JSEP
Journal of Sport and Exercise Physiology
Autumn- Winter 2021/Vol.14/No.2/33-44

Determining the energy demands and contribution of the energy systems during self-defense in elite athletes

Ehsan Yousefalizadeh*, Khosrow Ebrahim, Sajjad Ahmadizad

Faculty of Sports Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Original Article

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to investigate the energy demands and contribution of the energy systems during self-defense in elite athletes. Twelve male self-defense elite athletes (age, 24 ± 1.4 yr, body mass: 78.1 ± 2.44 kg; percent of body fat, 16.83 ± 1.5 %) voluntarily participated in the study.

Methods: To estimate the energy contributions, and total energy cost of the fights, athletes VO_{2max}, HR_{max} and HR_{mean}, were obtained' using Bruce test on a treadmill. The athletes performed a simulated competition consisting of two (3 min) rounds with a (1 min) recovery in between each round. The combats were video recorded to quantify the actual time for fighting in each round. The contribution of the aerobic (W_{AER}), anaerobic alactic (W_{PCR}), and anaerobic lactic ($W(La^{-1})$) energy systems was estimated through the measurement of oxygen consumption during the activity and the fast component of excess post-exercise oxygen consumption (EPOC), and the change in blood lactate concentration were estimated in each round, respectively.

Results: The mean ratio of high intensity to actions of low intensity actions (attacks and no attacks) was 1:1.7. The W_{AER}, W_{PCR} and ($W(La^{-1})$) system contributions were estimated as 122 ± 11 kJ (56±4%), 69 ± 2 kJ (32 ± 0.2%), 24 ± 8 kJ (10 ± 3%), respectively.

Conclusion: Thus, training sessions for self-defense should be directed mainly toward improvement of the anaerobic alactic system (used with high intensity actions), and of the aerobic system (used with recovery between high-intensity actions).

Keywords: Energy systems, Oxygen consumption, Lactate, Combat sports, Self-defense

How to cite this article: Yousefalizadeh E, Ibrahim Kh, Ahmadizad S. Determining the energy demands and contribution of the energy systems during self-defense in elite athletes. Journal of Sport and Exercise Physiology 2021;14(2): 33-44

*Corresponding Author; E-mail: ehsanyosofalizade@gmail.com
DOI: 10.52547/joeppa.14.2.33

Received: 30/05/2019 Accepted: 30/07/2019

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
پاییز و زمستان ۱۴۰۰/ دوره ۱۴/ شماره ۲/ صفحه‌های ۳۳-۴۴
JSEP

برآورد انرژی مصرفی و سهم دستگاه‌های انرژی در ورزشکاران نخبهٔ دفاع شخصی

احسان یوسفعلی‌زاده*، خسرو ابراهیم، سجاد احمدی زاد

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

مقاله پژوهشی

چکیده

هدف: هدف از این پژوهش برآورد انرژی مصرفی و سهم دستگاه‌های انرژی در ورزشکاران نخبهٔ دفاع شخصی بود.

روش‌ها: به‌منظور برآورد انرژی مصرفی و سهم دستگاه‌های انرژی کل مبارزه، ابتدا ۱۲ مرد ورزشکار نخبهٔ دفاع شخصی (میانگین سنی ۱/۴±۲۴/۶سال، قد ۱/۲/۲±، سانتی‌متر۱۸۲، تودهٔ بدن ۲/۴۴±۷۸/۱ کیلوگرم، درصد چربی ٪۱/۵±۱۶/۸۳) آزمون‌های اکسیژن مصرفی بیشینه و ضربان قلب بیشینهٔ بروس را روی نوار گردان و میانگین ضربان قلب طی رقابت واقعی را روی تاتامی به‌منظور تعیین شدت انجام دادند، سپس دو راند مبارزهٔ ۳ دقیقه با فاصلهٔ استراحتی ۱ دقیقه شبیه رقابت را انجام دادند. برای تعیین شدت نسبت کار به استراحت در طول مبارزه، کل زمان راند موردنظر فیلم‌برداری شد، سهم دستگاه‌های هوازی، فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی به‌ترتیب از طریق مصرف اکسیژن در طول فعالیت، بخش سریع مصرف بیش از حد اکسیژن پس از فعالیت و تغییرات غلظت لاکتات خون در هر راند به‌دست آمد. برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها از آزمون شپیرو-ویلک و برای بررسی تفاوت بین‌گروهی از تحلیل آزمون تی زوجی استفاده شد (P<۰/۰۵).

نتایج: میانگین نسبت کار به استراحت حدود ۱ به ۱/۷ بود. مقدار انرژی مطلق (kJ) و نسبی (٪) دستگاه‌های هوازی، فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی به‌ترتیب ۱۱±۱۲۲kJ (۴±۵۶٪)، ۲ kJ۶۹±۲ (۰/۲±۳۲٪) و ۸ kJ۲۴± (۳±۱۰٪) بود.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج پژوهش توصیه می‌شود در تمرینات و فرایند آموزش به‌طور کلی از دستگاه بی‌هوازی فسفاژن (به‌منظور انجام کار با شدت بالا) و دستگاه هوازی (به‌منظور بازیافت) برای به بیشینه رساندن عملکرد ورزشکار استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: دستگاه‌های انرژی، دفاع شخصی، لاکتات خون، مصرف اکسیژن، ورزش‌های رزمی.

* نویسنده مسئول: رایانامه: ehsanyosofalizade@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۸

