Sport and Exercise Physiology
Spring-Summer 2021/Vol.14/No.1/108-118

Relationship between cardiac autonomic activity following upper body exercise and total body water in men of different ages

Akram Esfahaninia*, Habib Asgharpour, Mehdi Ahmadian

Department of Physical Education & sports Sciences, Aliabad katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad katoul, Iran

Original Article

Abstract

Purpose: Maintaining cardiac rhythm and contraction – during and flowing exercise training in particular- are challenges that exercise science scientists has always been facing. Therefore, the present study was conducted to examine the relationship between cardiac autonomic function after upper body exercise and total body water in men of different ages.

Methods: Twenty-four active men voluntarily participated after describing the goals and stages of the study, and then divided into two groups of 12 (middle-aged and elderly). Kubios heart rate variability software was used in order to measure heart rate variability. Heart rate variability was measured at rest, during and following five and10 minutes after upper body exercise. Body composition analyzer was used to determine the total body water of the participants. To examine the changes and the relationship between the variables of the research, statistical analysis of ANOVA with repeated measures and Pearson correlation were used, respectively.

Results: The results showed that in both middle-aged and elderly groups, heart rate variability decreased during and immediately after exercise compared to rest ($P < 0.05$), but it increased in five and 10 minutes of recovery as compared to immediately after exercise ($P < 0.05$). Further, significant relationships were found between heart rate variability and total body water in both middle-aged and elderly groups ($P < 0.05$).

Conclusion: Overall, our findings showed that the heart rate variability in both middle-aged and elderly groups during and after upper body exercise is related to total body water. Therefore, it can be concluded that changes in cardiac autonomic system depend on the type of activity, the age of the participants, and the amount of total water body.

Keywords: Heart rate variability, Exhaustive exercise, Total body water

How to cite the article: Esfahaninia A, Asgharpour H, Ahmadian M. Relationship between cardiac autonomic activity following upper body exercise and total body water in men of different ages. Sport and Exercise Physiology 2021;14(1):108 - 118

*Corresponding Author; E-mail: akramesfahaninia@aliabadiau.ac.ir
DOI: 10.52547/joeppa.14.1.108

Received: 05/04/2018 Accepted: 04/11/2019

فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
بهار و تابستان ۱۴۰۰/ دوره ۱۴/ شماره ۱/ صفحه‌های ۱۰۸-۱۱۸

رابطهٔ بین فعالیت خودکار قلبی پس از انجام فعالیت بالاتنه و مقدار آب کل بدن در مردان میانسال و سالمند

اکرم اصفهانی‌نیا *، حبیب اصغرپور، مهدی احمدیان

گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد علی‌آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آباد کتول، ایران

مقاله پژوهشی

چکیده

هدف: حفظ آهنگ ضربان و انقباض قلب به‌ویژه حین و متعاقب فعالیت‌های ورزشی از جمله چالش‌هایی است که دانشمندان علم ورزش با آن مواجه‌اند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطهٔ بین فعالیت خودکار قلبی پس از فعالیت بالاتنه با مقدار آب کل بدن در مردان با سنین مختلف انجام گرفت.

روش‌ها: تعداد ۲۴ نفر از مردان فعال پس از تشریح اهداف و مراحل انجام تحقیق داوطلبانه در تحقیق شرکت کردند و به دو گروه ۱۲ نفره (میانسال و سالمند) تقسیم شدند. به‌منظور اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب از نرم‌افزار اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب کوبیوس استفاده شد. تغییرپذیری ضربان قلب در حال استراحت، حین، ۵ و ۱۰ دقیقه پس از فعالیت روی کارسنج دستی اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار آب کل بدن افراد از دستگاه تجزیه‌وتحلیل‌کنندهٔ ترکیب بدن استفاده شد. برای بررسی تغییرات و رابطهٔ بین متغیرهای تحقیق به‌ترتیب از آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر و آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد که در هر دو گروه میانسال و سالمند، مقادیر تغییرپذیری ضربان قلب در حین و بلافاصله بعد از تمرین در مقایسه با حالت استراحت کاهش معنادار ($P<0/05$) و در ۵ و ۱۰ دقیقه از زمان بازیافت در مقایسه با بلافاصله بعد از تمرین افزایش معنادار داشته است ($P<0/05$). همچنین رابطهٔ معناداری بین متغیرهای تغییرپذیری ضربان قلب و مقدار آب کل بدن در هر در گروه میانسال و سالمند وجود دارد ($P<0/05$).

نتیجه‌گیری: در مجموع یافته‌ها نشان داد که تغییرپذیری ضربان قلب در افراد میانسال و سالمند در هنگام و پس از فعالیت ورزشی بالاتنه با مقدار آب کل بدن رابطه دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات در دستگاه خودکار به نوع فعالیت و سن آزمودنی‌ها و مقدار آب کل بدن بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: آب کل بدن، تغییرپذیری ضربان قلب، فعالیت وامانده‌ساز.

* نویسنده مسئول: رایانامه: akramesfahaninia@aliabadiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸ /۰۸/۱۳

مقدمه

تغییرات ناشی از فعالیت ورزشی در دستگاه قلبی- عروقی توسط دستگاه خودکار قلبی[1] (اعصاب سمپاتیک و پاراسمپایک) تنظیم و تعدیل می‌شود. برای نمونه، ضربان قلب، حجم ضربه‌ای[2] و قدرت انقباض میوکارد هنگام ورزش، به‌دلیل عقب‌نشینی اعصاب پاراسمپاتیکی و افزایش فعالیت اعصاب سمپاتیکی افزایش می‌یابد (۱) و در مرحلهٔ بازیافت پس از ورزش، در درجهٔ اول بازگشت اولیهٔ ضربان قلب نسبت به سطح پایه به‌علت فعال شدن مجدد دستگاه عصبی پاراسمپاتیک است (۱). از طرفی، مرگ ناگهانی در ورزش پدیده‌ای است که در دههٔ اخیر به‌طور جدی مورد توجه محققان قرار گرفته است. اگرچه این پدیده رویداد نادری در جامعهٔ علمی به‌شمار می‌رود، بیشتر محققان اظهار داشته‌اند اجرای فعالیت‌های شدید و ایسکمی ناشی از آن می‌تواند سرآغاز رویدادهایی باشد که در برخی موارد به مرگ ناگهانی منجر می‌شود (۲). همچنین، شیوع بیشتر ایست قلبی در دقایق پایانی مسابقه با مسافت طولانی حاکی از آن است که افزایش تون آدرنرژیکی نیز از عوامل خطرزای اضافی به‌شمار می‌رود (۲). در مقابل، نشان داده شد که فعالیت منظم بدنی خطر مرگ ناگهانی و انفارکتوس حاد عضلهٔ قلبی ناشی از فعالیت‌های شدید را کاهش می‌دهد (۳).

