

Research Paper

Effects of Physical and Brain Activity Until Exhaustion on Heart Rate and Perceived Exertion of Fatigue in Females



Fatemesadat Mousavian¹ , *Parvaneh Shamsipour Dehkordi¹ , Maryam Khalaji²

1. Department of Motor Behavior Faculty of Sport Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran.

2. Department of Sports Coaching, Faculty of Sports and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.



Citation Mousavian F, Shamsipour Dehkordi P, Khalaji M. [Effects of Physical and Brain Activity Until Exhaustion on Heart Rate and Perceived Exertion of Fatigue in Females (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(4):618-635. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3355>

<https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3355>

ABSTRACT

Background and Aims Fatigue resulting from physical and cognitive activities is one of the fundamental challenges in sports sciences and neurosciences, which can affect an individual's physical and psychological performance. The present study aims to compare the effects of physical activity and brain activity until exhaustion on heart rate (objective physiological response) and perceived exertion of fatigue (subjective response) in females.

Methods This is a quasi-experimental study on 20 female students aged 25-30 from Alzahra University, Tehran, Iran, who were selected using a purposive sampling method. They were divided into two groups: brain activity (n=10) and physical activity (n=10). The physical activity group performed the plank exercise for 15 minutes or more until reaching fatigue, while the brain activity group performed the Stroop task for 45 minutes. Borg's Rating of Perceived Exertion Scale, Falstein et al.'s 10-item fatigue assessment scale, and a Polar heart rate monitor were used to collect data. Perceived exertion of physical and mental fatigue, and heart rate in each group were recorded before the activity, 5 and 10 minutes during the activity, immediately after, and five minutes after the end of the activity.

Results The results of repeated measures analysis of variance showed that the heart rate and perceived exertion of physical and mental fatigue in both groups increased with increasing duration of physical or mental exercises. The mean heart rate and perceived exertion of physical fatigue were significantly higher in the physical activity group than in the brain activity group in the fifth and tenth minutes during the activity, immediately after the end of the activity, and five minutes after the activity ($P=0.001$). The mean perceived exertion of mental fatigue was higher in the brain activity group than in the physical activity group in the fifth and tenth minutes during the activity, immediately after the end of the activity, and five minutes after the activity ($P=0.001$).

Conclusion Physical activity until exhaustion mainly increases the physiological load (heart rate) of females, while brain activity until exhaustion increases their cognitive load (perceived exertion of mental fatigue). These results can provide a scientific basis for optimizing training programs for women by balancing between physical and mental loads. Designing effective exercise protocols for women requires simultaneous attention to physical and mental dimensions of fatigue. This integrated approach not only prevents the occurrence of premature exhaustion but also significantly reduces the risk of exercise-induced injuries.

Keywords Physical Activity, Heart rate, Perceived exertion, Brain Activity, Fatigue

Received: 18 Apr 2025

Accepted: 21 May 2025

Available Online: 23 Sep 2025

* Corresponding Author:

Parvaneh Shamsipour, Associate Professor.

Address: Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (919) 6067968

E-Mail: p.shamsipour@alzahra.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

With the improvement of human living standards, more people have realized the importance of exercise for health and have engaged in regular exercise to maintain their health. Exercise has a positive impact on the cardiovascular system, both in the short and long term. However, excessive exercise may harm the body and cause musculoskeletal injuries, overtraining syndrome, atrial fibrillation, and decreased immune function.

Several studies have shown that reduced heart rate variability (HRV) can be a sign of disorders in the autonomic nervous system and imbalances in stress responses, which have a negative impact on cognitive function. Also, the effect of physical activities and cognitive load on heart rate and its variability is one of the topics of interest in recent research. However, since fatigue from physical and brain activity is a complex and multifaceted concept, and HRV has many computable components that have diverse sources, this complicates the precise biopsychological interpretation of the relationship of physical and brain activities with heart rate. Therefore, in recent studies, it has been emphasized that for better comparison, future studies should provide new insights into the physiological and methodological bases of heart rate. Therefore, this study seeks to assess whether physical and brain activities until exhaustion affect objective and subjective physiological responses (Heart rate and perception of mental and physical fatigue) in women. Also, how do these effects change during and after exercise?

Methods

This is a quasi-experimental study. The study population consists of all female students aged 25-30 years at Alzahra University in Tehran, Iran. Using G*Power software (considering a test power of 0.8, an effect size of 0.8, and an error level of 0.05), a sample size of 20 was calculated. Based on the inclusion criteria (being right-handed, having normal or corrected vision, physical and mental health, not having heart problems such as palpitations, chest pain or heart failure, and no previous familiarity with performing the stroke), 20 students were selected using a purposive sampling method and were divided into two groups of 10 including brain activity and physical activity groups. In the physical activity group, participants performed stretching and warming up with activities such as jumping, squatting, lying down, sitting, and standing for 10 minutes to

prevent physical injury. Participants performed the plank exercise for 15 minutes or more until reaching the highest level of fatigue. In the brain activity group, participants performed the Stroop task for 45 minutes. To collect data, Borg Rating of Perceived Exertion Scale, Falstein et al.'s 10-item fatigue assessment scale, and a Polar heart rate monitor were used. Physical fatigue induced by the plank test, mental fatigue induced by the Stroop test, and heart rate were recorded before the start of the activity, 5 and 10 minutes during the activity, immediately after, and five minutes after the end of the activity.

Results

The results of repeated measures analysis of variance showed that the mean heart rate of the physical activity group was significantly higher than that of the brain activity group in the fifth and tenth minutes during the activity, immediately after, and five minutes after the activity ($P < 0.001$). The physical activity group had the highest mean heart rate in the tenth minute of activity and immediately after the end of the activity, but the heart rate decreased five minutes after the activity.

The perceived exertion of physical activity in the physical activity group was significantly higher than in the brain activity group in the fifth and tenth minutes during the activity, immediately after, and five minutes after the activity ($P < 0.001$). The physical activity group had the highest mean perceived exertion of physical activity in the tenth minute of activity and immediately after the end of the activity, but five minutes after the activity, the mean score decreased.

The mean perceived exertion of brain activity in the brain activity group was higher than in the physical activity group in the fifth minute and tenth minutes during the activity, immediately after, and five minutes after the activity ($P < 0.001$). The brain activity group had the highest mean score in the tenth minute of activity and immediately after the end of the activity, but it decreased five minutes after the activity.

Conclusion

Although both physical and brain activities lead to fatigue in women, the mechanisms and manifestations of this fatigue are different in terms of physiological and subjective factors. Physical activity is more associated with obvious changes in their heart rate, while brain activity mainly increases their cognitive load (subjective perception of fatigue). These results imply that fatigue occurs not only at the peripheral and muscular level, but also

at the central and cognitive level. Therefore, a complete explanation of the phenomenon of fatigue requires a multifaceted understanding of the interactions between the central nervous system, psychological regulation mechanisms, and physical components.

This is especially important in conditions such as intensive training, in sports requiring high concentration, or in rehabilitation interventions. Based on the findings, it is recommended that a comprehensive and multidimensional approach be adopted in the design and monitoring of exercises for women by considering both physical and cognitive loads of the exercise. Also, investigating the neurophysiological mechanisms associated with mental fatigue can provide new horizons in understanding the role of the brain in limiting physical performance and regulating motor behavior.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of the [Sport Sciences Research Institute](#) of Iran (Code: SSRI.REC.2211.1962). All ethical principles were observed in this study, including obtaining informed consent from participants, maintaining the confidentiality of their information, and respecting their right to leave the research.

Funding

This article was extracted from the master's thesis of Fatemeh Sadat Mosavian at [Alzahra University](#), Tehran, Iran. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for profit sectors.

Authors' contributions

Conceptualization and methodology: Parvaneh Shamsipour Dehkordi; Data collection and preparing the initial draft: Fatemeh Sadat Mosavian ;Methodology and data analysis: Maryam Khalaji.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the female students who participated in this study for their cooperation.



مقاله پژوهشی

مقایسه تأثیر فعالیت بدنی و مغزی تا سرحد خستگی بر ضربان قلب و میزان درک از خستگی در زنان

فاطمه سادات موسویان^۱، پروانه شمسی پور دهکردی^۱، مریم خلجی^۲

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران.

۲. گروه مربی گری ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation Mousavian F, Shamsipour Dehkordi P, Khalaji M. [Effects of Physical and Brain Activity Until Exhaustion on Heart Rate and Perceived Exertion of Fatigue in Females (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(4):618-635. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3355>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.4.3355>

چکیده

مقدمه و اهداف: خستگی حاصل از فعالیت‌های جسمانی و شناختی یکی از چالش‌های اساسی در حوزه علوم ورزشی و علوم اعصاب است که می‌تواند عملکرد فیزیکی و روان‌شناختی فرد را تحت تأثیر قرار دهد. هدف پژوهش حاضر، مقایسه تأثیر فعالیت بدنی و فعالیت مغزی بر پاسخ‌های فیزیولوژیک عینی (ضربان قلب) و پاسخ‌های ذهنی (ادراک فشار) در حین و پس از تمرین تا حد خستگی بود.