مقدمه

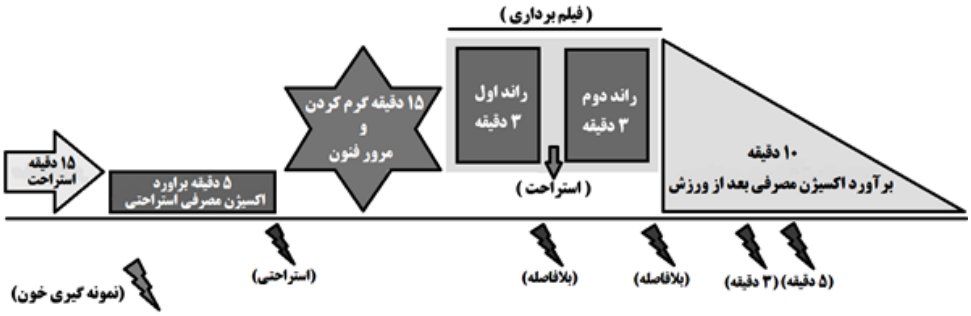
دفاع شخصی یا دفاع از خود به پادکارهایی گفته می‌شود که شخص برای حراست از سلامت یا دفاع خود یا شخص دیگری به کار می‌گیرد (۱). این رشته تلفیقی‌ترین و از پیچیده‌ترین رشته‌های رزمی در جهان است که تاریخ دقیق و مشخصی ندارد و در کشورهای مختلف آن را به عناوین مختلف با تاریخچه‌های متفاوتی می‌شناسند (۲). دفاع شخصی از فنون بسیار زیاد و تمرینات متنوعی برخوردار است. دستگاه‌های تمرینی فراگیر دفاع شخصی ترکیبی از رشته‌های رزمی مانند آیکیدو، جوجیتسو، جودو، کاراته، تکواندو، هاپکیدو و غیره است (۱). بیشتر مطالعات در زمینهٔ سهم انرژی مصرفی و دستگاه‌های انرژی روی رشته‌های رزمی المپیکی مانند تکواندو، جودو و غیره از طریق اندازه‌گیری ضربان قلب، پاسخ هورمونی و غلظت لاکتات خون بوده است (۳، ۴). ارزش ضربان قلب برای مبارزهٔ تکواندو شبیه‌سازی‌شده در پژوهش‌های بوتیوس و همکاران (۲۰۰۷) (۵) و بوهال و همکاران (۲۰۰۶) (۶) به‌ترتیب ۲ ± ۱۴۸ و ۲ ± ۱۹۷ ضربه در دقیقه و در طی رقابت واقعی طی پژوهش چیدو و همکاران (۲۰۱۱) (۳) و بردیچ و همکاران (۲۰۰۹) (۴) به‌ترتیب ۱۰ ± ۱۷۶ و ۸ ± ۱۸۷ ضربه در دقیقه گزارش شده است. در مورد تغییرات لاکتات پس از رقابت تکواندو تنوع بیشتری مشاهده شده است. برای مثال در پژوهش چیودو و همکاران (۲۰۱۱) (۳) غلظت لاکتات ۲/۶±۱۱/۹ میلی‌مول بر لیتر و پژوهش بردیچ و همکاران (۲۰۰۹) ۲/۱±۱۱/۹ میلیمول بر لیتر گزارش شد (۳). همچنین، دگوته و همکاران (۲۰۰۳) تغییرات لاکتات پس از رقابت جودو را ۰/۸±۱۲/۳ میلیمول بر لیتر گزارش کردند (۷). تجزیه‌وتحلیل‌های انجام‌گرفته روی رشته‌های رزمی کاراته، موی تای و تکواندو براساس فرضیات دی پرامپرو و فررتی (۱۹۹۹) نشان می‌دهد که دستگاه انرژی هوازی سهم بیشتری نسبت به دو دستگاه بی‌هوازی فسفاژن و گلیکولیز دارد (۸، ۹). با اینکه دفاع شخصی کارامدترین فعالیت بدنی برای حفاظت از خود در نیروهای پلیس و افراد عادی است، با این حال پژوهش دقیقی در مورد تغییرات فیزیولوژیک و انرژی مصرفی این رشته طی مبارزه صورت نگرفته است. اعتقاد بر این است که درک خوب از سهم دستگاه‌های انرژی می‌تواند در روند تمرینات و صرفه‌جویی در وقت مربی بسیار کارساز باشد (۱۰). تحقیق حاضر با هدف بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک (ضربان قلب بیشینه، اکسیژن مصرفی بیشینه، مصرف اکسیژن طی رقابت، غلظت لاکتات خون و ضربان قلب) و تجزیه‌وتحلیل ویدئویی برای برآورد انرژی مصرفی و سهم دستگاه‌های انرژی ورزشکاران نخبه دفاع شخصی انجام گرفت.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: آزمودنی‌های این پژوهش ۱۲ مرد دفاع شخصی‌کار نخبهٔ تیم ملی جمهوری اسلامی ایران (با میانگین سنی ۱/۴ ± ۲۴/۶ سال، میانگین قد ۲/۲ ± ۱۸۲/۱ سانتی‌متر، تودهٔ بدن ۲/۴۴ ± ۷۸/۱ کیلوگرم بر متر مربع) بودند. آزمودنی‌های پژوهش در اوزان ۷۵-۸۰ هشت نفر، ۸۰-۸۵ چهار نفر کیلوگرم قرار داشتند و حداقل ۷ سال سابقهٔ کار در سطح ملی رشته‌های رزمی (کاراته، تکواندو، هاپکیدو، جودو، جوجیتسو، کیک بوکسینگ، موی‌تای و بوکس) و به‌ویژه دفاع شخصی را دارا بودند. تمامی آزمودنی‌ها در مسابقات کشوری و تمرینات دفاع شخصی حضور داشته و حداقل ۳ جلسه تمرین منظم ورزشی به میزان ۸ ساعت در هفته داشتند. آزمودنی‌های دارای کمربند مشکی و دان دو دفاع شخصی بودند که داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند. آزمودنی‌ها پرسشنامهٔ سلامت و رضایت‌نامهٔ شرکت در آزمون را تکمیل کردند و به‌منظور آشنایی با پژوهش، همهٔ مراحل پژوهش برای آنها توضیح داده شد. از آزمودنی‌ها تقاضا شد، ۴۸ ساعت پیش از آزمون در هیچ‌گونه فعالیت ورزشی شرکت نکنند و از مصرف دارو یا استعمال دخانیات خودداری ورزند. آزمودنی‌ها پس از ۸ ساعت ناشتایی و صرف صبحانهٔ سبک (با مقدار کالری یکسان)، بین ساعت ۱۰ تا ۳۰:۱۱ صبح در آزمایشگاه حضور یافتند. برای کنترل صبحانهٔ مصرفی برنامهٔ یکسان تغذیه‌ای متشکل از ۲۰ گرم عسل، ۱۰ گرم کره و ۲۰ گرم پنیر به‌همراه دو عدد نان تست در ساعت ۷ صبح استفاده شد.

