۱/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۶/۱۳

چکیده

کارایی حرکتی از عوامل مهم و تعیین کننده در عملکرد دوچرخه‌سواری استقامتی محسوب می‌شود. با وجود این، مطالعات قبلی که کارایی دوچرخه‌سواری را در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور مقایسه کرده‌اند، نتایج متناقضی گزارش کرده‌اند؛ بنابراین، هدف از پژوهش حاضر مقایسهٔ هزینهٔ انرژی و کارآیی دوچرخه‌سواری در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور است. ۷۳ دوچرخه‌سوار جادهٔ تمرین‌کردهٔ سطح بالا شامل ۴۲ نفر دوچرخه‌سوار حرفه‌ای و ۳۱ نفر دوچرخه‌سوار آماتور در این پژوهش شرکت کردند. آزمودنی‌ها یک آزمون ورزشی قلبی-تنفسی فزاینده (رمپ) را تا سرحد خستگی روی چرخ کارسنج اجرا کردند. هزینهٔ انرژی آزمودنی‌ها از میانگین حجم اکسیژن دمی و حجم دی اکسید کربن بازدمی، به‌وسیلهٔ دستگاه تجزیه کنندهٔ گازها و با استفاده از معادلهٔ ارائه شدهٔ برور و همکاران محاسبه شد. کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری آزمودنی‌ها، به‌ترتیب به‌صورت نسبت میزان کار انجام شده به هزینهٔ انرژی و نسبت کار انجام شده به اکسیژن مصرفی در بارهای کاری ۲۰۰ و ۳۰۰ وات محاسبه شد. نتایج نشان داد کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری در بار کاری ۲۰۰ وات بین دو گروه دوچرخه‌سواران آماتور (کارآیی ۱/۷۶±۲۲/۵۸٪، اقتصاد دوچرخه‌سواری، ۰/۳۷±۴/۶۸ لیتر/کیلوژول) و حرفه‌ای (کارآیی ۲/۴۵±۲۳/۲۷٪، ۰/۵۱±۴/۷۹لیتر/کیلوژول) تفاوت معنی‌داری ندارد، اما در بار کاری ۳۰۰ وات، کارآیی (p=۰/۰۱۱) و اقتصاد دوچرخه‌سواری (p=۰/۰۱۱) در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای (کارآیی ۱/۷۲±۲۳/۸۷٪، اقتصاد دوچرخه‌سواری ۰/۳۷±۵/۰۳ لیتر/کیلوژول) به‌طور معنی داری بیشتر از دوچرخه‌سواران آماتور (کارآیی ۱/۷۶±۲۲/۵۸٪، اقتصاد دوچرخه‌سواری ۰/۲۷±۴/۷۵ لیتر/کیلوژول) و درمقابل، هزینهٔ انرژی (۹۸± ۱۲۶۳در برابر ۷۱± ۱۳۳۳ ثانیه/ژول) کمتر بود (p=۰/۰۱۸). بین کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری در دو بار کاری ۲۰۰ و ۳۰۰ وات تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. یافته‌های این پژوهش نشان داد دوچرخه‌سواران حرفه‌ای، در مقایسه با دوچرخه‌سواران آماتور در شدت‌های بالا، کارآیی بهتری دارند که تا حدی می‌تواند تفاوت عملکردی عمدهٔ بین آن‌ها را در شدت‌های بالا توضیح دهد.

کلیدواژه های فارسی: هزینهٔ انرژی، اقتصاد دوچرخه‌سواری، دوچرخه‌سوار .

۱. دانشیار دانشگاه تربیت معلم سبزوار Email: mrhamedinia@sttu.ac.ir

۲. کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزش دانشگاه تربیت معلم سبزوار (نویسندهٔ مسئول)
Email: zarei.m8716@yahoo.com

۳. استادیار دانشگاه بجنورد Email: rs_shabani@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

مسابقات دوچرخه‌سواری حرفه‌ای جاده ورزشی فوق استقامتی است که در آن ورزشکاران تقریباً ۳۰۰۰- ۳۵۰۰ کیلومتر در سال رکاب می‌زنند. فصل این‌گونه مسابقات معمولاً ۹۰ روز به طول می‌انجامد. به‌علاوه، با وجود مدت طولانی رویدادهای دوچرخه‌سواری (مانند مسابقات سه هفته‌ای) سهم نسبی فعالیت بدنی شدید به‌طور شگفت آوری در این مسابقات زیاد است (۱). مسابقات تور دو فرانس[1]، جیرود ایتالیا[2] و دور اسپانیا[3]، چند نمونه از این مسابقات‌اند که به‌صورت طاقت فرسا، به مدت سه هفته و در بالاترین سطح ممکن انجام می‌شود که موفقیت در آن برای دوچرخه‌سواران اهمیت به‌سزایی دارد (۲- ۴).

کارآیی حرکتی به همراه آستانهٔ لاکتات و VO_2max از عوامل مهم و تعیین‌کننده در ورزش‌های استقامتی، به‌ویژه دوچرخه‌سواری جاده محسوب می‌شود (۵). کارآیی مطلق، نسبت توان خروجی به هزینهٔ انرژی صرف شده تعریف می‌شود (۶، ۷). معمولاً کارآیی دوچرخه‌سواری در دامنه‌ای بین ۱۸٪ تا ۲۳٪ گزارش شده است و بهبود آن به افزایش توان خروجی مکانیکی برای هزینهٔ متابولیکی معین منجر خواهد شد (۸). هاروتیز[4] و همکاران (۱۹۹۴) پیشنهاد کرده‌اند که افزایش ۱/۸٪ در کارآیی دوچرخه‌سواری به افزایشی در حدود ۱۰٪ در توان بیشینه متحمل شده طی اجرای یک ساعت آزمون دوچرخه‌سواری منجر می‌شود (۶). همچنین جکندراپ[5] و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند ۱٪ افزایش در کارآیی دوچرخه‌سواری می‌تواند عملکرد آزمون ۴۰ کیلومتر تایم تریل را ۶۳ ثانیه بهبود بخشد (۹)؛ از این رو دوچرخه‌سواران با نیازها و ویژگی‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی بسیار مشابه، با استفاده از تجهیزات مشابه ممکن است اختلافات قابل توجهی در عملکرد ورزشی نشان دهند که این موضوع ممکن است به‌دلیل اختلاف خیلی جزئی در کارآیی حرکتی بین آن‌ها باشد (۱۰).

مطالعات گزارش کرده‌اند که چندین عامل از جمله ارتفاع، خستگی، سرعت کوتاه شدن عضله، نوع تار عضلانی و درجه حرارت می‌تواند روی کارآیی حرکتی دوچرخه‌سواری تأثیر داشته باشد (۱۱- ۱۶)؛ به‌طور مثال مک دانیل[6] و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که کارآیی دوچرخه‌سواری با سرعت پدال زدن افزایش می‌یابد (شاخصی برای کوتاه شدن عضله) (۱۱).

---

1. Tour de France
2. Giro d´Italia
3. Vuelta a Espana
4. Horowitz
5. Jeukendrup
6. McDaniel

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین کویل[1] و همکاران (۱۹۹۲) همبستگی مثبتی بین کارآیی دوچرخه‌سواری و درصد تارهای نوع I گزارش کردند (۱۲).