مواد و روش‌ها: روش پژوهش مطالعه حاضر از نوع نیمه‌تجربی بود. ۲۰ دانشجوی دختر ۲۵ تا ۳۰ ساله دانشگاه الزهراء (س) به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. باتوجه‌به معیارهای ورود به مطالعه شرکت‌کنندگان به ۲ گروه فعالیت مغزی و فعالیت بدنی (هر گروه ۱۰ نفر) تقسیم شدند. برای جمع‌آوری داده‌ها از مقیاس خستگی جسمانی بورگ، مقیاس خستگی ذهنی، آزمون استروپ و ضربان‌سنج پولار استفاده شد. خستگی جسمی، خستگی ذهنی و ضربان قلب شرکت‌کنندگان هر یک از گروه‌های قبل از شروع فعالیت، ۵ و ۱۰ دقیقه پس از شروع فعالیت، بلافاصله و ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت ثبت شد.

یافته‌ها: نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌های تکراری نشان داد ضربان قلب و درجه سختی ادراک‌شده مغزی و جسمانی شرکت‌کنندگان هر دو گروه فعالیت جسمانی و مغزی با افزایش مدت‌زمان تمرین جسمانی یا ذهنی افزایش می‌یابد ($P=0/001$). مقایسه میانگین ضربان قلب و ادراک سختی فعالیت جسمانی گروه فعالیت جسمانی در مراحل ارزیابی دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت بالاتر از گروه تمرین مغزی بود و گروه فعالیت جسمانی در دقیقه دهم فعالیت و پایان فعالیت بالاترین میانگین ضربان قلب و ادراک سختی فعالیت بدنی را داشتند، اما در مرحله ۵ دقیقه بعد از فعالیت میانگین کاهش یافت ($P=0/001$). میانگین ادراک سختی فعالیت مغزی گروه فعالیت مغزی در مراحل ارزیابی دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت بالاتر از گروه فعالیت جسمانی بود و گروه فعالیت مغزی در دقیقه دهم فعالیت و پایان فعالیت بالاترین میانگین ادراک سختی فعالیت مغزی را نسبت به گروه فعالیت بدنی داشتند ($P=0/001$).

نتیجه‌گیری: فعالیت بدنی عمدتاً سبب افزایش بار فیزیولوژیک و فعالیت‌های مغزی موجب افزایش بار شناختی و خستگی ذهنی می‌شود. یافته‌های این مطالعه دارای کاربردهای عملی گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف است. این نتایج می‌توانند مبنایی علمی برای بهینه‌سازی برنامه‌های تمرینی فراهم کنند. به‌گونه‌ای که تعادل مناسبی بین بارهای جسمانی و مغزی برقرار شود و در حوزه بالینی و توان‌بخشی نیز این یافته‌ها می‌توانند در توسعه پروتکل‌های درمانی برای بیماران مبتلا به اختلالات عصبی حرکتی مورد استفاده قرار گیرند. نکته حائز اهمیت این است که طراحی مداخلات تمرینی مؤثر، مستلزم توجه هم‌زمان به هر دو بعد جسمانی و مغزی خستگی است. این رویکرد یکپارچه نه‌تنها از بروز خستگی زودرس جلوگیری می‌کند، بلکه به میزان قابل‌توجهی احتمال بروز آسیب‌های ناشی از تمرین را نیز کاهش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: فعالیت بدنی، ضربان قلب، میزان فشار در ک‌شده، فعالیت مغزی، خستگی

تاریخ دریافت: ۲۹ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۰۱ مهر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر پروانه شمسی پور دهکردی

نشانی: تهران، دانشگاه الزهراء، دانشکده علوم ورزشی، گروه رفتار حرکتی.

تلفن: ۶۰۶۷۹۶۸ (۹۱۹) +۹۸

رایانامه: p.shamsipour@alzahra.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

با بهبود استانداردهای زندگی انسان، افراد بیشتری به اهمیت ورزش برای سلامتی پی می‌برند و برای حفظ سلامتی خود به تمرینات بدنی منظم می‌پردازند [۱]. سال‌هاست مشخص شده است فعالیت بدنی تأثیر بسزایی بر سلامت و عملکرد انسان دارد و به‌طور جدایی‌ناپذیری با سیستم قلبی‌عروقی مرتبط است [۲]. این امر باعث ایجاد تغییرات مثبت در سیستم قلبی‌عروقی، در کوتاه‌مدت و درازمدت می‌شود [۲]. باین حال ورزش مناسب، برای سلامتی مفید است. درحالی‌که ورزش بیش‌از حد ممکن است به بدن آسیب برساند (آسیب‌های عضلانی و اسکلتی، سندرم تمرین بیش‌از حد، فیبریلایسیون^۱ دهلیزی و کاهش عملکرد ایمنی) [۱]. زمانی که فردی فعالیت بدنی انجام می‌دهد، بدن او به این فعالیت پاسخ می‌دهد و برای جبران آن، به‌طور حاد و مزمن سازگاری ایجاد می‌کند [۳، ۴].

قلب به‌عنوان یکی از ارگان‌های اصلی این جبران، عضلات خود را منقبض کرده و حجم نهایی دیاستولیک بزرگ‌تری تولید می‌کند. قلب یک پمپ الکترومکانیکی است که خون اکسیژن‌دار را براساس نیاز به حرکت پمپاژ کرده و خون بدون اکسیژن را از سراسر بدن دریافت می‌کند [۵]. این فعالیت به‌میوکاردیوسیت‌های میوکاردا وابسته است (قانون فرانک‌استارلینگ^۲) و موجب افزایش بازگشت وریدی قلب می‌شود. همچنین وضعیت اینوتروپیک قلب نیز افزایش می‌یابد تا نیروی انقباض حجم نهایی دیاستولیک را بیشتر کند [۶].

علاوه‌براین ورما و همکاران بیان کردند وجود پمپ از عضلات اسکلتی عمدتاً فعال است و فشار خون را افزایش می‌دهد [۷]. همچنین پمپ تنفسی از ناحیه شکم بازگشت وریدی قلب را افزایش می‌دهد که در نتیجه، حجم پیش‌بار قلب نیز افزایش می‌یابد [۸]. با تمام این موارد، حجم ضربه‌ای قلب افزایش می‌یابد و اگر این فرایند به‌طور مزمن انجام شود، سیگنال مهار ضربان قلب ایجاد می‌شود که سبب کاهش ضربان قلب استراحت فرد می‌شود و در نتیجه، کارایی ضربان قلب فرد افزایش می‌یابد [۵]. فعالیت بدنی به‌عنوان یک عامل شناخته‌شده، مدولاسیون خودکار قلب را بهبود می‌بخشد که با تغییر ضربان قلب اندازه‌گیری می‌شود [۹]. اثرات فعالیت بدنی^۳ بر ضربان قلب^۴ هنوز به‌طور کامل مورد مطالعه قرار نگرفته است.

افزایش فعالیت بدنی ضربان قلب را در سایر گروه‌های سنی مانند بزرگسالان جوان و میانسال کاهش می‌دهد [۱۰]. کارتر و همکاران گزارش کردند مردان هنگام انجام تمرینات با شدت مشابه، ضربان قلب کمتری نسبت به زنان دارند. علاوه‌براین،

رنی و همکاران دریافتند افزایش سطوح فعالیت بدنی متوسط به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش ضربان قلب در حال استراحت در مردان شد، اما در زنان بدین صورت نبود. ضربان قلب طبیعی بین ۶۰ تا ۱۰۰ ضربه در دقیقه است. باین حال در افراد جوان سالم، ضربان قلب بسیار کمتری را می‌توان به‌طور معمول مشاهده کرد؛ به‌خصوص در افرادی که از نظر بدنی فعال هستند. تغییر ضربان قلب نیز یک اتفاق طبیعی است [۱۰]. در طول فعالیت (ورزش)، در کار با حالت پایدار، ضربان قلب در ۳ تا ۵ دقیقه اول به‌شدت افزایش می‌یابد. پس از ایجاد حالت پایدار، ضربان قلب تا پایان کار تغییر قابل‌توجهی نمی‌کند. در فرایند ریکاوری، بسته به نوع کار (سبک، متوسط، زیر حداکثر یا حداکثر)، ضربان قلب با سرعت‌های مختلف به مقادیر استراحت بازمی‌گردد. اگر کار با شدت سبک یا متوسط باشد (مانند تناسب اندام)، ضربان قلب در عرض چند دقیقه به مقادیر استراحت بازمی‌گردد [۱۰].

ازسوی دیگر باتوجه‌به تأثیرات فعالیت بدنی بر کاهش ضربان قلب استراحت^۵، این کاهش می‌تواند ۳ مکانیسم عمل را ارائه دهد: مکانیسم عصبی، که از طریق عملکرد اعصاب حسی‌عضلانی (حسگرهای شیمیایی و مکانیکی) به تغییرات محیطی (مرکز کنترل قلب و عروق) اطلاع‌رسانی کرده و براساس شدت فعالیت ورزشی، محرک‌های لازم را تنظیم می‌کند؛ مکانیسم بارورفلاکس، که فعالیت بدنی را به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رفتاری در هر ضربان در نظر می‌گیرد و مقادیر فشار خون را در محدوده نوسان حفظ می‌کند و همچنین بر تغییرات تنش عروقی تأثیر می‌گذارد و مکانیسم مرکزی، که فعالیت‌های مرتبط با سیستم عصبی خودمختار^۶ را کنترل می‌کند و تغییرات در فعالیت‌های سمپاتی و پاراسمپاتی^۷ را در طول ورزش تنظیم می‌کند [۱۱]. درحالی‌که فعالیت بدنی به‌طور مستقیم بر افزایش ضربان قلب و بهبود عملکرد قلبی‌عروقی تأثیر می‌گذارد، فعالیت‌های شناختی نیز می‌توانند با ایجاد تغییراتی در پاسخ‌های فیزیولوژیک قلب، مانند تغییرات ضربان قلب، بر عملکرد قلب تأثیر گذار باشند [۱۲].

