Jundishapur
Scientific Medical Journal
Octobr & November 2025. Vol 24. No 4

Research Paper

The Effect of Regular Exercise Training on Frequency-Domain Parameters of Heart Rate Variability in Patients with Type 1 Diabetes

Zahra Rabanian Najafabadi[1], Farzad Nazem[2]*, Hossein Saki[3]

1.MSc in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Professor of Work and Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3.PhD in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Rabanian Najafabadi Z, Nazem F, Saki H . [The Effect of Regular Exercise Training on Frequency-Domain Parameters of Heart Rate Variability in Patients with Type 1 Diabetes (Persian)]. Jundishapur Scientific Medical Journal. 2025; 24(4):356-367. 10.32592/jsmj.24.2.114

https://doi.org/10.22118/jsmj.2025.490617.3751

ABSTRACT

Background and Objectives Autonomic nervous system dysfunction can lead to cardiovascular complications in patients with type 1 diabetes (T1D). This study aimed to investigate the effects of regular exercise training on heart rate variability (HRV) in the frequency domain among patients with T1D.

Subjects and Methods This semi-experimental study involved 24 insulin-dependent adolescent boys with T1D and 12 healthy age-matched boys (aged 12–18 years) who were selected and divided into three groups: healthy, diabetic control, and diabetic exercise. The diabetic exercise group performed combined training three times per week continued for 12 weeks. Blood and cardiac variables were measured 48 hours before and 72 hours after the intervention. Statistical analysis was performed using paired t-tests and one-way ANOVA.

Results After intervention, the diabetic exercise group experienced a significant increase in VO_2max and high-frequency (HF) components of HRV, along with a significant decrease in resting heart rate (HRrest), low-frequency to high-frequency ratio (LF/HF), and glycemic index ($P<0.05$). Furthermore, intergroup analysis of pre- and post-test differences showed significant changes in VO_2max, HRrest, HF, LF/HF, and blood glucose indices in the diabetic exercise group compared to the healthy and diabetic control groups ($P<0.05$).

Conclusion Our findings indicate that regular exercise training combined with insulin-dependent therapy may help improve cardiovascular function (heart rate variability) in adolescent boys with T1D.

Keywords Heart rate variability, Regular exercise training, Type 1 diabetes

Received: ۲۹ November 2024
Accepted: 23 July 2025

Corresponding Author:
Farzad Nazem
Address: Department of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education and Sport Sciences; Hamedan, Shahid Ahmadi Roshan Blvd., Bu-Ali Sina University,
Tel: +989181117911
E-Mail: f.nazem@basu.ac.ir

Jundishapur
Scientific Medical Journal

Extended Abstract

Introduction

Type 1 diabetes (T1D) is one of the most important metabolic disorders of childhood, recognized as a medical and social challenge. T1D can occur at any age, and its incidence varies with age. In recent decades, most countries have experienced an increase in the incidence of T1D among children, although this increasing trend has not been uniform in different countries or over different time periods. Individuals with T1D experience significant glycemic fluctuations, which over time lead to dysfunction and failure in various organs, cardiovascular diseases, and common complications such as autonomic neuropathy, which, through involvement of the autonomic nervous system, causes various physiological changes such as myocardial electrical and contractile activity. The autonomic nervous system (ANS) plays a vital role in regulating cardiovascular activity, maintaining homeostasis, and adapting to the body's needs. The sympathetic system is responsible for increasing heart rate, strengthening myocardial contractility, and constricting blood vessels, while the parasympathetic system promotes relaxation and recovery by decreasing heart rate and dilating blood vessels. In many T1D patients, ANS dysfunction is evident through specific tests as the first and most common complication, even before the onset of other clinical symptom. In this regard, heart rate variability (HRV) is used as a non-invasive indicator to assess cardiac autonomic function. This research utilizes the frequency domain method for HRV measurement. On the other hand, regular exercise, as a key component in T1D management, plays an important role in improving blood glucose control, increasing insulin sensitivity, and reducing the risk of chronic complications. Evidence suggests that physical activity, especially aerobic and resistance training, can create positive changes in autonomic nervous system function and prevent the early onset of autonomic disorders in children and adolescents with T1D.

Methods

In this clinical study, 24 boys aged 12 to 18 years with T1D with at least 6 years of insulin injection history and 12 healthy boys of the same age were purposively selected and divided into three groups: healthy control, diabetic control, and diabetic exercise. The criteria for participation in this study included having T1D, agreeing to participate in the research project, providing dietary habits and exercise program, not having cardiovascular problems and complications (such as a history of palpitations, chest pain, heart failure during exercise), not having a chronic psychiatric disorder, and having normal general tests. After evaluation by a specialist physician (based on the size of the penis, testicles, and scrotum), all participants were in Tanner stages 3 to 5. The main stages of this study included blood sampling, VO2peak measurement, heart rate variability measurement, and exercise training program.

Results

The results of the between-group analysis of covariance showed that regular exercise intervention with a work intensity range of 50 to 75% of heart rate reserve improved HRV Frequency-Domain Parameters (VLF, HF, LF/HF) and glycemic indices in T1D patients, which probably led to improved cardiovascular system efficiency at rest in the intervention group.

Conclusion

The findings of the present study showed that a 12-week course of submaximal aerobic interval training can significantly improve frequency-dependent HRV indices as well as metabolic parameters such as HbA1c, FBS, LDL, HDL, and VO_2peak in boys with T1D. The improvement of HF index as a proxy for the function of the parasympathetic branch of the autonomic nervous system indicates the positive effect of aerobic training on improving the balance between the sympathetic and parasympathetic branches and improving cardio-neurological function in these patients.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

Adherence to ethical guidelines

This research project was approved by the Center for Cardiovascular Research and Education (Farshchian) (Approval number: IR.BASU.REC.1400.040, IRCT20211031052926N1) and was conducted in accordance with the ethical standards set forth in the Declaration of Helsinki, 1964. Written consent was obtained from all participants and their parents.

Funding

This research was conducted using the financial support and research grants of Bu-Ali Sina University, Hamedan.

Author's contributions

Conceptualization: Farzad Nazem; Research: Zahra Rabaniyan Najafabadi; Editing and Finalization: Hossein Saki.

Conflicts of interest

There is no conflict of interest in this study.

Acknowledgements

This article is derived from a portion of a Master's thesis in Exercise Physiology, approved by Bu-Ali Sina University of Hamadan. The authors of this article express their gratitude to the patients with type 1 diabetes for their participation, and to the management and medical staff of Farshchian Subspecialty Hospital in Hamadan Province for their coordination in measuring factors. They also thank the Faculty of Physical Education of Bu-Ali Sina University for their assistance during the implementation of the exercise protocols.