تغییرپذیری ضربان قلب[3] (HRV) روش غیرتهاجمی برای مطالعهٔ فعالیت دستگاه عصبی خودکار قلبی در حالت استراحت، فعالیت بدنی و دورهٔ بازیافت است (۴). تغییرپذیری ضربان قلب ابزار جالب توجه در موقعیت‌های مختلف مانند فعالیت بدنی (۴)، بیش‌تمرینی (۵) و بیماری‌های قلبی- عروقی (۶) به‌شمار می‌رود، زیرا اطلاعاتی را دربارهٔ تنظیم دستگاه عصبی خودکار در دسترس قرار می‌دهد و کاهش HRV عامل پیشگویی‌کنندهٔ خطر قلبی- عروقی و تمام علل مرگ‌ومیر ناگهانی معرفی شده است (۵). در مقابل، بهبود HRV با بهبود عملکرد دستگاه عصبی خودکار و افزایش تنظیم واگی همراه است (۷).

به‌علاوه، اطلاعات موجود نشان می‌دهد سالمندی فیزیولوژیک سبب اختلال در عملکرد خودکار قلبی می‌شود و به شروع بیماری قلبی- عروقی، گسترش آن و افزایش خطر مرگ‌ومیر می‌انجامد. مطالعات طولی نشان دادند که HRV در افراد سالمند کاهش می‌یابد و کاهش آن با افزایش خطر مرگ‌ومیر مرتبط است. ازاین‌رو، بحث‌هایی مبنی بر استفاده از آن به‌عنوان یک عامل بالقوهٔ درمانی وجود دارد (۴). به‌علاوه، برخی محققان از HRV به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی وضعیت بازیافت پس از تمرین، اختلالات هومئوستاز بدن و اضافه بار تمرینی متعاقب اجرای تمرینات تناوبی با شدت‌های مختلف بهره‌گیری کرده‌اند (۴،۷). مطالعات نشان می‌دهد که HRV افراد سالمند فعال بالاتر از افراد سالمند غیرفعال است، درحالی‌که اجرای برنامه‌های تمرین هوازی تأثیر چشمگیری بر HRV در افراد میانسال ندارد (۸). به‌طور کلی، مطالعات حاکی از آن است که HRV با آمادگی هوازی و سلامتی کلی بدن مرتبط است (۷،۵) و اجرای تمرینات هوازی با افزایش ظرفیت هوازی (که با افزایش vo۲max مشخص می‌شود) و افزایش کنترل قلبی ناشی از تون واگی (که با بهبود تغییری پذیری ضربان قلب مشخص می‌شود) همراه است (۷). همچنین می‌توان فرض کرد زمانی‌که ضربان قلب از طریق فعالیت پاراسمپاتیک کنترل می‌شود، HRV افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، هنگامی‌که ضربان قلب توسط فعالیت سمپاتیک کنترل شود، HRV کاهش می‌یابد (۸). همچنین، مطالعات قلبی، پاسخ‌های مختلفی از دستگاه خودکار قلبی به فعالیت ورزشی را در زمان‌های مختلف (حین، پس از فعالیت و هنگام بازیافت) گزارش کرده‌اند (۱۰،۹). بنابراین، ردیابی تغییرات دستگاه خودکار قلبی در مراحل مختلف فعالیت ورزشی نیاز است.

گزارش شده است که مقدار آب کل بدن[4] (TBW) به‌طور مستقیم با حجم پلاسما در شرایط عادی مرتبط بوده و ممکن است نقش مستقل در تأثیرگذاری بر عملکرد قلبی ایفا کند (۱۱). به‌وضوح مشخص شده است که آب‌زدایی (دآبدهی[5]) می‌تواند عملکرد قلبی- عروقی را در ورزشکاران مختل کند (۱۲). در خصوص HRV، کارتر و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر حالت آبدهی (هیدراسیون) بر HRV را پس از انجام فعالیت ورزشی در گرما بررسی کردند. آزمودنی‌ها در شرایط گرمایی (۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد، ۲۰٪ رطوبت نسبی) در حالت آبدهی و دآبدهی به انجام فعالیت ورزشی پرداختند. در طول هر آزمایش، فواصل قلبی R-R برای ۴۵ دقیقه در حالت استراحت و پس از ۹۰ دقیقه فعالیت با چرخ کارسنج جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد اگرچه اعمال دآبدهی

تأثیر مثبت بر عملکرد اعصاب پاراسمپاتیک داشت، در نهایت به کاهش کلی HRV منجر شد که نمایانگر تأثیر منفی دهیدراسیون بر عملکرد خودکار قلبی است (۱۳). بنابراین، بررسی رابطهٔ بین فعالیت خودکار قلبی و مقدار آب بدن ضروری نظر می‌رسد. از طرفی، ورزش بالاتنه به‌طور معمول در انواع مختلفی از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، نظامی و ورزشی انجام می‌گیرد. برخی تفاوت‌های مهم در پاسخ‌های قلبی و عروقی، بسته به اینکه آیا فعالیت ورزشی با کارسنج دستی (با استفاده از عضلات بالاتنه)، کارسنج پایی (با استفاده از عضلات پایین‌تنه) یا نوار گردان (با استفاده از عضلات کل بدن) انجام می‌گیرد، وجود دارد. برای نمونه، ورزش بالاتنه در هر بار کار زیر بیشینه، به یک حجم ضربه‌ای پایین‌تر و ضربان قلب بالاتر منجر می‌شود و فشارهای سیستولیک، دیاستولیک و متوسط خون شریانی، مقاومت محیطی کل و حاصل ضربهٔ دوگانه[۶]، در ورزش بالاتنه به‌طور چشمگیری نسبت به ورزش پایین‌تنه که در اکسیژن مصرفی مشابه انجام گرفته است، بالاتر است (۱۴،۱۵). با توجه به تأثیر سن و آب‌زدایی بر عملکرد خودکار قلبی و پاسخ‌های متفاوت قلبی- عروقی به فعالیت بالاتنه، همچنین رابطهٔ بین عملکرد خودکار قلبی و مرگ ناگهانی قلبی، در این پژوهش تأثیر سن بر پاسخ دستگاه خودکار قلبی به فعالیت ورزشی بالاتنه بررسی شد. پژوهش حاضر همچنین هرگونه رابطهٔ بالقوه بین فعالیت خودکار قلبی متعاقب فعالیت بالاتنه با مقدار آب کل بدن در مردان با سنین مختلف را بررسی کرد.