اگرچه تأثیر عوامل فوق بر کارآیی دوچرخه‌سواری تا حدی نشان داده شده است، تأثیر شاخص‌هایی مانند تجربه، سطوح تمرینی و ظرفیت هوازی بر کارآیی دوچرخه‌سواری که از مهم‌ترین عوامل موفقیت در دوچرخه‌سواری هستند، نه‌تنها به اندازهٔ کافی بررسی نشده است، بلکه مطالعات انجام شده در این زمینه نتایج متفاوتی را نیز گزارش کرده‌اند. برخی پژوهش‌ها در این زمینه به مقایسهٔ میزان کارآیی دوچرخه‌سواری در دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده پرداخته‌اند و هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نکرده‌اند، چنانکه نیک بری[2] و همکاران (۱۹۹۶) و مارش[3] و همکاران (۲۰۰۰) با بررسی تأثیر تجربه و ظرفیت هوازی بر کارآیی، تفاوت معنی‌داری در کارآیی دوچرخه‌سواری بین دو گروه دوچرخه‌سوار تمرین‌کرده و کمتر تمرین‌کرده مشاهده نکردند (۱۷، ۱۸). با این حال هاپکر[4] و همکاران (۲۰۰۷) کارآیی دوچرخه‌سواری را در دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده به‌طور معنی‌داری بیشتر از دوچرخه‌سواران تمرین نکرده گزارش کرده‌اند (۱۹). مطالعاتی که به مقایسهٔ کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی و دوچرخه‌سواران آماتور پرداخته‌اند بسیار معدودند. دوچرخه‌سواران حرفه‌ای معمولاً دارای برخی ویژگی‌ها ازجمله توان هوازی بیش از ۶۸ میلی‌لیتر بر کیلوگرم دقیقه و حداکثر توان خروجی بین ۳۸۰ تا ۵۲۵ وات می‌باشند (۲، ۲۰). تنها پژوهش انجام شده در این خصوص مطالعهٔ موزلی[5] و همکاران (۲۰۰۴) است. موزلی و همکاران (۲۰۰۴) میزان کارآیی دوچرخه‌سواری را در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی و آماتور مقایسه کردند و هیچ تفاوتی در کارآیی دوچرخه‌سواری بین دو گروه مشاهده نکردند (۲۰). همچنین در دو مطالعهٔ طولی موردی نیز که روی قهرمانان تورهای حرفه‌ای انجام شده، نتایج متفاوتی گزارش شده است. در مطالعهٔ مارتین[6] و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور بررسی سال‌های تجربه تمرینی، کارآیی دوچرخه‌سواری از سن ۱۸ تا ۲۴ سالگی در یکی از قهرمانان تور دو فرانس مطالعه شد، با این حال نتایج این مطالعه از این فرضیه که سال‌های تجربهٔ تمرینی باعث بهبود کارایی می‌شود، حمایت نکرد(۲۱)، اما در مطالعه‌ای دیگر، کویل و همکاران

1. Coyle
2. Nickleberry
3. Marsh
4. Hopker
5. Moseley
6. Martin

Archive of SID

www.SID.ir

(۲۰۰۵) نشان دادند کارآیی دوچرخه‌سواری از سن ۲۱- ۲۸ سالگی در یکی از قهرمانان تور دو فرانس بهبود یافته است (۲۲).

از آنجا که سازگاری‌های فیزیولوژیکی با انجام تمرینات استقامتی در طول سال‌ها اتفاق می‌افتد، پیشنهاد شده که تغییرات حاصل از تمرین در کارآیی حرکتی از سازگاری‌های قابل ملاحظه برای دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی در مسابقات بزرگ دوچرخه‌سواری از جمله تور دو فرانس است (۲۰، ۲۲). هاپکر و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داده‌اند که کارآیی دوچرخه‌سواری دوچرخه‌سواران رقابتی به دنبال ۱۲ هفته تمرین، به‌ویژه تمرین با شدت زیاد افزایش می‌یابد (۲۳). با توجه به این سازگاری‌ها، یافته های برخی مطالعات پیشین که تفاوتی در کارآیی دوچرخه‌سواری بین دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده یا دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی و آماتور مشاهده ننموده‌اند، منطقی به نظر نمی‌رسد؛ در نتیجه تصور می‌شود اختلاف در این متغیرها (ظرفیت هوازی، تجربه و سطوح تمرینی) ممکن است بر کارآیی دوچرخه‌سواران تأثیر داشته باشد و باعث شود دوچرخه‌سواران حرفه‌ای، در مقایسه با دوچرخه‌سواران آماتور یا کمتر تمرین کرده کارآیی بهتری داشته باشند (۱۹)؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که داشتن کارآیی دوچرخه‌سواری بالا می‌تواند پیش نیازی مهم برای موفقیت در رقابت‌های دوچرخه‌سواری سطح بالا باشد (۲۴). با توجه اهمیت کارآیی دوچرخه‌سواری در این آزمودنی‌ها و کمبود اطلاعات و همچنین اختلاف در یافته‌های مطالعات پیشین، هدف از مطالعهٔ حاضر مقایسهٔ هزینهٔ انرژی و کارآیی دوچرخه‌سواری در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی و آماتور است.

روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه ۷۳ دوچرخه‌سوار جادهٔ تمرین‌کردهٔ سطح بالا شرکت داشتند که به دو گروه شامل: ۴۲ نفر دوچرخه‌سوار حرفه‌ای متعلق به تیم‌های مختلف اتحادیهٔ بین‌المللی دوچرخه‌سواری (UCI[1]) و ۳۱ نفر دوچرخه‌سوار آماتور تقسیم شدند. اتحادیهٔ بین‌المللی دوچرخه‌سواری اطلاعات کاملی اعم از تقویم مسابقات دوچرخه‌سواری رسمی در سطوح قاره‌ای و جهانی، تیم‌های شرکت کننده، نتایج و همچنین رتبه‌بندی تیم‌ها و نیز دوچرخه‌سواران شرکت کننده در سطوح حرفه‌ای و ... را در تمام رشته های مرتبط با دوچرخه‌سواری ارائه می‌نماید. این مطالعه بر اساس پایش پزشکی اجباری وزارت ورزش فرانسه، فدراسیون دوچرخه‌سواری فرانسه و اتحادیهٔ بین‌المللی دوچرخه‌سواری انجام شد. در آبان و آذر ماه

1. Union Cyclist International

Archive of SID

www.SID.ir

هرسال، دوچرخه‌سواران نیازمند گرفتن مجوز لازم برای تمدید یا عقد قرارداد جدید با تیم‌های خود هستند که بدین منظور ملزم به گذراندن آزمون سنجش سطح آمادگی جسمانی توسط دوچرخهٔ ثابت می‌باشند. این آزمون در آزمایشگاه طب ورزش، در بیمارستان شمالی شهر آمینز فرانسه انجام شد. آزمودنی‌های تحقیق حاضر، شامل تمام دوچرخه‌سوارانی است که از پنج باشگاه معتبر فرانسه برای گذراندن آزمون ورزشی به آزمایشگاه طب ورزش مراجعه کرده‌اند.

دوچرخه‌سواران حرفه‌ای به‌طور متوسط دست‌کم به مدت ۱۰ سال به‌طور رقابتی تمرین کرده بودند. همهٔ دوچرخه‌سواران حرفه‌ای دست‌کم دو سال تجربهٔ رقابت در دستهٔ حرفه‌ای بین‌المللی دوچرخه‌سواری را داشتند، در زمان مطالعه توسط تیم‌های حرفه‌ای استخدام و حمایت می‌شدند و دست‌کم در یکی از مسابقات اصلی سه هفته‌ای مرحله‌ای (دور ایتالیا، تور دو فرانس یا دور اسپانیا) شرکت کرده بودند. تفاوت مهم بین دوچرخه‌سواران آماتور و حرفه‌ای این بود که دوچرخه‌سواران آماتور در مسابقات سه هفته‌ای شرکت نکرده، همچنین طول مسابقات یک روزهٔ آن‌ها نیز کوتاه‌تر بود. همهٔ دوچرخه‌سواران آماتور دست‌کم دو سال تجربهٔ رقابت در سطح آماتور (دسته دو نخبه‌های اتحادیهٔ بین‌المللی دوچرخه‌سواری) را داشتند.