تأثیر تمرینات ورزشی منظم بر پارامترهای فرکانس‌محور تغییرپذیری ضربان قلب بیماران مبتلا به دیابت نوع ۱

زهرا ربانیان نجف‌آبادی[۱]، فرزاد ناظم[۲*]، حسین ساکی[۳]

۱. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۲. استاد فیزیولوژی کار و ورزش، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
۳. دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Rouhandeh S, Tadayon M, Javadnoori M, Haghighizadeh MH, Zarea K. [Association between Social Support and Mental Health in Pregnant Women in Ahvaz (Persian)]. Jundishapur Scientific Medical Journal. 2025; 24(4):356-367. 10.32592/jsmj.24.2.114

http://www.doi.org/10.32592/jsmj.24.2.114

چکیده

زمینه و هدف: اختلال در سیستم عصبی خودکار می‌تواند موجب بروز عوارض قلبی ـ عروقی در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۱ (T1D) شود. مطالعهٔ حاضر به‌منظور بررسی اثر تمرینات منظم بر تغییرپذیری ضربان قلب (دامنهٔ فرکانسی) در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۱ انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعهٔ نیمه‌تجربی، ۲۴ پسر نوجوان مبتلا به دیابت نوع ۱ وابسته به انسولین و ۱۲ پسر سالم هم‌سن با دامنهٔ سنی ۱۲ تا ۱۸ سال انتخاب و به سه گروه تقسیم شدند: سالم، کنترل دیابتی، و دیابتی تمرینی. گروه دیابتی تمرینی به مدت ۱۲ هفته، سه جلسه در هفته، تمرینات ترکیبی را انجام داد. متغیرهای خونی و قلبی ۴۸ ساعت قبل و ۷۲ ساعت پس از مداخله اندازه‌گیری شد. برای تحلیل آماری از آزمون‌های t وابسته و تحلیل واریانس یک‌طرفه استفاده شد.

یافته‌ها: پس از مداخله، افزایش معناداری در متغیرهای VO_2max و فرکانس بالای (HF) HRV و کاهش معناداری در متغیرهای ضربان قلب در حالت استراحت (HRrest)، نسبت فرکانس پایین به فرکانس بالا در تغییرپذیری ضربان قلب (LF/HF) و شاخص گلیسمی در گروه دیابتی تمرینی مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). همچنین در تحلیل بین‌گروهی تفاوت نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون، تفاوت معنی‌داری در VO_2max، HRrest، HF، LF/HF، و شاخص‌های قند خون در گروه دیابتی تمرینی نسبت به گروه‌های سالم و کنترل دیابتی دیده شد ($P<۰/۰۵$).

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد تمرینات ورزشی منظم همراه با درمان وابسته به انسولین می‌تواند به تقویت سیستم قلبی ـ عروقی (تغییرپذیری ضربان قلب) در پسران مبتلا به دیابت نوع ۱ کمک کند.

کلیدواژه‌ها: تغییرپذیری ضربان قلب، تمرینات ورزشی منظم، دیابت نوع ۱

تاریخ دریافت: ۹ آذر ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱ مرداد ۱۴۰۴

* نویسندهٔ مسئول:
فرزاد ناظم
نشانی: گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکدهٔ تربیت بدنی و علوم ورزشی، همدان، بلوار شهید احمدی روشن.
تلفن: ۰۹۱۸۱۱۱۷۹۱۱
رایانامه: f.nazem@basu.ac.ir

مقدمه

دیابت نوع ۱ (T1D)، یکی از مهم‌ترین اختلالات متابولیک دوران کودکی است که به‌عنوان یک چالش پزشکی و اجتماعی شناخته می‌شود (۱). T1D[1] در بیشتر موارد ناشی از تخریب خودایمنی سلول‌های بتای پانکراس است که علت آن هنوز به‌طور کامل مشخص نشده است. این فرایند موجب وابستگی مادام‌العمر فرد به درمان با انسولین می‌شود. معمولاً این حالت پس از یک دورهٔ پیش‌بالینی با طول متغیر رخ می‌دهد که در آن اتوآنتی‌بادی‌هایی علیه انسولین، گلوتامیک اسید دکربوکسیلاز، آنتی‌ژن مرتبط با انسولینوم-۲ و سایر آنتی‌ژن‌های جزایر پانکراس قابل تشخیص هستند (۲, ۳).

T1D ممکن است در هر سنی بروز کند و میزان بروز آن با سن متفاوت است. شواهد اپیدمیولوژیک نشان می‌دهد بروز T1D در کودکان در سطح جهان تنوع جغرافیایی گسترده‌ای دارد، به‌طوری‌که بالاترین نرخ‌ها در کشورهای شمال اروپا و کویت و کمترین نرخ‌ها در آسیای جنوب‌شرقی و بخش‌هایی از آمریکای جنوبی گزارش شده است. علاوه‌براین، در چند دههٔ اخیر بیشترِ کشورها افزایش بروز T1D در میان کودکان را تجربه کرده‌اند، اگرچه این روند افزایشی در کشورهای مختلف و در دوره‌های زمانی متفاوت، شدت یکسانی نداشته است (۴). افراد مبتلا به T1D نوسانات گلیسمی زیادی را تجربه می‌کنند که در طول زمان منجر به اختلال عملکرد و نارسایی در اندام‌های مختلف، بیماری‌های قلب و عروق، و عوارض شایعی مانند نوروپاتی اتونومیک می‌شود که ازطریق درگیری سیستم عصبی خودمختار باعث ایجاد انواع تغییرات فیزیولوژیک مانند فعالیت الکتریکی و انقباضی میوکارد می‌شود (۵). حفظ محدودهٔ طبیعی گلوکز و پیشگیری از عوارض دیابت دشوار است. تحقیقات نشان می‌دهد در ۲۰ تا ۳۶ درصد از مبتلایان، نوروپاتی اتونوم قلبی مشاهده شده (۶)، همچنین ۵۰ تا ۷۰ درصدِ جوانان مبتلا به این بیماری در سنین ۱۲ تا ۱۹سالگی حداقل یک عامل خطر عارضهٔ قلبی ـ عروقی را دارند (۷).