روش اجرای پژوهش: در رشتهٔ دفاع شخصی ورزشکاران با توجه به وزن خود و یک به یک مطابق با قوانین جهانی رقابت سنتی دفاع شخصی به مبارزه می‌پرداختند. مبارزات طی دو راند ۳ دقیقه با فاصلهٔ استراحتی ۱ دقیقه بین دو راند روی تاتامی (۸ × ۸ متر) انجام گرفت (۱). آزمون‌ها طی دو روز انجام گرفت. در ابتدا و روز اول برای همگن‌سازی و انتخاب آزمودنی‌ها

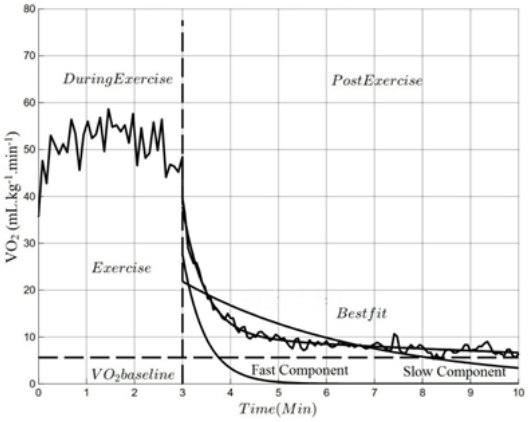
شاخص‌های آنتروپومتریک و ترکیب بدن از جمله قد، تودهٔ بدن و درصد چربی بدنی توسط دستگاه‌های سنجش ترکیب بدنی و قدسنج ثبت شدند. برای تعیین اکسیژن مصرفی بیشینه و ضربان قلب بیشینه از هریک از آزمودنی‌ها به‌صورت جداگانه آزمون اکسیژن مصرفی بیشینه و ضربان قلب بیشینه با استفاده از نوار گردان گرفته شد و از طریق آزمون بروس تا حد واماندگی مورد سنجش قرار گرفت (۱۱). سپس برای تعیین شدت رقابت، یک جلسه مبارزه به‌منظور تعیین تغییرات ضربان قلب (میانگین ضربان قلب طی مبارزهٔ واقعی) طی یک راند بدون دستگاه سنجش گاز تنفسی انجام گرفت و با توجه به اینکه تغییرات ضربان قلب طی رقابت بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ضربان قلب بیشینه (طی آزمون بروس روی نوار گردان ۱۹۳ضربه در دقیقه = HR_{max}) بود، در روز دوم آزمون (اصلی) برای شبیه‌سازی رقابت شدت در دامنهٔ ۷۵ تا ۹۵ درصد HR_{max} (۱۴۵ min و ۱۸۵ max ضربه در دقیقه) در طی دو راند رقابت، به‌صورت زبانی (با توجه به تغییرات ضربان قلب و اکسیژن مصرفی در صفحهٔ نمایشگر) اعمال شد، نمونه‌های خون طی پنج مرحلهٔ استراحتی، بلافاصله پس از راند اول، بلافاصله بعد از راند دوم، ۳ دقیقه پس از راند دوم و ۵ دقیقه پس از راند دوم انجام گرفت، همچنین تعیین اکسیژن مصرفی طی سه مرحلهٔ استراحتی، در حین ورزش و پس از ورزش انجام گرفت. برای مشخص شدن لاکتات استراحتی از وریدبازویی هریک از آزمودنی‌ها در حالت استراحت نمونه‌گیری خون به مقدار ۴ میلی‌لیتر به‌عمل آمد. سپس دستگاه تجزیه‌وتحلیل گازهای تنفسی قابل حمل (Meta Max 3B Cortex, Germany) کالیبره شد و در محل مناسبی از بدن ورزشکار (راند اول روی سینه، راند دوم پشت) نصب و اکسیژن مصرفی پایه یا استراحتی ورزشکار در حالت ایستاده و بدون هیچ‌گونه فعالیتی به مدت ۵ دقیقه ثبت شد (۱۲). پس از این مراحل نوبت به اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی طی دو راند ۳ دقیقه مبارزه دفاع شخصی با فاصلهٔ استراحتی یک دقیقه بین دو راند رسید. یک کمک‌مربی و داور (در سطح ملی) فنون لازم برای شبیه‌سازی رقابت دفاع شخصی را برای آزمودنی‌ها اعلام و داوری می‌کردند. پس از اتمام فعالیت اکسیژن مصرفی ورزشکار به مدت ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری و برای مشخص شدن اوج غلظت لاکتات پلاسما بلافاصله پس از هر راند و در طی زمان‌های ۳ و ۵ دقیقه پس از راند دوم نمونهٔ خون از وریدبازویی به مقدار ۴ میلی‌لیتر گرفته شد (۱۳). طی آزمون میانگین دمای هوا و فشار هوا به‌ترتیب ۲۶/۲۷±۰/۵ سانتی‌گراد و ۸۳۳/۲±۲ میلی‌بار بود. به‌منظور جلوگیری از لخته شدن خون، نمونه‌ها در لوله‌های حاوی مقدار یکسانی از EDTA اضافه و به‌آرامی مخلوط شد. پس از این نمونه‌ها بلافاصله پس از هر مرحلهٔ خون‌گیری در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس پلاسما استخراج و به داخل میکروتیوب ریخته شد و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. برای اندازه‌گیری غلظت لاکتات، مقدار ۱۰ میکرولیتر از نمونهٔ پلاسما با ۱۰۰۰ میکرولیتر واکنشگر مخلوط شد، سپس به مدت ۵ دقیقه در دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس مخلوط در لولهٔ آزمایش ریخته شد و در درون دستگاه اسپکتروفتومتری قرار گرفت تا اندازه‌گیری موردنظر تحقق یابد. در طول اندازه‌گیری‌ها طی پروتکل شبیه‌سازی‌شدهٔ رقابت، کل مدت زمان مورد مبارزه، با دوربین فیلم‌برداری مخصوص برای مشخص شدن نسبت کار به استراحت و تعداد فنون انجام‌گرفته، ثبت شد. گازهای تنفسی نفس به نفس به‌صورت جدول‌هایی با فاصلهٔ زمانی ۵ ثانیه در Excel ذخیره شد (۱۴).