مسافت پیموده شده در تمرین و رقابت به‌طور متوسط برای دوچرخه‌سواران آماتور معمولاً ۲۲۰۰۰ کیلومتر و برای دوچرخه‌سواران حرفه‌ای ۳۲۰۰۰ کیلومتر در سال بود؛ به عبارت دیگر با در نظر گرفتن روزهای استراحت، دوچرخه‌سواران حرفه‌ای به‌طور متوسط ۲۲- ۲۵ ساعت در هفته و ۴۵ هفته در سال به تمرین و رقابت می‌پرداختند. به‌طور متوسط تعداد مسابقات و مسافت هر مسابقه برای دوچرخه‌سواران آماتور، به‌ترتیب ۷۰ و ۱۷۰ کیلو متر و برای دوچرخه‌سواران حرفه‌ای، به‌ترتیب ۹۰ و ۲۳۵ کیلومتر بود. آزمودنی‌های حرفه‌ای و آماتور بر حسب تمرین و عادت‌های مسابقه‌شان معرف و نمایندهٔ دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور بودند (۲۵).

از هر آزمودنی اطلاعات مبسوطی دربارهٔ رژیم غذایی، تاریخچهٔ پزشکی، مراقبت‌های درمانی اخیر و قبلی و همچنین تاریخچهٔ ورزشی دریافت شد. بعد از اینکه آزمودنی‌ها به‌طور کامل از اهداف تحقیق آگاهی یافتند، رضایت‌نامهٔ آگاهانهٔ کتبی از هر آزمودنی گرفته شد. اهداف این مطالعه توسط کمیتهٔ اخلاقی بیمارستان دانشگاه آمینز[1] فرانسه بررسی و تائید شد. مشخصات فیزیولوژیکی و آنتروپومتریک آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

هر آزمودنی پس از انجام مصاحبه در اختیار تیم تحقیق قرار گرفت. سپس، دوچرخه‌سواران آزمون ورزشی قلبی-تنفسی را اجرا کردند. رژیم غذایی آزمودنی‌ها روز قبل از آزمون کنترل شد

1. Amiens

Archive of SID

www.SID.ir

تا آزمودنی‌ها رژیم غذایی یکسانی داشته باشند. آزمودنی‌ها پس از ۱۰ تا ۱۲ ساعت ناشتای شبانه به آزمایشگاه مراجعه کردند. همچنین از آن‌ها خواسته شد دست‌کم دو روز قبل از آزمون از فعالیت بدنی شدید اجتناب کنند. از همهٔ دوچرخه‌سواران بین ماه‌های آبان و آذر، یعنی دورهٔ کاهش تمرین و خارج از فصل مسابقات آزمون به عمل آمد.

آزمودنی‌ها آزمون ورزشی فزاینده‌ای (رمپ) را روی چرخ کارسنج با بار کاری ۵۰ وات شروع و با ۵۰ وات افزایش در هر سه دقیقه تا واماندگی اجرا کردند (۲۱، ۲۶). آهنگ پدال زدن ۸۰ دور در دقیقه حفظ شد. گازها از طریق یک دریچهٔ هانس-ریودولف[1] جمع‌آوری و به سیستم کالریمتری مدار بازی (مینگنهارد[2]، گرونینگن[3]، هلند) هدایت می‌شد. تجزیه‌کننده‌های گازی با مخلوط کننده‌های استاندارد گازی که با طیف سنج جرمی کنترل می‌شد (MGA100، پرکین المر[4]، پونوما[5]، کانادا) تنظیم شدند. میانگین مقادیر Vo_2 و Vco_2 در سرتاسر مراحل آزمون ثبت شد. آزمون هنگامی بیشینه در نظر گرفته می‌شد که دست‌کم دو مورد از سه ملاک زیر حاصل می‌شد:

۱) فلات در Vo_2 با وجود افزایش بار کار
۲) RER بیشتر از ۱/۰۸
۳) رسیدن به ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه) ۱۰± انحراف معیار

هزینهٔ انرژی، کارآیی دوچرخه‌سواری (GE[6]) و اقتصاد حرکتی (EC[7]) در دو دقیقهٔ پایانی هر مرحله از آزمون محاسبه شد. هزینهٔ انرژی، با استفاده از اندازه های Vco_2 و Vo_2 و از طریق فرمول ارائه شده توسط برور[8] و همکاران محاسبه شد (۲۷).

$$\text{هزینه انرژی(J/s)}=[(۳/۸۶۹\times Vo_2)+(۱/۱۹۵\times Vco_2)]\times(\frac{4/186}{60})\times 1000$$

1. Hans- Rudolph
2. Mijnhardt
3. Groningen
4. Perkin Elmer
5. Pomona
6. Gross Efficiency
7. Economy
8. Brouwer

Archive of SID

www.SID.ir

کارآیی مطلق دوچرخه‌سواری، با استفاده از مقادیر هزینهٔ انرژی صرف شده و میزان کار انجام شده (توان خروجی)، به‌صورت نسبت میزان کار به میزان هزینهٔ انرژی صرف شده بر حسب درصد محاسبه شد (۲۸):

$$\text{کارایی}(\%) = \left[\frac{\text{کار انجام شده}\ (\text{وات})}{\text{هزینه انرژی}\ (\text{ثانیه}/\text{ژول})}\right] \times 100\%$$

اقتصاد حرکتی نیز با استفاده از میزان کار انجام شده (توان خروجی) و میزان اکسیژن مصرفی محاسبه شد (۲۵):

$$\text{اقتصاد حرکتی}(\text{لیتر}/\text{کیلو ژول}) = \left[\frac{\text{کار انجام شده}\ (\text{وات})}{\text{میزان اکسیژن مصرفی}\ (\text{دقیقه}/\text{لیتر})}\right] \times 0/06$$

این مقادیر (هزینه انرژی، GE(%)، EC) در شدت‌های ۲۰۰ وات (۱۸، ۲۹) و ۳۰۰ وات (آخرین بار کاری قبل از اینکه RER از ۱/۰۰ تجاوز کند) (۲۰) ارائه شد.

برای تعیین طبیعی بودن توزیع متغیرهای موجود در تحقیق از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. برای مقایسهٔ دو گروه دوچرخه‌سوار در متغیرهای توان هوازی، سن، قد، وزن و تعداد ضربان قلب از آزمون t مستقل استفاده شد. برای مقایسهٔ هزینه انرژی، کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری بین دو گروه دوچرخه‌سوار حرفه‌ای و آماتور و همچنین بررسی اثر شدت تمرین روی متغیرهای موجود در بارهای کاری ۲۰۰ و ۳۰۰ وات در دو گروه از آزمون تحلیل واریانس دوطرفه استفاده شد. به‌منظور بررسی ارتباط متغیرهای کارایی و اقتصاد دوچرخه‌سواری با سن و Vo_2max از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. کلیهٔ عملیات آماری، با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و سطح معنی‌داری آزمون‌ها $p<0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌های پژوهش

مشخصات فیزیولوژیکی و آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سن و VO_2max دوچرخه‌سواران حرفه‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از دوچرخه‌سواران آماتور است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیولوژیکی و آنتروپومتریکی دو گروه دوچرخه‌سوار حرفه‌ای و آماتور

	دوچرخه‌سواران حرفه‌ای (n=۴۲)	دوچرخه‌سواران آماتور (n=۳۱)	p
سن (سال)	۲۷/۳۰±۴/۲۸**	۲۳/۷۴±۳/۶۲	۰/۰۰۱
قد (سانتی‌متر)	۱۷۹/۵۹±۶/۵۹	۱۷۹/۷±۵/۹۷	ns
وزن (کیلوگرم)	۷۱/۳۸±۶/۲۸	۷۱/۵۸±۶/۴۲	ns
حداکثر اکسیژن مصرفی (میلی‌لیتر/ کیلوگرم دقیقه)	۶۹/۶۹ ±۵/۴۵*	۶۶/۹۵±۵/۷۳	۰/۰۴
حداکثر توان خروجی (وات)	۴۱۳/۰۹±۴۲/۸۵	۴۰۴/۸۳±۲۹/۸۷	ns
ضربان قلب استراحت (ضربه در دقیقه)	۶۷±۱۱	۶۸±۱۲	ns

داده‌ها بر اساس میانگین ± انحراف استاندارد ارائه شده‌اند.