فعالیت‌های شناختی طولانی‌مدت می‌توانند منجر به خستگی ذهنی شوند [۱۳]. این نوع خستگی که ناشی از انجام مداوم و طولانی‌مدت تکالیف شناختی (مانند تکالیف مرتبط با زمان انجام کار) است، تأثیر منفی قابل‌توجهی بر عملکردهای مختلف شناختی وابسته به قشر پیش‌پیشانی می‌گذارد. در چنین شرایطی، تمایل به صرف تلاش بیشتر کاهش می‌یابد و این امر معمولاً با افت کارایی عملکرد و افزایش خطاها همراه است [۱۴]. پاسخ‌های فیزیولوژیک توسط سیستم عصبی خودمختار کنترل می‌شود. سیستم عصبی خودمختار از ۲ بخش تشکیل شده است: سیستم عصبی سمپاتی^۷ و سیستم عصبی پاراسمپاتی^۸ [۱۵].

5. Resting Heart Rate (RHR)
6. Autonomic Nervous System (ANS)
7. Sympathetic (SNS)
8. Parasympathetic (PNS)

1. Fibrillation
2. Frank-Starling law
3. Physical Activities (PA)
4. heart Rate (HR)

سیستم عصبی خودمختار به عنوان یک بستر نوروفیزیولوژیک تعدیل انطباقی رفتار تحت شرایط متغیر محیطی شناخته شده است که نقش حیاتی در انجام تکالیف شناختی و طولانی مدت دارد [۱۵]. تغییرپذیری ضربان قلب با بسیاری از نواحی مغز و پدیده‌های روان شناختی، به ویژه آن‌هایی که با خستگی مرتبط هستند، ارتباط دارد. به طور خاص، اجزای واگ تغییرپذیری ضربان قلب با تغییرات ساختاری در ساختارهای جسم مخطط^۹ و لیمبیک مرتبط هستند. این امر نشان می‌دهد این نواحی مغز ممکن است به عنوان پایه‌ای آناتومیک مهم برای مدولاسیون اتونوم پاراسمپاتیک عمل کنند [۱۵]. این نواحی مغز، شبکه‌های مهمی برای تنظیم عاطفی و شناختی را تشکیل می‌دهند و در طول عملیات ذهنی خسته کننده، سطح فعالیتشان تغییر می‌کند. تون واگ قلب به عنوان شاخصی از فعالیت سیستم عصبی پاراسمپاتیک، پیش‌بینی کننده طیف وسیعی از عملکردهای شناختی، مانند عملکردهای اجرایی، توجه، حافظه فعال و تنظیم هیجان است که نسبت به مدت زمان اجرای تکلیف آسیب‌پذیر هستند [۱۵].

مهم‌تر از همه، افزایش فعال سازی پاراسمپاتیک (یعنی افزایش تون واگ) نشان‌دهنده جدا شدن شرکت کنندگان از تکلیف جاری است که این وضعیت به عنوان یکی از قوی ترین نشانگرهای رفتاری خستگی ذهنی در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. ارتباط بین تغییرپذیری ضربان قلب و عملکرد شناختی در چندین مطالعه گزارش شده است [۱۴]. واورزینیاک و همکاران نشان دادند بین کاهش تغییرپذیری درون فردی زمان‌های واکنش و اختلال در پاسخ‌های قلبی عروقی به استرس ذهنی در سالمندان ارتباط وجود دارد. [۱۴] از سوی دیگر ماتوز و همکاران نشان دادند برخلاف تصور رایج، شرایط خستگی ذهنی ناشی از تکالیف شناختی طولانی مدت با افزایش معنادار در شاخص‌های مرتبط با فعالیت واگال همراه بوده است. پاسخ فیزیولوژیک به خستگی ذهنی لزوماً به صورت کاهش فعالیت پاراسمپاتیک بروز نمی‌یابد، بلکه ممکن است سیستم عصبی با افزایش فعالیت واگال به عنوان یک راهکار محافظتی عمل کند. بر پایه یافته‌های یک مرور نظام‌مندی که فورته و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام دادند، کاهش تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) می‌تواند نشان‌دهنده نقص در عملکرد شناختی باشد و به عنوان یک نشانگر زیستی پیش‌آگهی‌دهنده برای اختلالات عصبی-شناختی عمل کند [۱۵]. همچنین مطالعات قبلی نشان دادند تغییرپذیری ضربان قلب مربوط به تکلیف شناختی به موازات فعالیت قشر پیش پیشانی (PFC)^{۱۰} تغییر می‌کند [۱۷].

کو و همکاران کاهش قابل توجه نوسانات ضربان قلب را از حالت استراحت تا یک کار استروپ در افراد مبتلا به اختلال شناختی خفیف (MCI)^{۱۱} در مقایسه با گروه کنترل سالم گزارش کردند که نشان‌دهنده عقب‌نشینی عصب واگ در افراد مبتلا به اختلال شناختی خفیف است. افراد مسن‌تر عملکرد پایین‌تری را در عملکرد شناختی عمومی و عملکرد اجرایی، همراه با افزایش جبرانی فعالیت PFC و کاهش تغییرپذیری ضربان قلب (HRV)^{۱۲} نشان دادند [۱۷]. مارکورا و همکاران نشان دادند اجرای ۹۰ دقیقه‌ای فعالیت شناختی پیش از فعالیت بدنی فزاینده، منجر به کاهش زمان رسیدن به واماندگی، افزایش میزان درک تلاش و عدم تغییر در ضربان قلب نسبت به جلسه کنترل شد [۱۳]. همچنین اسمیت و همکاران نشان دادند انجام ۳۰ دقیقه فعالیت شناختی موجب کاهش مسافت دویدن در آزمون یویو شد که این کاهش عملکرد با افزایش درک، تلاش و عدم تغییر در ضربان قلب همراه بود [۱۸].

در سال‌های اخیر، تغییرات قابل توجهی در رویکردهای بالینی به توان بخشی، به ویژه در سطح بین‌المللی شکل گرفته است. براساس جدیدترین دستورالعمل‌های ارائه شده در کنگره پزشکی توان بخشی آمریکا^{۱۳}، ادغام هم‌زمان شاخص‌های شناختی و فیزیولوژیکی در پایش شدت تمرینات توان بخشی به عنوان یک ضرورت مطرح شده است. در همین راستا، استفاده از شاخص‌هایی مانند تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) و مقیاس‌های درک خستگی می‌تواند میزان دقت در ارزیابی وضعیت بیماران را تا حدود ۳۵ درصد افزایش دهد. این تأکید بر پایش چندوجهی، نشان‌دهنده پیچیدگی تجربه خستگی در فرایندهای توان بخشی است که صرفاً با بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی یا روانی به تنهایی قابل شناسایی و مدیریت کامل نیست [۱۷].

پژوهش‌های جدید نیز به خوبی از این تغییر نگرش حمایت می‌کنند. برای مثال، مطالعه لوورنزو و همکاران نشان داد ترکیب تمرینات جسمانی و ذهنی می‌تواند تا ۳۷ درصد عملکرد روزانه بیماران را نسبت به مداخلات سنتی حرکتی بهبود بخشد [۱۷]. به طور خاص، نتایج پژوهش گرلی و همکاران نیز بر اهمیت این رویکرد تأکید می‌کند؛ آن‌ها نشان دادند تنها پس از ۵ جلسه تمرینات ترکیبی، شامل تمرینات تنابوی با شدت بالا و تکالیف شناختی در سالمندان مبتلا به سکنه مغزی، بهبود قابل توجهی در عملکرد حرکتی و شناختی بیماران حاصل شد [۱۹]. شواهد نشان می‌دهد بیشتر آسیب‌های ورزشی در اواخر تمرین یا مسابقه رخ می‌دهند که این موضوع می‌تواند نتیجه اختلالات ناشی از خستگی در کنترل عصبی عضلانی باشد. این اختلالات موجب کاهش دقت در اجرای حرکات، به کارگیری الگوهای حرکتی پرخطر و در نهایت افزایش ریسک آسیب دیدگی می‌شوند [۲۰].

