

Original Article

## Evaluation of the effects of aerobic exercise in the aqueous environment on heart rate variability by using Poincare plot nonlinear method

Asgar Iranpour<sup>1</sup>, LotfAli Bolboli<sup>2</sup>

### ABSTRACT

**Background and Aim:** Heart rate variability used as a non-invasive method to investigate the effect of aerobics exercise on the cardiac autonomic system. The aim of this study was the nonlinear analysis of the effect of aerobic exercise in the water on the cardiac autonomic system in academic young's males.

**Materials and Methods:** A total of 28 young men were randomly assigned to two groups of control and aerobic exercise in water. In the pre-test period and after the training intervention, all parameters of heart rate variability were measured by examining heart rate sequences, In the pre-test period and after the training intervention, all parameters of heart rate variability were measured by examining heart rate sequences, and then the standard deviation of the recorded sequences was interpreted by using the Poincare plot method. Independent t-test and paired t-test were used to compare the differences in the research stages.

**Results:** Regular participation in aerobic exercise in water caused a significant ( $45.1 \pm 9.2$  vs.  $34.1 \pm 12.3$ ) and standard deviation of time intervals of heart rate sequences compared to their adjacent sequence compared to the control group ( $P=0.03$ ). The longitudinal standard deviation of time intervals of heart rate sequences compared to the pre-test ( $P=0.04$ ) had a significant increase ( $79.5 \pm 12.5$  vs.  $56.9 \pm 15.8$ ). After transferring the absolute results to normal, the normal state of the standard deviation of time intervals of heart rate sequences compared to its adjacent sequence compared to the control group ( $P=0.03$ ) had a significant increase ( $44.7 \pm 12.05$  vs.  $36.5 \pm 13.52$ ). Also, the normal state of the longitudinal standard deviation of time intervals of heart rate sequences compared to the pre-test ( $P=0.02$ ) increased significantly ( $76.4 \pm 15.29$  vs.  $61.3 \pm 9.32$ ).

**Conclusion:** Performing aerobic exercise in an aqueous environment can be used as a useful training method to improve the responsiveness of the cardiac autonomic system.

**Key Words:** Autonomic Nervous System, Exercise, Heart Rate



Citation: Iranpour A, Bolboli LA. [Evaluation of the effects of aerobic exercise in the aqueous environment on heart rate variability by using Poincare plot nonlinear method]. J Birjand Univ Med Sci. 2020; 27(3): 251-264. [Persian].

DOI <http://doi.org/10.32592/JBirjandUnivMedSci.2020.27.3.104>.

Received: October 1, 2019

Accepted: May 4, 2020

<sup>1</sup> Department of Physical Education, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran.

<sup>2</sup> Department of Physical Education, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran.

**Corresponding author;** Department of Physical Education, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran  
Tel: +989147047033 Fax: +9831505000 Email: Iranpoursport@yahoo.com

## بررسی اثرات تمرین ایروبیکی در محیط آبی بر تغییرپذیری ضربان قلب با استفاده از روش غیر خطی Poincare plot

عسگر ایران پور<sup>۱</sup>، لطفعلی بلبلی<sup>۲</sup>

### چکیده

**زمینه و هدف:** تغییرپذیری ضربان قلب، روش غیرتهاجمی بررسی اثر مداخله فعالیت ورزشی بر سیستم اتونوم قلبی است. هدف از پژوهش حاضر، تحلیل غیرخطی اثر فعالیت ورزشی ایروبیکی در آب بر سیستم اتونوم قلبی در مردان جوان دانشگاهی بود. **روش تحقیق:** تعداد ۲۸ نفر از مردان جوان و به‌طور تصادفی در دو گروه کنترل و تمرین ایروبیکی در آب قرار گرفتند. در دوره پیش‌آزمون و بعد از مداخله تمرینی، تمامی پارامترهای تغییرپذیری ضربان قلب با روش بررسی توالی‌های ضربان قلب اندازه‌گیری گردید؛ سپس انحراف معیار توالی‌های ثبت‌شده با استفاده از روش Poincare plot تفسیر گردید. برای مقایسه تفاوت‌ها در مراحل پژوهش، از آزمون‌های تی مستقل و تی همبسته استفاده گردید.

**یافته‌ها:** شرکت منظم در تمرین ایروبیکی در آب، باعث افزایش معنی‌دار ( $45/1 \pm 9/2$  به  $34/1 \pm 12/3$ ) انحراف معیار فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب نسبت به توالی مجاور خود نسبت به گروه کنترل ( $P=0/03$ ) گردید. انحراف معیار طولی فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب نسبت به پیش‌آزمون ( $P=0/04$ ) افزایش معنی‌داری ( $79/5 \pm 12/5$  به  $56/9 \pm 15/8$ ) داشت. بعد از انتقال نتایج مطلق به حالت نرمال، حالت نرمال انحراف معیار فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب نسبت به توالی مجاور خود نسبت به گروه کنترل ( $P=0/03$ ) افزایش معنی‌دار ( $44/7 \pm 12/05$  به  $36/5 \pm 13/52$ ) داشت؛ همچنین حالت نرمال انحراف معیار طولی فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب نسبت به پیش‌آزمون ( $P=0/02$ ) افزایش معنی‌داری ( $76/4 \pm 15/29$  به  $61/3 \pm 9/32$ ) یافت. **نتیجه‌گیری:** اجرای فعالیت ورزشی هوازی در محیط آبی می‌تواند به‌عنوان یک روش تمرینی سودمند برای بهبود پاسخ‌پذیری سیستم اتونوم قلبی مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم عصبی خودکار، فعالیت ورزشی، ضربان قلب

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. ۱۳۹۹؛ ۲۷ (۳): ۲۵۱-۲۶۴.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۹ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵

۱ گروه آموزشی تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
۲ گروه آموزشی تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**نویسنده مسؤول:** گروه آموزشی تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
آدرس: اردبیل - خیابان دانشگاه - دانشگاه محقق اردبیلی  
تلفن: ۰۹۱۴۷۰۴۷۰۲۳۳، نمابر: ۳۱۵۰۵۰۰۰، پست الکترونیکی: Iranpoursport@yahoo.com

## مقدمه

اجرای تمرین ورزشی در شرایط مختلف محیطی، نیاز به پاسخ بهتر سیستم قلبی- عروقی به تغییرات محیط پیرامون دارد (۱)؛ در واقع «پاسخ پذیری قلبی» به عنوان یک سیستم دفاعی قلبی- عروقی محسوب می شود. تنظیم این قابلیت پاسخ قلبی، بر عهده سیستم عصبی قلبی است (۲)؛ بنابراین هرگونه عدم تعادل بین سیستم های عصبی سمپاتیک و پاراسمپاتیک در مواجهه با شرایط محیط پیرامون می تواند با اختلالات قلبی همراه باشد (۳)؛ از طرفی سازگاری مرحله به مرحله با این شرایط به نظر می رسد در افزایش سطح ایمنی قلبی نقش اساسی داشته باشد (۴). بنابراین این فرضیه پژوهشی شکل می گیرد که اجرای تمرین ایروبی در محیط آبی می تواند به عنوان یک شرایط محیطی خاص برای دستکاری پاسخ پذیری سیستم عصبی قلبی مد نظر قرار گیرد. مطالعات قبلی نشان داده اند که قرارگیری در محیط آبی، سبب افزایش بازگشت وریدی و کاهش بار وارده بر سیستم قلبی می گردد. مکانیسم عمل این وضعیت را می توان به مقاومت آب و اثرات آن بر سیستم عروقی بدن نسبت داد (۳).