*اختلاف معنی‌دار در حد $p<۰/۰۵$

**اختلاف معنی‌دار در حد $p<۰/۰۱$

نتایج نشان می‌دهد در هزینهٔ انرژی در بار کاری ۲۰۰ وات بین دو گروه دوچرخه‌سواران آماتور و حرفه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در بار کاری ۳۰۰ وات میزان هزینهٔ انرژی در دوچرخه‌سواران حرفه ای به‌طور معنی‌داری کمتر از دوچرخه‌سواران آماتور است (p=۰/۰۱۸).

بر اساس نتایج، در کارآیی (GE) و اقتصاد (EC) دوچرخه‌سواری در بار کاری ۲۰۰ وات بین دو گروه دوچرخه‌سواران آماتور و حرفه‌ای تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما در بار کاری ۳۰۰ وات کارآیی دوچرخه‌سواری در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از دوچرخه‌سواران است (p=۰/۰۱۱). همچنین در بار کاری ۳۰۰ وات اقتصاد حرکتی در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از دوچرخه‌سواران آماتور است (p=۰/۰۱۱). (جدول ۲، شکل ۲)

در مقایسهٔ متغیرهای مربوط به کارآیی بین بارهای کاری ۲۰۰ و ۳۰۰ وات، نتایج نشان می‌دهد با وجود اینکه میزان کارآیی (GE) و اقتصاد (EC) دوچرخه‌سواری آزمودنی‌ها در بار کاری ۳۰۰ وات، در مقایسه با بار کاری ۲۰۰ وات تا حدی بیشتر است، معنی‌داری بین این دو بار کاری وجود ندارد. به‌منظور بررسی ارتباط کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری با سن و Vo_2max آزمودنی‌ها در شدت ۳۰۰ وات، همبستگی این متغیرها با یکدیگر بررسی شد. نتایج نشان داد بین سن دوچرخه‌سواران و کارآیی (r= ۰/۳۵۴، p=۰/۰۲) و اقتصاد دوچرخه‌سواری (r= ۰/۲۷۳، p=۰/۰۴) ارتباط معنی‌داری وجود دارد؛ باین صورت که با افزایش سن، کارآیی و اقتصاد

Archive of SID

www.SID.ir

دوچرخه‌سواری آزمودنی‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد بین Vo_2max دوچرخه‌سواران و کارآیی در شدت ۳۰۰ وات همبستگی ضعیف و معنی‌داری وجود دارد (p=۰/۰۴، r= ۰/۴۸۱)، چنانکه با افزایش Vo_2max کارآیی دوچرخه‌سواری آزمودنی‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد، اما بین Vo_2max و اقتصاد دوچرخه‌سواری در شدت ۳۰۰ وات ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد (p=۰/۰۸، r= ۰/۱۸۴).

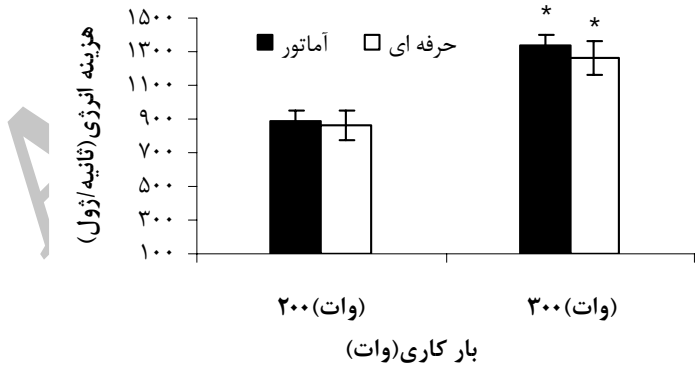
جدول ۲. مقادیر کارآیی (GE) و اقتصاد (EC) دوچرخه‌سواری در بارهای کاری ۲۰۰ وات و ۳۰۰ وات در دو گروه دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور

	دوچرخه‌سواران حرفه‌ای (n=۴۲)	دوچرخه‌سواران آماتور (n=۳۱)	p
EC (کیلوژول/لیتر)			
۲۰۰ (وات)	۴/۷۹±۰/۵۱	۴/۶۸±۰/۳۷	ns
۳۰۰ (وات)	۵/۰۳±۰/۳۷*	۴/۷۵±۰/۲۷	۰/۰۱۷
GE(%)			
۲۰۰ (وات)	۲۳/۲۷±۲/۴۵	۲۲/۵۸±۱/۷۶	ns
۳۰۰ (وات)	۲۳/۸۷±۱/۷۲*	۲۲/۶۴±۱/۲	۰/۰۱۱

داده‌ها بر اساس میانگین ± انحراف معیار ارائه شده‌اند.

* تفاوت معنی‌دار در سطح p<۰/۰۵

ns: عدم تفاوت معنی‌دار

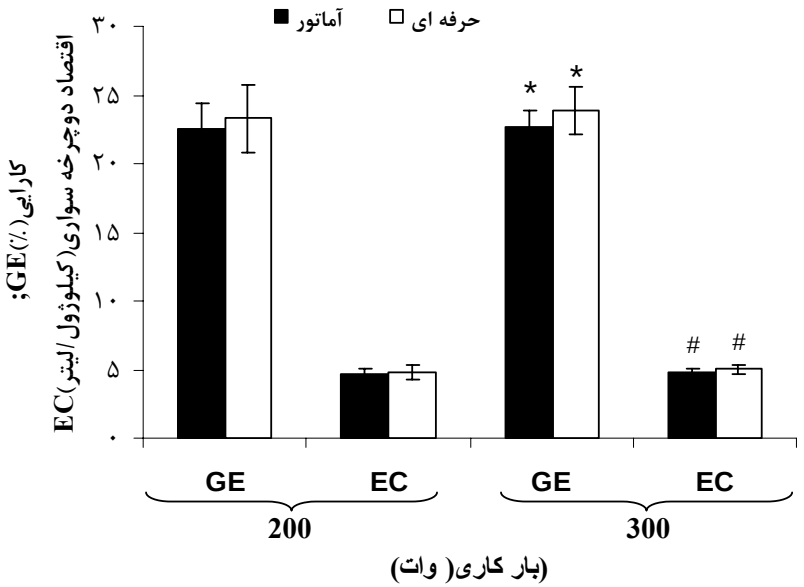


شکل ۱. هزینهٔ انرژی در بارهای کاری ۲۰۰ وات و ۳۰۰ وات در دو گروه دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور

* تفاوت معنی‌دار در سطح p<۰/۰۵

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲ . کارآیی و اقتصاد حرکتی در بارهای کاری ۲۰۰ وات و ۳۰۰ وات در گروه دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور

* تفاوت معنی‌دار در سطح p<۰/۰۵

تفاوت معنی‌دار در سطح p<۰/۰۵

بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که اشاره شد کارآیی دوچرخه‌سواری به همراه آستانهٔ لاکتات و Vo_2max، عاملی تعیین کننده و مهم در عملکرد استقامتی محسوب می‌شود (۵). مطالعهٔ حاضر نشان داد در شدت ۳۰۰ وات بین کارآیی و اقتصاد حرکتی دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی و آماتور نخبه اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ یعنی کارایی و اقتصاد دوچرخه‌سواران حرفه‌ای به‌طور معنی‌داری بیشتر از دوچرخه‌سواران آماتور نخبه بود (کارآیی: ۲۳/۸۷٪ در مقابل ۲۲/۶۴٪، اقتصاد حرکتی: ۵/۰۳ در مقابل ۴/۷۵). با این حال مطالعات قبلی که تأثیر تجربه، سطوح تمرینی و ظرفیت هوازی را روی کارایی دوچرخه‌سواری بررسی کرده‌اند (با این تصور که دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده کارآیی بیشتری دارند)، اختلاف معنی‌داری بین دوچرخه‌سواران تمرین کرده و تمرین‌نکرده یا بین دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور مشاهده نکرده‌اند (۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۹). مارش و همکاران (۲۰۰۰) کارآیی دوچرخه‌سواری را در ۱۰ دوچرخه‌سوار تمرین‌کردهٔ رقابتی و ۱۰ دوچرخه‌سوار تمرین‌نکرده بررسی کردند و تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده

Archive of SID

www.SID.ir

نکردند (۱۸). نیکل بری و همکاران (۱۹۹۶) کارآیی دوچرخه‌سواری را در شش دوچرخه‌سوار تمرین‌کردهٔ رقابتی و شش دوچرخه‌سوار آماتور مقایسه کردند، با این حال تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نکردند (۱۷). همچنین در مطالعهٔ موزلی و همکاران (۲۰۰۴) ۶۹ دوچرخه‌سوار آماتور و حرفه‌ای کلاس جهانی در سه گروه بر حسب Vo_2peak (پایین، متوسط و بالا) مقایسه شدند، ولی باز هم تفاوت معنی‌داری بین کارآیی و هزینهٔ انرژی گروه‌ها مشاهده نشد (۲۰).