سیستم عصبی خودکار[2] (ANS) نقش حیاتی در تنظیم فعالیت قلبی ـ عروقی، حفظ هموستازی و سازگاری با نیازهای بدن دارد. سیستم سمپاتیک مسئول افزایش نرخ ضربان قلب، تقویت قدرت انقباض عضلهٔ قلب و تنگ‌کردن رگ‌های خونی است، درحالی‌که سیستم پاراسمپاتیک با کاهش ضربان قلب و گشادکردن عروق، زمینهٔ آرامش و بازیابی را فراهم می‌کند. حفظ تعادل مناسب میان این دو سیستم برای سلامت قلب و عروق حیاتی است، زیرا هرگونه اختلال در این تعادل می‌تواند به مشکلاتی نظیر فشارخون بالا، نارسایی قلبی، و اختلالات ریتم قلبی منجر شود. همچنین، تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) به‌عنوان یک شاخص غیرتهاجمی و حساسِ عملکرد سیستم عصبی خودکار شناخته شده و در ارزیابی تعادل خودکار و پیش‌بینی خطرات قلبی ـ عروقی کاربرد دارد (۸).

در بسیاری از بیمارانِ T1D اختلال در ANS به‌عنوان اولین و شایع‌ترین عارضه، قبل از شروع علائم بالینیِ دیگر، ازطریق آزمایش‌های خاص مشخص می‌شود (۵–۷). اختلال عملکرد ANS[3]، به‌ویژه افزایش فعالیت سمپاتیک و کاهش فعالیت پاراسمپاتیک، با خطر مرگ ناگهانی، تضعیف فعالیت الکتریکی و انقباضی و افزایش بروز بیماری‌های قلبی ـ عروقی، در بیماران T1D ارتباط دارد، به‌ویژه در مواردی که دیابت در سنین پایین‌تر آغاز شده است (۹).

سطح فعالیت ANS با اندازه‌گیری مؤلفه‌های فرکانس‌محورِ تغییرپذیری ضربان در فواصل R الکتروکاردیوگرافی قابل بررسی است که در کودکان مبتلا به T1D (با رژیم درمانی بهینه و نداشتنِ علائم بالینی) نسبت به گروه سالم کاهش یافته است (۱۰, ۱۱).

در این جهت، تغییرپذیری ضربان قلب (HRV[4]) به‌عنوان یک شاخص غیرتهاجمی برای ارزیابی عملکرد اتونوم قلب به کار می‌رود، به‌طوری که فرکانس بالا (HF[5]) در محدودهٔ ۰/۱۵ تا ۰/۵ هرتز نشان‌دهندهٔ فعالیت‌های عصبی پاراسمپاتیک، فرکانس پایین (LF[6]) در محدودهٔ ۰/۰۴ تا ۰/۱۵ هرتز فعالیت‌های عصبی سمپاتیک و پاراسمپاتیک، نسبت LF/HF تعادل بین این دو سیستم را نمایش می‌دهد، و توان کل (TP) در محدودهٔ ۰/۰۴ تا ۰/۵ هرتز وضعیت کلی سیستم عصبی خودمختار را بیان می‌کند (۱۲, ۱۳). تغییرات عصبی اولیه در کودکان و نوجوانانِ مبتلا به T1D ممکن است حتی بدون علائم بالینی و باوجود درمان بهینه باعث نقص‌های علامت‌دار در ANS و HRV غیرطبیعی شود؛ این تغییرات به شدت و مدت بیماری ارتباط دارند (۱۴). همچنین سطح کاتکول آمین پلاسما معیاری برای سنجش عملکرد ANS است که بر ضربان قلب، قند خون و فشارخون تأثیر می‌گذارد، اما تحلیل HRV در ارزیابی ANS دقیق‌تر از تست‌های سنتی است (۱۵, ۱۶). علائم اختلال عملکرد اتونوم اولیه با گذشت زمان و حتی با انسولین‌درمانی بدتر می‌شوند، درحالی‌که HRV در افراد فعال بیشتر از افراد غیرفعال و در پسران نوجوان با T1D فعال نسبت به غیرفعال‌ها بالاتر است (۱۷).

ورزش منظم به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی در مدیریت T1D، نقش مهمی در بهبود کنترل گلوکز خون، افزایش حساسیت به انسولین، و کاهش خطر بروز عوارض مزمن ایفا می‌کند (۱). شواهد نشان می‌دهد فعالیت بدنی، به‌ویژه تمرینات هوازی و مقاومتی، تغییرات مثبتی در عملکرد سیستم عصبی خودمختار ایجاد می‌کند و از بروز زودرس اختلالات اتونومیک در کودکان و نوجوانان مبتلا به T1D پیشگیری می‌کند (۳). افزون‌بر بهبود شاخص‌های قند خون (۲)، ورزش موجب افزایش تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) و تقویت تعادل میان سیستم‌های عصبی سمپاتیک و پاراسمپاتیک می‌شود؛ امری که با کاهش خطر مرگ ناگهانی قلبی و سایر عوارض قلبی ـ عروقی مرتبط است (۳). همچنین، شواهد نشان می‌دهد شاخص فرکانس

[1] Type 1 diabete
[2] Autonomic Nervous System
[3] Autonomic Nervous System
[4] Heart Rate Variability
[5] High Frequency
[6] Low Frequency

بالا (HF) نسبت به ضربان قلب (HR) پیش‌بینی‌کنندهٔ دقیق‌تری برای ارزیابی کارآیی سیستم قلبی‌تنفسی در مراحل استراحت و دوره‌های بهبودی پس از ورزش محسوب می‌شود. تحلیل مؤلفه‌های زمانی و فرکانسی HRV می‌تواند اطلاعات ارزشمندی دربارهٔ وضعیت سلامت قلبی ـ عروقی نوجوانان مبتلا به T1D در طول تمرینات استاندارد و دوره‌های ریکاوری ارائه دهد (۱۸). براین‌اساس، مشارکت فعال کودکان و نوجوانان مبتلا به T1D در برنامه‌های ورزشی ساختاریافته، یک استراتژی مؤثر برای پیشگیری از عوارض درازمدت و ارتقای کیفیت زندگی آن‌ها به شمار می‌رود.