سنجش پاسخ پذیری سیستم اتونوم قلبی به فعالیت ورزشی هوازی، با روش های مستقیم و تهاجمی سنجش سیستم عصبی سمپاتیک و پاراسمپاتیک امکان پذیر است (۵)؛ ولی ساده ترین و غیرتهاجمی ترین روش برای سنجش پاسخ پذیری سیستم اتونوم قلبی، سنجش تغییر پذیری ضربان قلب با استفاده از هولتر مانیتور قلبی<sup>۱</sup> می باشد (۶). مزیت اصلی این روش، قابلیت استفاده کاربردی در محیط ورزشی حتی در محیط ورزشی آبی است (۷). تغییر پذیری ضربان قلب، با دو روش خطی و غیرخطی مورد تفسیر قرار می گیرد. در روش خطی، گزارش مطلق از تغییرات زمانی و فرکانسی از توالی های ضربان قلب در یک نوار قلبی با سنجش کوتاه مدت ۲۰ دقیقه ای و بلند مدت ۲۴ ساعته صورت می پذیرد. متناسب با هدف محقق از سنجش تغییر پذیری ضربان قلب،

نوع سنجش کوتاه مدت و بلند مدت متفاوت خواهد بود (۸). در سنجش تغییر پذیری ضربان قلب به صورت تکی ناشی از اثر یک مداخله خارجی از قبیل فعالیت ورزشی هوازی، از روش کوتاه مدت و در سنجش تغییر پذیری ضربان قلب همراه با بررسی ضربان های نارس و بررسی اختلالات، سنجش ۲۴ ساعته مناسب خواهد بود (۹). در روش غیرخطی، توالی های سنجش ضربان قلب به صورت ساختاری و با ترسیم نمودار پراکندگی به صورت شیب خطی مورد بررسی قرار می گیرد. مزیت بررسی با روش غیرخطی در این است که به طور همزمان تغییرات فرکانسی و زمانی در قالب یک نمودار پراکندگی گزارش می گردد (۱۰). به طور کلی، افزایش در تغییر پذیری ضربان قلب ناشی از هر گونه فعالیت ورزشی، به عنوان وضعیت سلامتی مطلوب و کاهش تغییر پذیری ضربان قلب به دلیل اختلال سیستم اتونوم قلبی به عنوان وضعیت بیماری شناخته می شود (۱۱).

روش Poincare plot به عنوان یک روش مطلوب برای تفسیر غیرخطی تغییر پذیری ضربان قلب شناخته شده است. این روش به عنوان یک روش ترسیم گرافیکی پراکندگی از توالی های ضربان قلب (RR n) نسبت به توالی های بعدی ضربان قلب (RR n+1) مورد بررسی قرار می گیرد (۱۲). در واقع در این روش بررسی مطلق انحراف معیار توالی های ضربان قلب در روش خطی صورت نمی پذیرد، بلکه انحراف معیار هر توالی ضربان های قلب نسبت به انحراف معیار توالی های ضربان قلب بعدی به صورت تغییرات پراکندگی مورد بررسی قرار می گیرد. قابلیت دیگر نمودار پراکندگی روش غیرخطی بررسی تغییر پذیری ضربان قلب، گزارش پهنا و طول تغییرات صورت گرفته به صورت standard deviation perpendicular the line of identity (SD1) و standard deviation along the line of identity (SD2) و نسبت این دو اینتروال (SD1/SD2) است. هر کدام از تغییرات پهنا و طول تغییر پذیری ضربان قلب به صورت خط شیب دار در نمودار پراکندگی در کنار پراکندگی

<sup>1</sup> Cardiac Holter monitoring

حاضر، معیارهای ورود به مطالعه شامل: نداشتن سابقه بیماری قلبی و عروقی، داشتن سن در محدوده ۲۰ تا ۳۰ سال، نداشتن حساسیت پوستی به تمرین در محیط آبی و معیارهای خروج از پژوهش شامل: مشاهده هر گونه نارسایبی قلبی به تشخیص پزشک حاضر در تیم پژوهش در حین تست گیری و تمرین، خروج فرد از پژوهش به دلیل شرکت نامنظم در تمرینات و هر گونه آسیب دیدگی در حین تمرینها بود.

تعداد ۲۸ نفر از مردان جوان دانشگاهی، بدون سابقه تمرین ورزشی قبلی (بی تمرین حداقل به مدت ۶ ماه) و بدون داشتن ناراحتی‌های قلبی و تنفسی (گرفتن نوار قلبی در حالت استراحت) به عنوان افراد مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب شدند. افراد مورد مطالعه بعد از تکمیل رضایت نامه شرکت داوطلبانه در پژوهش، به صورت تصادفی و با روش تصادفی سازی ساده با جدول اعداد تصادفی، در دو گروه کنترل (۱۴ نفر) و تمرین هوازی در آب (۱۴ نفر) قرار گرفتند. در مرحله بعد برای جلوگیری از اثرات عوامل مخدوشگر احتمالی مرتبط با مداخله تمرینی و سنجش تغییرپذیری ضربان قلب؛ میزان اضطراب، مصرف دارو و تغییرات دریافت کالری در افراد مورد مطالعه، مقایسه و بررسی گردید. میزان اضطراب افراد مورد مطالعه با استفاده از پرسشنامه اضطراب Beck اندازه گیری شد. این پرسشنامه شامل ۲۱ گزینه است که علائم شایع اضطراب را شامل می شود. نحوه امتیازدهی به پاسخها به صورت اصلاً (۰)، خفیف (۱)، متوسط (۲) و شدید (۳) بوده و دامنه نمره فرد می تواند از صفر تا ۶۳ در نوسان باشد (۱۶). برای محاسبه چربی بدن، از روش سه نقطه ای (چین پوستی نواحی سینه، شکم و ران) Jackson/Pollock با فرمول زیر استفاده گردید (۱۷):

$$۱۰۰ \times \left( \frac{۴}{۵} - \text{چگالی بدن} / \frac{۴}{۹۵} \right) = \text{درصد چربی بدن}$$

$$\text{مجموع (سن} \times ۰.۰۰۰۲۵۷۴ - \text{توان) دوم مجموع سه نقطه} \times ۰.۰۰۰۰۱۶ + \text{مجموع سه نقطه} \times ۰.۰۰۸۲۶۷ - ۱۰۰ \times ۱.۰۹۳۸ = \text{چگالی بدن}$$

انحراف معیارها ترسیم می گردد. نقطه تلاقی این دو خط شیب دار در نمودار پراکندگی، به عنوان میانگینی از تمامی تغییرات صورت گرفته در توالی های ضربان قلب می باشد (۱۰). اهمیت بررسی میانگین تغییرات انحراف معیار توالی های ضربان قلب در این است که مطلوب ترین میزان تغییر ناشی از یک مداخله فعالیت ورزشی بر گروه مطالعه مورد نظر را به صورت گرافیکی نشان می دهد (۸، ۱۲).