یافته های مطالعهٔ حاضر با یافته‌های هاپکر و همکاران (۲۰۰۷) همسو است. آن‌ها کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری را در ۱۶ دوچرخه‌سوار تمرین‌کردهٔ رقابتی و ۱۶ دوچرخه‌سوار آماتور مقایسه کردند. در این مطالعه میزان کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری در دوچرخه‌سواران تمرین‌کردهٔ رقابتی به‌طور معنی‌داری بهتر از گروه دیگر گزارش شد (۱۹). این محققان همچنین در سال ۲۰۱۰ نشان دادند میزان کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری دوچرخه‌سواران رقابتی به دنبال ۱۲ هفته تمرین با شدت زیاد افزایش می‌یابد (۲۳).

به نظر می‌رسد یکی از عوامل عدم مشاهدهٔ اختلاف معنی‌دار بین آزمودنی‌های تمرین‌کردهٔ رقابتی و آماتور در مطالعات ذکر شده (۱۷، ۱۸، ۲۹) تعداد کم شرکت‌کنندگان در هر گروه (نیکل بری و همکاران(۱۹۹۶): شش دوچرخه‌سوار تمرین‌کرده و شش دوچرخه‌سوار آماتور؛ مارش و همکاران (۲۰۰۰): ۱۱ تمرین‌کرده و ۱۰ دوچرخه‌سوار تمرین‌نکرده؛ بونینگ[1] و همکاران (۱۹۸۴): ۹ دوچرخه‌سوار تمرین‌کرده و شش تمرین‌نکرده) باشد. به‌علاوه، استفاده از آزمودنی‌های تمرین‌کرده با مقادیر Vo_2peak نسبتاً کمتر از دوچرخه‌سواران رقابتی و آماتور ذکر شده در پیشینهٔ تحقیق (نیکل بری ۴۸ میلی‌لیتر کیلوگرم بر دقیقه در مقابل ۳۹ میلی‌لیتر کیلوگرم بر دقیقه) می‌توان اظهار داشت که نبود اختلاف معنی‌دار بین دو گروه در این مطالعات چندان دور از ذهن نبوده است.

انتقادی که در مورد تحقیقات پیشین وجود دارد، استفاده از شدت‌های بسیار کم برای ارزیابی کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری و مقایسهٔ آن بین گروه‌هاست. در مطالعهٔ بونینگ و همکاران (۱۹۸۴) کارآیی دوچرخه‌سواری بین گروه‌ها در بارهای کاری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ وات؛ در مطالعهٔ نیکل بری و همکاران (۱۹۹۶) در بارهای کاری ۵۰ و ۲۰۰ وات و در مطالعهٔ مارش و همکاران (۲۰۰۰) در بارهای کاری ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ وات مقایسه شده است (۱۷، ۱۸، ۲۹)؛ در نتیجه امکان مقایسهٔ پاسخ‌ها فقط در بارهای کاری کم وجود داشته و با توجه به اینکه دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده و سطح بالا در بارهای کاری خیلی بالاتر مسابقه می‌دهند و احتمالاً سازگاری‌های

1. Boning

Archive of SID

www.SID.ir

آن‌ها در این شدت‌ها ایجاد می‌شود، این مقادیر بار کاری به‌منظور مقایسهٔ کارآیی بین این دسته از ورزشکاران کم به نظر می‌رسد؛ از این رو پیشنهاد می‌شود بار کاری استفاده شده برای تعیین میزان کارآیی در دامنهٔ عملکردی جمعیت مورد مطالعه باشد؛ در نتیجه مقایسهٔ کارآیی و اقتصاد حرکتی در دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده و آماتور در بارهای کاری بالاتر (بیشتر از ۲۰۰ وات) منطقی به نظر می‌رسد (۳۰)، چنانکه موجیکا[1] و همکارانش (۲۰۰۱) دامنهٔ بار کاری مورد استفاده در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای را بین ۳۴۹ و ۵۲۵ وات گزارش کرده‌اند (۳۱). در تأیید این موضوع در مطالعهٔ حاضر نیز در بار کاری ۲۰۰ وات تفاوت معنی‌داری بین کارایی و اقتصاد دوچرخه‌سواری دو گروه مشاهده نشد. همان‌طور که اشاره شد، در مطالعهٔ موزلی و همکاران (۲۰۰۴) ۶۹ آزمودنی در سه گروه با ظرفیت هوازی متفاوت مقایسه شدند. با وجود اینکه در پژوهش آن‌ها تعداد آزمودنی‌ها بیشتر از مطالعات قبلی در نظر گرفته شد (اگرچه تعداد آزمودنی‌ها در گروه دوچرخه‌سواران حرفه‌ای چندان زیاد نبود n=۱۶) و نیز فرآیند مقایسهٔ کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری در بارهای کاری بالاتر (۱۶۵ وات و آخرین بار کاری قبل از رسیدن RER به بیش از یک) انجام شد، باز هم هیچ تفاوتی بین گروه‌ها مشاهده نشد (۲۰). هاپکر و همکاران (۲۰۰۷) کوتاه بودن مدت زمان سه دقیقه‌ای هر مرحلهٔ آزمون ورزشی فزاینده وامانده ساز را در مطالعهٔ موزلی (۲۰۰۴) از عوامل احتمالی عدم مشاهدهٔ تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها بیان می‌کند. وی اشاره می‌کند که Vco_2 و Vo_2 برای رسیدن به حالت پایدار به زمان طولانی‌تری نیاز دارند (۱۹)، اما موزلی و همکاران (۲۰۰۴) اظهار داشتند که در طرح مطالعهٔ مقدماتی انجام شده در آزمایشگاه بین مراحل سه دقیقه‌ای و مراحل طولانی‌تر (در میزان Vo_2 و Vco_2 طی بارهای کاری یکسان) تفاوت معنی‌داری مشاهده نکرده‌اند (۲۰). همچنین این روش (استفاده از مراحل سه دقیقه‌ای) در پژوهش مک دانیل و همکاران (۲۰۰۲) و برخی مطالعات دیگر تأیید شده است (۲۸،۱۱، ۳۲، ۳۳). با این حال، موزلی و همکاران (۲۰۰۴) نبود تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها را کافی نبودن اختلاف هزینهٔ متابولیک زیر بیشینه برای رسیدن به اختلافی معنی‌دار در کارآیی حرکتی بین گروه‌ها بیان کرده‌اند (۲۰). هاپکر و همکاران (۲۰۰۹) علاوه بر انتقاد به روش‌های مطالعات پیشین، یکی از دلایل عدم مشاهدهٔ تفاوت معنی‌دار بین گروه های تمرین‌کردهٔ رقابتی و تمرین‌نکرده را در برخی از این مطالعات خطر مرتکب شدن خطای آماری نوع دوم و به‌ویژه فقدان توان آماری در مطالعات گذشته بیان می‌کند که توانایی آشکار ساختن اختلافات معنی‌دار بین جمعیت‌های مورد مطالعه را نداشته‌اند (۳۰).