11. Mild Cognitive Impairment (MCI)
12. Heart Rate Variability (HRV)
13. ACRM

9. Corpus striatum
10. Prefrontal Cortex (PFC)

هم در افزایش کارایی برنامه‌های بازتوانی بیماران نوروموتور، نقش کلیدی ایفا کند؛ به‌ویژه نتایج این مطالعه می‌تواند برای متخصصان توانبخشی، فیزیوتراپیست‌ها و مربیان ورزشی کاربردی باشد تا شدت و نوع تمرین را براساس ظرفیت جسمی و ذهنی افراد، بهینه‌سازی کنند. به‌طور خاص، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به این پرسش‌های کلیدی است که چگونه می‌توان الگوهای متفاوت پاسخ‌های فیزیولوژیک (ضربان قلب) و ادراکی (ادراک از خستگی مغزی و جسمانی) را بین ۲ نوع خستگی جسمانی و مغزی شناسایی و کمی‌سازی کرد؟ همچنین چگونه می‌توان از این یافته‌ها برای طراحی مداخلات بهینه در حوزه‌های ورزشی و توانبخشی بهره برد؟

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نوع نیمه‌آزمایشی با طرح تحقیق پیش‌آزمون پس‌آزمون در ۲ گروه آزمایش است. جامعه آماری پژوهش حاضر دانشجویان دختر دانشگاه الزهراء (س) تهران بودند. باتوجه به معیارهای ورود به مطالعه (راست دست بودن، داشتن بینایی نرمال یا اصلاح‌شده، سلامت جسمی و روانی، نداشتن مشکلات قلبی اعم از تپش قلب، درد قفسه سینه یا نارسای قلبی و عدم آشنایی قبلی با اجرای ضربه) و با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور با توان آزمون $0/8$ ، اندازه اثر $0/8$ و سطح خطای $0/05$ ، حجم نمونه ۲۰ دانشجوی دختر ۲۵ تا ۳۰ ساله دانشگاه الزهراء (س) در نظر گرفته شد که به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب و به ۲ گروه فعالیت ذهنی و فعالیت بدنی (هر گروه ۱۰ نفر) تقسیم شدند. ملاک خروج از مطالعه شامل همکاری نکردن شرکت‌کنندگان در روند اجرای پژوهش بود. به‌منظور رعایت ملاحظات اخلاقی، فرم رضایت آگاهانه شرکت در پژوهش که در آن، ویژگی‌های پژوهش توضیح داده شده بود، توسط شرکت‌کنندگان تکمیل و به آن‌ها اطمینان داده شد این آزمایش هیچ مشکلی برایشان ایجاد نخواهد کرد و در هر مرحله از پژوهش می‌توانند از ادامه همکاری خودداری کنند. همچنین این پژوهش توسط کمیته ملی اخلاق در پژوهش پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی تأیید شد.

ابزارهای پژوهش

پرسش‌نامه دست برتری ادینبورگ

برای سنجش دست برتری از پرسش‌نامه دست برتری ادینبورگ استفاده شد. این ابزار، پرسش‌نامه‌ای ۱۰ ماده‌ای است که ترجیح دستی را در نوشتن، نقاشی، پرتاب، قیچی کردن، مسواک زدن، استفاده از چاقو، استفاده از قاشق، جارو کردن، روشن کردن کبریت و باز و بسته کردن درب قوطی می‌سنجد. این آزمون ۵ گزینه دارد که به‌صورت همیشه با راست (۱۰ نمره)، اغلب با راست (۵ نمره)، اغلب با هر دو (صفر نمره)، اغلب با چپ (۵- نمره) و همیشه با چپ (۱۰- نمره) تنظیم شده و دامنه نمره از ۱۰۰- (چپ) تا ۱۰۰+ (راست) متغیر است [۲۶].

از دیدگاه توان‌بخشی، این موضوع بسیار حائز اهمیت است؛ چراکه عضلات نه‌تنها وظیفه انقباض برای حرکت را بر عهده دارند، بلکه در کاهش نیروهای ضربه‌ای، جذب فشارهای وارده به ساختارهای استخوانی و ثبات‌بخشی به مفاصل نیز نقش کلیدی ایفا می‌کنند. اختلال در عملکرد عضلات به دلیل خستگی می‌تواند کارایی آن‌ها در انجام این وظایف حمایتی را کاهش داده و در نتیجه توانایی بدن برای جلوگیری از آسیب کاهش یابد [۲۱]. این شواهد برجسته می‌کنند که درک دقیق و مقایسه‌ای از مکانیسم‌های خستگی ذهنی و جسمانی، به‌ویژه در تعامل با سیستم عصبی قلبی، خلأ مهمی در ادبیات علمی فعلی است. با این حال بسیاری از پژوهش‌های پیشین، این دو نوع خستگی را به‌طور مجزا بررسی کرده‌اند و کمتر به تعامل آن‌ها در شرایط طبیعی پرداخته‌اند. درحالی‌که در شرایط واقعی، مانند ورزش‌های رقابتی یا مشاغل پراسترس، خستگی ترکیبی رخ می‌دهد. این پژوهش با رویکردی یکپارچه و استفاده هم‌زمان از شاخص‌های عینی (مانند ضربان قلب) و ذهنی (مانند مقیاس بورگ)، به درک بهتری از پدیده خستگی به‌عنوان یک حالت چندبعدی کمک می‌کند [۱۴].

باتوجه به پیشینه پژوهش و نتایج متناقض، هدف این پژوهش بررسی مکانیسم‌های متمایز خستگی ناشی از فعالیت‌های جسمانی و شناختی و تأثیرات متفاوت آن‌ها بر شاخص‌های فیزیولوژیک و ادراکی است. هندرسون و همکاران استدلال کردند الگوی کاهش ضربان قلب مرتبط با رویداد، نشان‌دهنده تغییر نسبی در تخصیص منابع توجهی است که به موجب آن افراد ترجیحاً رویدادهای خارجی (دریافت) را پردازش می‌کنند و رویدادهای داخلی را نادیده می‌گیرند [۲۲]. تغییرپذیری ضربان قلب به‌عنوان یک شاخص امیدوارکننده برای ارزیابی فعالیت بدنی و عملکرد شناختی مطرح است [۱۴، ۲۳، ۲۴].

مطالعات متعدد نشان داده‌اند کاهش تغییرپذیری ضربان قلب می‌تواند نشانه‌ای از اختلالات در سیستم عصبی خودمختار و عدم تعادل در پاسخ‌های استرسی باشد که تأثیر منفی بر عملکرد شناختی دارد [۲۵]. همچنین تأثیر فعالیت‌های جسمانی و بار شناختی بر پاسخ‌های ضربان قلب و تغییرپذیری آن، یکی از مباحث مورد توجه در پژوهش‌های اخیر است [۲۶، ۲۷]. با وجود این، از آنجایی که خستگی ناشی از فعالیت بدنی و مغزی حالتی پیچیده و چندوجهی است و تغییرپذیری ضربان قلب دارای اجزای قابل‌محاسبه زیادی است که منابع متنوعی دارند، این موضوع تفسیر زیست‌روان‌شناختی دقیق ارتباط فعالیت بدنی و ذهنی با تغییر ضربان قلب را بسیار پیچیده می‌کند. پژوهش حاضر دقیقاً به دلیل وجود این خلأ علمی طراحی شده است. هدف ما آن بوده که با مقایسه تأثیر فعالیت جسمانی و فعالیت مغزی (شناختی) تا آستانه واماندگی بر شاخص‌هایی مانند ضربان قلب و درک خستگی ذهنی و جسمانی، به یک درک جامع‌تر و کاربردی‌تر از ماهیت چندبعدی خستگی انسانی دست یابیم. چنین درکی می‌تواند هم در پیشگیری از تمرین‌زدگی در ورزشکاران و

آزمون استروپ^{۱۴}

از این آزمون برای ایجاد خستگی ذهنی استفاده شد. در تکلیف استروپ شرکت کنندگان باید بدون توجه به معنی کلمه، یکی از ۴ کلید رنگی روی صفحه کلید (زرد، قرمز، آبی، سبز) را که مطابق با رنگ جوهر کلمه است فشار دهند. تداخل نام گذاری رنگ کلمه با فرایند خواندن باعث ایجاد اثر استروپ می شود که منجر به بازداری ذهنی می شود. باین حال برای معنی کلمه، شرکت کننده مجبور است دستورالعمل قبلی را نادیده بگیرد و به کلمه توجه کند نه رنگ جوهر. برای مثال، هنگامی که کلمه زرد به رنگ قرمز ظاهر می شود، شرکت کننده باید کلید را مطابق با کلمه نوشته شده، یعنی کلید زرد، فشار دهد [۲۷].

تمرین پلانک

تمرین پلانک برای ایجاد خستگی جسمانی انجام شد. تمرین پلانک یک فعالیت ورزشی ایزومتریک است که از طریق انقباض مداوم، خستگی عضلانی ایجاد کرده و منجر به کاهش تدریجی کارایی عصبی عضلانی می شود. شرکت کنندگان این تمرین را در حالت استاندارد پلانک ساعد انجام دادند؛ به طوری که وزن بدن خود را روی ساعدها و انگشتان پا تحمل کرده و خط مستقیمی از سر تا پا حفظ کردند. به منظور ایجاد خستگی به صورت کنترل شده و یکنواخت، از شرکت کنندگان خواسته شد تا وضعیت پلانک را تا رسیدن به سطح درک شده خستگی ۱۷ یا بالاتر در مقیاس اصلاح شده بورگ حفظ کنند که نشان دهنده سطح بسیار دشوار است. هر آزمودنی به مدت ۱۵ دقیقه و بیشتر تا حد خستگی و امانده ساز به تمرین پلانک پرداخت. پس از رسیدن به این آستانه، فرد از ادامه تمرین منع می شد. پس از اتمام تمرین پلانک، یک دوره استراحت ۳۰ ثانیه ای در نظر گرفته می شد و سپس شرکت کنندگان به اجرای وظیفه سوینگ گلف می پرداختند. این روش، القای استاندارد خستگی جسمانی را امکان پذیر کرد، در حالی که خطر آسیب را به حداقل رسانده و کنترل دقیقی بر شدت تمرین اعمال می کرد [۲۸، ۲۹].