باوجود شواهد موجود دربارهٔ نقش ورزش در بهبود عملکرد سیستم عصبی خودمختار و شاخص‌های HRV در بیماران مبتلا به T1D، بسیاری از مطالعات پیشین بر جمعیت‌های بزرگ‌سال متمرکز بوده‌اند و کمتر این اثرات را در کودکان و نوجوانان بررسی کرده‌اند. ازسوی‌دیگر، بیشترِ تحقیقات پیشین تنها به تمرینات هوازی یا مقاومتی به‌صورت جداگانه توجه داشته و تأثیر مداخلات ورزشیِ ترکیبی بر شاخص‌های فرکانس‌محور HRV و عملکرد سیستم عصبی خودمختار را، به‌ویژه در مراحل ریکاوری پس از ورزش، ارزیابی نکرده‌اند. همچنین، شواهد محدودی درزمینهٔ مقایسهٔ اثربخشی انواع برنامه‌های ورزشی ساختاریافته در پیشگیری از عوارض درازمدت اختلالات اتونومیک در نوجوانان مبتلا به T1D وجود دارد. این شکاف‌های پژوهشی، ضرورت انجام مطالعات تجربی با رویکرد دقیق‌تر به بررسی تأثیرات ورزش بر مؤلفه‌های فرکانس‌محور HRV و سلامت قلبی ـ عروقی در این گروه سنی را برجسته می‌سازد.

با توجه به شکاف‌های پژوهشی موجود، مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی تأثیر تمرینات ورزشی ترکیبی منظم بر پارامترهای فرکانس‌محور HRV در بیماران مبتلا به T1D طراحی شد.

روش بررسی

در این مطالعهٔ بالینی، ۲۴ پسر ۱۲ تا ۱۸ سال مبتلا به T1D با حداقل ۶ سال سابقهٔ تزریق انسولین و ۱۲ پسر سالم هم‌سن، به‌صورت هدفمند انتخاب و به سه گروه سالم کنترل، دیابتی کنترل، و دیابتی تمرین تقسیم شدند. معیارهای شرکت در این مطالعه شامل ابتلا به بیماری T1D، رضایت از همکاری در طرح تحقیق، ارائهٔ عادات غذایی و برنامهٔ ورزشی، نداشتن مشکلات و عوارض قلبی ـ عروقی (مانند سابقهٔ تپش قلب، درد قفسهٔ سینه، ناتوانی قلبی هنگام اجرای ورزش)، نداشتنِ اختلال روان‌پزشکی مزمن، و داشتنِ آزمایش‌های عمومی نرمال بود.

پس از ارزیابی توسط پزشک متخصص (براساس اندازهٔ آلت تناسلی، بیضه‌ها، و کیسهٔ بیضه)، تمامی شرکت‌کنندگان در مراحل تانر ۳ تا ۵ قرار داشتند. همچنین براساس پرسش‌نامهٔ فعالیت بدنی بین‌المللی (IPAQ)، آن‌ها درحال‌حاضر غیرفعال بودند، اما از نظر پزشکی برای شرکت در فعالیت‌های ورزشی تأیید شده بودند.

این پروژهٔ تحقیقاتی در مرکز تحقیقات و آموزش پزشکی قلب و عروق (فرشچیان) تأیید شد (شمارهٔ تأیید: IR.BASU.REC.1400.040، IRCT20211031052926N1) و مطابق با استانداردهای اخلاقی مندرج در اعلامیهٔ هلسینکی ۱۹۶۴ انجام شد. رضایت کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان و والدین آن‌ها اخذ شد.

شرکت‌کنندگان ساعت ۹:۰۰ صبح به آزمایشگاه فرشچیان در همدان، ایران مراجعه کردند تا معاینهٔ فیزیکی و آزمایش خون انجام دهند. پس از ثبت سوابق پزشکی و دوز انسولین، پارامترهای آنتروپومتریک شامل وزن، شاخص جرم بدن، فشارخون، قند خون ناشتا، پروفایل لیپیدی (TG[7]، TC[8]، LDL[9]، و HDL[10]) و ضربان قلب در حالت استراحت اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

مرحلهٔ خون‌گیری

برای بررسی شاخص‌های قند خون، شامل HbA1c[11] و FBS[12]، نمونه‌گیری خون بین ساعت ۸ تا ۹ صبح انجام شد. این نمونه‌ها با استفاده از کیت ساخت شرکت بایرکس فارس، که ساخت ایران است، به روش آنزیماتیک در دو زمان مختلف گرفته شدند: ۴۸ ساعت قبل و ۷۲ ساعت بعد از مداخلهٔ ورزشی. سپس نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه نوبل در اصفهان برای تحلیل ارسال شدند.

سنجش VO_2peak

شرکت‌کنندگان ملزم شدند ۴۸ ساعت قبل از تست از مصرف کافئین، الکل، فعالیت ورزشی شدید، و استرس خودداری کنند. VO_2peak با فرمول بروس و برپایهٔ زمانِ دویدن در آزمایش محاسبه شد. پروتکل ورزشی استاندارد یا اصلاح‌شدهٔ بروس روی تردمیل در محیط کنترل‌شده (دمای ۱۹–۲۱ درجه و رطوبت ۳۹–۴۳درصد) در ارتفاع ۱۸۶۰ متر از سطح دریا اجرا شد. این پروتکل شامل ۹ مرحلهٔ ۳دقیقه‌ای است که در آنْ سرعت و شیب دستگاه به‌تدریج افزایش می‌یابد. در ناحیهٔ هدف، فعالیت ورزشی برای ارزیابی تحمل در کودکان و بیماران براساس توانایی رسیدن به آستانهٔ بیشتر از ۸۵درصد توانایی فیزیکی (براساس سن و معادله بروس) تنظیم شد.

سنجش تغییرپذیر ضربان قلب

اندازه‌گیری HRV با استفاده از یک سیستم جمع‌آوری دادهٔ قابل حمل و سبک برای بررسی الکتروکاردیوگرام (ECG) انجام شد. ضبط ۲۴ساعتهٔ HRVبرای هر فرد دو بار (قبل و بعد از برنامهٔ تمرینی) توسط یک کاردیولوژیست با بهره‌گیری از مانیتور هولتر (مدل ۱۸۶۳۰، مدست GmbH، هامبورگ، آلمان) انجام شد. در این مرحله دامنهٔ فرکانسی، فرکانس بالا (HF)، فرکانس پایین (LF)، و نسبت LF به HF محاسبه شد

[7] Triglycerides
[8] Total Cholesterol
[9] Low Density Lipoprotein
[10] High-Density Lipoprotein
[11] هموگلوبین گلیکوزیله
[12] Fasting Blood Sugar

(۲۶، ۲۹). در مرحلهٔ بعد، فواصل R-R و ضربان قلب استراحت (HRrest) آزمودنی‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در حالت درازکشیده به پشت و با تنفس طبیعی و منظم، با دستگاه هولتر مانیتورینگ (مدل Medset Medizintechnik GmbH) اندازه‌گیری شد. تحلیل HRV در حالت استراحت از ثبت پنج دقیقهٔ پایانی مربوط به ده دقیقه اندازه‌گیری فاصله‌های R-R در وضعیت درازکش شرکت‌کنندگان، انجام شد.