اجرای فعالیت ورزشی ایروبیکی در آب به دلیل فشار هیدرواستاتیک آب، سبب جابجایی مطلوب مایعات بدن انسان می گردد (۳). پیامد جابجایی مطلوب مایعات در بدن انسان ناشی از قرارگیری در محیط آبی، افزایش برون ده قلبی، کاهش مقاومت محیطی، افزایش توانایی بدن برای انتقال سوپسترا و در نهایت کاهش فشار اعمال شده بر قلب است (۱۳). تمام موارد مذکور، باعث افزایش پیش بار قلبی و حجم ضربه ای می گردد؛ این امر باعث کاهش ضربان قلب در حین تمرین ایروبیکی در آب می شود (۱۴). کاهش ضربان قلب احتمالاً با تغییراتی در کرونوتروپی قلبی همراه شده و مراکز کنترل مغزی کرونوتروپی قلبی دستخوش تنظیم مجدد نقطه بازیابی ریتم بدنی می گردند (۱۵). بنابراین در پاسخ به فرضیه اثر اجرای تمرین ایروبیکی در آب بر سیستم اتونوم قلبی، این پژوهش با هدف بررسی اثرات شرکت منظم در فعالیت ورزشی ایروبیکی در آب بر تغییرپذیری ضربان قلب با روش غیرخطی در مردان جوان دانشگاهی اجرا گردید.

## روش تحقیق

این مطالعه با رعایت تمامی استانداردهای تعیین شده توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی اردبیل (IR.ARUMS.REC.1396.217) و با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی به مرحله اجرا درآمد. در مرحله بعد، تمام روش های بررسی و گردآوری داده های پژوهش به عنوان یک پژوهش کارآزمایی بالینی در مرکز کارآزمایی بالینی ایران (IRCT20180724040579N1) ثبت گردید. برای مطالعه

ضربان قلب به دقت و در همان محل برگزاری مرحله پیش‌آزمون، انجام شد.

مطابق با برنامه خواب و بیداری که در اختیار افراد مورد مطالعه قرار داده شده بود، حداقل میزان خواب برای هر فرد به مدت ۷ ساعت، از ساعت ۱۲ شب تا ۷ صبح بود. تمام افراد مورد مطالعه توصیه‌های لازم برای داشتن تغذیه کامل در وعده صبحانه را اجرا نموده و توجه گردیدند که ۳ ساعت قبل از اجرای فعالیت ورزشی هوازی در آب، از تغذیه سنگین اجتناب نموده و مصرف مناسبی از نوشیدنی‌های مطلوب برای حفظ مناسب آب بدن را داشته باشند. اجرای تمرین هوازی از ساعت ۱۰ صبح شروع شده و مطابق با جدول برنامه‌ریزی برای هر فرد، دستورالعمل تجویز شده جهت تمرین برای هر فرد در بازه زمانی تقریبی ۱/۵ ساعت به اتمام می‌رسید.

پروتکل تمرین هوازی در آب، در استخر و در منطقه کم‌عمق صورت گرفت. روند کار به این صورت بود که ابتدا افراد مورد مطالعه به گرم کردن پرداختند؛ سپس حرکات کششی، تمرینات هوازی در آب و سپس سرد کردن و ریکاوری را اجرا نمودند. کلیه افراد پس از ورود به استخر، به راه رفتن در یک ردیف پرداختند؛ به صورتی که تا قسمت سینه در آب بودند. دمای متوسط استخر به میزان ۲۹ درجه سانتی‌گراد بود؛ میزان رطوبت نیز کنترل می‌گردید. مدت زمان اجرای تمرین هوازی در آب برای هر فرد تقریباً ۳۰ دقیقه بود که به مدت ۵ دقیقه نیز حرکات گرم کردن شامل: راه رفتن با پای خم و دست خم، دور تا دور استخر انجام شد. در مدت ۳۰ دقیقه‌ای فعالیت در محل تعیین شده، افراد به طور متوسط در هر دقیقه مسافت ۳۰ متر را طی نمودند، که در مجموع به طور میانگین در ۳۰ دقیقه فعالیت، هر فرد مسیر ۹۰۰ متری را طی نمود. بعد از اتمام تمرین، حرکات سرد کردن و بازیافت به مدت ۱۰ دقیقه شامل حرکات کششی و دراز کشیدن در آب انجام شد. گروه کنترل در طول این دوره بدون اجرای تمرین ایروبیکی فقط در همان محیط تمرین آب در حالت استراحت باقی ماندند.

همچنین برای برآورد کالری مصرفی افراد مورد مطالعه از فرمول Harris-Benedict استفاده گردید (۱۸):

(سن به سال  $\times 6/755$ ) - (قد به سانتی‌متر  $\times 5/003$ ) + (وزن به کیلوگرم  $\times 13/75$ ) +  $66/5$  = میزان متابولیسم پایه

$1/725 \times$  میزان متابولیسم پایه = انرژی مصرفی کل

فعالیت سبک (۱ الی ۳ روز در هفته) =  $1/2$

فعالیت متوسط (۳ الی ۵ روز در هفته) =  $1/55$

وضعیت فعال (۶ الی ۷ روز در هفته) =  $1/725$

خیلی فعال (فعالیت سنگین دو روز در هفته) =  $1/9$

مشخصات عمومی افراد مورد مطالعه در جدول یک

گزارش شده است.

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار مربوط به ویژگی‌های فردی افراد مورد مطالعه

متغیر	گروه کنترل	گروه تمرین هوازی در آب	sig
سن (سال)	$26/1 \pm 1/24$	$26/4 \pm 1/71$	۰/۷۴
قد (سانتی متر)	$173/9 \pm 2/14$	$174/3 \pm 1/47$	۰/۶۵
وزن (کیلوگرم)	$73/3 \pm 2/13$	$74/7 \pm 2/71$	۰/۱۰
چربی بدن (درصد)	$25/7 \pm 2/11$	$24/6 \pm 1/17$	۰/۱۵
اضطراب (نمره)	$5/2 \pm 1/3$	$5/7 \pm 1/1$	۰/۵۹
مصرف دارو (تعداد)	۰	۰	-
کالری مصرفی	$2451/18 \pm 155/21$	$2396/27 \pm 136/79$	۰/۳۶

کلیه مراحل انتخاب افراد و اجرای پروتکل تمرین در محدوده زمانی ۴۵ روزه صورت پذیرفت. قبل از اجرای آزمون، یک جلسه آشنایی با مراحل اجرای تمرین برگزار شد و سپس در مرحله پیش‌آزمون، یک روز قبل از شروع برنامه تمرینی، افراد هر دو گروه در آزمون‌های اندازه‌گیری ترکیب بدنی شرکت کردند؛ از کالیپر (روش هفت‌نقطه‌ای)، متر نواری و ترازو برای اندازه‌گیری ترکیب بدنی و از هولتر مانیتور (مدل My Patch & Vx3+) برای اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب استفاده گردید. (جدول ۱)؛ در مرحله بعد به مدت ۲۱ روز متوالی، قسمت اصلی دوره یعنی تمرین هوازی در آب انجام شد و در نهایت در مرحله پس‌آزمون، اندازه‌گیری تغییرپذیری