دستگاه ضربان سنج

برای کنترل شدت تمرین، ضربان قلب شرکت کننده ها در طول جلسه تمرین خستگی جسمانی به وسیله نوار حسگر ضربان قلب اندازه گیری شد. این نوار حسگر از تجهیزات جانبی ساعت ورزشی با نشان تجاری پلار^{۱۵} (مدل آر. سی. تری جی. پی. اس. ۱۶)، ساخت کشور آلمان است که پیش از شروع تمرین روی قفسه سینه نصب شد و در طول تمرین اندازه گیری دقیقی از ضربان قلب را روی صفحه نمایش ساعت فراهم کرد. این دستگاه ضد آب

بود و خطای سنجش ضربان قلب در آن ۰/۱ توسط تولید کننده گزارش شده است. در پژوهش حاضر، دامنه ضربان قلب هدف در طول تمرین براساس حداکثر ضربان قلب شرکت کننده ها روی دستگاه تنظیم شد؛ طوری که در صورت کاهش سطح فعالیت صدای اخطار دستگاه فعال می شد. بدین ترتیب پس از شروع تمرین و رسیدن ضربان قلب به آستانه هدف، سطح فعالیت و بار تمرینی کنترل شد.

مقیاس اصلاح شده بورگ

برای کنترل شدت تمرین شمرده می شود، اما تفاوت های فردی در تحمل فشار و خستگی ناشی از تمرین ممکن است زمان رسیدن به واماندگی را تحت تأثیر قرار می دهد. میزان درک فشار شرکت کنندگان با استفاده مقیاس بورگ^{۱۷} هر ۵ دقیقه یک بار و در انتهای پروتکل تمرینی (هنگامی که فرد اعلام واماندگی می کند) سنجش شد. مقیاس بورگ از نوع مقیاس های درجه بندی شده تصویری است و از یک محور افقی تشکیل شده است که در طول محور از عدد ۶ (حداقل تلاش) تا ۲۰ (فشار حداکثر) درجه بندی شده است و برای اندازه گیری ادراک تلاش جسمی استفاده شد [۲۸].

مقیاس خودارزیابی خستگی ذهنی

توسط فالستاین در سال ۱۹۷۳ طراحی شده است که به صورت خودگزارشی در یک پیوستار خط کش وار از اعداد صفر تا ۱۰ نوشته شده است. در این مقیاس، مقدار صفر نشان دهنده کمترین سطح خستگی و عدد ۱۰ بیانگر بیشترین میزان خستگی است. این آزمون یک آزمون استاندارد است که روایی و پایایی آن در تحقیقات پیشین مورد تأیید گزارش شده است [۲۸].

روش اجرا

در ابتدا توضیحاتی درباره نحوه انجام فرایند آزمون به افراد ارائه شد و سپس پرسش نامه جمعیت شناختی توسط شرکت کنندگان تکمیل شد؛ در ادامه با استفاده از بِلت ضربان سنج، ضربان قلب شرکت کنندگان قبل از شروع فعالیت، ۵ و ۱۰ دقیقه پس از شروع فعالیت پلانک یا تکلیف استروپ، در پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت جسمانی یا مغزی ثبت شد.

برای گروه فعالیت بدنی، پروتکل به این صورت بود که ابتدا شرکت کنندگان به مدت ۱۰ دقیقه حرکات کششی و گرم کردن با فعالیت هایی نظیر پرش، چمباتمه زدن، خوابیدن، نشستن و ایستادن را برای جلوگیری از آسیب جسمانی انجام دادند. شرکت کنندگان به مدت ۱۵ دقیقه یا بیشتر تا زمان رسیدن به بالاترین حد خستگی تمرین پلانک را انجام دادند. قبل از شروع فعالیت جسمانی، ۵ و ۱۰ دقیقه پس از شروع فعالیت پلانک،

14. Stroop
15. Polar
16. RC3 GPS

17. CR10

یافته‌ها

جدول شماره ۱ میانگین و انحراف معیار پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ادراک شده جسمانی و مغزی در گروه‌ها را نشان می‌دهد.

یافته‌های ارائه‌شده در **جدول شماره ۱** نشان داد ضربان قلب و درجه سختی ادراک شده مغزی و جسمانی شرکت‌کنندگان هر دو گروه فعالیت جسمانی و مغزی با افزایش مدت‌زمان تمرین جسمانی یا ذهنی افزایش می‌یابد.

به‌منظور بررسی تفاوت ضربان قلب در مراحل مختلف فعالیت‌های جسمانی و مغزی از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر استفاده شد که نتایج آن در **جدول شماره ۲** گزارش شده است.

یافته‌های ارائه‌شده در **جدول شماره ۲** نشان داد اثر تفاوت‌های بین‌گروهی معنادار است ($P < 0.001$). به‌عبارت‌دیگر هر دو فعالیت جسمانی و مغزی باعث افزایش ضربان قلب شدند. با توجه به میانگین‌ها، فعالیت جسمانی در حد وامانده‌ساز باعث افزایش بیشتر ضربان قلب نسبت به گروه فعالیت مغزی وامانده ساز شد. اثر اصلی مراحل ارزیابی معنادار است ($P < 0.001$). نتایج

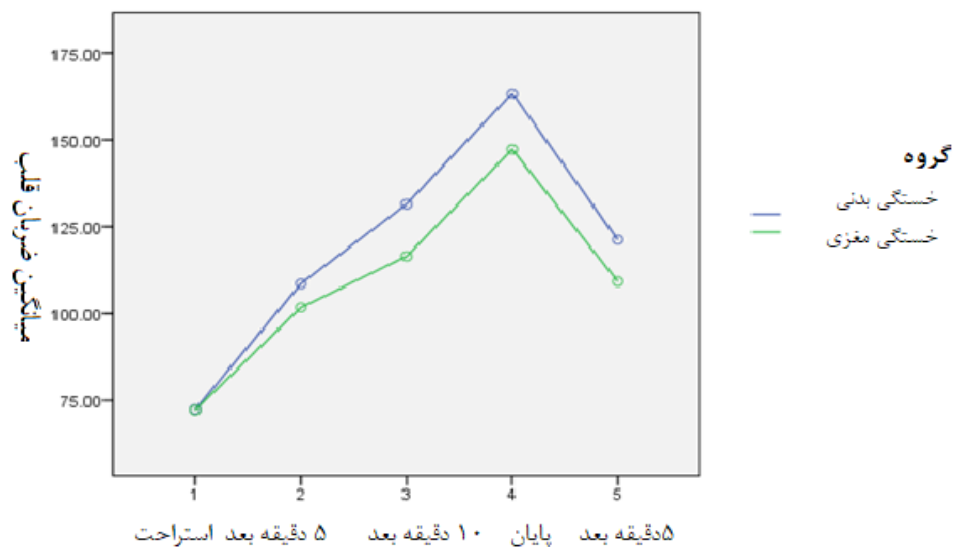
در پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت، مقیاس درک فشار جسمانی بزرگ و مقیاس خودارزیابی خستگی ذهنی به‌طور شفاهی بیان و ضربان قلب شرکت‌کنندگان ثبت شد.

برای گروه فعالیت ذهنی، شرکت‌کنندگان به مدت ۴۵ دقیقه تکلیف استروپ را انجام دادند. قبل از شروع فعالیت ذهنی استروپ، ۵ و ۱۰ دقیقه پس از شروع، در پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت مقیاس درک فشار جسمانی بزرگ و مقیاس خودارزیابی خستگی ذهنی به‌طور شفاهی بیان و ضربان قلب شرکت‌کنندگان ثبت شد.

برای تحلیل داده‌ها از آمار توصیفی، شامل شاخص مرکزی (میانگین) و شاخص پراکندگی (انحراف معیار) و ترسیم نمودارها و جداول مختلف در شرایط آزمایشی استفاده شد. از آزمون شاپیرو ویلک برای نرمال بودن داده‌ها و آزمون لون برای برابری واریانس‌ها استفاده شد. برای بررسی و تحلیل فرضیه‌های تحقیق، تحلیل واریانس مرکب با اندازه‌های تکراری، تحلیل واریانس یک‌راهه و آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه‌های زوجی استفاده شد. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ و ترسیم جداول و نمودارها توسط نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

جدول ۱. پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ادراک شده در گروه‌های آزمایشی

متغیر	گروه	فعالیت جسمانی	فعالیت مغزی
ضربان قلب	استراحت	۷۲/۵±۷/۳۲	۷۲/۳±۶/۳۷
	دقیقه پنجم	۱۰۸/۶۰±۶/۴۴	۱۰۱/۸±۶/۲۱
	دقیقه دهم	۱۳۱/۵۰±۱۱/۰۹	۱۱۶/۵±۹/۳۶
	پایان فعالیت	۱۶۳/۳۰±۹/۶۶	۱۳۷/۲۰±۹/۲۱۳۷
	۵ دقیقه بعد	۱۲۱/۲۰±۱۰/۷۸	۱۰۹/۲±۱۲/۵۷۶
خستگی ادراک شده جسمانی	استراحت	۸/۰±۱/۱۵	۷/۳±۱/۱۵
	دقیقه پنجم	۹/۹±۰/۹۹	۸/۴±۰/۹۷
	دقیقه دهم	۱۷/۳±۱/۱۶	۱۰/۹±۱/۳۷
	پایان فعالیت	۱۸/۷±۰/۶۴	۱۱/۷۰±۱/۵
	۵ دقیقه بعد	۱۲/۸±۱/۲۲	۹/۲±۰/۷۹
خستگی ادراک شده فعالیت مغزی	استراحت	۲/۲±۱/۰۲	۲/۰±۰/۸۱
	دقیقه پنجم	۲/۴±۰/۵۱	۲/۸±۰/۹۲
	دقیقه دهم	۴/۰±۰/۸۲	۵/۸±۱/۰۲
	پایان فعالیت	۴/۸±۰/۹۲	۸/۴±۰/۹۶
	۵ دقیقه بعد	۲/۸±۰/۷۸	۴/۶±۱/۲۶