برنامهٔ تمرینات ورزشی

در تمامی مراحل آزمون، پسران مبتلا به T1D داروهای انسولین خود را براساس دستور پزشک مصرف می‌کردند. از آزمودنی‌ها خواسته شد ۴۸ ساعت قبل از آزمایش از مصرف نوشیدنی‌ها و مواد کافئین‌دار، اجرای فعالیت‌های ورزشی شدید، استرس و اضطراب خودداری کنند. همچنین، برای جلوگیری از احتمال بروز هایپوگلیسمی یا هایپرگلیسمی، سطح گلوکز خون قبل و حین فعالیت ورزشی اندازه‌گیری شد. هر جلسهٔ برنامهٔ تمرین هوازی ساعت ۹ صبح تا ۱۲ ظهر و ۲ ساعت پس از صرف صبحانهٔ سبک انجام شد. پروتکل تمرینات ورزشی هفتگی آزمودنی‌ها ظرف ۱۲ هفته و سه جلسه در هفته به شرح زیر انجام گرفت:

برنامهٔ تمرین منظم شامل سه بخش اصلی گرم‌کردن، مرحلهٔ اصلی، و سردکردن یا ریکاوری بود. در بخش گرم‌کردن، به مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه از تمریناتی مانند حرکات کششی و انعطاف‌پذیری، دویدن آرام و نرمش استفاده شد. مرحلهٔ اصلی برنامه شامل اجرای فعالیت‌های هوازی با شدت بالا تحت نظر پژوهشگران بود. در هفتهٔ اول، پس از پنج دقیقه گرم‌کردن و ده دقیقه تمرین‌های کششی و انعطاف‌پذیری، آزمودنی حرکات مقاومتی را در مدت ده دقیقه انجام داد؛ این حرکات شامل تمرینات نیروی مقاومت با وزن بدن مانند شنا، درازنشست، اسکوات، لانج، پلانک، کش، و وزنه‌های آزاد (در یک تا سه ست با ۱۰ تا ۱۵ تکرار) و تمرینات تناوبی (اینترال) با بار تقریبی ۵۰ درصد ضربان قلب ذخیره (HRR) به مدت ده دقیقهٔ دیگر بود. شدت تمرین در هفتهٔ اول از ۵۰ درصد HRR شروع شد و تا پایان هفتهٔ دوازدهم به حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد HRR رسید. به‌منظور تنوع و افزایش انگیزه، هر هفته جلسات تمرینی در استخر کم‌عمق با دمای ۲۶/۷ درجهٔ سانتی‌گراد برگزار شد، که شامل اجرای حرکات پا به‌صورت کرال با کمک تخته‌های آموزشی و هم‌زمان حرکت پا و دست در حالت کرال با کمک تخته برای افزایش شدت ورزش بود. در پایان هر جلسهٔ تمرین، به مدت ده دقیقه اقدام به سردکردن شد که شامل راه‌رفتن آرام و تمرینات کششی سبک در منطقهٔ کم‌عمق استخر با شدت حدود ۳۰ درصد HRR صورت گرفت.

برای بررسی تفاوت‌های پارامترهای آنتروپومتریک، بیوشیمیایی، و HRV در شرایط مختلف، از آزمون‌های ANCOVA و ANOVA، آزمون بونفرونی، و ضریب هم‌بستگی پیرسون و اسپیرمن استفاده شد. هم‌بستگی‌های معنادار با نمودارهای پراکندگی و تحلیل‌های بلاند–آلتمن تأیید شدند. تفاوت‌ها براساس میانگین تنظیم‌شده و اندازهٔ اثر ارزیابی شدند و سطوح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. نرم‌افزارهای SPSS، GraphPad Prism، و Microsoft Equation برای تحلیل و رسم نمودارها به کار رفتند.

یافته‌ها

مشخصات آنتروپومتریک و فیزیولوژیک مرحلهٔ پیش‌آزمون آزمودنی‌ها در جدول ۱ آمده است.

به‌طور کلی، یافته‌های آماری در این مطالعه نشان می‌دهد که مداخلهٔ دوازده هفته برنامهٔ ورزشی منظم با دامنهٔ شدت کار ۵۰ تا ۷۵ درصد ضربان قلب ذخیرهٔ پسران نوجوان T1D احتمالاً به کاهش‌هایی در پارامترهای شاخص‌های گلایسمیک (FBS، HbA1c)، میزان مصرف انسولین تنداثر، HRrest، RR، و همچنین ارتقای شاخص‌های فرکانس‌محور HRV مانند (VLF، LF/ HF،HF) و ظرفیت عملی درمجموع احتمالاً به بهبود کارآیی دستگاه قلب و عروق در وضعیت استراحت گروه مداخله انجامیده است (جدول ۲) ($P<0/005$). TC و TG، پس از مداخلهٔ تمرینی در هر سه گروه به‌طور معنی‌داری تغییر نکرد. مداخلهٔ برنامهٔ تمرینی باعث پروفایل گلیسمی پایین‌تر (FBG و HbA1c) و VO_2peak بالاتر در بیماران T1D شد که این اثرات پس از یک ماه تمرین‌نکردن نیز پابرجا ماند.

جدول ۱. مشخصات پیش‌آزمون تن‌سنجی، قند خون، و چربی آزمودنی‌ها (میانگین)

گروه	Age (year)	HR (b/min)	Vo2peak (ml/kg/min)	BMI (Kg/m^2)	HbA1c (%)	FBS (mg/dl)	LDL (Mg/dl)	HDL (Mg/dl)
سالم	۱۵/۰۸	۹۶/۳۳	۴۳/۶۳	۲۰/۲۶	۵/۰۹	۹۲/۷۵	۷۸/۷۷	۵۵/۷۵
دیابتی	۱۵/۲۵	۸۸/۶۶	۳۹/۴۳	۱۹/۴۹	۱۰/۴۵	۲۸۰/۵۸	۱۰۲/۴۹	۴۹/۸۳
تمرین	۱۵/۱۶	۸۶/۲۵	۳۹/۲۰	۱۹/۷۳	۱۰/۴۴	۲۶۸/۷۵	۱۰۳/۹۱	۵۲

Age: سن، Year: سال، Vo_2peak: حداکثر اکسیژن مصرفی، ml/kg/min: میلی‌لیتر بر کیلوگرم بر دقیقه، BMI: شاخص جرم بدن، Kg/m^2: کیلوگرم بر مجذور متر، FBS: قند خون ناشتا، HbA1c: هموگلوبین گلیکولیزه، LDL: لیپوپروتئین با چگالی کم، HDL: لیپوپروتئین با چگالی بالا، Mg/dl: میلی‌گرم بر دسی‌لیتر.