شکل ۱. طرح شماتیک پژوهش

محاسبهٔ سهم دستگاه‌های انرژی: برآورد انرژی مصرفی از سه دستگاه هوازی، فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی به‌ترتیب از طریق مصرف اکسیژن طی فعالیت، بخش سریع مصرف اکسیژن پس از فعالیت و اوج غلظت لاکتات خون اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری دستگاه هوازی ابتدا اکسیژن مصرفی در حالت ایستاده و بدون فعالیت به مدت ۵ دقیقه به‌دست آمد. متوسط ۳۰ ثانیهٔ آخر این ۵ دقیقه به‌عنوان اکسیژن مصرفی پایه یا استراحتی محسوب شد و از اکسیژن مصرفی طی فعالیت دفاع شخصی کسر شد؛ به این صورت که سهم دستگاه هوازی با کم کردن مساحت زیر نمودار مصرف اکسیژن استراحت از مساحت اکسیژن مصرفی طی رقابت به روش انتگرال‌گیری ذوزنقه با نرم‌افزار ریاضیاتی (Matlab R2013a) محاسبه شد (۸، ۱۵). سهم دستگاه انرژی فسفاژن می‌تواند به‌عنوان سریع‌ترین بخش در نمودار مصرف اکسیژن بلافاصله پس از ورزش باشد. طبق شکل ۲ محاسبهٔ انرژی تولیدشده توسط دستگاه فسفاژن به‌وسیلهٔ اتصالات سینتیک مصرف اکسیژن پس از ورزش به‌صورت نمودار تک‌نمایی یا نمودار دونمایی است (۸، ۱۶) و آن را می‌توان با کمک نرم‌افزار ریاضیاتی (Matlab R2013a) انجام داد. در مورد این پژوهش ابتدا داده‌های اصلی بخش بعد از فعالیت، با روش دونمایی برازش شد. این مساحت قابل اغماض بود، ازاین‌رو با تغییر الگوی برازش آن، داده‌ها با الگو تک‌نمایی برازش شدند و سپس مساحت زیر آن با روش ذوزنقه محاسبه شد. برای محاسبهٔ دستگاه بی‌هوازی با اسید لاکتیک، فرض بر این است که یک میلی‌مول لاکتات در حالت استراحت برابر با ۳ میلی‌لیتر اکسیژن مصرفی به ازای هر کیلوگرم تودهٔ بدن است. سپس دلتای لاکتات برای محاسبهٔ اکسیژن مصرفی در طول فعالیت به‌دست آمد. مقدار بهدست‌آمده اکسیژن به میلی‌لیتر است، آن را به لیتر و سپس به انرژی (KJ) تبدیل می‌کنیم (۹)، با فرض اینکه هر یک لیتر اکسیژن برابر با ۲۰/۹۲ کیلوژول انرژی است (۱۷). در نهایت نتایج مربوط به سهم هر یک از ۳ دستگاه انرژی مختلف به‌صورت نسبی محاسبه شد ($W_{PCR}+W(La-)+W_{AER}$).

نحوهٔ تجزیه‌وتحلیل ویدئویی: تمامی فیلم‌ها با استفاده از نرم‌افزار پخش آهستهٔ فیلم با دقت زمان ۰/۰۱ ثانیه پخش شد؛ تجزیه‌وتحلیل ویدئویی براساس معیارهای پژوهشی سانتوز و همکاران (۲۰۱۱) و فیلم‌های



شکل ۲. تغییرات اکسیژن مصرفی حین و پس از ۳ دقیقه مبارزهٔ دفاع شخصی

مربوط به هر راند به‌صورت جداگانه تجزیه‌وتحلیل شد (۱۸) و داده به‌صورت جداول از تعداد حملات پرتابی (حرکات بسیار سریع و انفجاری مانند ضربهٔ مشت و لگد)، تعداد حملات غیرپرتابی (حرکات آهسته‌تر، ولی قدرتی مانند فنون جودو)، زمان حملهٔ پرتابی، زمان حملهٔ غیرپرتابی، مجموعه زمان حملات و مجموعهٔ زمان بدون حمله (استراحت) در Excel ذخیره شد (۱۹). برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، آمار توصیفی مربوط به متغیرها شامل میانگین و انحراف استاندارد در قالب جدول تجزیه‌وتحلیل ویدئویی جمع‌آوری شد.

تحلیل آماری: به‌منظور تجزیه‌وتحلیل اطلاعات از آمار استنباطی استفاده شد. داده‌ها به‌وسیلهٔ نرم‌افزار SPSS ۲۲/۰ تجزیه‌وتحلیل شدند. از آزمون شاپیروویلک برای تعیین طبیعی بودن توزیع داده‌ها استفاده شد. برای بررسی تفاوت بین‌گروهی (بین دو راند) از تحلیل آزمون تی زوجی استفاده شد. سطح معناداری P<۰/۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

درصد چربی، اکسیژن مصرفی بیشینهٔ مطلق و نسبی، ضربان قلب بیشینه و متوسط ضربان قلب رقابت دفاع شخصی در جدول ۱ و مقادیر ضربان قلب، اکسیژن مصرفی و لاکتات خون در جدول ۲ ارائه شده است. بین مقادیر اوج ضربان قلب در دو راند تفاوت معناداری وجود داشت و مقدار آن در راند اول کمتر از راند دوم بود (P<۰/۰۵). همچنین بین میانگین ضربان قلب طی دو راند تفاوت معناداری وجود داشت و مقدار آن در راند دوم بیشتر از راند اول بود (P<۰/۰۵). ضربان قلب بلافاصله پس از دو راند هیچ تفاوتی نداشت (P<۰/۰۵).

جدول ۱. درصد چربی، اکسیژن مصرفی بیشینهٔ مطلق و نسبی، ضربان قلب بیشینه و میانگین ضربان قلب طی رقابت واقعی دفاع شخصی

متغیر	درصد چربی بدن (درصد٪)	اکسیژن مصرفی بیشینهٔ نسبی (میلیلیتر در دقیقه در کیلوگرم)	اکسیژن مصرفی بیشینه (لیتر در دقیقه)	ضربان قلب بیشینه (ضربه در دقیقه)	ضربان قلب واقعی رقابت (ضربه در دقیقه)
	۱۶/۱۸۶ ± ۱/۵	۵۳/۲۷ ± ۱/۸	۳/۸۷ ± ۰/۲	۱۹۳ ± ۴	۱۷۵ ± ۵

همچنین ضربان قلب پس از یک دقیقه از راند اول و یک دقیقه پس از راند دوم تفاوتی نداشت (P<۰/۰۵). براساس داده‌ها میانگین ضربان قلب ۸۸ درصد ضربان قلب بیشینه بود و تنها ۲ درصد با شرایط واقعی در ضربان قلب تفاوت وجود داشت. بین اکسیژن مصرفی مطلق طی دو راند تفاوت معناداری دیده نشد و مقدار آن در طی دو راند تقریباً یکسان بود (P<۰/۰۵) و به همین شکل بین اکسیژن مصرفی نسبی طی دو راند هیچ تفاوتی پیدا نشد (P<۰/۰۵). همچنین بین غلظت لاکتات خون بلافاصله پس از راند اول و دوم تفاوت معناداری پیدا شد و مقدار آن در راند اول کمتر از راند دوم بود (P<۰/۰۵). بین غلظت لاکتات اوج پس از راند دوم با لاکتات بلافاصله پس از راند دوم تفاوت معناداری وجود داشت و مقدار اوج آن بیشتر از بلافاصله پس از راند دوم بود (P<۰/۰۵).