1. Mujika

Archive of SID

www.SID.ir

بعضی از مطالعات بهتر بودن کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری را در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی، در مقایسه با دوچرخه‌سواران آماتور به ترکیب درصد تارهای عضلانی این ورزشکاران مربوط می‌دانند. برخی بررسی‌ها همبستگی مثبتی بین درصد تارهای عضلانی نوع I و کارآیی دوچرخه‌سواری گزارش کرده‌اند (۶، ۸). هارویتز و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند دوچرخه‌سوارانی که درصد بیشتری از تارهای عضلانی نوع I دارند، به‌طور معنی‌داری کارآیی بیشتری دارند (۶). همچنین کویل و همکاران (۱۹۹۱) ارتباط مثبتی بین تعداد سال‌های تمرین استقامتی و درصد تارهای عضلانی نوع I گزارش کردند. با این حال، با توجه به مقطعی بودن این مطالعه، مشخص نبود که انجام سال‌ها تمرین به افزایش تارهای عضلانی نوع I منجر شده است یا اینکه دوچرخه‌سواران با تارهای عضلانی نوع I بیشتر، به تمرین یا مسابقه ادامه داده‌اند (۳۴). در مطالعه‌ای دیگر کویل و همکاران (۲۰۰۵) پیشنهاد کرده‌اند که بیشتر از ۸٪ از افزایش مشاهده شده در کارآیی دوچرخه‌سواری در مسابقات تور بزرگ[1] نتیجهٔ افزایش درصد تارهای عضلانی نوع I است که ممکن است به‌دلیل انجام تمرینات استقامتی شدید مداوم یا قرار گرفتن در معرض ارتفاعات برای مدت طولانی باشد (۱۹)، اما مدبو و همکاران (۲۰۰۸) پس از نمونه برداری عضلانی از عضلات بازکنند زانوی آزمودنی‌ها ارتباطی بین کارآیی و نسبت تارهای عضلانی نوع I مشاهده نکردند. البته در مطالعه مدبو و همکاران (۲۰۰۸) آزمودنی‌ها دوچرخه‌سوار تمرین‌کرده یا حرفه‌ای نبودند که این موضوع شاید بتواند عدم مشاهدهٔ ارتباط بین آن‌ها را توجیه کند (۳۵).از طرفی، هاپکر و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند انجام تمرینات با شدت زیاد به کاهش هزینهٔ اکسیژن دوچرخه‌سواری منجر می‌شود که پیامد آن افزایش کارآیی در دوچرخه‌سواران است و با توجه به اینکه تمرینات دوچرخه‌سواران حرفه‌ای از آماتورها شدیدتر است، این یافته‌ها تا حدی منطقی به نظر می‌رسد (۲۳). همچنین فاریا[2] و همکاران (۱۹۸۲) و سودیس[3] و همکاران (۱۹۹۲) سطح مهارت آزمودنی‌ها را عاملی تأثیرگذار در این زمینه بیان کرده‌اند. آن‌ها پیشنهاد کردند که به‌کارگیری گروه‌های عضلانی غیرویژه دوچرخه‌سواری، به‌خصوص طی بارهای کاری بیشتر توسط دوچرخه‌سواران با مهارت کمتر، به افزایش اکسیژن مصرفی بدون افزایش در کار مفید در این ورزشکاران منجر خواهد شد که در نهایت، باعث عدم افزایش کارآیی در بارهای کاری بیشتر خواهد شد (۳۶، ۳۷).

1. Grand Tour Champion
2. Faria
3. Sidossis

Archive of SID

www.SID.ir

همان‌طور که ذکر شد در مطالعهٔ حاضر در بار کاری ۲۰۰ وات تفاوت معنی‌داری بین کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری دو گروه مشاهده نشد که با نتایج پژوهش هاپکرو همکاران (۲۰۰۷) همسو نیست. در پژوهش هاپکر و همکاران (۲۰۰۷) حتی در بار کاری ۱۵۰ وات نیز کارآیی دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده بهتر از دوچرخه‌سواران تمرین‌نکرده بود. اولاً باید اظهار داشت که در مطالعهٔ هاپکر و همکاران (۲۰۰۷) دو گروه از دوچرخه‌سواران تمرین‌کرده و تمرین‌نکرده مقایسه شدند (۱۹)، ولی در پژوهش حاضر دو گروه از دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی و دوچرخه‌سواران آماتور سطح دو کلاس جهانی مقایسه شدند که توسط اتحادیهٔ بین‌المللی دوچرخه‌سواری کلاس‌بندی شده بودند، چنانکه حتی ظرفیت هوازی گروه دوچرخه‌سواران آماتور نخبهٔ سطح دو این پژوهشبسیار بیشتر از گروه دوچرخه‌سواران تمرین‌کردهٔ مطالعهٔ هاپکرو همکاران (۲۰۰۷) (۶۶ کیلوگرم دقیقه/میلی‌لیتر در مقابل ۶۲ کیلوگرم دقیقه/میلی‌لیتر) بود؛ در نتیجه به نظر می‌رسد اختلاف بین گروه‌های مطالعهٔ حاضر از گروه‌های مطالعهٔ هاپکر و همکاران(۲۰۰۷) کمتر باشد که می‌تواند تفاوت یافته‌های این دو پژوهش را توجیه کند؛ ثانیاً از آنجا که بیشتر رقابت‌ها و تمرینات دوچرخه‌سواری در بارهای کاری بیش از ۲۰۰ وات انجام می‌شود، سازگاری‌ها در این بارهای کاری اتفاق می‌افتد، چنانکه هاپکر و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند کارآیی در دوچرخه‌سواران رقابتی فقط با اجرای تمرین با شدت بالا برای ۱۲ هفته تمرین افزایش می‌یابد (۲۳)؛ از این رو کارایی دوچرخه‌سواران حرفه‌ای و آماتور باید در بارهای کاری بیشتر و شدت تمرینی‌ای مقایسه شود که اغلب در مسابقات از آن‌ها استفاده می‌شود (۳۰). بدین ترتیب، با توجه به تحقیقات گذشته (۱۸،۱۷، ۲۰) و همچنین مطالعهٔ حاضر شاید بتوان گفت که بار کاری ۲۰۰ وات توانایی آشکار سازی تفاوت کارآیی دوچرخه‌سواری را در این سطح از ورزشکاران نداشته باشد که ممکن است به‌دلیل سبک بودن شدت این بار کاری باشد. به نظر می‌رسد این بار کاری برای هر دو گروه به راحتی قابل تحمل بوده، چنانکه باعث کم شدن اختلاف میزان V_{O2} در هر دو گروه شده باشد. این کاهش اختلاف هزینهٔ اکسیژن بین دو گروه در نهایت به عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار در هزینهٔ انرژی و به تبع آن، عدم مشاهدهٔ تفاوت معنی‌دار در کارآیی دوچرخه‌سواری بین دو گروه منجر خواهد شد، اما در بار کاری ۳۰۰ وات، با توجه به اینکه دوچرخه‌سواران آماتور این بار کاری را با تلاش بیشتری اجرا می‌کنند، V_{O2} و هزینهٔ انرژی در آن‌ها افزایش خواهد یافت. همهٔ این عوامل در نهایت به ایجاد اختلاف بیشتر در کارآیی دوچرخه‌سواری بین آن‌ها و دوچرخه‌سواران حرفه‌ای منجر خواهد شد. همچنین مطابق با نظر هاپکر (۲۰۰۷) این احتمال وجود دارد که کوتاه بودن مراحل سه دقیقه‌ای در آزمون فزایندهٔ وامانده ساز برای دست‌یابی به Vo_2 و Vco_2 در حالت پایدار از عوامل

Archive of SID

www.SID.ir

دیگر عدم مشاهدهٔ تفاوت معنی‌دار در بار کاری ۲۰۰ وات در این مطالعه باشد (۱۹). با این حال، با توجه به مشاهدهٔ تفاوت معنی‌دار در کارآیی در بار کاری ۳۰۰ وات و همچنین با توجه به اینکه بسیاری از مطالعات این مدت را برای رسیدن به Vo_2 و Vco_2 پایدار مناسب می‌دانند (۲۰،۱۱، ۳۲،۲۸، ۳۳) این امر تا حدی دور از ذهن به نظر می‌رسد.