شکل ۱- محل اتصال لیدهای هولتر مانیتور قلبی مدل

#### My Patch & Vx3+

قبل از شروع اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب (پیش‌آزمون) از افراد خواسته شد در یک اتاق ساکت با نور کم به مدت ۱۵ دقیقه دراز بکشند؛ سپس به مدت ۲۰ دقیقه به وسیله هولتر مانیتور، ضربان قلب استراحتی هر فرد در حالت طاق باز مانیتور شد و در ادامه آنالیز طیفی بر روی تغییرات خودبه‌خودی ضربان قلب انجام گرفت. پس از آخرین روز تمرینات هوازی در آب، به منظور فروکش کردن اثرات موقتی آخرین جلسه تمرینی، یک روز بعد از اتمام تمرینات تحت شرایط استاندارد اشاره‌شده در قسمت پیش‌آزمون، تمامی مراحل اشاره‌شده یکبار دیگر به صورت دقیق و کنترل شده در همان محیط، ثبت و به نرم‌افزار مربوطه منتقل گردید. با توجه با فواصل زمانی ثبت شده بر روی نرم‌افزار، انحراف معیار (SD) توالی‌های زمانی بین دو ضربان قلب با واحد میلی‌ثانیه (RR n) نسبت به انحراف معیار توالی‌های بعدی (RR n+1) در قالب روش غیرخطی ژئومتریکی Poincare plot برای هر یک از افراد مورد مطالعه در نوار قلبی ۵ دقیقه‌ای محاسبه و با نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردید. تغییرپذیری مطلوب در هر یک از این توالی‌ها نسبت به توالی‌های بعدی سبب ترسیم مناسب شیب خطی می‌گردد. در نهایت داده‌ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار گزارش گردید. برای تمامی تجزیه و تحلیل‌ها، نرم‌الیه داده‌ها

قبل از اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب، تمام توصیه‌های لازم برای اندازه‌گیری به‌طور دقیق رعایت گردید؛ بدین منظور به تمام افراد مورد مطالعه توصیه گردید تا ۱۲ ساعت قبل از اندازه‌گیری، از خوردن مواد محتوی کافئین خودداری نمایند؛ تا ۲۴ ساعت قبل از اندازه‌گیری از مصرف سیگار خودداری نموده و از انجام هر گونه فعالیت فیزیکی شدید اجتناب نمایند. اندازه‌گیری در محیطی سرپوشیده در محدوده دمایی مطلوب ۲۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه صورت پذیرفت. برای اندازه‌گیری تغییرپذیری ضربان قلب، از سیستم هولتر مانیتور مدل My Patch & Vx3+ ساخت کشور آمریکا (نمایندگی در ایران - شرکت اوسینا) استفاده شد. در فرآیند اندازه‌گیری، تمام دستورالعمل‌های راهنمای اندازه‌گیری کاملاً رعایت گردید؛ از افراد خواسته شد تا محل اتصال لیدهای سیستم هولتر مانیتور به بدن را به صورت کامل و تمیز بتراشند و قبل از اتصال لید و الکترودها به روی بدن فرد، محل مربوطه کاملاً تمیز گردید. به منظور اتصال بهتر، از لیدهای مرغوب و مناسب دارای فوم و ژل استفاده شد. از افراد مورد مطالعه و دستیاران کمکی خواسته شد تا در محیط مربوطه از تلفن همراه استفاده نمایند و تلفن همراه خود را حداقل به فاصله ۳ متر و در حالت خاموش قرار دهند. در هنگام اتصال لیدها به بدن افراد توجه شد که فشار اضافی به هسته مرکزی لیدها وارد نگردد؛ زیرا فشار زیاد در رسانایی تأثیر نامطلوب دارد. همچنین از افراد خواسته شد تا لوازم فلزی و گردنبند و دستبند فلزی به همراه نداشته باشند. به منظور اتصال لیدها به بدن افراد، از روش استاندارد توصیه‌شده توسط شرکت سازنده سیستم هولتر مانیتور مربوطه با ۷ لید استفاده گردید (شکل ۱).

ضربان قلب نسبت به توالی مجاور خود (SD1) گردید؛ همچنین شرکت منظم در فعالیت ورزشی ایروبیکی در آب در مقایسه با دوره پیش‌آزمون (مقایسه خطوط ممتد شکل ۲ قسمت (د) با قسمت (ج)) سبب افزایش غیرمعنی‌دار توالی‌های ضربان قلب نسبت به توالی مجاور خود (SD1) گردید (جزئیات بیشتر در شکل ۲). بعد از انتقال نتایج مطلق به حالت نرمال، حالت نرمال‌شده شاخص غیرخطی انحراف معیار فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب نسبت به توالی مجاور خود (SD1n) نسبت به گروه کنترل (مقایسه خطوط ممتد شکل ۳ قسمت (د) با قسمت (ب)) افزایش معنی‌دار ( $P=0/03$ ) و نسبت به پیش‌آزمون (مقایسه خطوط ممتد شکل ۳ قسمت (د) با قسمت (ج)) افزایش غیرمعنی‌داری ( $P=0/15$ ) داشت (جزئیات بیشتر در شکل ۳)؛ بدین معنی که بین بررسی مطلق و نرمال‌شده این شاخص تغییرپذیری ضربان قلب، تفاوتی وجود نداشت (جدول ۲).

با استفاده از آزمون شاپیروویلیک مورد بررسی قرار گرفت. در صورت نرمال‌نبودن داده‌ها در یک متغیر (در این مطالعه فقط در متغیر وزن آزمودنی‌ها)، داده‌ها به شکل لگاریتم طبیعی خودشان تبدیل گشته و سپس به‌طور مجدد آزمون نرمالیته تکرار گردید. به‌منظور مقایسه تفاوت‌های موجود در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از روش تحلیلی تی‌وابسته و برای مشاهده تفاوت‌های بین‌گروهی از روش تی‌مستقل استفاده گردید. خطای آلفا به میزان ۰/۰۵ تعیین گردید. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS (ویرایش ۲۴) و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## یافته‌ها

شرکت منظم در فعالیت ورزشی ایروبیکی در آب در مقایسه با گروه کنترل (مقایسه خطوط ممتد شکل ۲ قسمت (د) با قسمت (ب))، سبب افزایش معنی‌دار ( $P=0/03$ ) در شاخص غیرخطی انحراف معیار فواصل زمانی توالی‌های

جدول ۲- نتایج تحلیل غیرخطی تغییرپذیری ضربان قلب در گروه‌های پژوهش

متغیرها	گروه کنترل		گروه تمرین هوازی در آب		نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها	
	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون	پیش آزمون	پس آزمون
SD1	۳۳/۶±۱۰/۴۷	۳۴/۱±۱۲/۳۵	۴۵/۱±۹/۲۲†	۳۵/۶±۱۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۰۳
SD2	۵۶/۷±۱۵/۲۱	۵۸/۴±۱۳/۵۷	۷۹/۵±۱۲/۵۹*	۵۶/۹±۱۵/۸۱	۰/۷۴	۰/۰۹
SD1n	۳۵/۱±۱۰/۳۴	۳۶/۵±۱۳/۵۲	۴۴/۷±۱۲/۰۵†	۳۷/۱±۱۱/۱	۰/۴۴	۰/۰۳
SD2n	۶۱/۴±۱۵/۲۱	۶۴/۳±۱۲/۵۴	۷۶/۴±۱۵/۲۹*	۶۱/۳±۹/۳۲	۰/۸۹	۰/۰۸
SD1/SD2	۰/۵۷±۰/۱۸	۰/۵۶±۰/۱۷	۰/۵۷±۰/۱۵	۰/۶۰±۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۱۵