روش پژوهش

نمونه‌های پژوهش: جامعهٔ آماری تحقیق نیمه‌تجربی حاضر را مردان فعال ۳۰ تا ۳۵ سال و ۵۵ تا ۶۰ سال تشکیل می‌دادند که از بین آن‌ها، ۲۴ نفر پس از تشریح اهداف و مراحل انجام تحقیق به‌صورت داوطلبانه در تحقیق شرکت کردند (جدول ۱). این افراد براساس اطلاعات حاصل از مصاحبه و پرسشنامه و بر پایهٔ معیارهایی مانند نداشتن آسیب بدنی دست‌کم در یک ماه اخیر، عدم استعمال سیگار و دخانیات دست‌کم در شش ماه اخیر، عدم مصرف مواد نیروزا در یک ماه اخیر، عدم مصرف ضداکسایندها در طی دورهٔ اجرای تحقیق و حداقل ۷۲ ساعت قبل از آن، عدم ابتلا به سرماخوردگی و آنفولانزا در دو هفتهٔ قبل از اجرای تحقیق، عدم ابتلا به بیماری‌های مزمن یا عفونت‌های ریوی دست‌کم سه ماه قبل از تحقیق، برخورداری از الگوی الکتروکاردیوگرام طبیعی (۱۶)، انتخاب و به دو گروه ۱۲ نفره (میانسال و سالمند) تقسیم شدند. به آزمودنی‌ها توصیه شد از انجام هرگونه فعالیت بدنی در مدت ۲۴ ساعت قبل از مرحلهٔ اصلی تحقیق خودداری ورزند.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد مشخصات و ویژگی‌های بدنی و آنتروپومتریکی مردان میانسال و سالمند

مشخصات آزمودنی‌ها	میانسال (انحراف استاندارد±میانگین)	سالمند (انحراف استاندارد±میانگین)
قد (سانتی‌متر)	۱۷۹±۵/۳	۱۷۱±۴/۹۹
وزن (کیلوگرم)	۸۱/۲±۱۸	۷۹±۱۳
سن (سال)	۳۴/۳±۴/۹	۵۵±۲/۱
شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۵/۳±۵/۰۴	۲۷±۱/۶۸
درصد چربی بدن (٪)	۱۹±۵/۱۵	۲۲±۳/۹۸
تودهٔ بدون چربی بدن (کیلوگرم)	۶۵/۷۲± ۱۰/۸۸	۶۲/۰۷ ± ۵/۴۲
آب کل بدن (لیتر)	۴۷/۳۴ ±۷/۸۰	۴۴/۵۴ ± ۳/۹۴

پروتکل پژوهش: در ۴۸ ساعت قبل از اجرای پروتکل آزمون‌گیری، افراد با نحوهٔ اجرای فعالیت با کارسنج دستی (مدل E۸۹۱، ساخت سوئد، کمپانی مونارک) آشنا شدند. در روز مرحلهٔ اصلی اجرای آزمون، آزمودنی‌ها ۲۰ دقیقه قبل از شروع فعالیت در آزمایشگاه حاضر شدند. ابتدا افراد گرم کردن عمومی را به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه با استفاده از حرکات کششی و نرمش‌های ویژهٔ بدن خود انجام دادند. قبل از اجرای آزمون، چرخ کارسنج دستی براساس سن، قد و وزن هر آزمودنی تنظیم شد و سپس آزمون کارسنج دستی را اجرا کردند. پس از انتقال

اطلاعات شخصی آزمودنی‌ها به نرم‌افزار الکتروکاردیوگرام (مدل Cardio 100، ساخت آلمان، کمپانی کاستومد) و اتصال الکترودهای اشتقاقی الکتروکاردیوگرام به بدن آزمودنی‌ها، درحالی‌که آزمودنی روی صندلی نشسته بود، ارتفاع صندلی به‌طوری تنظیم شد که مفصل شانهٔ (گلنوهومرال) آن‌ها کمی بالاتر از محور چرخ کارسنج باشد. فاصله از صندلی به‌طوری تنظیم شد که زمانی‌که بازو در حالت اکستنشن بود، آرنج تا حدود ۳۰ درجه خم شود. ابتدا آزمودنی‌ها به مدت ۲ دقیقه با شدت صفر وات و تعداد دور ۵۰ دور در دقیقه به گرم کردن پرداختند. شدت کار اولیه ۲۵ وات در نظر گرفته شد، سپس هر دو دقیقه ۲۵ وات به بار کار افزوده شد. تعداد دورها در طول آزمون ثابت بود. آزمون زمانی به پایان می‌رسید که آزمودنی‌ها قادر به حفظ تعداد دور ۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ ثانیه نبودند (۱۷). در پایان پس از ۱۰ دقیقه بازیافت متعاقب آزمون کارسنج دستی الکترودهای اشتقاقی الکتروکاردیوگرام از بدن آزمودنی‌ها جدا شد. در طول اجرای آزمون، آزمودنی‌ها به‌طور مرتب تشویق شدند تا فعالیت را تا رسیدن به سر حد خستگی ادامه دهند. تمامی آزمون‌ها در صبح (در ساعت ۸ تا ۱۲) و در شرایط یکسان از جمله در دمای آزمایشگاه یکسان و تقریباً در محدودهٔ ۲۴ درجهٔ سانتی‌گراد برای تمام آزمودنی‌ها اجرا شد. در طول اجرای پروتکل‌های تمرینی و بازیافت، ضربان قلب برای محاسبهٔ HRV به‌وسیلهٔ الکتروکاردیوگرام ۱۲ اشتقاقی ثبت شد و HRV در حین، ۵ و ۱۰ دقیقه بعد از اجرای آزمون اندازه‌گیری شد. در ۴۸ ساعت قبل از اجرای پیش‌آزمون، سنجش قد و وزن آزمودنی با استفاده از قدسنج و ترازوی دیجیتال (مدل سکا، ساخت آلمان) انجام گرفت. به‌علاوه، برای تعیین مقدار آب کل بدن افراد از دستگاه تجزیه‌وتحلیل‌کنندهٔ ترکیب بدن (مدل(X-Scan) Plus II، ساخت کره کمپانی جاون) استفاده شد. این دستگاه به‌صورت خودکار ترکیب بدن را براساس مقاومت بیوالکتریکی اندازه‌گیری (۱۸) و مقدار آب کل بدن را براساس یک فرمول تخصصی محاسبه می‌کند (۱۹). به‌دلیل آنکه دستگاه تحلیل‌گر با استفاده از پیام‌های مغناطیسی که به بدن ارسال می‌کند، مقدار آب کل بدن را اندازه‌گیری می‌کند، بدین‌منظور از آزمودنی‌ها خواسته شد که قبل از اندازه‌گیری از وسایلی که ممکن است بر نتایج تجزیه‌وتحلیل بدن تأثیر بگذارد (لباس، اجناس فلزی و همچنین نوشیدن آب)، استفاده نکنند تا تأثیری بر نتایج اندازه‌گیری نداشته باشد (۱۹).