در این مطالعه با وجود اینکه میزان کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری تمام آزمودنی‌ها در بار کاری ۳۰۰ وات، درمقایسه با بار کاری ۲۰۰ وات تا حدی بیشتر بود، تفاوت معنی‌داری بین دو بار کاری ۲۰۰ و ۳۰۰ وات مشاهده نشد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که کارآیی با افزایش بار کاری افزایش می‌یابد (۳۸، ۳۹) که بخش زیادی از آن به‌دلیل کار غیرقابل اندازه‌گیری شده ای است (کاری که برای حفظ متابولیسم پایه و وضعیت بدن روی دوچرخه است) که به تشکیل درصد کمتری از هزینهٔ انرژی کل در میزان بارهای کاری بیشتر منجر می‌شود (با توجه به فرمول، هرچه هزینهٔ انرژی کمتر باشد، کارآیی افزایش می‌یابد) (۴۰). همچنین این نتایج با یافته‌های ارائه شده توسط موزلی و جکندراپ (۲۰۰۱) و هاپکر و همکاران (۲۰۰۷) همسو است که اظهار داشتند بین بارهای کاری ۱۵۰ تا ۳۰۰ وات، هنگامی که از آهنگ ثابتی برای پدال زدن استفاده می‌شود، فلاتی در کارآیی وجود دارد (۱۹، ۲۸). به نظر می‌رسد افزایش ۱۰۰ وات در بار کاری به افزایش Vo_2 بیشتری در دوچرخه‌سواران آماتور، در مقایسه با دوچرخه‌سواران حرفه‌ای منجر شده باشد که این عامل سبب شده است افزایش کارآیی در دوچرخه‌سواران آماتور به اندازهٔ افزایش کارآیی در دوچرخه‌سواران حرفه‌ای نباشد؛ در نتیجه تأثیر افزایش کمتر کارآیی در گروه آماتورها شاید به عدم مشاهدهٔ تفاوت معنی‌دار بین دو بار کاری در کل آزمودنی‌ها منجر شده باشد.

نتایج نشان داد بین Vo_2max دوچرخه‌سواران و کارآیی در شدت ۳۰۰ وات همبستگی ضعیف معنی‌داری وجود دارد، چنانکه با افزایش Vo_2max کارآیی دوچرخه‌سواری آزمودنی‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد، اما بین Vo_2max و اقتصاد دوچرخه‌سواری در شدت ۳۰۰ وات ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. در خصوص تأثیر عواملی مانند Vo_2max بر متغیرهای کارآیی و اقتصاد حرکتی و اینکه تفاوت در مقادیر Vo_2max بین آزمودنی‌ها ممکن است چه تأثیری بر نتایج مطالعه داشته باشد، باید گفت که مطالعات در این زمینه نتایج کاملاً متفاوتی گزارش کرده‌اند (۲۴، ۲۸، ۴۱). موزلی و همکاران (۲۰۰۱) بین کارآیی و Vo_2max در دوچرخه‌سواران تمرین‌کردهٔ سطح بالا همبستگی ضعیفی مشاهده کردند (۲۸)، با این حال لوسیا و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای همبستگی معکوسی بین Vo_2max و کارآیی نسبی گزارش کردند (۲۴) که تا حدی توسط برخی مطالعات مورد تردید قرار گرفته است (۴۱). با این حال، با توجه به

Archive of SID

www.SID.ir

شواهد تصور می‌شود هر چه Vo_2max بالاتر باشد، تا حدی نشان‌دهندهٔ تمرین بیشتر فرد است، طوری که افزایش تمرین باعث حذف حرکات زائد و بهبود مهارت می‌شود که می‌تواند موجب کاهش هزینهٔ انرژی در شدت‌های زیر بیشینه شود؛ در نتیجه کارآیی و اقتصاد حرکتی تا حدی بهبود خواهد یافت (۱۹، ۲۳، ۲۸). همچنین باید اظهار داشت در نگاه اول به نظر می‌رسد Vo_2max بالاتر دوچرخه‌سواران حرفه‌ای به افزایش Vo_2 و در نتیجه، افزایش هزینهٔ انرژی در شدتی که Vo_2max در آن حاصل شده منجر شود و در نهایت، همهٔ این سبب کاهش کارآیی در این افراد شود، اما باید در نظر داشت که دوچرخه‌سواران با توان هوازی مختلف در توان‌های خروجی متفاوت، حداکثر اکسیژن مصرفی خود را تجربه می‌کنند؛ از این رو معمولاً دوچرخه‌سواران با Vo_2max بالاتر در توان‌های خروجی بالاتری به Vo_2max خود می‌رسند (۴۱، ۴۲). همچنین سرعت انجام کار در این ورزشکاران، زمانی که از آهنگ پدال زدن ترجیحی استفاده می‌شود تا حدی بیشتر است (۱۸)؛ در نتیجه، این اختلاف در میزان توان خروجی و کار انجام شده (کار انجام شدهٔ بیشتر) شاید بتواند با توجه به فرمول کارآیی، تأثیر بیشتر بودن هزینهٔ انرژی را در این دوچرخه‌سواران کاهش داده، آن را جبران کند و حتی به افزایش کارآیی در این ورزشکاران منجر شود.

نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد در شدت ۳۰۰ وات بین سن دوچرخه‌سواران و کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری ارتباط معنی‌داری وجود دارد، به این صورت که با افزایش سن کارآیی و اقتصاد دوچرخه‌سواری آزمودنی‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. در مورد تأثیر سن بر نتایج این تحقیق باید گفت که به نظر نمی‌رسد تفاوت سنی دو گروه به تنهایی عاملی تأثیرگذار در این زمینه باشد، طوری که برخی از مطالعات این موضوع را لحاظ نکرده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعهٔ هاپکر و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که گروه‌ها از لحاظ سنی تا حد زیادی با یکدیگر اختلاف داشتند (۱۹). علاوه بر این، مطالعات معدودی به بررسی تأثیر سن روی کارآیی دوچرخه‌سواری در افراد مختلف پرداخته‌اند، حتی این مطالعات نیز تأثیر سن را به تنهایی بر کارآیی دوچرخه‌سواری بررسی نکرده‌اند، بلکه تأثیر افزایش سن را به دنبال تمرینات استقامتی بررسی کرده‌اند (۴۳، ۴۴). گیسان و همکاران (۱۹۹۱) اظهار داشتند که با انجام تمرین استقامتی در مردان بالغ، هزینهٔ اکسیژن کاهش و کارآیی دوچرخه‌سواری افزایش می‌یابد که چنین تغییراتی ممکن است در دامنه‌های مختلف سنی به وقوع بپیوندد (۴۴). حتی این فرضیه که کارآیی دوچرخه‌سواری با انجام سال‌ها تمرین استقامتی بهبود می‌یابد نیز به‌طور کامل تأیید نشده است (۲۱)، چنانکه مارتین و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای موردی و با بررسی کارآیی دوچرخه‌سواری یک قهرمان تور حرفه‌ای از سن ۱۸ تا ۲۴ سالگی چنین یافته‌هایی را تأیید

Archive of SID

www.SID.ir

نکردند (۲۱). با این حال کویل و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه ای موردی، افزایش کارآیی عضلانی لانس آرمسترانگ را در طول دوره‌ای هفت ساله از سن ۲۱ تا ۲۸ سالگی گزارش کردند. با این حال با توجه به دلیل مشکلات موجود در انتخاب و در دسترس بودن آزمودنی‌های نخبه و حرفه‌ای، این تفاوت سنی در دو گروه را شاید بتوان از محدودیت‌های پژوهش حاضر به شمار آورد.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان داد دوچرخه‌سواران حرفه‌ای کلاس جهانی، در مقایسه با دوچرخه‌سواران آماتور نخبه کارآیی بهتری دارند که تا حدی می‌تواند در شدت‌های زیاد، تفاوت عملکردی عمدهٔ بین آن‌ها را توضیح دهد.