تفاوت معنی‌دار بین گروه کنترل و تجربی (†)، تفاوت معنی‌دار نسبت به پیش‌آزمون (\*)، SD1: انحراف معیار آبی اینتروال ضربه به ضربه

تغییرپذیری ضربان قلب، SD2: انحراف معیار مداوم اینتروال ضربه به ضربه تغییرپذیری ضربان قلب، n: واحد نرمال گر

انحراف معیار طولی فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب (SD2) در گروه تمرین ایروبیکی در آب در مقایسه با گروه کنترل (مقایسه خطوط منقطع شکل ۲ قسمت (د) با قسمت (ب)) افزایش غیرمعنی‌دار ( $P=0/09$ ) و نسبت به پیش‌آزمون (مقایسه خطوط منقطع شکل ۱ قسمت (د) با قسمت (ج)) افزایش معنی‌داری ( $P=0/04$ ) داشت. بعد از انتقال نتایج مطلق به حالت نرمال، حالت نرمال شده شاخص غیرخطی انحراف معیار طولی فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب (SD2n) نسبت به گروه کنترل (مقایسه خطوط منقطع شکل ۳ قسمت (د) با قسمت (ب)) افزایش غیرمعنی‌دار ( $P=0/08$ ) و نسبت به پیش‌آزمون (مقایسه خطوط منقطع شکل ۳ قسمت (د) با قسمت (ج)) افزایش معنی‌داری ( $P=0/02$ ) یافت. همچنین در این شاخص تغییرپذیری ضربان قلب، بین بررسی مطلق و نرمال شده تفاوتی وجود نداشت (جدول ۲).

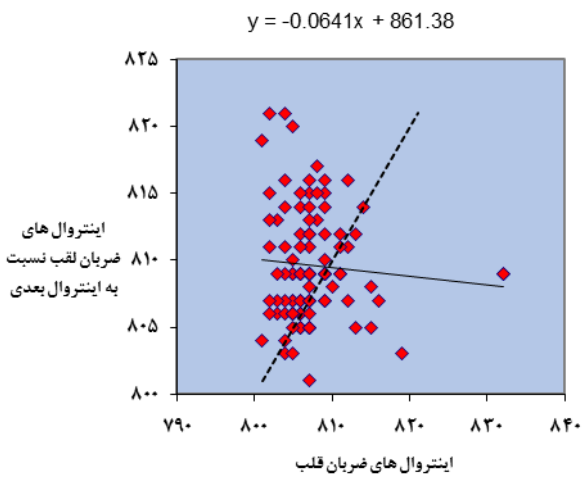
مقایسه نسبت انحراف معیار فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب نسبت به توالی مجاور خود به انحراف معیار طولی فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب ( $SD1/SD2$ ) در مقایسه با گروه کنترل و پیش‌آزمون، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ( $P \geq 0/05$ ) (جدول ۲).

بررسی تغییرات اینتروال‌های ضربان قلب (فواصل زمانی بین موج‌های R) نشان داد که مقادیر انحراف معیار توالی‌های

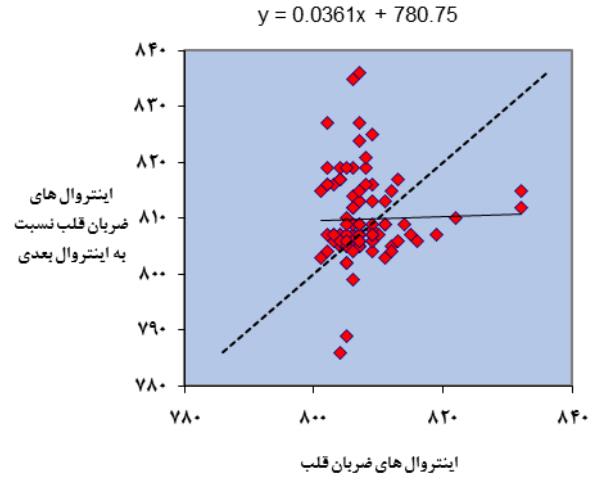
مجاور ضربان قلب (SD1) نسبت به نقطه میانگین فواصل زمانی (نقطه تلاقی دو خط منقطع و ممتد) در اثر شرکت در برنامه فعالیت ورزشی هوازی در آب بهبود می‌یابد؛ بدین معنا که افزایش انحراف معیار توالی‌های ضربان قلب، نشانه پاسخ‌پذیری یا منعطف‌بودن سیستم عصبی قلبی است و سیستم عصبی قلبی فرد در مواجهه با شرایط محیط پیرامون، به‌موقع و در مطلوب‌ترین شکل، سازگاری کوتاه‌مدتی را برای حفظ سلامتی بدن نشان می‌دهد. افزایش تغییرپذیری، نشانه سلامت سیستم قلبی است که شرکت در فعالیت ورزشی ایروبیکی در آب آن را تقویت می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲ (الف)، (ب) و (ج) مشاهده می‌گردد، نقاط تلاقی (نقاط روی نمودار) اینتروال‌های ضربان قلب (محور x) با اینتروال‌های مجاور خود (محور y) در اطراف میانگین (تلاقی دو خط) تجمع یافته‌اند، که نشان‌دهنده پایین‌بودن تغییرات فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب است؛ ولی در شکل ۲ (د)، این پراکندگی نشان‌دهنده تغییرات توالی‌های ضربان قلب از نقطه میانگین در اثر شرکت در فعالیت ورزشی هوازی در آب است. انحراف معیار اول (SD1) گویای تغییرات نقاط به لحاظ پهنای متغیرها از میانگین و انحراف معیار دوم (SD2) گویای تغییرات نقاط به لحاظ طول متغیرها از میانگین است.

بررسی تغییرات اینتروال‌های ضربان قلب (فواصل زمانی بین موج‌های R) نشان داد که مقادیر انحراف معیار توالی‌های