جدول ۲. پاسخ‌های فیزیولوژیک طی رقابت دفاع شخصی

متغییر	راند اول	راند دوم	کل
میانگین اوج ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	۱۷۹ ± ۷	۱۸۲ ± ۲	۱۸۱ ± ۵
متوسط ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	۱۷۱ ± ۱۶	۱۶۸ ± ۱۴	۱۷۰ ± ۱۵
ضربان قلب بلافاصله بعد از راند (ضربه در دقیقه)	۱۷۰ ± ۵	۱۶۹ ± ۶	۱۶۹ ± ۵
ضربان قلب ۱ دقیقه بعد از راند (ضربه در دقیقه)	۱۳۰ ± ۴	۱۲۸ ± ۳	۱۲۹ ± ۳
متوسط اکسیژن مصرفی نسبی (میلیلیتر در دقیقه در کیلوگرم)	۴۲/۳۰ ± ۰/۷	۴۲/۶۲ ± ۰/۸	۴۶/۴۲ ± ۰/۷
متوسط اکسیژن مصرفی مطلق (لیتر در دقیقه)	۳/۲۶ ± ۰/۴	۳/۲۹ ± ۰/۵	۳/۲۷ ± ۰/۴
غلظت لاکتات (میلیمول بر لیتر)	۸/۰۳ ± ۱/۳*	۸/۹۱ ± ۱/۱	۸/۴۸ ± ۱/۲
اوج غلظت لاکتات (میلیمول بر لیتر)	۸/۰۳ ± ۱/۳*	۹/۸۴ ± ۱/۵	۸/۹۳ ± ۱/۴

* اختلاف معنادار بین راند اول و دوم (P<۰/۰۵)

مقادیر انرژی تولیدی مطلق و نسبی سه دستگاه انرژی هوازی فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی طی دو راند در جدول ۳ آورده شده است. بین انرژی تولیدی مطلق از دستگاه هوازی در بین دو راند تفاوت معناداری مشاهده نشد و مقدار آن در راند اول و دوم تقریباً یکسان بود (P<۰/۰۵)، اما بین انرژی تولیدی مطلق دستگاه فسفاژن بین دو راند تفاوت معناداری مشاهده شد و مقدار آن در راند اول بیشتر از راند دوم بود (P<۰/۰۵). همچنین بین انرژی مطلق تولیدی توسط دستگاه گلیکولیز در دو راند تفاوت معناداری یافت شد و مقدار آن در راند اول به‌مراتب بیشتر از راند دوم بود (P<۰/۰۵)، در مورد انرژی تولیدی کل بین راند اول و دو تفاوت معناداری یافت شد و مقدار آن در راند اول بیشتر از راند دوم بود (P<۰/۰۵). بین درصد مشارکت دستگاه‌های هوازی و فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی بین راند اول و دوم اختلاف معناداری وجود داشت و میزان مشارکت دستگاه فسفاژن در راند دوم بیشتر از راند اول بود (P<۰/۰۵). همچنین این اختلاف بیشتر در خصوص دستگاه هوازی راند دوم نسبت به راند اول یافت شد و برعکس میزان مشارکت دستگاه گلیکولیز بی‌هوازی در راند دوم به‌مراتب کمتر از راند اول بود.

جدول ۳. پاسخ‌های متابولیکی طی دو راند رقابت دفاع شخصی

متغییر	راند اول	راند دوم	کل
دستگاه هوازی			
انرژی مطلق (کیلوژول در دقیقه)	۱۲۱ ± ۱۱	۱۲۳ ± ۱۲	۱۲۲ ± ۱۱
انرژی نسبی (٪)	*۵۲ ± ۶	۶۰ ± ۳	۵۶ ± ۴
دستگاه فسفاژن			
انرژی مطلق (کیلوژول در دقیقه)	*۷۱ ± ۲	۶۷ ± ۳	۶۹ ± ۲
انرژی نسبی (٪)	*۳۰ ± ۱	۳۳ ± ۲	۳۲ ± ۱
دستگاه گلیکولیز بی‌هوازی			
انرژی مطلق (کیلوژول در دقیقه)	*۳۸ ± ۹	۱۰ ± ۷	۲۴ ± ۸
انرژی نسبی (٪)	*۱۶ ± ۶	۴ ± ۳	۱۰ ± ۴
کل			
انرژی مطلق (کیلوژول در دقیقه)	*۲۳۱ ± ۶	۲۰۲ ± ۸	۲۰۷ ± ۷

*اختلاف معنادار بین راند اول و دوم (P<۰/۰۵)

میانگین و انحراف معیار هریک از داده‌های تحلیل ویدئویی و محاسبات فنی و زمان صرف‌شده در هر مرحله از دو راند رقابت دفاع شخصی در جدول ۴ آورده شده است. بین هیچ‌یک از متغیرهای راند اول و دوم تفاوتی مشاهده نشد (P<۰/۰۵).

جدول ۴. تجزیه‌وتحلیل ویدئویی طی دو راند رقابت دفاع شخصی

متغییر	راند اول	راند دوم	کل
تعداد حملات پرتابی	۹ ± ۱/۷	۱۰ ± ۰/۸	۹/۶ ± ۱/۴
تعداد حملات غیرپرتابی	۱۰ ± ۳/۴	۱۰ ± ۳/۲	۱۰ ± ۳/۳
زمان حملهٔ پرتابی	۶ /۲۶ ± ۰/۰۲	۵/۹۶ ± ۰/۰۲	۶/۱۱ ± ۰/۰۲
زمان حملهٔ غیرپرتابی	۰/۷۳ ± ۰/۰۲	۰/۷۲ ± ۰/۰۱	۰/۷۲ ± ۰/۰۱
مجموع زمان حملات	۶۶/۰۹ ± ۸/۴	۶۷/۳۹ ± ۱۰/۲۸	۶۶/۷۴ ± ۹/۳
مجموع زمان بدون حمله	۱۱۴/۰۶ ± ۸/۶	۱۱۲ /۵۴ ± ۱۰/۱۸	۱۳۳/۳۰ ± ۹/۴
مجموع زمان حملات/ مجموع زمان بدون حمله	۰/۵۸ ± ۰/۱۱	۰/۶۰ ± ۰/۱۵	۰/۵۹ ± ۰/۱۳
کار (فعالیت) / استراحت (استراحت فعال)	۱/۷۷	۱/۷۲	۱/۷۴

*اختلاف معنادار بین راند اول و دوم (P<۰/۰۵)

بحث و نتیجه‌گیری

براساس اطلاعات موجود، پژوهش حاضر اولین تحقیق در زمینهٔ فیزیولوژی و دستگاه‌های انرژی در دفاع شخصی است. یافته‌ها نشان داد که دستگاه انرژی غالب طی فعالیت دفاع شخصی (دو راند ۳ دقیقه با فاصلهٔ استراحتی ۱ دقیقه بین راندها)، دستگاه هوازی با تأمین ۵۶/۴ درصد هزینهٔ انرژی کل است. این نسبت در مقابل، سهم دو دستگاه بی‌هوازی فسفاژن و گلیکولیز که به‌ترتیب ۳۲/۲ و ۱۰/۳ درصد است، سهم زیادی است (سهم کل بی‌هوازی ۴۲/۳۲ درصد). احتمالاً این سهم بالای دستگاه هوازی با وجود زمان نسبتاً کم (۱۸۰ ثانیه) مربوط به تواتر پایین فعالیت حملات

پرتابی (فنون جودو و کشتی) و غیرپرتابی (فنون کاراته و تکواندو) و توقف و جنبش گام است (نسبت ۱ به ۱/۷).