جدول ۲. مقایسهٔ داده‌های تحلیل کواریانس در سه گروه آزمودنی: (پس‌آزمون)

آماره	گروه	میانگین تعدیل‌شده	اندازهٔ اثر			آزمون تعقیبی	
			F	سطح معناداری	مجذور اتا	۲	۳
HR (b/min)	۱	۸۷/۳۳	۱/۷۲	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۹۰
	۲	۹۳/۵۷				*	۰/۱۰
	۳	۸۶/۷۵				*	*
RR	۱	۶۴۸/۸۰	۹/۳۷	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۸۰	۰/۰۰
	۲	۶۴۰/۲۸				*	۰/۰۰
	۳	۷۷۲/۹۷				*	*
VLF (ms^2)	۱	۳۱۳۸/۸۴	۴/۶۴	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۴
	۲	۱۶۱۶/۵۵				*	۰/۳۴
	۳	۲۰۸۵/۷۹				*	*
LF (ms^2)	۱	۱۵۸۰/۳۲	۵/۵۷	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۲۲
	۲	۱۱۹۸/۳۷				*	۰/۰۰
	۳	۱۸۱۰/۳۷				*	*
HF (ms^2)	۱	۷۸۵/۳۴	۱۴/۹۹	۰/۰۰	۰/۴۸	۰/۰۰	۰۲۰
	۲	۴۹۰/۴۳				*	۰/۰۰
	۳	۱۰۳۲/۸۳				*	*
LF/HF	۱	۲/۴۴	۳۴۶/۳۶	۰/۰۰	۰/۹۵	۰/۲۵	۰/۰۰
	۲	۲/۴۸				*	۰/۰۰
	۳	۱/۶۰				*	*
LDL (Mg/dl)	۱	۹۵/۱۵	۳/۳۸	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۸۹	۰/۰۵
	۲	۹۴/۸۷				*	۰/۰۷
	۳	۹۰/۴۷				*	*
HDL (Mg/dl)	۱	۵۲/۹۷	۱/۸۷	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۵۰	۰/۲۵
	۲	۵۲/۴۴				*	۰/۰۶
	۳	۵۳/۸۲				*	*
Vo_2peak (ml/kg/min)	۱	۴۳/۹۵	۱۵/۳۸	۰/۰۰		۰/۰۰	۰/۰۴
	۲	۴۱/۷۸				*	۰/۰۰
	۳	۴۴/۹۸				*	*
FBS (mg/dl)	۱	۱۷۱/۶۷	۱۲/۱۵	۰/۰۰	۰/۴۳	۰/۰۰	۰/۰۷
	۲	۲۲۸/۱۳				*	۰/۰۰
	۳	۱۹۷/۶۰				*	*
HbA1c (%)	۱	۸/۰۶	۲۹/۳۳	۰/۰۰	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۳۳
	۲	۸/۹۱				*	۰/۰۰
	۳	۷/۸۲				*	*

HR: تعداد ضربان قلب، Number: تعداد، RR: میانگین مجموع فواصل، VLF: فرکانس‌های کمتر از ۰/۰۴، HF: دامنهٔ امواج با فرکانس پایین، LF: دامنهٔ امواج با فرکانس بالا، ms^2: متر بر مجذور ثانیه، LDL: لیپوپروتئین با چگالی کم، HDL: لیپوپروتئین با چگالی بالا، Vo_2peak: حداکثر اکسیژن مصرفی، ml/kg/min: میلی‌لیتر بر کیلوگرم بر دقیقه، FBS: قند خون ناشتا، HbA1c: هموگلوبین گلیگولیزه.

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تمرینات ورزشی ترکیبی بر پارامترهای منتخب فرکانس‌محور تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) انجام گرفت؛ به‌طوری که پس از ۱۲ هفته تمرین منظم هوازی زیربیشینه، در پارامترهای فرکانس‌محور HRV پسران مبتلا به T1D بهبود معنی‌دار رخ داد. همچنین در گروه مداخله، متغیرهای VLF، HF، LF، و HF/LF پس از پایان دورهٔ تمرینی در مقایسه با حالت پیش‌آزمون، افزایش معنی‌دار را نشان دادند. همچنین در پارامترهای RR، HbA1c، FBS، LDL، HDL، و Vo_2peak نیز قبل و بعد از مداخله دورهٔ تمرینی بهبود معنادار مشاهده شد.

یافته‌های این مطالعه نشان داد مداخلهٔ ۱۲ هفته برنامهٔ تمرین ترکیبی منظم بر شاخص HF الکتروکاردیوگرام استراحتی، به‌عنوان فاکتور سنجش شاخهٔ پاراسمپاتیک سیستم اتونومیک عصبی قلب، در پسران مبتلا به T1D تأثیر مثبت داشت. در تبیین این نتیجه می‌توان گفت تمرینات ورزشی منظم و مداوم، به‌ویژه تمرینات هوازی، اثر مثبت قابل توجهی بر عملکرد سیستم عصبی پاراسمپاتیک دارد. تحقیقات نشان می‌دهند فعالیت بدنی منظم موجب افزایش فعالیت سیستم پاراسمپاتیک و بهبود تعادل بین سیستم‌های عصبی سمپاتیک و پاراسمپاتیک می‌شود، که این موضوع در نتایج شاخص‌های HRV ازجمله پارامتر HF منعکس می‌شود. افزایش این پارامترها نشان‌دهندهٔ تعادل بهتر سیستم عصبی خودکار و ارتقای عملکرد قلب است، که می‌تواند در کاهش خطر بروز بیماری‌های قلبی و متابولیکی نقش مهمی داشته باشد (۱۹). یکی از سازگاری‌های مزمن تمرینات هوازی اصلاح و تقویت عملکرد سیستم عصبی است، زیرا فعالیت‌های منظم می‌توانند تأثیر مثبتی بر تنظیم‌پذیری سیستم عصبی و کاهش استرس و فشارهای روزمره بر قلب داشته باشند (۸، ۲۰). این موضوع در بیماران مبتلا به T1D، که معمولاً با اختلالات در سیستم عصبی خودکار همراه است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (۲۱).

شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد فعالیت بدنی منظم با کاهش خطر مرگ‌ومیر ناشی از همهٔ علل و چندین بیماری مزمن پزشکی مرتبط است (۲۲). تمرینات ورزشی برخی شاخص‌های شدت T1D به‌ویژه ترکیب بدنی، حساسیت انسولین، پروفایل لیپیدی، و همچنین دوز انسولین در T1D را بهبود می‌بخشد (۲۲، ۲۳). بیشتر دستورالعمل‌های بین‌المللی فعالیت بدنی، رسیدن به هدفِ ۱۵۰ دقیقه در هفته فعالیت بدنی با شدت متوسط تا شدید یا ۷۵ دقیقه در هفته فعالیت بدنی شدید را توصیه می‌کنند (۱۸). با توجه به مطالعاتِ دردسترس می‌توان گفت اجرای تمرینات ورزشی منظم شامل الگوهایی از برنامهٔ ترکیبی هوازی و قدرتی، انعطاف‌پذیری و تعادلی در سطوح متوسط تا شدید نقش برجسته‌ای در کنترل سطح قندخون افراد مبتلا به T1D دارد (۲۴، ۲۵).

نتایج این مطالعه هم‌سو با تحقیقات پیشین است که نشان می‌دهند تمرینات هوازی منظم تأثیر مثبتی بر شاخص‌های پاراسمپاتیک سیستم عصبی و کنترل قند خون دارند. به‌عنوان مثال، جاورکا و همکاران (۲۰۰۱) گزارش دادند که برنامه‌های تمرینی منظم می‌توانند باعث بهبود HRV و کنترل بهتر بر سطح قند خون در بیماران T1D شوند (۲۵).

بااین‌حال، در برخی مطالعات دیگر، تأثیر تمرینات ورزشی بر پارامترهای HRV در بیماران T1D کمتر نشان داده شده است، که احتمالاً به‌دلیل تفاوت در نوع تمرین، شدت، و دورهٔ زمانی مطالعه‌ها است. به نظر می‌رسد برای کاهش FBS و HbA1c در بیماران مبتلا به T1D باید تمرینات حداقل ۳ جلسه در هفته و مدت زمان هر جلسه حداقل۶۰ دقیقه باشد (۲۶, ۲۷) ؛ احتمالاً دلیل تفاوت نتایج مطالعهٔ حاضر با مطالعهٔ لوسینی و همکاران (۲۰۱۳) نیز همین است (۲۸).

بنابراین، با توجه به تأثیر مثبت قابل توجه تمرینات ترکیبی بر بهبود پارامترهای خودکار عصبی و شاخص‌های متابولیک در پسران مبتلا به T1D، می‌توان این نوع برنامه‌های تمرینی را به‌عنوان یک رویکرد مکمل مؤثر در مدیریت و کاهش عوارض قلبی ـ عروقی و متابولیک این بیماران توصیه کرد؛ هرچند مطالعات آینده با نمونه‌های بزرگ‌تر و مدت زمان طولانی‌تر برای تأیید این نتایج ضروری است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که یک دورهٔ ۱۲هفته‌ای تمرینات اینتروال هوازی زیربیشینه می‌تواند به‌طور معناداری موجب بهبود شاخص‌های فرکانس‌محور HRV و نیز پارامترهای متابولیکی مانند HbA1c، FBS، LDL، HDL، و VO_2peak در پسران مبتلا به T1D شود. بهبود شاخص HF، به‌عنوان نمایندهٔ عملکرد شاخهٔ پاراسمپاتیک سیستم عصبی خودمختار، نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت تمرینات هوازی بر بهبود تعادل بین شاخه‌های سمپاتیک و پاراسمپاتیک و ارتقای عملکرد قلبی ـ عصبی در این بیماران است.

تمرینات منظم ورزشی نه تنها می‌توانند به‌عنوان تعدیل‌کننده عملکرد سیستم عصبی خودکار قلب عمل کنند، بلکه نقش پیشگیرانه مهمی در کاهش بروز عوارض اتونومیک قلبی مرتبط با T1D دارند؛ بنابراین، اجرای مداوم و هدفمند این تمرینات می‌تواند به کاهش عوارض مزمن این بیماری در سنین بالاتر و بهبود کیفیت زندگی بیماران کمک شایانی کند.

ملاحظات اخلاقی

این پروژهٔ تحقیقاتی در مرکز تحقیقات و آموزش پزشکی قلب و عروق (فرشچیان) تأیید شد (شمارهٔ تأیید: IR.BASU.REC.1400.040، IRCT20211031052926N1) و مطابق با استانداردهای اخلاقی مندرج در اعلامیهٔ هلسینکی ۱۹۶۴ انجام شد. رضایت کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان و والدین آن‌ها اخذ شد.

حامی مالی

این گزارش علمی با حمایت اعتبار پژوهانه حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی سینا سامان گرفت.

مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی: فرزاد ناظم، حسین ساکی؛ تحقیق و بررسی: زهرا ربانیان نجف‌آبادی؛ ویراستاری و نهایی سازی: فرزاد ناظم، زهرا ربانیان نجف‌آبادی.

تعارض منافع

هیچ گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

از همکاری مؤثر کادر محترم فعال در بخش آزمایشگاه بیمارستان فرشچیان همدان و همکاری والدین بیماران، سپاسگزاری و قدردانی می شود.

References

1.Ghalavand A, Azadi M, Mohammadpour Z, Ghalavand N, Ghalavand M, Ghalavand M. Cognitive Complications of Type 1 Diabetes: A Narrative Review Study. Jundishapur Scientific Medical Journal. 2023 Jan 21;21(6):910-22.

2.Ghalavand A, Saki H, Nazem F, Khademitab N, Behzadi Nezhad H, Behbodi M, Zeighami F. The effect of ganoderma supplementation and selected exercise training on glycemic control in boys with type 1 diabetes. Jundishapur Scientific Medical Journal. 2021 Sep 23;20(4):356-65.

3.Saki H, Nazem F, Fariba F, Sheikhsharbafan R. A high intensity interval training (running and swimming) and resistance training intervention on heart rate variability and the selected biochemical factors in boys with type 1 diabetes. Diabetes Research and Clinical Practice. 2023 Oct 1;204:110915. [10.1016/j.diabres.2023.110915][PMID]

4.Stene LC, Tuomilehto J. Epidemiology of type 1 diabetes. Textbook of diabetes. 2024 Feb 7:41-54.