تصویر ۱. تفاوت میانگین ضربان قلب در مراحل مختلف فعالیت

طب توانبخشی

برای متغیر ادراک سختی فعالیت جسمانی، یافته‌های ارائه شده در **جدول شماره ۳** نشان داد تفاوت‌های بین گروهی معنادار است ($P < 0.001$). به عبارت دیگر هر دو فعالیت جسمانی و مغزی باعث افزایش درجه ادراک سختی فعالیت جسمانی شدند. باتوجه به مقایسه میانگین، فعالیت جسمانی در حد وامانده ساز باعث افزایش ادراک سختی فعالیت جسمانی نسبت به گروه فعالیت مغزی وامانده ساز شد. اثر اصلی مراحل ارزیابی معنادار است ($P < 0.001$). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد بین میانگین ادراک سختی فعالیت جسمانی در حالت استراحت با ادراک سختی فعالیت جسمانی در دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت، تفاوت‌های زوجی معنادار است. بین میانگین ادراک سختی فعالیت جسمانی در دقیقه پنجم با ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت تفاوت معنادار نیست. سایر تفاوت‌های زوجی معنادار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد شرکت کنندگان در دقایق دهم و پایان فعالیت بالاترین میانگین ادراک سختی فعالیت جسمانی و در زمان استراحت پایین‌ترین میانگین را دارند. اثر تعاملی مراحل ارزیابی در گروه معنادار است ($P < 0.001$).

آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد بین میانگین ضربان قلب در حالت استراحت با میانگین ضربان قلب در دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت، تفاوت‌های زوجی معنادار است. بین میانگین ضربان قلب در دقیقه پنجم با ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت تفاوت معنادار نیست. سایر تفاوت‌های زوجی معنادار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد شرکت کنندگان در دقیقه دهم و پایان فعالیت بالاترین میانگین ضربان قلب و در زمان استراحت پایین‌ترین میانگین ضربان قلب را دارند. اثر تعاملی مراحل ارزیابی در گروه معنادار است ($P < 0.001$).

یافته‌ها نشان داد بین ضربان قلب ۲ گروه فعالیت جسمانی و مغزی در مراحل ارزیابی استراحت، دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت تفاوت معنادار وجود دارد ($P < 0.001$). **جدول شماره ۱** و **تصویر شماره ۱** نشان دادند میانگین ضربان قلب گروه فعالیت جسمانی در مراحل ارزیابی دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت بالاتر از گروه تمرین مغزی است و گروه فعالیت جسمانی در دقیقه دهم فعالیت و پایان فعالیت بالاترین میانگین ضربان قلب را دارند، اما در مرحله ۵ دقیقه بعد از فعالیت، ضربان قلب کاهش می‌یابد.

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر برای مقایسه میانگین ضربان قلب در ۲ گروه

آماره	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	F	P	مجذور اتا
ارزیابی	۷۲۲۰۳/۲۴۰	۴/۷۲	۱۸۰۵۰/۸۱۰	۲۲۱/۲۳۴	۰/۰۰۰	۰/۹۲۵
گروه	۲۵۱۰/۰۱۰	۱/۱۸	۲۵۱۰/۰۱۰	۲۶/۴۱۸	۰/۰۰۰	۰/۵۹۵
ارزیابی در گروه	۸۶۲/۴۴۰	۴/۷۲	۲۱۵/۶۱۰	۲/۶۴۳	۰/۰۰۰	۰/۱۲۸

طب توانبخشی

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر برای مقایسه درجه ادراک سختی فعالیت جسمانی در ۲ گروه

آماره	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	F	P	مجذور اتا
ارزیابی	۸۲۰/۲۶۰	۴/۷۲	۲۰۵/۰۶۵	۱۵۶/۹۳۸	۰/۰۰۰	۰/۸۹۷
گروه	۳۶۸/۶۴۰	۱/۱۸	۳۶۸/۶۴۰	۳۳۶/۴۸۷	۰/۰۰۰	۰/۹۴۹
ارزیابی در گروه	۱۵۹/۶۶۰	۴/۷۲	۳۹/۹۱۵	۳۰/۵۴۷	۰/۰۰۰	۰/۶۲۹

طب توانبخشی

جدول ۴. نتایج تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر برای مقایسه درجه ادراک سختی فعالیت مغزی در ۲ گروه

آماره	مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	F	P	مجذور اتا
ارزیابی	۲۶۴/۵۶۰	۴	۶۶/۱۴۰	۷۳/۰۳۸	۰/۰۰۰	۰/۸۰۲
گروه	۵۴/۷۶۰	۱	۵۴/۷۶۰	۸۲/۱۴۰	۰/۰۰۰	۰/۸۲۰
ارزیابی در گروه	۴۳/۴۴۰	۴	۱۰/۸۶۰	۱۱/۹۹۳	۰/۰۰۰	۰/۴۰۰

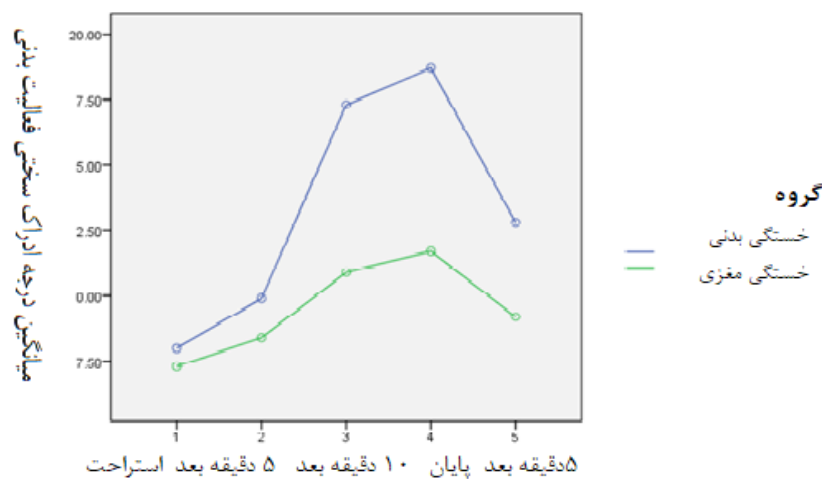
طب توانبخشی

و مغزی باعث افزایش درجه ادراک سختی فعالیت مغزی شدند. باتوجه به مقایسه میانگین، فعالیت مغزی در حد وامانده‌ساز باعث افزایش درجه ادراک سختی فعالیت مغزی نسبت به گروه فعالیت جسمانی وامانده‌ساز شد. اثر اصلی مراحل ارزیابی معنادار است ($P < 0/001$).

نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد بین میانگین درجه ادراک سختی فعالیت مغزی در حالت استراحت با ادراک سختی فعالیت مغزی در دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت تفاوت‌های زوجی معنادار است. بین میانگین ادراک سختی فعالیت مغزی در دقیقه پنجم با ۵ دقیقه بعد از پایان فعالیت تفاوت معنادار نیست. سایر تفاوت‌های زوجی معنادار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد آزمودنی‌ها در دقایق دهم و پایان فعالیت مغزی بالاترین میانگین ادراک سختی فعالیت مغزی و در زمان استراحت پایین‌ترین میانگین را دارند. اثر تعاملی مراحل ارزیابی در

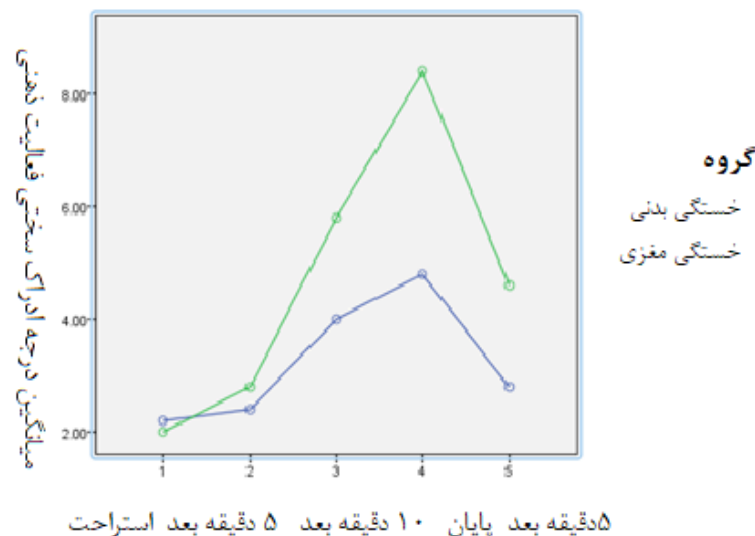
یافته‌ها نشان داد بین ادراک سختی فعالیت جسمانی ۲ گروه فعالیت جسمانی و مغزی در مراحل ارزیابی استراحت، دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت تفاوت معنادار وجود داشت ($P < 0/001$). مقایسه میانگین‌ها در **جدول شماره ۱ و تصویر شماره ۲** نشان دادند میانگین ادراک سختی فعالیت جسمانی گروه فعالیت جسمانی در مراحل ارزیابی دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت بالاتر از گروه تمرین مغزی است و گروه فعالیت جسمانی در دقیقه دهم فعالیت و پایان فعالیت بالاترین میانگین ادراک سختی فعالیت جسمانی را دارند، اما ۵ دقیقه بعد از فعالیت، درجه ادراک سختی فعالیت جسمانی کاهش می‌یابد.