بنابراین، اگرچه نوع فعالیت و ماهیت حملات به‌کاررفتهٔ بسیار سریع (پرتابی ۶/۱۱ ثانیه و غیرپرتابی ۰/۷۲ ثانیه) نیازمند به‌کارگیری دستگاه بی‌هوازی فسفاژن است، این دستگاه برای بازسازی سوبسترای مصرفی خود (به‌ویژه ذخایر کراتین فسفات) و ادامهٔ فعالیت با شدت بالا نیازمند دستگاه هوازی است. این گفته‌ها همراستا با نتایج تحقیق فابیو و همکاران (۲۰۱۲) است که به برآورد انرژی مصرفی ورزشکاران تکواندو در طول فعالیت شبیه‌سازی‌شده رقابت پرداختند. دستگاه انرژی غالب در کل رقابت هوازی (۶۶ درصد) و دستگاه تأمین انرژی اصلاً برای حرکات سریع فسفاژن (۳۰ درصد در کل رقابت) بود (۱۲).

مارکوویچ و همکاران (۲۰۰۵)، مخالف با نتایج ما و یافته‌های پژوهش فابیو و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کردند که عملکرد ورزشکاران تکواندو در درجهٔ اول به دستگاه بی‌هوازی فسفاژن بستگی دارد. توان و قدرت انفجاری به‌کاررفته در چرخهٔ حرکات کششی و کوتاه، چابکی و توان هوازی از مشخصات سوخت‌وسازی ورزشکاران تکواندو و رزمی مانند دفاع شخصی است (۲۰).

اگرچه انرژی مصرفی در بین افراد مختلف و ورزشی‌های رزمی دارای ارزش مطلق متنوع است، این تنوع بالا در مقادیر مطلق انرژی مصرفی به‌علت طبقه‌بندی ورزشکاران در اوزان مختلف و همچنین رده‌های سنی متفاوت شرکت در مسابقات در ورزشکاران رزمی (تکواندو، جودو، دفاع شخصی و غیره) گزارش شده است (۲۰). با این حال، بردیچ و همکاران (۲۰۰۹) طی دو تحقیق روی دستگاه انرژی تکواندو، با وجود تفاوت در میزان مطلق انرژی مصرفی پاسخ‌های یکسانی را بین درصد دستگاه‌های انرژی (نسبی) گزارش کردند. براساس نتایج تحقیقات ورزشکاران با تجربهٔ بین‌المللی تکواندو، پاسخ‌های فیزیولوژیکی مشابهی در مورد درصد دستگاه انرژی که به‌صورت نسبی نشان داده شد، داشتند (۳).

در پژوهش حاضر با وجود یکسان بودن شدت‌های اعمال‌شده در هر دو راند (به‌وسیلهٔ میانگین ضربان قلب) و فنون اجرایی تقریباً یکسان در بین دو راند، سهم نسبی دستگاه هوازی در راند دوم بیشتر از راند اول بود، همان‌طورکه پیش‌بینی می‌شد، در راند اول (۴۶/۷ درصد) مجموع سهم نسبی دو دستگاه بی‌هوازی فسفاژن و گلیکولیز بیشتر از راند دوم (۳۷/۴ درصد) بود، بنابراین، طبق نتایج پژوهش‌های متعدد در زمینهٔ انرژی مصرفی و سهم دستگاه‌های انرژی، با افزایش زمان فعالیت به مرور از سهم دستگاه‌های بی‌هوازی کاسته شده و بر سهم دستگاه هوازی افزوده می‌شود، چراکه با افزایش زمان هر نوع فعالیتی نیازمند بازسازی هومئوستاز و سوبستراهای مصرفی توسط دستگاه هوازی در طول دورهٔ فعالیت با شدت کم (بدون حمله) است (۲۱).

همچنین، مقدار انرژی مطلق تولیدی در راند اول (۲۳۱) بیشتر از راند دوم (۲۰۲) بود، این مطلب با توجه به شدت مشابه بین دو راند تنها دو احتمال دارد؛ نخست به‌دلیل پایین بودن میزان دمای بدن و ضربان قلب، ورزشکار در ابتدای فعالیت به تولید انرژی بیشتری داشت و در نتیجه برای تنظیم هومئوستاز بدن انرژی بیشتری نسبت به راند دوم مصرف شد و دوم اینکه با توجه به اینکه هرچه زمان فعالیت طولانی‌تر شود، با وجود افزایش ضربان قلب به‌دلیل خستگی، انرژی کمتری نسبت به ابتدا فعالیت تولید خواهد شد (۲۲).

عوامل مختلفی بر افزایش میزان تقاضای انرژی اثرگذارند. سه عامل مهمی که می‌توانند بر عوامل فیزیولوژیک تأثیر داشته باشند، عبارت‌اند از اینکه نخست ورزشکار ممکن است با توجه به ضخیم بودن لباس فرم دفاع شخصی تحت تنش گرمایی قرار گیرد. در نتیجه یونیفرم دفاع شخصی و دستگاه تجزیه‌وتحلیل گاز تنفسی با افزایش درجهٔ حرارت سبب افزایش فشار متابولیکی بر ورزشکار در طول راند می‌شود. دوم اینکه ناکافی بودن زمان استراحت سبب افزایش فشار فیزیولوژیکی بر بدن می‌شود، فاصلهٔ استراحتی بین دو راند رقابت طبق قوانین مسابقات دفاع شخصی یک دقیقه است (مطابق با آزمون این پژوهش) و این تنها فاصله برای بازسازی سوبسترای مصرفی در این پژوهش بود. برای بازسازی کراتین فسفات (سوبسترای مورد استفاده در فعالیت‌های با شدت بالا و زمان کم مانند حملات و فنون دفاع شخصی) نیازمند زمان طولانی‌تری از استراحت برای حذف متابولیت‌های اسیدی H^+ و فسفات عالی Pi است. افزون‌بر این به‌نظر می‌رسد این فاصلهٔ استراحتی برای کاهش فشار قلبی - عروقی و تنظیم حرارت ناشی از مصرف زیاد اکسیژن پس از فعالیت (EPOC) ناکافی است. احتمال سوم این است

که نحوهٔ انجام فنون و ترتیب اجرای آنها سبب افزایش در تقاضای انرژی شود (۴).