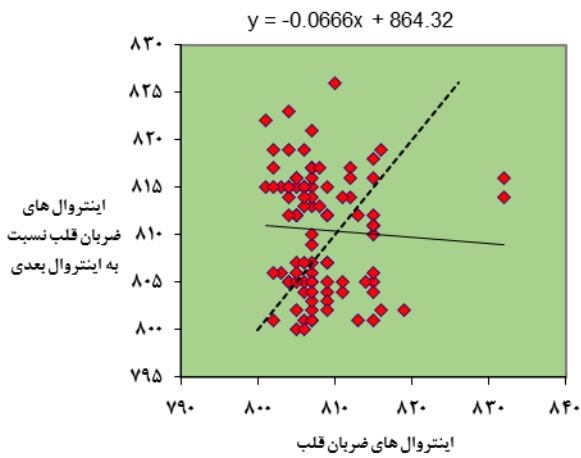




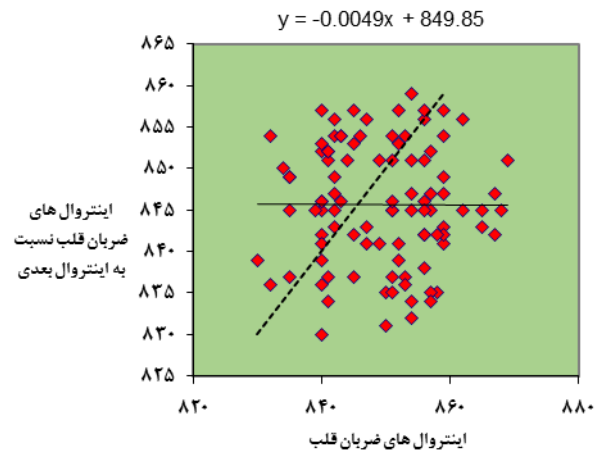
(الف) پیش آزمون گروه کنترل



(ب) پس آزمون گروه کنترل

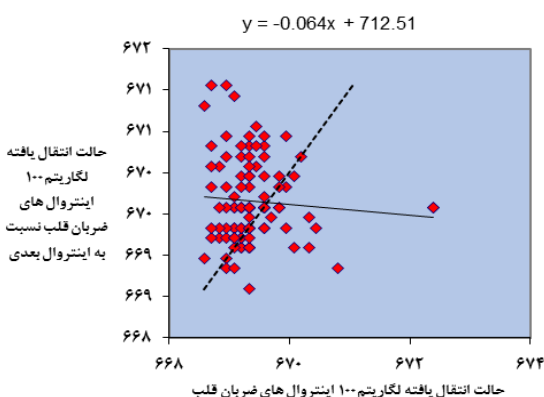


(ج) پیش آزمون گروه تمرین

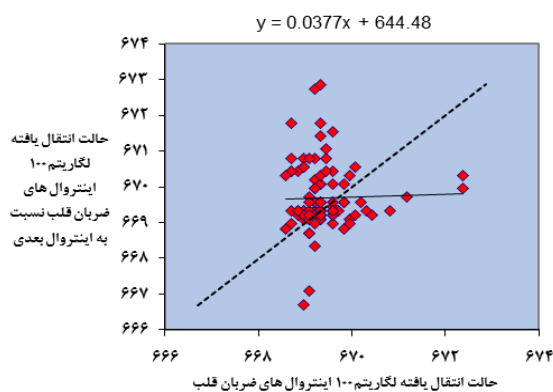


(د) پس آزمون گروه تمرین

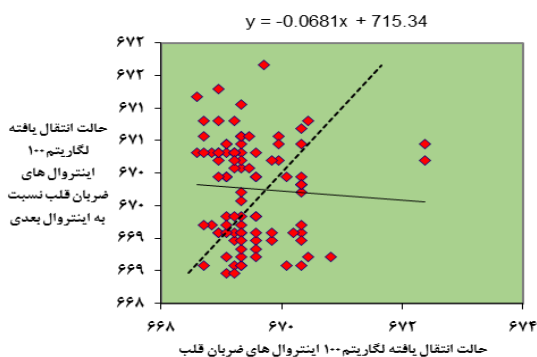
شکل ۲- نتایج اثر فعالیت ورزشی هوازی در آب بر تغییرپذیری ضربان قلب به صورت روش غیرخطی: (الف) پیش آزمون گروه کنترل، (ب) پس آزمون گروه کنترل؛ (ج) پیش آزمون گروه فعالیت ورزشی هوازی در آب و (د) پس آزمون گروه فعالیت ورزشی هوازی در آب (اینتروال های زمانی بین دو ضربان قلب با واحد میلی ثانیه  $(RR_n)$  نسبت به اینتروال بعدی  $(RR_{n+1})$ ).



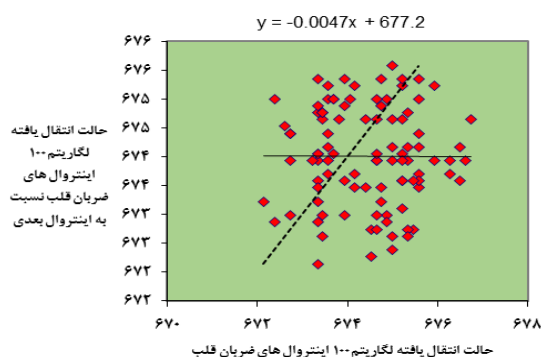
(الف) پیش‌آزمون گروه کنترل



(ب) پس‌آزمون گروه کنترل



(ج) پیش‌آزمون گروه تمرین



(د) پس‌آزمون گروه تمرین

شکل ۳- نتایج اثر فعالیت ورزشی هوازی در آب بر تغییرپذیری ضربان قلب با روش غیرخطی به صورت انتقال لگاریتمی: (الف) پیش‌آزمون گروه کنترل، (ب) پس‌آزمون گروه کنترل؛ (ج) پیش‌آزمون گروه فعالیت ورزشی هوازی در آب و (د) پس‌آزمون گروه فعالیت ورزشی هوازی در آب (لگاریتم اینتروال‌های زمانی بین دو ضربان قلب با واحد میلی ثانیه  $(100 \log RR n)$  نسبت به اینتروال‌های بعدی  $(100 \log RR n+1)$ )

## بحث

می‌توان از نتایج سایر مطالعات نیز بهره‌مند گردید. Perini و همکاران (۱۹۹۸) با بررسی اثر فعالیت ورزشی هوازی در آب با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد (طبیعی) بر تغییرپذیری ضربان قلب در مردان جوان به این نتیجه دست یافتند که اجرای کوتاه‌مدت فعالیت ورزشی هوازی در آب، سبب بهبودی معنی‌دار در تغییرپذیری ضربان قلب می‌گردد (۱۰). مطالعه Perini و همکاران به دلیل استفاده از فعالیت ورزشی هوازی در دمای بالای آب، به پژوهش ما نزدیک است. در پژوهش حاضر مشخص شد که میزان انحراف معیار

کاهش مقاومت عروق محیطی، اولین پیامد ناشی از فشار هیدرواستاتیک آب بود که در نهایت منجر به افزایش پیش‌بار قلبی و کاهش بار کاری وارده بر قلب گردید. بیشتر مطالعات مرتبط در این زمینه از این یافته حمایت می‌نمایند (۱۰، ۹، ۳). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اجرای فعالیت ورزشی هوازی در آب با دمای طبیعی ۲۹ درجه سانتی‌گراد، سبب بهبود تغییرپذیری ضربان قلب و متعاقب آن بهبود پاسخ‌پذیری سیستم اتونوم قلبی گردید. در تکمیل این یافته