برای مقایسه درجه ادراک سختی فعالیت مغزی یافته‌های ارائه‌شده در **جدول شماره ۴** نشان داد تفاوت‌های بین گروهی معنادار است ($P < 0/001$). به عبارت دیگر هر دو فعالیت جسمانی



تصویر ۲. تفاوت میانگین درجه ادراک سختی فعالیت بدنی در مراحل مختلف فعالیت

طب توانبخشی



تصویر ۳. تفاوت میانگین درجه ادراک سختی فعالیت ذهنی در مراحل مختلف فعالیت

طب توانبخشی

به طور کلی ضربان قلب شاخص مناسبی برای تعیین بار کار جسمانی وارده بر فرد است و می تواند نشانگر برآیند استرس فیزیکی تحمیل شده بر فرد باشد، بنابراین می توان از آن به عنوان ملاکی برای ارزیابی کار فیزیکی استفاده کرد [۲۸]. با شروع ورزش، ضربان قلب (HR) متناسب با افزایش شدت ورزش افزایش می یابد. این افزایش تا رسیدن به حالت بیشینه ورزش ادامه می یابد [۳۰]. با رسیدن به شدت های بیشینه ورزش، HR شروع به یکنواختی می کند. حتی اگر با کار ورزش همچنان به افزایش ادامه دهد، این نشان می دهد که HR به مقدار بیشینه می رسد [۳۱]. اکنون به خوبی ثابت شده است که فعالیت ورزشی صرف نظر از زمان انجام دادن باعث روندی کاهشی در فشارخون سیستول، دیاستول و میانگین و تعدیل ضربان قلب می شود [۳۲]. به طور کلی مشارکت مکرر در تمرینات بدنی شدید منجر به تغییرات قابل توجهی در ساختار و عملکرد میوکارد می شود [۳۴].

با توجه به نتایج دانشمند و همکاران که نشان دادند نرخ گذاری مقیاس بورگ همبستگی بالایی با ضربان قلب دارد، می توان چنین اظهار کرد که نرخ گذاری این مقیاس رابطه ای نزدیک و تنگاتنگ با بار کار فیزیکی دارد و از این رو می توان از آن برای ارزیابی بار فعالیت بدنی استفاده کرد [۳۲]. این یافته ها در توافق با نتایج مطالعه های مالهورا و مشعل [۳۵] دربندی و همکاران [۳۶] و پایند و همکاران [۳۷] بود. پژوهشگران اظهار کردند خستگی جسمانی باعث افزایش ضربان قلب از طریق مسیرهای فیزیکی یکپارچه می شود. از آنجا که عضلات اسکلتی در طول کار سخت و طولانی مدت ذخایر انرژی خود را از بین می برند،

گروه معنادار است ($P < 0.001$). یافته ها نشان داد بین درجه ادراک سختی فعالیت مغزی ۲ گروه فعالیت جسمانی و مغزی در مراحل ارزیابی استراحت، دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت تفاوت معنادار وجود دارد ($P < 0.001$).

مقایسه میانگین ها در جدول شماره ۱ و تصویر شماره ۳ نشان داد میانگین ادراک سختی فعالیت مغزی گروه فعالیت مغزی در مراحل ارزیابی دقیقه پنجم، دقیقه دهم، پایان فعالیت و ۵ دقیقه بعد از فعالیت بالاتر از گروه فعالیت جسمانی است و گروه فعالیت مغزی در دقیقه دهم فعالیت و پایان فعالیت بالاترین میانگین ادراک سختی فعالیت مغزی را دارند، اما در مرحله ۵ دقیقه بعد از فعالیت، درجه ادراک سختی فعالیت مغزی کاهش می یابد.

بحث

هدف از پژوهش حاضر مقایسه تأثیر فعالیت بدنی و مغزی بر پاسخ های فیزیولوژیک عینی و ذهنی، بررسی تغییرات حین و بعد از تمرین تا حد واماندگی بود. یافته های این مطالعه نشان داد فعالیت های جسمانی و ذهنی به صورت مجزا و هم زمان، تأثیرات متفاوتی بر پاسخ های فیزیولوژیک عینی (ضربان قلب)، جسمی (ادراک خستگی جسمانی) و مغزی (ادراک خستگی ذهنی) در حین و پس از تمرین تا حد واماندگی دارند. در گروه فعالیت بدنی، ضربان قلب به طور معناداری افزایش یافت و در دقیقه دهم و مرحله واماندگی به بالاترین سطح رسید (از ۷۲/۵ به ۱۶۳/۳ ضربه در دقیقه). در مقابل، گروه فعالیت مغزی افزایش ضربان قلب را تجربه کرد (از ۷۳/۳ به ۱۴۷/۲ ضربه در دقیقه)، اما این تغییرات نسبت به گروه جسمانی کمتر بود. باین حال این گروه ادراک خستگی ذهنی بالاتری را گزارش دادند.

پژوهشگران اظهار کردند بین فعالیت بدنی و ضربان قلب رابطه معناداری یافت نشد. همچنین بین شاخص کار و اوقات فراغت در فعالیت بدنی و ضربان قلب رابطه معناداری مشاهده نشد. فعالیت بدنی بر کاهش ضربان قلب تأثیر معناداری دارد؛ یعنی در حالت استراحت تمرینات منتخب در کاهش ضربان قلب مؤثر هستند و باعث افزایش کارایی قلب می‌شوند [۴۲]. همچنین سیلر و کیجرلند در پژوهششان هیچ تفاوتی در توزیع شدت بین HR و میزان ادراک سختی در طول یک دوره آماده‌سازی ۳۲ روزه قبل از مسابقه، در اسکی‌بازان سطح بالا پیدا نکردند [۴۳].

پژوهش‌های اخیر از طریق بررسی میزان درک تلاش نشان می‌دهند تلاش مغزی طولانی مدت سبب ایجاد خستگی ذهنی می‌شود و با افزایش میزان درک تلاش و ایجاد خستگی ذهنی، عملکرد جسمانی کاهش خواهد یافت [۴۴]. تحقیقات ارتباط قلب و مغز اخیراً به دلیل شواهدی که ماهیت دوطرفه آن را تأیید می‌کند، توجه بیشتری را به خود جلب کرده است [۴۴]. نتایج پژوهش حاضر با یافته فورته و همکاران، اسمیت و همکاران، پئنا و همکاران، ون کاتسم و همکاران هم‌راستا است [۴۴-۴۷]. درک سنتی از محور قلب - مغز نشان می‌دهد مغز سیگنال‌هایی را برای تنظیم عملکردهای قلب به قلب منتقل می‌کند. با این حال شواهد اخیر نشان می‌دهد قلب همچنین می‌تواند با مغز ارتباط برقرار کند و بینش جدیدی در مورد ماهیت دوسویه این تعامل ارائه می‌دهد. این دیدگاه از دیدگاه زیستی روانی اجتماعی پشتیبانی می‌کند که پیشنهاد می‌کند سلامت فیزیولوژیکی، روان‌شناختی و شناختی به هم مرتبط هستند و بر بهزیستی فیزیکی، روانی و اجتماعی تأثیر می‌گذارند [۱۴]. به نظر می‌رسد ارتباط بین تغییرات ضربان قلب و تغییرات مرتبط با خستگی در عملکرد شناختی با ارتباطات مستقیم عملکردی و ساختاری بین کنترل واگ و چندین نواحی مغز، مانند نواحی لیمبیک و پیش‌پیشانی مرتبط باشد [۱۷].