منابع:

1. Lucia A, Hoyos J, Pardo J, Chicharro JL,(2000), Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study, Jpn J Physiol, 50(3), 381-8.
2. Mujika I, Padilla S,(2001), Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. Sports Med, 31(7),479-87.
3. Padilla S, Mujika I, Orbananos J, Santisteban J, Angulo F, Jose Goiriena J,(2001), Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. Med Sci Sports Exerc, 33(5), 796-802 .
4. Padilla S, Mujika I, Santisteban J, Impellizzeri FM, Goiriena JJ,(2008), Exercise intensity and load during uphill cycling in professional 3-week races. Eur J Appl Physiol, 102(4), 431–438.
5. Coyle EF,(1999), Physiological determinants of endurance exercise performance. J Sci Med Sport, 2(3), 181 – 189
6. Horowitz JF, Sidossis LS, Coyle EF,(1994), High efficiency of type 1 muscle fibres improves performance. Int J Sports Med, 15(3), 152 – 157.
7. Moseley L , Jeukendrup A,(2001), The reliability of cycling efficiency. Med Sci Sports Exerc, 33(4), 621 – 627
8. Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF, Beltz JA, (1992), Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. Med Sci Sports Exerc, 24(7), 782 – 788.
9. Jeukendrup AE, and Martin J ,(2001), Improving cycling performance: how should we spend our time and money. Sports Med, 31(7), 559–569.
10. Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA, (2000), The bioenergetics of World Class Cycling. J Sci Med Sport, 3(4), 414-33.

Archive of SID

www.SID.ir

11. McDaniel J, Durstine JL, Hand GA, Martin JC, (2002), Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. J Appl Physiol, 93(3), 823-8.

12. Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF, Beltz JD, (1992), Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. Med Sci Sports Exerc, 24(7),782-8.

13. Green HJ, Roy B, Grant S, Hughson R, Burnett M, Otto C, Pipe A, McKenzie D, Johnson M, (2000), Increases in submaximal cycling efficiency mediated by altitude acclimatization. J Appl Physiol, 89(3), 1189-97.

14. Hochachka PW, Stanley C, Matheson GO, McKenzie DC, Allen PS, Parkhouse WS, (1991), Metabolic and work efficiencies during exercise in Andean natives. J Appl Physiol, 70(4):1720-30.

15. Passfield L, Doust JH, (2000), Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. Med Sci Sports Exerc, 32(11), 1935-41.

16. Ferguson RA, Ball D, Sargeant AJ, (2002), Effect of muscle temperature on rate of oxygen uptake during exercise in humans at different contraction frequencies. J Exp Biol, 205(7), 981-7.

17. Nickleberry BL, Brooks GA, (1996), No effect of cycling experience on leg cycle ergometer efficiency. Med Sci Sports Exerc, 28(11), 1396 – 1401

18. Marsh AP , Martin PE , Foley KO, (2000), Effect of cadence, cycling experience, and aerobic power on delta efficiency during cycling . Med Sci Sports Exerc, 32(9), 1630 – 1634

19. Hopker JG, Coleman DA, Wiles J, (2007), Differences in efficiency between trained and recreational cyclists . Appl Physio Nut Metab, 32(6), 1036 – 1042

20. Moseley L, Achten J, Martin JC, Jeukendrup AE, (2004), No differences in cycling efficiency between world-class and recreational cyclists . Int J Sports Med, 25(5), 374 – 379

21. Martin DT, Quod MJ, Lee H, Gore CJ, (2009), Cycling Efficiency In A Pro Tour Champion: A Case Study: 2911: Board #58 May 30 9:30 AM - 11:00 AM. Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(5), 500-510.

22. Coyle EF, (2005), Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures. J Appl Physiol, 98(6), 2191 – 2196

23. Hopker J, Coleman D, Passfield & Wiles , (2010), The effect of training volume and intensity on competitive cyclists' efficiency. Appl. Physiol. Nutr. Metab, 35(1), 17–22

24. Lucía A, Hoyos J, Pérez M, Santalla A, Chicharro JL, (2002), Inverse relationship between VO2max and economy/efficiency in world-class cyclists. Med Sci Sports Exerc, 34(12), 2079-84.

Archive of SID

www.SID.ir

25. Lucia A, Pardo J, Durántez A, Hoyos J, Chicharro JL, (1998), Physiological differences between professional and elite road cyclists. Int J Sports Med, 19(5),342-8.

26. Medelli J, Shabani M, Lounana J, Fardellone P, Campion F, (2009), Low bone mineral density and calcium intake in elite cyclists. J Sports Med Phys Fitness, 49(1), 44-53.

27. Brouwer E, (1957), On simple formulae for calculating the heat expenditure and the quantities of carbohydrate and fat oxidized in metabolism of men and animals, from gaseous exchange (oxygen and carbonic acid output) and urine-N. Acta Physiol. Pharmacol. Nederl, 6, 795– 802.

28. Moseley L, Jeukendrup A,(2001), The reliability of cycling efficiency. Med Sci Sports Exerc, 33(4), 621 – 627

29. Boning D, Gonen Y, Maassen N, (1984), Relationship between work load, pedal frequency, and physical fittness . Int J Sports Med, 5(2), 92 – 97

30. Hopker J, Passfi eld L, Coleman D, Jobson S , Edwards L, Carter H, (2009), The Effects of Training on Gross Efficiency in Cycling: A Review. Int J Sports Med, 30(12), 845 – 850

31. Mujika I and Padilla S, (2001), Physiological and Performance Characteristics of Male Professional Road Cyclists. Sports Med, 31 (7), 479-487

32. Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE, (2002), Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. Med Sci Sports Exerc, 34(1), 92-7.

33. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE, (2003), Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. Metabolism, 52 (6), 747–752.

34. Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylor AM Abraham LD, Petrek GW, (1991), Physiological and biochemical factors associated with elite endurance cycling performance. Med Sci Sports Exerc 23(1), 93 – 107

35. Medbø JI, (2008), No effect of muscle fiber type on mechanical efficiency during cycle exercise at 1.5 HZ. Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis,13(3), 25-51

36. Faria IGS and Bonde-Petersen F, (1982), Oxygen cost during different pedalling speeds for constant power output. *J. Sports Med*, 22(3), 295–299,

37. Sidossis LS, Horowitz JF and Coyle EF, (1992), Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. *Int. J. Sports Med*, 13(5), 407– 411.

38. Chavarren J, Calbet JAL, (1999), Cycling efficiency and pedalling frequency inroad cyclists . Eur J Appl Physiol, 80(6), 555 – 563

Archive of SID

www.SID.ir

39. Gaesser GA, Brooks GA, (1975), Muscular efficiency during steady-state exercise: effects of speed and work rate . J Appl Physiol, 38(2), 1132 – 1139

40. Stainsby W, Gladden L, Barclay J, Wilson B, (1980), Exercise efficiency: validity of base-line subtractions. J Appl Physiol, 48(3), 518 – 522.

41. Atkinson G, Davison R, Nevil AM, (2004), Response: inverse relationship between [latin capital v with dot above] Vo2max and economy in world class cyclists. Medicine & Science in Sports & Exercise, 36(6), 1085-1086.

42. Jeukendrup A, Martin DT, Gore CJ, (2003), Are world-class cyclists really more efficient?. Med Sci Sports Exerc, 35(7), 1238-9.

43. Woo JS, Derleth C, Stratton JR, Levy WC, (2006), The influence of age, gender, and training on exercise efficiency. J Am Coll Cardiol, 47(5), 1049-57.

44. Gissane C, Corrigan DL, White JA,(1991), Gross efficiency responses to exercise conditioning in adult males of various ages. J Sports Sci, 9(4), 383-91.

Archive of SID

www.SID.ir