آب کل بدن = عدد ثابت A × قد^{۲} ÷ مقاومت + عدد ثابت B × وزن + عدد ثابت C × سن + عدد ثابت D × جنسیت + عدد ثابت E

روش‌های آزمایشگاهی: ضربان قلب به‌صورت ضربان به ضربان توسط ECG ۱۲ اشتقاقی نمایش داده می‌شد. فواصل زمانی RR به‌طور مداوم در کل زمان آزمون (استراحت، بلافاصله، ۵ و ۱۰ پس از فعالیت ورزشی) با تواتر نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز و با دقت ۱ میلی‌ثانیه برای هر فاصله RR ثبت شد. فواصل موج‌های RR به‌وسیلهٔ نرم‌افزار تشخیصی الکتروکاردیوگرام (آلمان، کمپانی کاستومد، ویرایش ۳،۸) برای حذف ضربان زودرس[۷] نامطلوب و پارازیت بررسی شد. به‌منظور اندازه‌گیری HRV، ۱ دقیقه فواصل متوالی موج‌های RR جمع‌آوری‌شده در حین، ۵ و ۱۰ دقیقه بعد از اتمام آزمون کارسنج دستی توسط الکتروکاردیوگرام، برای تجزیه‌وتحلیل به نرم‌افزار اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب (فواصل RR) کوبیوس (فنلاند، ویرایش ۲،۱) انتقال داده شد (۲۰).

تحلیل آماری: ابتدا از آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای آزمون توزیع طبیعی داده‌ها استفاده شد و وضعیت طبیعی تمام داده‌ها تأیید شد. برای بررسی تغییرات و رابطهٔ بین متغیرهای تحقیق به‌ترتیب از آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر با آزمون تعقیبی بانفرونی و آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در سطح معناداری ($P\leq ۰/۰۵$) و به‌وسیلهٔ نرم‌افزار آماری SPSS ویرایش ۲۰ صورت گرفت.

نتایج

جدول‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب به توصیف مقادیر شاخص‌های تغییرپذیری ضربان قلب (حیطهٔ زمان و غیرخطی) آزمودنی‌های میانسال و سالمند در زمان‌های مختلف از پروتکل کارسنج دستی می‌پردازد. نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مجدد هیچ‌گونه اثر تعاملی بین سن و زمان برای شاخص LF نشان نداد ($F=۰/۸۱۰$، $P=۰/۴۶۲$). با وجود این یک اثر کلی هم برای زمان ($F=۱۳/۶۳۵$، $P<۰/۰۰۱$) و هم برای

گروه (P<۰/۰۵، F=۵/۹۶۹) برای شاخص LF مشاهده شد. نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر LF در حین (P<۰/۰۰۱) و بلافاصله (P<۰/۰۱) و ۵ دقیقه بعد از تمرین (P<۰/۰۰۱) به‌طور معناداری نسبت به مقادیر استراحتی کاهش یافت. به‌علاوه، نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر LF در گروه میانسال نسبت به گروه سالمند به‌طور معناداری بالاتر بود (P<۰/۰۵). همچنین، نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مجدد هیچ‌گونه اثر تعاملی بین سن و زمان برای شاخص HF نشان نداد (P=۰/۵۷۰، F=۰/۵۸۲). با وجود این یک اثر کلی هم برای زمان (P<۰/۰۵، F=۴/۷۱۴) و هم برای گروه (P<۰/۰۵، F=۴/۶۱۹) برای شاخص HF مشاهده شد. نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر HF در حین (P<۰/۰۱)، ۵ دقیقه (P<۰/۰۱) و ۱۰ دقیقه (P<۰/۰۱) بعد از تمرین به‌طور معناداری نسبت به مقادیر استراحتی کاهش یافت. به‌علاوه، نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر HF در گروه میانسال نسبت به گروه سالمند به‌طور معناداری بالاتر بود (P<۰/۰۵). نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مجدد هیچ‌گونه اثر تعاملی بین سن و زمان برای شاخص SD1 نشان نداد (P=۰/۱۲۶، F=۲/۰۸۸). با این حال یک اثر کلی هم برای زمان (P<۰/۰۵، F=۴/۱۵۶) و هم برای گروه (P<۰/۰۵، F=۳/۳۱۹) برای شاخص SD1 مشاهده شد. نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر SD1 در حین (P<۰/۰۰۱) و ۵ دقیقه بعد از تمرین (P<۰/۰۰۱) به‌طور معناداری نسبت به مقادیر استراحتی کاهش یافت. به‌علاوه، نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر SD1 در گروه میانسال نسبت به گروه سالمند به‌طور معناداری بالاتر بود (P<۰/۰۵). همچنین، نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مجدد هیچ‌گونه اثر تعاملی بین سن و زمان برای شاخص SD2 نشان نداد (P=۰/۲۰۴، F=۱/۵۱۹). با وجود این یک اثر کلی هم برای زمان (P<۰/۰۰۱، F=۱۰/۵۱۴) و هم برای گروه (P<۰/۰۵، F=۶/۷۹۳) برای شاخص SD2 مشاهده شد. نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر SD2 در حین (P<۰/۰۰۱) و ۵ دقیقه بعد از تمرین (P<۰/۰۰۱) به‌طور معناداری نسبت به مقادیر استراحتی کاهش یافت. به‌علاوه، نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر SD2 در گروه میانسال نسبت به گروه سالمند به‌طور معناداری بالاتر بود (P<۰/۰۵). نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مجدد هیچ‌گونه اثر تعاملی بین سن و زمان برای شاخص $\alpha 1$ نشان نداد (P=۰/۴۱۷، F=۰/۷۱۷). همچنین به‌طور مشابه، هیچ‌گونه اثر کلی برای زمان (P=۰/۳۲۵، F=۱/۰۳۵) و هم برای گروه (P=۰/۵۹۹، F=۰/۲۸۵) برای شاخص $\alpha 1$ مشاهده نشد. در مقابل، نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مجدد هیچ‌گونه اثر تعاملی بین سن و زمان برای شاخص $\alpha 2$ نشان نداد (P=۰/۴۶۰، F=۰/۹۱۴). با این حال یک اثر کلی هم برای زمان (P<۰/۰۰۱، F=۱۲/۵۱۴) و هم برای گروه (P<۰/۰۵، F=۵/۵۹۸) برای شاخص $\alpha 2$ مشاهده شد. نتایج آزمون تعقیبی نشان داد که مقادیر $\alpha 2$ در حین (P<۰/۰۵) و بلافاصله (P<۰/۰۰۱) بعد از تمرین به‌طور معناداری نسبت به مقادیر استراحتی افزایش یافت. نتایج آزمون تعقیبی به‌علاوه نشان داد که مقادیر $\alpha 2$ در گروه میانسال نسبت به گروه سالمند به‌طور معناداری پایین‌تر بود (P>۰/۰۵).