5.Gözüküçük D, İleri BA, Başkan SK, Öztarhan E, Güller D, Önal H, Öztarhan K. Evaluation of cardiac autonomic dysfunctions in children with type 1 diabetes mellitus. BMC pediatrics. 2024 Apr 1;24(1):229. [10.1186/s12887-024-04644-y][PMID]

6.Stella P, Ellis D, Maser RE, Orchard TJ. Cardiovascular autonomic neuropathy (expiration and inspiration ratio) in type 1 diabetes: incidence and predictors. Journal of Diabetes and its Complications. 2000 Jan 1;14(1):1-6. [10.1016/s1056-8727(00)00054-4][PMID]

7.Chiesa ST, Marcovecchio ML. Preventing cardiovascular complications in type 1 diabetes: the need for a lifetime approach. Frontiers in Pediatrics. 2021 Jun 9;9:696499. [10.3389/fped.2021.696499][PMID]

8.Chiang JK, Lin YC, Hung TY, Kao HH, Kao YH. The Impact on Autonomic Nervous System Activity during and Following Exercise in Adults: A Meta-Regression Study and Trial Sequential Analysis. Medicina. 2024 Jul 28;60(8):1223. [10.3390/medicina60081223][PMID]

9.de Groot M, Myers BA, Stump TE, Dana D, Lewis G, Kolacz J, Baker L, Fox KA, Porges SW. Symptoms of Autonomic Nervous System Dysregulation and Diabetes Distress in Adults With Type 1 and Type 2 Diabetes. Diabetes care. 2025 May 1;48(5):781-9. [10.2337/dc24-2614][PMID]

10.Shin KO, Woo JH, Yeo NH, Ok D, Kang S. Alterations in cardiac autonomic function, lipid profile, and arterial stiffness in type 1 diabetic children. Journal of Pediatric Biochemistry. 2010 Mar;1(01):011-6.

11.Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. science. 1981 Jul 10;213(4504):220-2. [10.1126/science.6166045][PMID]

12.Malik M. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use: Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society for Pacing and Electrophysiology. Annals of Noninvasive Electrocardiology. 1996 Apr;1(2):151-81.

13.Hayano J, Yuda E. Prediction of Menstrual Cycle Phase by Wearable Heart Rate Sensor. InResearch Anthology on Advancements in Women's Health and Reproductive Rights 2022 (pp. 528-543). IGI Global Scientific Publishing.

14.Syrine G, Mariem MK, Hend K, Imed L. Relationship Between Esophageal Motility Disorders and Autonomic Nervous System in Diabetic Patients: Pilot North African Study. American Journal of Men's Health. 2022 May;16(3):15579883221098588. [10.1177/15579883221098588][PMID]

15.Hyun U, Sohn JW. Autonomic control of energy balance and glucose homeostasis. Experimental & molecular medicine. 2022 Apr;54(4):370-6. [10.1038/s12276-021-00705-9][PMID]

16.Olde Bekkink M, Koeneman M, de Galan BE, Bredie SJ. Early detection of hypoglycemia in type 1 diabetes using heart rate variability measured by a wearable device. Diabetes care. 2019 Apr 1;42(4):689-92. [10.2337/dc18-1843][PMID]

17. Macicame I, Katzmarzyk PT, Lauchande C, Uate J, Cavele N, Manhiça C, Saathoff E, Parhofer KG, Prista A. Physical activity measured by pedometer in a peri-Urban Mozambican population. Journal of Physical Activity and Health. 2022 Oct 18;19(11):777-85. [10.1123/jpah.2022-0003][PMID]

18.Saki H, Nazem F, Fariba F, Khaiyat O, Roshanaei G. Evaluation of cardiac autonomic nervous system activity and cardiopulmonary fitness in type 1 diabetes: A cross-sectional study. International Journal of Diabetes in Developing Countries. 2025 Apr 4:1-9.

19. Sandercock GR, Bromley PD, Brodie DA. Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. Medicine and science in sports and exercise. 2005 Mar 1;37(3):433-9. [10.1249/01.mss.0000155388.39002.9d][PMID]

20.Khurana D. Heart Rate Variability and Blood Pressure: Insights into Autonomic Regulation and Cardiovascular Health. Journal of Ayurveda and Integrated Medical Sciences. 2025 Jun 3;10(4):130-6.

21.Shin KO, Moritani T, Woo J, Jang KS, Bae JY, Yoo J, Kang S. Exercise training improves cardiac autonomic nervous system activity in type 1 diabetic children. Journal of physical therapy science. 2014;26(1):111-5. [10.1589/jpts.26.111][PMID]

22.Wu N, Bredin SS, Guan Y, Dickinson K, Kim DD, Chua Z, Kaufman K, Warburton DE. Cardiovascular health benefits of exercise training in persons living with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. Journal of clinical medicine. 2019 Feb 17;8(2):253. [10.3390/jcm8020253][PMID]

23.Ostman C, Jewiss D, King N, Smart NA. Clinical outcomes to exercise training in type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis. Diabetes research and clinical practice. 2018 May 1;139:380-91. [10.1016/j.diabres.2017.11.036][PMID]

24.Saki H, Nazem F, Fariba F. Effect of combined exercise training on heart rate variability and aerobic capacity of boys with type 1 diabetes. Avicenna Journal of Clinical Medicine. 2023 Mar 15;29(4):232-9.

25.Javorka K, Buchanec J, Javorkova J, Buchancová J. Heart rate variability and physical fitness in children and adolescents with diabetes mellitus type 1. International Journal of Adolescent Medicine and Health. 2001 Oct;13(4):297-310.

26. Saki H, Nazem F, Khaiyat O, Fariba F. Effects of 12-week combined interval running and resistance training on cardiac structure and performance in patients with type 1 diabetes. Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism. 2025 Mar;16:20420188251325148. [10.1177/20420188251325148][PMID]

27.training on heart rate variability and aerobic capacity of boys with type 1 diabetes. Avicenna Journal of Clinical Medicine. 2023 Mar 15;29(4):232-9.

28.Lucini D, Zuccotti GV, Scaramuzza A, Malacarne M, Gervasi F, Pagani M. Exercise might improve cardiovascular autonomic regulation in adolescents with type 1 diabetes. Acta diabetologica. 2013 Jun;50(3):341-9. [10.1007/s00592-012-0416-z][PMID]

Authors retain the copyright and full publishing rights.
Published by ahvaz jundishapur university of medical science. This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).