پژوهش ما نشان داد که نسبت به دوره پیش‌آزمون، شرکت در فعالیت ورزشی هوازی در آب، به‌طور معنی‌داری موجب بهبودی تغییرپذیری ضربان قلب و عملکرد بهتر سیستم اتونوم قلبی می‌گردد. در تفسیر این شاخص می‌توان به بررسی شاخص‌های زمان محور تغییرپذیری ضربان قلب اشاره کرد که در این روش، انحراف معیار کلی از میانگین فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب در یک بازه زمانی کوتاه مدت ۱۵-۵ دقیقه‌ای محاسبه می‌گردد. نقطه تلاقی دو خط برازش انحراف معیار توالی‌های مجاور و انحراف معیار توالی‌های طولی بر روی نمودار به‌عنوان نقطه میانگین فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب شناخته می‌شود. تغییرات مکانی این نقطه بر روی نمودار (شیفت و تغییر به سمت راست و چپ) نشان‌دهنده به‌ترتیب: کاهش و افزایش ضربان قلب استراحتی فرد است؛ بنابراین می‌توان دانسته‌ها و عقاید رایج قبلی درباره اینکه با شرکت در فعالیت ورزشی، تعداد ضربان قلب استراحتی کاهش می‌یابد را با اضافه‌نمودن بررسی‌های انحراف معیار و منعطف‌بودن پاسخ قلبی (بالا بودن تغییرپذیری ضربان قلب) در کنار بالا بودن آمادگی قلبی (پایین بودن ضربان قلب استراحتی) به‌عنوان دو مزیت جداگانه بررسی نمود. Reimers و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه متا آنالیز برگرفته از ۱۹۱ مطالعه موردی در زمینه تأثیر فعالیت ورزشی هوازی بر ضربان قلب استراحتی به این نتیجه رسیدند که تمامی انواع فعالیت ورزشی هوازی، باعث کاهش ضربان قلب استراحتی در افراد سالم می‌گردد. Reimers و همکاران چندین مکانیسم احتمالی را در انواع مختلف فعالیت ورزشی هوازی عنوان نمودند. اولین مکانیسم عمل، کاهش ضربان قلب استراحتی افراد سالم در پاسخ به فعالیت ورزشی هوازی به افزایش تون سمپاتیکی حالت استراحت نسبت داده شد و مکانیسم کاهش حسایت گیرنده‌های بتا‌درنژیک و به دنبال آن کاهش ضربان قلب استراحتی در این پژوهش مورد قبول قرار نگرفت. مکانیسم عمل دوم برای کاهش ضربان قلب استراحتی متعاقب فعالیت ورزشی هوازی منظم، کاهش ذاتی

تغییرات فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب نسبت به توالی مجاور خود در مقادیر عددی مطلق (SD1) و نرمال (SD1n) در اثر شرکت در فعالیت ورزشی هوازی در آب نسبت به گروه کنترل افزایش معنی‌داری داشت؛ بدین معنی که یکسان‌نبودن فواصل زمانی بین اینتروال‌های ضربان قلب، منجر به افزایش انحراف معیار فواصل زمانی بر روی نوار قلبی گردید. این مقادیر انحراف معیار، گویای تغییرپذیری ضربان قلب و سازگاری سریع قلب با تغییرات محیط پیرامون است. در تصدیق این یافته می‌توان به مطالعه Hashimoto و همکاران (۲۰۱۸) اشاره نمود که اثرات راه‌رفتن در آب با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد با شدت ۶۰ درصد ضربان قلب ذخیره به مدت ۳۰ دقیقه را بر تغییرپذیری ضربان قلب و عملکرد اندوتلیالی عروقی را در مردان جوان سالم مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه گزارش شد که در مقایسه با شرایط خارج از آب، اجرای تمرین هوازی در آب تفاوتی را در تغییرپذیری ضربان قلب نشان نداد. با این وجود در مقایسه با شرایط پیش‌آزمون اجرای تمرین هوازی در آب اثرات مطلوبی را نشان داده بود (۳). نقطه اشتراک بین پژوهش حاضر و مطالعه Hashimoto و همکاران، نزدیک‌بودن شرایط تمرین هوازی و دمای آب است. با بررسی اثرات تمرین هوازی در آب بر تغییرپذیری ضربان قلب در دو مطالعه می‌توان این مدل از تمرین را به‌عنوان یک روش تمرینی مؤثر و جذاب برای افزایش سلامتی قلبی معرفی نمود. نکته جالب توجه برگرفته از مطالعه Hashimoto و همکاران، عدم تفاوت معنی‌دار در نتایج تمرین در محیط آبی و خارج از آب است؛ بدین معنی که هر دو نوع تمرین، تقریباً به یک اندازه باعث بهبودی معنی‌دار در تغییرپذیری ضربان قلب می‌گردند؛ بنابراین می‌توان گزارش کرد که شدت تمرین صورت‌گرفته در محیط آبی در پژوهش حاضر و مطالعاتی از این دست، سبب اثرات مطلوب بر تغییرپذیری ضربان قلب می‌گردد.

بررسی طولی انحراف معیار فواصل زمانی توالی‌های ضربان قلب در مقادیر مطلق (SD2) و نرمال (SD2n) در

عملکرد میوکارد، با اتصال کاتکولامین‌های در گردش به گیرنده‌های بتا‌درنرژیک در قلب، به‌ویژه گیرنده بتا‌درنرژیک صورت می‌گیرد. گیرنده‌های بتا‌درنرژیک، گیرنده‌های جفت‌یافته پروتئین G هستند که در قسمت سطحی میوسیت‌های قلبی قرار دارند. همچنین افزایش فعالیت گیرنده موسکارینی M2 پاراسمپاتیکی، باعث باز شدن کانال پتاسیمی و بسته شدن کانال سدیمی و کلسیمی قلبی می‌گردد. این امر باعث کاهش ضربان قلب می‌گردد. کانال‌های یونی سدیم و کلسیم، به پیغام‌بر ثانویه CAMP نیاز دارند؛ در حالی که کانال یونی پتاسیم به پیغام‌بر ثانویه CAMP نیاز ندارد. بنابراین کنترل سیستم عصبی پاراسمپاتیکی بر قلب، سریع‌تر از سیستم عصبی سمپاتیکی است (۲۱).

### نتیجه‌گیری

اجرای فعالیت ورزشی هوازی در آب با دمای طبیعی (۲۹ درجه سانتی‌گراد)، سبب بهبود پاسخ‌پذیری ضربان قلب در مردان جوان می‌گردد. تمرین ورزشی هوازی در آب به‌عنوان یک روش تمرینی مؤثر و جذاب برای بهبود سلامتی عصبی قلبی در این گروه سنی معرفی می‌گردد.

### تقدیر و تشکر

این پژوهش برگرفته از رساله دکتری فیزیولوژی ورزشی با شماره مجوز ۲۲۶۸ مورد حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی قرار گرفته است. لذا نویسندگان مقاله نهایت مراتب سپاس را از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی دارند.

### تضاد منافع

نویسندگان مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

ضربان قلب عنوان گردید که مکانیسم‌های دقیق این عمل در این پژوهش نامعلوم ذکر شد (۱۵).