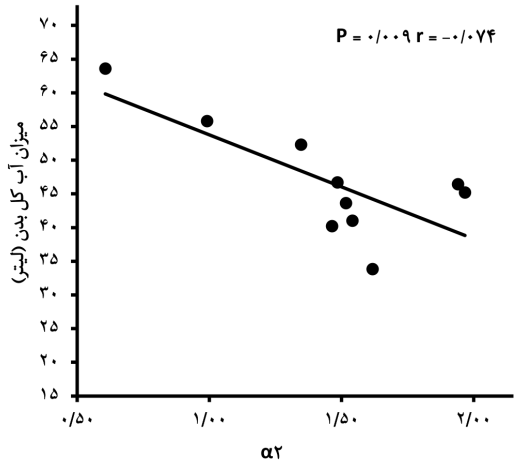
جدول ۲. میانگین و انحراف معیار مرتبط با HRV در زمان‌های مختلف استراحت، حین و بعد از فعالیت با کارسنج دستی در افراد میانسال

مراحل تمرین	استراحت	حین	بلافاصله	۵ دقیقه	۱۰ دقیقه
LF (مجذور میلی‌ثانیه)	۱۲۳۵/۷۵ ± ۹۸۳/۱۱	۱۴۲/۳ ± ۱۵۶/۵۴	۲۳۱/۵۵ ± ۲۱۸/۱	۴۳۹/۶۶ ±۳۹۰/۶۳	۸۴۹/۷۳ ± ۵۰۶/۴۸
HF (مجذور میلی‌ثانیه)	۲۵۳ ± ۲۵۴/۳۵	۷۴/۶۷ ± ۸۹/۱۷	۱۶۶/۸۲ ± ۲۱۹/۸۷	۱۹۵/۶۴ ±۱۹۵/۰۸	۱۱۹/۹۱ ±۹۷/۷۳
SD1 (میلی‌ثانیه)	۲۴/۹۵ ±۹/۸۴	۱۳/۹۸ ±۷/۶۳	۲۲/۹۶ ±۱۴/۴۱	۱۷/۷۶ ±۱۱/۹۹	۱۹/۳۲ ±۹/۲۵
SD2 (میلی‌ثانیه)	۶۱/۳۸ ±۲۱/۴۷	۳۳/۹۷ ±۱۲/۶۷	۶۳/۸۷ ±۲۲/۴۸	۴۶/۲۶ ±۲۲/۳۷	۶۰/۹ ±۲۳/۶۹
$\alpha 1$	۲/۶۳ ±۴/۹۱	۱/۲۱ ±۰/۳۸	۰/۹۶ ±۰/۳	۱/۲۲ ± ۰/۳۸	۱/۴۳ ±۰/۱۸
$\alpha 2$	۰/۶۴ ±۰/۳۶	۰/۹۳ ±۰/۳۹	۱/۴۱ ±۰/۴	۰/۹۲ ±۰/۳۴	۰/۷۷ ±۰/۴۱

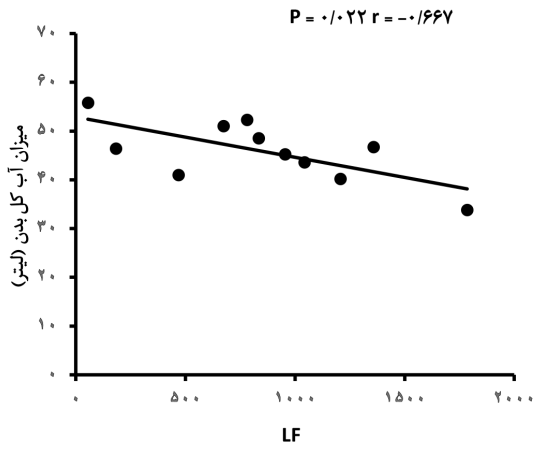
جدول۳. میانگین و انحراف استاندارد مرتبط با HRV در زمان‌های مختلف بعد از فعالیت با کارسنج دستی در افراد سالمند

مراحل تمرین	استراحت	حین	بلافاصله	۵ دقیقه	۱۰ دقیقه
LF (مجذور میلی‌ثانیه)	۶۳۶/۳۷±۸۲۳/۲۵	۱۰۱/۴۲± ۶۵/۵۸	۴۴/۰۲± ۴۵/۶۴	۲۲۸/۸۳±۱۵۹/۷۵	۸۴۳/۳۶ ± ۴۵۷/۱۷
HF (مجذور میلی‌ثانیه)	۱۱۱/۱ ± ۱۳۳/۷۵	۱۲/۱۸ ± ۱۶	۱۲۷/۶۳ ± ۴۲/۵۴	۲۰/۴۵ ± ۳۰/۵۸	۴۸/۱۵ ± ۵۶/۳
SD1 (میلی‌ثانیه)	۸/۹ ± ۱۷/۶۳	۵/۹۴ ± ۱۰/۳۹	۶/۷۸ ± ۱۰/۵۸	۵/۶۹ ± ۹/۳۸	۱۸/۳۱ ± ۲۰/۶۵
SD2 (میلی‌ثانیه)	۱۲/۲۶ ± ۴۸/۳۵	۲۳/۹۴ ± ۳۱/۳۷	۲۲/۴۲ ± ۵۱/۳۳	۱۲/۶۸ ± ۲۵/۴۹	۱۹/۱۸ ± ۳۴/۷
α1	۰/۳ ± ۱/۳۵	۰/۴۴ ± ۱/۰۳	۰/۴۱ ± ۱/۲	۰/۳۳ ± ۱/۲	۰/۴۷ ± ۱/۴۳
α2	۰/۳۲ ± ۰/۸۵	۰/۵۳ ± ۱/۳۲	۰/۲۴ ± ۱/۴۸	۰/۳۸± ۱/۰۴	۰/۳۸ ± ۰/۷۴

رابطهٔ تغییرپذیری ضربان قلب در زمان‌های مختلف متعاقب کارسنج دستی با TBW در افراد میانسال و سالمند: با توجه به ارزش r و مقدار معناداری به‌دست‌آمده از رابطهٔ تغییرپذیری ضربان قلب (α2 و LF) در زمان‌های مختلف فعالیت ورزشی (بلافاصله و ۱۰ دقیقه بازیافت) کارسنج دستی با TBW استراحتی، رابطهٔ معناداری بین این دو شاخص در گروه سنی میانسال وجود دارد (شکل‌های ۱ و ۲).