داده‌های مربوط به تغییرات لاکتات بین دو راند در پژوهش حاضر نشان داد که دستگاه گلیکولیز در راند اول با وجود فشار یکسان طی دو راند، سهم بیشتری در راند اول نسبت به راند دوم داشته است. این یافته مطابق با مطالعات منتشرشدهٔ پیشین در زمینهٔ تمرینات متناوب توسط گایتانوس و همکاران (۱۹۹۳) و گلاستر و همکاران (۲۰۰۵) بود که نشان‌دهندهٔ افزایش سهم دستگاه هوازی و کاهش فعالیت دستگاه گلیکولیز در فعالیت‌های متناوب است (۲۱، ۲۳).

علاوه‌بر این، بنکر و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق روی سهم دستگاه انرژی کاراته، درصد پایین‌تری از سوخت‌وساز مربوط به دستگاه گلیکولیز و درصد بسیار بالای دستگاه هوازی را گزارش کردند. سهم دستگاه‌های انرژی هوازی، فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی به‌ترتیب برای کاراته ۷۷/۸، ۱۶/۰ و ۶/۲ درصد بود (۱۶). تفاوت در سهم دستگاه‌های انرژی در بین دو رشتهٔ رزمی کاراته و دفاع شخصی ممکن است به‌واسطهٔ تفاوت چشمگیر در زمان فعالیت و اجرای فنون متفاوت بین رشتهٔ کاراته و دفاع شخصی باشد. اجرای فنون در کاراته شامل حرکات سریع و انفجاری بالاتنه و پایین‌تنه است که در رقابت دفاع شخصی علاوه‌بر این فنون، فنون پرتابی جودو مانند با زمان بالاتر اجرا می‌شود. در تجزیه‌وتحلیل دیگری از کاراته که توسط دوریا و همکاران (۲۰۰۹) انجام گرفت، نشان داده شد که در رقابت کاراته ۷۰ درصد انرژی از دستگاه هوازی، ۲۰ درصد فسفاژن و ۱۰ درصد از سوخت‌وساز گلیکولیز بی‌هوازی تأمین می‌شود (۱۰).

کریسافولی و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی سهم دستگاه‌های انرژی در طول فعالیت شبیه‌سازی‌شدهٔ رقابت موی‌تای (سه راند ۲ دقیقه با فاصلهٔ استراحتی ۱ دقیقه بین راندها) پرداختند و گزارش کردند که دستگاه انرژی غالب برای موی‌تای دستگاه هوازی است و سهم دستگاه انرژی بی‌هوازی از راند اول تا سوم کاهش یافت. این یافته‌ها همراستا با پژوهش حاضر بود (۲۴).

نسبت کار به استراحت در تحقیق حاضر که اولین پژوهش در زمینهٔ دفاع شخصی است، به‌ترتیب ۱ به ۱/۷ بود. در تحلیل‌های مشابه اما روی تکواندو (بازی‌های المپیک و مسابقات قهرمانی جهان)، هلر و همکاران (۱۹۹۸) و ماتسوشوجی و همکاران (۲۰۰۹) نسبت کار به استراحت را به‌ترتیب ۱ به ۳ و ۱ به ۴ گزارش کردند (۲۵، ۲۶). همچنین نسبت کار به استراحت در پژوهش فابیو و همکاران (۲۰۱۲) ۱ به ۷ گزارش شد (۱۲). در مورد پژوهش حاضر این نسبت کار به فعالیت نزدیک به هم (۱ به ۱/۷) در دفاع شخصی به‌علت زمان بالای درگیری در فنون پرتابی به‌ویژه جودو، جوجیتسو و هاپکیدو است. همین نزدیکی نسبت استراحت به کار در دفاع شخصی به احتمال زیاد علت اصلی مصرف زیاد اکسیژن بلافاصله پس از راند برای بهبود بازیافت فسفوکراتین در عضلات است، ولی احتمال دارد نسبت پایین استراحت در مقایسه با کار طی مبارزه، برای بازسازی ذخایر کراتین فسفات کافی نباشد.

همچنین، ممکن است استفاده از دستگاه تجزیه‌وتحلیل گاز تنفسی بر تغییر نسبت کار به فعالیت در دفاع شخصی بی‌تأثیر نباشد. در مورد تغییرات لاکتات بلافاصله پس از راندها و کنترل شدت ممکن است تا حدودی غلظت لاکتات گزارش‌شده با مقدار واقعی آن در مسابقات تفاوت داشته باشد؛ اما بعید به‌نظر می‌رسد با اعمال شدت مشابه با رقابت اصلی (۸۰ تا ۱۰۰٪ HR_{max}) این تغییرات زیاد باشد. تغییرات ضربان قلب در پژوهش حاضر (میانگین ضربان قلب ۱۷۰ ضربه در دقیقه) مشابه با پژوهش فابیو و همکاران (۲۰۱۲) طی ۳ راند شبیه‌ساز رقابت تکواندو بود (میانگین ضربان قلب ۱۶۷) (۱۲). ولی میزان متوسط ضربان قلب در پژوهش حاضر از مقادیر به‌دست‌آمده در پژوهش‌های بردیچ و همکاران (۲۰۰۹) و بوهال و همکاران (۲۰۰۶) روی ضربان قلب تکواندوکاران که به‌ترتیب ۱۸۱ و ۱۹۷ ضربه در دقیقه بود، پایین‌تر بود (۳، ۶). مقادیر ضربان قلب واقعی رقابت دفاع شخصی که طی آزمون تعیین شدت در پژوهش حاضر (۱۷۵ ضربه در دقیقه) به‌دست آمد، مشابه با میانگین ضربان قلب طی دو راند شبیه‌سازی‌شده (۱۷۰ ضربه در دقیقه) بود و بین نسبت ضربان قلب میانگین (واقعی ۹۰ درصد و شبیه‌سازی ۸۸ درصد) به ضربان قلب بیشینه (۱۹۳ ضربه در دقیقه) تنها ۲ درصد اختلاف وجود داشت؛ بنابراین، این روش شبیه‌سازی به احتمال بسیار زیاد بهترین نوع برای مطالعهٔ این ورزش بوده است.