تغییرات عصبی قلبی بیشتر، با بازخوردهای منفی بارورفلکس‌های شریانی صورت می‌پذیرد. بارورفلکس‌های شریانی، پایانه‌های وایبران عصبی هستند که به لحاظ مکانیکی حساس می‌باشند. این سنسورهای فشاری، در سینوس شریانی کاروتید (ورودی مغز) و قوس آئورت (خروجی قلب) قرار دارند. هر گونه تغییر در قسمت لومن شریان‌های مذکور باعث فعال شدن این سنسورها و ارسال پیام وایبرانی به مرکز تلفیقی مغز می‌گردد. در این قسمت تلفیقی، پیام وایبران مذکور بر مسیر عصبی سمپاتیکی و پاراسمپاتیکی اثر می‌گذارد. ارسال این پیام‌های وایبران به مراکز کنترلی از قبیل بصل‌النخاع و کورتکس مغز، سبب بازیابی مجدد نقطه تنظیم کرونوتروپی قلبی می‌گردد (۱۹). مکانیسم‌های دقیقی برای این بازیابی مشخص نیست، ولی با نگاه دقیق به منحنی بارورفلکس و فشار خون می‌توان ۴ دلیل را برای این بازیابی عنوان نمود: (۱) در منحنی تغییرات بارورفلکس متناسب با تغییرات فشار خون متوسط، تغییر جانبی به سمت راست و چپ نشان از تغییر افزایشی و کاهش فشار خون و تون سمپاتیکی دارد؛ (۲) تغییرات بالایی و پایینی فلات بالایی منحنی، نشانه‌ای از افزایش و کاهش فعالیت سمپاتیکی در زمانی است که ورودی وایبران‌های بارورسپتوری، زیر سطح آستانه است؛ (۳) افزایش و کاهش شیب حداکثری منحنی، نشان‌دهنده افزایش و کاهش حساسیت رفلکس می‌باشد و (۴) فلات پایینی منحنی می‌تواند به‌طور عمودی بالا یا پایین حرکت نماید، که نشان از افزایش یا کاهش فعالیت سمپاتیکی در زمانی است که ورودی وایبران بارورسپتور، بالای سطح اشباع است. در صورتی که این حالت بازیابی برای مدت‌زمان طولانی و مداوم در اثر فعالیت ورزشی دچار تعدیل گردد، باعث افزایش فعالیت پاراسمپاتیکی و پاسخ برادی‌کاردی در قلب می‌گردد (۲۰). سیستم عصبی خودکار، عملکرد میوکارد را تنظیم می‌نماید، که به قلب اجازه می‌دهد نسبت به تغییرات محیط پیرامون پاسخ دهد. این تغییرات در

## منابع:

- 1- Nagle EF, Sanders ME, Shafer A, Gibbs BB, Nagle JA, Deldin AR, Franklin BA, Robertson RJ. Energy expenditure, cardiorespiratory, and perceptual responses to shallow-water aquatic exercise in young adult women. *Phys Sportsmed*. 2013; 41(3): 67-76. doi: 10.3810/psm.2013.09.2018.
- 2- Koenig J, Jarczok MN, Wasner M, Hillecke TK, Thayer JF. Heart rate variability and swimming. *Sports Med*. 2014; 44(10): 1377-91. doi: 10.1007/s40279-014-0211-9.
- 3- Hashimoto Y, Okamoto T. Acute effects of walking in water on vascular endothelial function and heart rate variability in healthy young men. *Clin Exp Hypertens*. 2019; 41(5): 452-9. doi: 10.1080/10641963.2018.1506468.
- 4- Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front Public Health*. 2017; 5: 258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258
- 5- Al Haddad H, Laursen PB, Chollet D, Lemaitre F, Ahmaidi S, Buchheit M. Effect of cold or thermoneutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices. *Auton Neurosci*. 2010; 156(1-2): 111-6. doi: 10.1016/j.autneu.2010.03.017.
- 6- Choo HC, Nosaka K, Peiffer JJ, Ihsan M, Yeo CC, Abbiss CR. Effect of water immersion temperature on heart rate variability following exercise in the heat. *Kinesiol Int J Fundam Appl Kinesiol*. 2018; 50(Suppl 1): 67-74.
- 7- Schnell I, Potchter O, Epstein Y, Yaakov Y, Hermesh H, Brenner S, Tirosh E. The effects of exposure to environmental factors on heart rate variability: An ecological perspective. *Environ Pollut*. 2013; 183: 7-13. doi: 10.1016/j.envpol.2013.02.005.
- 8- Sotiriou P, Kouidi E, Samaras T, Deligiannis A. Linear and non-linear analysis of heart rate variability in master athletes and healthy middle-aged non-athletes. *Med Eng Phys*. 2013; 35(11): 1676-81. doi:10.1016/j.medengphy.2013.06.003.
- 9- Iranpour A, Bolboli L. Evaluation of Heart Rate Fluctuations with Two Frequency and Time Domain Methods Following Aerobic Training in Academic Active Men. *Scientific Journal of Nursing, Midwifery and Paramedical Faculty*. 2019; 4(4): 30-45. [Persian]
- 10- Perini R, Milesi S, Biancardi L, Pendergast DR, Veicsteinas A. Heart rate variability in exercising humans: effect of water immersion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998; 77(4): 326-32. DOI: 10.1007/s004210050341
- 11- Cornelissen VA, Verheyden B, Aubert AE, Fagard RH. Effects of aerobic training intensity on resting, exercise and post-exercise blood pressure, heart rate and heart-rate variability. *J Hum Hypertens*. 2010; 24(3): 175-82. doi: 10.1038/jhh.2009.51.
- 12- de Oliveira Ottone V, de Castro Magalhães F, de Paula F, Avelar NC, Aguiar PF, da Matta Sampaio PF, et al. The effect of different water immersion temperatures on post-exercise parasympathetic reactivation. *PLoS one*. 2014; 9(12): e113730. doi: 10.1371/journal.pone.0113730.
- 13- Girona M, Grasser EK, Dulloo AG, Montani JP. Cardiovascular and metabolic responses to tap water ingestion in young humans: does the water temperature matter?. *Acta Physiol (Oxf)*. 2014; 211(2): 358-70. doi: 10.1111/apha.12290.
- 14- Hoshi RA, Pastre CM, Vanderlei LC, Godoy MF. Poincaré plot indexes of heart rate variability: relationships with other nonlinear variables. *Auton Neurosci*. 2013; 177(2): 271-4. doi: 10.1016/j.autneu.2013.05.004.
- 15- Reimers AK, Knapp G, Reimers CD. Effects of exercise on the resting heart rate: a systematic review and meta-analysis of interventional studies. *J Clin Med*. 2018; 7(12): 503. doi: 10.3390/jcm7120503.
- 16- Kaviani H, Mousavi AS. Psychometric properties of the Persian version of Beck Anxiety Inventory (BAI). *Tehran Univ Med J*. 2008; 66(2): 136-40. [Persian]
17. Moon JR, Tobkin SE, Smith AE, Lockwood CM, Walter AA, Cramer JT, et al. Anthropometric estimations of percent body fat in NCAA Division I female athletes: a 4-compartment model validation. *J Strength Cond Res*. 2009; 23(4): 1068-76. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181aa1cd0.

- 18- Saur J, Leweling H, Trinkmann F, Weissmann J, Borggreffe M, Kaden JJ. Modification of the Harris-Benedict equation to predict the energy requirements of critically ill patients during mild therapeutic hypothermia. *In Vivo*. 2008; 22(1): 143-6.
- 19- Kanitz AC, Delevatti RS, Reichert T, Liedtke GV, Ferrari R, Almada BP, et al. Effects of two deep water training programs on cardiorespiratory and muscular strength responses in older adults. *Exp Gerontol*. 2015; 64: 55-61. doi: 10.1016/j.exger.2015.02.013.
- 20- Raffaelli C, Galvani C, Lanza M, Zamparo P. Different methods for monitoring intensity during water-based aerobic exercises. *Eur J Appl Physiol*. 2012; 112(1): 125-34. doi: 10.1007/s00421-011-1963-7.
- 21- Zaccolo M. cAMP signal transduction in the heart: understanding spatial control for the development of novel therapeutic strategies. *British journal of pharmacology*. 2009 Sep;158(1):50-60. doi: 10.1111/j.1476-5381.2009.00185.x.