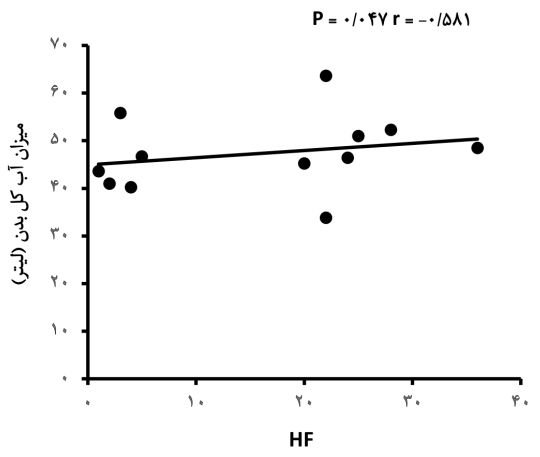


شکل ۱. رابطهٔ بین مقدار آب کل بدن در حالت استراحت و α2 در بلافاصله پس از فعالیت کارسنج دستی در مردان میانسال

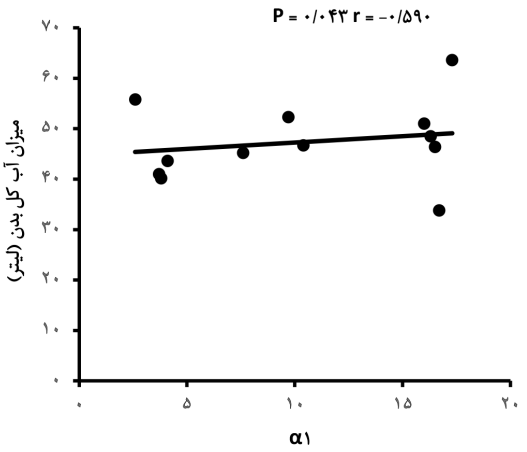


شکل ۲. رابطهٔ بین مقدار آب کل بدن در حالت استراحت و LF در ۱۰ دقیقه متعاقب فعالیت کارسنج دستی در مردان میانسال

همچنین با توجه به ارزش r و مقدار معناداری به‌دست‌آمده از رابطهٔ تغییرپذیری ضربان قلب (HF و SD1) در زمان‌های مختلف فعالیت ورزشی (حین) کارسنج دستی با TBW استراحتی، رابطهٔ معناداری بین این دو شاخص در گروه سنی سالمند نیز یافت شد (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل۳. رابطهٔ بین مقدار آب کل بدن در حالت استراحت و HF در حین تمرین با کارسنج دستی در مردان سالمند



شکل۴. رابطهٔ بین مقدار آب کل بدن در حالت استراحت و SD1 در حین تمرین با کارسنج دستی در مردان سالمند

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعهٔ حاضر رابطهٔ بین TBW استراحتی و HRV در حالت استراحت، حین، بلافاصله، ۵ و ۱۰ دقیقه از زمان بازیافت در میان افراد میانسال و سالمند بررسی شد. در این مطالعه، برای اولین بار رابطهٔ بین TBW استراحتی و HRV پس از فعالیت با کارسنج دستی در مردان با سنین مختلف مورد سنجش قرار گرفت. بیلان[8] و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که HRV در صبح، در طول روز و شب متفاوت است (۲۱). بنابراین، برای جلوگیری از تأثیر روند شبانه‌روزی HRV، آزمون‌ها در زمان معینی در هر روز انجام گرفت. تمام شرکت‌کنندگان پروتکل تمرینی را بین ساعت ۸ و ۱۲ صبح انجام دادند.

نتایج نشان داد که مقادیر HRV (LF، HF، SD1، SD2) در افراد میانسال نسبت به افراد سالمند بالاتر بود. این یافته‌ها با نتایج مطالعهٔ یو[9] و همکاران (۲۰۱۰) که به بررسی تأثیر یک جلسه فوتبال روی HRV در مردان میانسال و سالمند پرداختند، همسوست (۲۲). پایین‌تر بودن HRV در مردان ۶۰ - ۵۵ سال نسبت به ۳۵ - ۳۰ سال متعاقب فعالیت بالاتنه وامانده‌ساز ممکن است به‌دلیل تنظیم کاهشی حساسیت گیرنده‌های قلبی که با افزایش سن آشکار می‌شوند، باشد (۲۲). همچنین، به‌نظر می‌رسد HRV پایین‌تر مشاهده‌شده در مردان ۶۰ - ۵۵ سال نسبت به ۳۵ - ۳۰ سال به‌دلیل تفاوت‌های مربوط به سن در عملکرد خودکار باشد (۲۳). علاوه‌بر این، اعتقاد بر این است که تفاوت بین ضربان قلب در افراد ۳۵ - ۳۰ سال و ۶۰ - ۵۵ سال ممکن است به‌دلیل تفاوت در توانایی سرعت ایجاد ذاتی گره سینوسی- دهلیزی باشد که نقش اصلی آن ایجاد پتانسیل عمل است که در سراسر قلب عبور می‌کند و در نهایت به انقباض قلب منجر می‌شود. اگرچه سازوکارهای مرتبط با این تفاوت ناشناخته است، بیان شده است که تفاوت‌ها در نفوذپذیری غشای گره SA و تغییرات در محل سلول‌های ضربان‌ساز غالب در گره سینوسی- دهلیزی ممکن است مسئول این تفاوت‌ها باشد (۲۴). دلیل دیگر برای مقادیر HRV پایین‌تر در مردان ۶۰ - ۵۵ سال می‌تواند تأثیر منفی افزایش سن بر عملکرد دستگاه عصبی خودکار و متعاقب آن HRV پایین‌تر باشد. استین[10] و همکاران (۲۰۰۹) HRV را به‌طور مجزا در دو زمان ۱۵ سال بررسی و شرکت‌کنندگان را با توجه به سن و خطرهای قلبی و عروقی طبقه‌بندی کردند. آنها تأیید کردند که شاخص‌های HRV با افزایش سن کاهش می‌یابد، با اندازه‌گیری‌های حوزهٔ فرکانس (ULF، VLF، LF، HF) بیشترین کاهش بین ۶۹-۶۵ و ۷۴-۷۰ سال است و نسبت LF/HF و اندازه‌گیری‌های غیرخطی ($\alpha 1$ و β) به‌طور مداوم تحت کاهش قرار می‌گیرند (۲۵). با وجود این، پیشنهاد می‌شود که مطالعات آتی سازوکارهای درگیر در ایجاد تفاوت در عملکرد ANS در میان افراد با سنین مختلف، به‌ویژه در پاسخ به فعالیت ورزشی، بررسی شود.

نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که ارتباط معناداری بین مقادیر HRV ($\alpha 2$ و LF) در زمان‌های مختلف فعالیت ورزشی با کارسنج دستی (بلافاصله و ۱۰ دقیقه بازیافت) با TBW استراحتی، در گروه سنی میانسال وجود دارد (شکل‌های ۱ و۲). به‌علاوه، نتایج نشان داد که رابطهٔ معناداری بین مقادیر تغییرپذیری ضربان قلب (HF و SD۱) در حین فعالیت ورزشی با کارسنج دستی با TBW استراحتی، در گروه سنی سالمند وجود دارد (شکل‌های ۳ و ۴). براساس دانش موجود، این اولین پژوهشی است که رابطهٔ بین مقادیر تغییرپذیری ضربان قلب و TBW استراحتی را متعاقب فعالیت بالاتنه در مردان با گروه سنی مختلف بررسی کرده است. مطالعات متعدد نشان داده است که تمرینات هوازی بر ضربان قلب در حالت استراحت و ورزش تأثیر می‌گذارد، که تا حدی به‌دلیل تغییرات در تعدیل اعصاب سمپاتیک و پاراسمپاتیک است (۲۶). می‌توان فرض کرد، زمانی‌که ضربان قلب عمدتاً از طریق فعالیت پاراسمپاتیک کنترل می‌شود، HRV

افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، هنگامی‌که ضربان قلب از طریق فعالیت سمپاتیک کنترل شود، HRV کاهش می‌یابد (۲۷). هرچند در حال حاضر دلیلی برای افزایش فعالیت سمپاتیک در شروع ورزش به‌طور کلی شناخته نشده است، اما تعدادی از پژوهشگران، افزایش فعالیت سمپاتیک را در ارتباط با اسیدوز متابولیک می‌دانند (۲۸). علاوه‌بر این، میلی ماکی[11] و همکاران (۲۰۱۲) بیان کرده‌اند که افزایش فعالیت متابولیکی ناشی از ورزش پویای سبک یا متوسط، به کاهش در مقادیر HRV منجر می‌شود (۷).

از سوی دیگر، آب‌زدایی و فشار گرمایی[12] چالشی دوگانه بر دستگاه قلبی- عروقی هنگام فعالیت ورزشی است. ترکیبی از آب‌زدایی و فشار گرمایی به‌وجودآمده هنگام فعالیت ورزشی ممکن است تأثیرات منفی همزمان و بیشتری بر عملکرد قلبی- عروقی و تعریق داشته باشد (۲۹). مطالعات پیشین نشان داده است که آب‌زدایی (کاهش ۲ درصد از آب بدن) بر پاسخ‌های فیزیولوژیک و عملکرد ورزشی تأثیر می‌گذارد (۳۰). افزایش دمای مرکزی بدن هنگام فعالیت ورزشی و متعاقب آن کاهش جریان خون پوست به محدود شدن ظرفیت ورزشی از طریق افزایش تقاضا برای تعریق کافی و حذف حرارت از طریق پوست منجر می‌شود (۳۱). بنابراین، آب‌زدایی می‌تواند به اختلال در عملکرد قلبی- عروقی از قبیل افزایش ضربان قلب و فشار خون (۳۱) و متعاقباً تأثیر بر عملکرد خودکار قلبی بینجامد. در مطالعات قبلی نشان داده شده است که آب‌زدایی و فشار گرمایی هر کدام به‌طور مستقل و با هم به کاهش جریان خون پوستی و حذف گرما از طریق پوست منجر می‌شوند (۳۲) و در نهایت ممکن است عملکرد هوازی را مختل کنند (۳۳). در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات در دستگاه خودکار به نوع فعالیت و سن آزمودنی‌ها و میزان TBW استراحتی بستگی دارد. یافته‌های پژوهش نشان داد که HRV در افراد میانسال و سالمند هنگام و پس از فعالیت ورزشی بالاتنه با TBW استراحتی مرتبط است. بنابراین، این نتیجه‌گیری که عملکرد دستگاه خودکار قلبی متعاقب فعالیت‌هایی که از گروه عضلانی کوچک (کارسنج دستی) استفاده می‌کنند، متأثر از میزان و سطح آب بدن در قبل از فعالیت است. در تحقیق حاضر سطح آمادگی هوازی شرکت‌کنندگان ارزیابی نشد. گزارش شده است این عامل می‌تواند بر عملکرد خودکار و بازیافت قلبی متعاقب فعالیت ورزشی تأثیرگذار باشد (۳۴). بنابراین عدم ارزیابی سطح آمادگی هوازی شرکت‌کنندگان محدودیت تحقیق حاضر است که مطالعات آتی باید آن را مدنظر قرار دهند.

تشکر و قدردانی

پژوهشگران از تمامی شرکت‌کنندگان در تحقیق کمال تشکر و قدرانی را دارند. این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی‌آباد کتول است. همچنین از حمایت‌های مالی این واحد دانشگاهی سپاسگزاریم.