با توجه به اینکه دستگاه امتیازگیری و موفقیت در دفاع شخصی در طول فعالیت از طریق حرکات بسیار سریع، انفجاری (غیرپرتابی) و قدرتی (پرتابی) به دستگاه بی‌هوازی فسفاژن متکی است و با دانش به اینکه

بازسازی ذخایر کراتین فسفات عضلانی توسط دستگاه هوازی بازیافت می‌شود، در مبارزات دفاع شخصی بیشتر حملات به‌صورت ناگهانی و بسیار سریع انجام می‌گیرد. در نتیجه در مورد این‌گونه فعالیت‌ها دستگاه انرژی فسفاژن بیشترین سهم را به خود اختصاص می‌دهد، همان‌طورکه در پژوهش حاضر مشخص شد، سهم دستگاه فسفاژن در ۳ دقیقه مبارزه ۳۲ درصد بود که نشان‌دهندهٔ اهمیت زیاد این دستگاه در حملات است. مربیان باید تمرکز و وقت خود را در فرایند آموزش برای افزایش توان و قدرت دستگاه فسفاژن و حد مجازی از تمرینات هوازی برای سرعت یافتن جریان بازیافت منابع فسفاژن بگذارند تا عملکرد ورزشکار به اوج خود برسد. از آنجا که ورزشکاران رشته‌های رزمی از جمله دفاع شخصی به‌طور معمول در طول روز امکان برگزاری چندین مسابقه را دارند، تقویت دستگاه هوازی می‌تواند در بازگشت به حالت اولیه برای آماده شدن در مسابقهٔ بعدی در همان روز بسیار کارساز باشد.

تشکر و قدردانی

از تمامی ورزشکاران و مربیان محترم تیم ملی آقایان جواد ملکی و بهروز احمیراری که در این پژوهش شرکت کردند و همچنین از راهنمایی‌های استادان راهنما، مشاور و مسئول آزمایشگاه فیزیولوژی ورزش دانشگاه شهید بهشتی جناب دکتر فریبرز هوانلو سپاسگزاریم.

منابع

1. Ousley, C.S., R.G. Shuford, and T. Roberts, How to Incorporate Self-Defense Instruction into Physical Activity Programs. Strategies, 2013. 26(3): p. 25-28.
2. Competition rules of self-defense. (Cited 2016 November 12th); Available from: http://www.kempoikf.com/
3. S Chiodo, A Tessitore, C Cortis, C Lupo., Effects of official Taekwondo competitions on all-out performances of elite athletes. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2011. 25(2): p. 334-339.
4. Bridge, C.A., M.A. Jones, and B. Drust, Physiological responses and perceived exertion during international Taekwondo competition. Int J Sports Physiol Perform, 2009. 4(4): p. 485-493.
5. Butios, S. and N. Tasika, Changes in heart rate and blood lactate concentration as intensity parameters during simulated Taekwondo competition. Journal of sports medicine and physical fitness, 2007. 47(2): p. 179.
6. E Bouhlel, A Jouini, N Gmada, A Nefzi, KB Abdallah, Heart rate and blood lactate responses during Taekwondo training and competition. Science & Sports, 2006. 21(5): p. 285-290.
7. Degoutte, F., P. Jouanel, and E. Filaire, Energy demands during a judo match and recovery. British journal of sports medicine, 2003. 37(3): p. 245-249.
8. H Chaabène, I Hellara, F Ben Ghali, Energetics of karate 370 kumite. Eur J Appl Physiol, 2004. 92(518-523): p. 371.
9. di Prampero, P.E. and G. Ferretti, The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. Respiration physiology, 1999. 118(2): p. 103-115.
10. C Doria, A Veicsteinas, E Limonta, MA Maggioni, Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. European journal of applied physiology, 2009. 107(5): p. 603-610.
11. Pluncevic, J., et al., HEART RATE'S RESPONSE DURING BRUCE TREADMIL TEST IN ADULT SOCCER PLAYERS. Age, 2015. 3(15.00): p. 85.00.
12. Campos, F.A.D., et al., Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. European journal of applied physiology, 2012. 112(4): p. 1221-1228.
13. Hausswirth, C., A. Bigard, and J. Le Chevalier, The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. International journal of sports medicine, 1997. 18(6): p. 449-453.
14. Emerson Franchini , Stanislaw Sterkowicz , Urszula Szmatlan-Gabrys† , Tomasz Gabrys† , Michal Garnys., Energy system contributions to the special judo fitness test. Int J Sports Physiol Perform, 2011. 6(3): p. 334-343.
15. de Campos Mello, F., et al., Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: a comparison among rowing ergometers and water. European journal of applied physiology, 2009. 107(5): p. 615-619.
16. Beneke, R., et al., How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? European journal of applied physiology, 2002. 87(4-5): p. 388-392.
17. Gastin, P.B., Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports medicine, 2001. 31(10): p. 725-741.
18. Santos, V.G., E. Franchini, and A.E. Lima-Silva, Relationship between attack and skipping in taekwondo contests. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2011. 25(6): p. 1743-1751.
19. Giovani Marcon, Emerson Franchini, José Roberto Jardim, Turibio Leite Barros Neto; Structural analysis of action and time in sports: Judo. Journal of Quantitative Analysis in Sports, 2010. 6(4).
20. Markovic, G., V. Vucetic, and M. Cardinale, Heart rate and lactate responses to taekwondo fight in elite women perform-

ers. Biology of Sport, 2008. 25(2): p. 135.
21. Glaister, M., Multiple sprints work. Sports medicine, 2005. 35(9): p. 757-777.
22. Gunga, H.-C., Human Physiology in Extreme Environments, Season Three: Exercise physiology. 2014: Elsevier.
23. Gaitanos, G.C., et al., Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. Journal of applied physiology, 1993. 75(2): p. 712-719.
24. Antonio Crisafulli, Stefano Vitelli, Ivo Cappai, Raffaele Milia, Filippo Tocco, Franco Melis, Alberto Concu, Physiological responses and energy cost during a simulation of a Muay Thai boxing match. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2009. 34(2): p. 143-150.
25. Heller, J., et al., Physiological profiles of male and female taekwon-do (ITF) black belts. Journal of sports sciences, 1998. 16(3): p. 243-249.
26. Matsushigue, K.A., K. Hartmann, and E. Franchini, Taekwondo: Physiological responses and match analysis. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2009. 23(4): p. 1112-1117.