پی‌نوشت‌ها

1 Autonomic nervous system
2 Stroke volume
3 Heart rate variability
4 Total Body Water
5 Dehydration
6 Rate-pressure product
7 Premature beats
8 Bilan
9 Yu
10 Stein
11 Myllymäki
12 Heat stress

منابع

1. Michael S, Graham KS, Davis GM. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals—a review. Frontiers in physiology. 2017 May 29;8:301.
2. Marijon E, Tafflet M, Celermajer DS, Dumas F, Perier MC, Mustafic H, Toussaint JF, Desnos M, Rieu M, Benameur N, Le Heuzey JY. Sports-Related Sudden Death in the General Population-Clinical Perspective. Circulation. 2011 Aug 9;124(6):672-81.
3. Bertoia ML, Allison MA, Manson JE, Freiberg MS, Kuller LH, Solomon AJ, Limacher MC, Johnson KC, Curb JD, Wassertheil-Smoller S, Eaton CB. Risk factors for sudden cardiac death in post-menopausal women. J Am Coll Cardiol. 2012 Dec 25;60(25):2674-82.
4. Barak OF, Jakovljevic DG, Gacesa JZ, Ovcin ZB, Brodie DA, Grujic NG. Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. J Sports Sci Med. 2010 Jun;9(2):176.
5. Leti T, Bricout VA. Interest of analyses of heart rate variability in the prevention of fatigue states

in senior runners. Auton Neurosci . 2013 Jan 31;173(1):14-21.
6. Smilde TD, van Veldhuisen DJ, van den Berg MP. Prognostic value of heart rate variability and ventricular arrhythmias during 13-year follow-up in patients with mild to moderate heart failure. Clin Res Cardiol. 2009 Apr 1;98(4):233-9.
7. Myllymäki T, Rusko H, Syväoja H, Juuti T, Kinnunen ML, Kyröläinen H. Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep quality. Eur J Appl Physiol. 2012 Mar 1;112(3):801-9.
8. Hautala AJ, Mäkikallio TH, Seppänen T, Huikuri HV, Tulppo MP. Short-term correlation properties of R–R interval dynamics at different exercise intensity levels. Clin Physiol Func Imaging. 2003 Jul 1;23(4):215-23.
9. Shafiee A, Goharimoghadam Al, Nabavi Zadeh M. The effects of interval exercise training on heart rate recovery and heart rate variability after coronary artery bypass grafting. Razi Journal of Medical Sciences. 2016 Sep 15;23(147):91-8 (In Persian).
10. Rezvan K, Dabidi Roshan V, Mahmudi SA. Short-term heart rate variability in asthmatic obese children: effect of exhaustive exercise and different humidity conditions. J Sports Med Phys Fitness. 2015 Nov;55(11):1390-6.
11. Valensise H, Vasapollo B, Novelli GP, Larciprete G, Andreoli A, Altomare F, Di Pierro G, Galante A, Arduini D, De Lorenzo A. Total body water estimation and maternal cardiac systolic function assessment in normal and gestational hypertensive pregnant women. Med Sci Monit. 2004 Sep 1;10(9):CR530-4.
12. González-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. J Appl Physiol. 1997 Apr 1;82(4):1229-36.
13. Carter III R, Cheuvront SN, Wray DW, Kolka MA, Stephenson LA, Sawka MN. The influence of hydration status on heart rate variability after exercise heat stress. Journal of Thermal Biology. 2005 Oct 1;30(7):495-502.
14. Brenner IK, Thomas S, Shephard RJ. Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure. Sports Med. 1998 Aug 1;26(2):85-99.
15. Muraki S, Tsunawake N, Yamasaki M. Difference in cardiac autonomic control between steady-state arm cranking and leg cycling in women. Adv Exerc Sport Physiol. 2004 Dec;10(4):93-9.
16. Esco MR. Cardiovascular autonomic modulation following maximal exercise: Its relationship to race, maximal oxygen uptake, and resting heart rate variability. Auburn University; 2009.
17. Sawka MN, Foley ME, Pimental NA, Toner MM, Pandolf KB. Determination of maximal aerobic power during upper-body exercise.. 1983 Jan 1;54(1):113-7.
18. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. J Appl Physiol. 1986 Apr 1;60(4):1327-32.
19. Kim JE, Jeon SM, Park KH, Lee WS, Jeong TS, McGregor RA, Choi MS. Does Glycine max leaves or Garcinia Cambogia promote weight-loss or lower plasma cholesterol in overweight individuals: a randomized control trial. Nutr J. 2011 Sep 21;10(1):94
20. Hovland A, Pallesen S, Hammar Å, Hansen AL, Thayer JF, Sivertsen B, Tarvainen MP, Nordhus IH. Subjective sleep quality in relation to inhibition and heart rate variability in patients with panic disorder. J Affect Disorders. 2013 Aug 15;150(1):152-5.
21. Bilan A, Witczak A, Palusiński R, Myśliński W, Hanzlik J. Circadian rhythm of spectral indices of heart rate variability in healthy subjects. J Electrocardiol. 2005 Jul 31;38(3):239-43.
22. Yu S, Katoh T, Makino H, Mimuno S, Sato S. Age and heart rate variability after soccer games. Res Sports Med. 2010 Oct 5;18(4):263-9.
23. Wood R, Maraj B, Lee CM, Reyes R. Short-term heart rate variability during a cognitive challenge in young and older adults. Age Ageing. 2002 Mar 1;31(2):131-5
24. Guilkey J.P. Heart rate recovery and Heart rate variability during recovery from submaximal and maximal exercise in boys and adults. University of Ball State. 2012.
25. Stein PK, Barzilay JI, Chaves PH, Domitrovich PP, Gottdiener JS. Heart rate variability and its changes over 5 years in older adults. Age Ageing. 2009 Jan 15;38(2):212-8.
26. Almeida MB, Araújo CG. Effects of aerobic training on heart rate. Rev Bras Med Esporte. 2003 Apr;9(2):113-20.
27. Hautala AJ, Mäkikallio TH, Seppänen T, Huikuri HV, Tulppo MP. Short-term correlation properties of R–R interval dynamics at different exercise intensity levels. Clin Physiol Func Imaging. 2003 Jul 1;23(4):215-23.
28. Rotto DM, Stebbins CL, Kaufman MP. Reflex cardiovascular and ventilatory responses to increasing H+ activity in cat hindlimb muscle. J Appl Physiol. 1989 Jul 1;67(1):256-63.
29. Cheuvront SN, Carter R, Castellani JW, Sawka MN. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. J Appl Physiol. 2005 Nov 1;99(5):1972-6.
30. Montain SJ, Coyle E. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular

drift during exercise. J Appl Physiol. 1992 Oct 1;73(4):1340-50.
31. Crandall CG, Gonzalez-Alonso J. Cardiovascular function in the heat-stressed human. Acta Physiologica. 2010 Aug 1;199(4):407-23
32. Gonzalez-Alonso J. Separate and combined influences of dehydration and hyperthermia on cardiovascular responses to exercise. Int J Sports Med. 1998 Jun;19(S 2):S111-4.
33. Kenefick RW, Cheuvront SN, Palombo LJ, Ely BR, Sawka MN. Skin temperature modifies the impact of hypohydration on aerobic performance. J Appl Physiol. 2010 Jul 1;109(1):79-86.
34. Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. Med Sci Sports Exerc. 2007 Aug 1;39(8):1366-73.