پئنا و همکاران نشان دادند خستگی ذهنی ناشی از انجام فعالیت ذهنی طولانی می‌تواند باعث کاهش فعالیت عصب واگ و افزایش فعالیت سیستم سمپاتیک شود که در نتیجه آن ضربان قلب افزایش می‌یابد. اما این اصل تنها در زمانی اتفاق می‌افتد که تلاش ذهنی تنها انجام شود [۴۵]. زمانی که تلاش ذهنی و فعالیت ورزشی به صورت هم‌زمان انجام می‌شود به دلیل اینکه سیستم عصبی خودکار با فعالیت ورزشی جسمانی به اندازه زیادی فعال شده است، تلاش ذهنی نمی‌تواند این سیستم را بیشتر فعال کند [۱۷]. همچنین برون و همکاران دریافتند خستگی مغزی منجر به کاهش معنادار در تمایل به تلاش درک‌شده، کاهش تعهد به اهداف و افت عملکرد ورزشی می‌شود که این امر در شاخص‌های عینی، شامل کاهش میانگین ضربان قلب و کاهش حجم کار انجام‌شده مشهود بود [۴۶]. با این حال، ارائه بازخورد لحظه‌ای ضربان قلب (بیوفیدبک) به افراد کمک کرد تا با وجود

کمبود آدنوزین تری فسفات^{۱۹} و تجمع فسفات غیرآلی^{۲۰} باعث کاهش کارایی انقباض می‌شود و نیاز به افزایش تولید قلب برای حفظ عملکرد را ایجاد می‌کند [۳۳]. این تقاضا سیستم عصبی سمپاتیک را فعال می‌کند و باعث آزاد شدن کاتکولامین‌ها (اپی نفرین / نوراپی نفرین) از مغز فوق کلیوی و پایانه‌های عصبی سمپاتیک می‌شود. این هورمون‌ها به گیرنده‌های β_1 -آدرنرژیک^{۲۱} در گره سینوسی دهلیزی^{۲۲} متصل می‌شوند و در نتیجه نرخ ضربان قلب افزایش می‌یابد [۳۰]. همچنین کاهش حجم پلاسمای ناشی از تعریق با تأثیر بر مکانیسم فرانک-استارلینگ، ضربان قلب را کم می‌کند، از طرف دیگر، کمپرسور قلبی برای حفظ برون‌ده قلب افزایش می‌یابد [۳۴].

به‌طور کلی، این مکانیسم‌ها در مواجهه با خستگی حاد و استرس متابولیکی، خون‌رسانی به قسمت‌های مختلف بدن را حفظ می‌کنند؛ اگرچه فعال‌سازی طولانی مدت می‌تواند خطرات آریتمی را در افراد مستعد افزایش دهد [۳۳]. یافته پژوهش دربندی و همکاران نشان داد نظارت بر سیگنال‌های ضربان قلب ابزاری مؤثر برای ارزیابی خستگی فیزیکی در کارگاه‌های تولیدی و ساخت‌وساز است؛ زیرا رابطه مستقیمی بین ویژگی‌های خستگی و ضربان قلب وجود دارد. نتایج ارائه‌شده در این مقاله نشان داد روش پردازش پیشرفته سیگنال ضربان قلب به‌عنوان ابزاری مؤثر برای پایش دقیق و لحظه‌ای خستگی جسمانی به‌خوبی عمل می‌کند و به افزایش ایمنی کارگران و به حداقل رساندن حوادث کمک می‌کند [۳۵].

نتایج پایند و همکاران نشان داد در یک دوره تمرینی ۴ هفته‌ای با شدت کم، اما حجم رو به افزایش، مقیاس میزان ادراک سختی^{۲۳} تغییراتی را نشان می‌دهد که توسط داده‌های عینی ضربان قلب قابل تشخیص نبود [۳۷]. به‌ویژه جلسات تمرینی با درک ذهنی «متوسط» و «سخت» با افزایش خستگی مرتبط بودند، در حالی که بار تمرینی مبتنی بر ضربان قلب چنین ارتباطی را نشان نداد. یک تئوری رایج این است که میزان ادراک سختی در طول تمرین منعکس‌کننده فرمان مرکزی حرکتی است که از نواحی پیش حرکتی و حرکتی مغز ناشی می‌شود [۳۸]؛ علاوه‌براین فرمان حرکت مرکزی نیز به پاسخ HR به ورزش از طریق تعدیل فعالیت سیستم عصبی خودمختار کمک می‌کند [۳۹]. از سوی دیگر یافته پژوهش حاضر با نتایج پژوهش حبیبی و همکاران، دشتی خویدکی، کرنلیسن و همکاران هم‌راستا نیست [۴۱، ۴۰].

19. Adenosine triphosphate (ATP)
20. inorganic phosphate (PI)
21. Beta-1 adrenergic receptor
22. Sinoatrial node
23. Rating of Perceived Exertion (RPE)

متغیرها استفاده شد، اما عدم کنترل برخی عوامل مخدوشگر بالقوه مانند وضعیت هیدراتاسیون، مصرف کافئین و تفاوت‌های فردی در آستانه خستگی ممکن است بر نتایج تأثیر گذاشته باشد. درنهایت، این مطالعه مقطعی بود و توانایی استنباط روابط علی را محدود می‌کرد. پژوهش‌های آینده‌نگر با دوره‌های پیگیری طولانی‌تر و نمونه‌های متنوع‌تر می‌توانند این محدودیت‌ها را برطرف کنند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل اثرات فعالیت‌های جسمانی و مغزی بر پاسخ‌های فیزیولوژیک عینی و ذهنی در شرایط تمرینی تا حد و اماندگی طراحی شد. یافته‌ها نشان داد اگرچه هر دو نوع فعالیت منجر به بروز خستگی می‌شوند، اما سازوکار و جلوه‌های این خستگی از نظر فیزیولوژیک و ذهنی متفاوت است. فعالیت بدنی بیشتر با تغییرات آشکار در شاخص‌های فیزیولوژیک مانند ضربان قلب همراه بود، در حالی که فعالیت مغزی عمدتاً موجب افزایش بار شناختی و ادراک ذهنی از فشار شد. این نتایج دلالت بر آن دارند که خستگی نه تنها در سطح محیطی و عضلانی، بلکه در سطح مرکزی و شناختی نیز بروز می‌یابد. باتوجه به نتایج، افراد می‌توانند باتوجه به پاسخ‌های فیزیولوژیک بدن خود به فعالیت‌های بدنی، برنامه‌های ورزشی شخصی‌سازی شده‌ای طراحی کنند که هم از آسیب‌ها جلوگیری کند و هم به حداکثر بازدهی برسد.

یکی از اثرات نوآورانه این مطالعه بر روند توان‌بخشی، فراهم کردن چارچوبی کاربردی برای پیش‌بینی و مدیریت ظرفیت روان‌فیزیولوژیک بیماران در طول تمرینات باز توانی است. از منظر توان‌بخشی، یافته‌های این پژوهش می‌توانند به عنوان مبنایی برای طراحی مداخلات چندبعدی در درمان بیماران نورولوژیک، به ویژه آن‌هایی که دچار نقص‌های عملکردی مرکزی و محیطی هستند، به کار روند. به طور خاص، پیشنهاد می‌شود در مراحل اولیه باز توانی برای بیماران مبتلا به سکته مغزی یا پارکینسون، تمرینات با بار شناختی کم و نظارت دقیق فیزیولوژیک آغاز شود و به تدریج با افزایش تحمل سیستم عصبی، اجزای شناختی به برنامه تمرینی افزوده شود.

از سوی دیگر، استفاده از شاخص‌های خستگی (مانند HR و میزان ادراک سختی) می‌تواند در شخصی‌سازی پروتکل‌های توان‌بخشی و تطبیق آن با ظرفیت عصبی-عضلانی بیمار، نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کند. همچنین این نتایج برای طراحی پروتکل‌های تمرینی در توان‌بخشی قلبی نیز مفید است؛ جایی که تنظیم دقیق شدت تمرین براساس پاسخ فیزیولوژیک، می‌تواند از وارد آمدن استرس بیش‌ازحد به سیستم قلبی-عروقی جلوگیری کرده و ایمنی تمرین را افزایش دهد. درواقع با مشخص شدن اینکه پاسخ به خستگی در فعالیت‌های جسمانی و شناختی دارای الگوهای متفاوتی است، این امکان فراهم می‌شود که قبل از

خستگی ذهنی، سطح عملکردی مشابه شرایط بدون خستگی را حفظ کنند [۴۶]. از سوی دیگر یافته پژوهش حاجی آقا بزرگی و همکاران با یافته پژوهش حاضر همراستا نیست. آن‌ها نشان دادند خستگی ذهنی می‌تواند موجب کاهش فعالیت عصب واگ و افزایش فعالیت دستگاه سمپاتیک شود که در نتیجه آن ضربان قلب افزایش می‌یابد [۴۷].

از سوی دیگر نتایج پژوهش‌های تصویربرداری عصبی اخیر واتاناب نشان داده است خستگی ذهنی منجر به تغییرات خاصی در فعالیت متابولیک قشر پیشانی مشاهده شده است [۴۸]. این کاهش فعالیت با اختلال در اجرا مانند مهار پاسخ اختلال همراه است که می‌تواند در آزمایش‌های رفتاری مانند «برو-نرو» (GO/NO-GO) اندازه‌گیری شود [۴۷]. در تبیین این فرضیه می‌توان این چنین بیان کرد در سطح فیزیولوژیک، محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال^{۲۴} به عنوان یک سیستم یکپارچه هماهنگ‌کننده پاسخ‌های استرس و خستگی عمل می‌کند. ترشح هورمون آزادکننده کورتیکوتروپین^{۲۵} از هیپوتالاموس و ترشح هورمون آدرنوکورتیکوتروپیک^{۲۶} از غده هیپوفیز منجر به تنظیم کورتیزول می‌شود که مستقیماً بر عملکرد سیستم عصبی خودمختار تأثیر می‌گذارد [۴۷]. تغییرات در تعادل سمپاتوواگال که از طریق شاخص‌هایی، مانند تغییرپذیری ضربان قلب قابل‌اندازه‌گیری است، منعکس کننده این فعل و انفعالات پیچیده است [۴۷].

در سطح سلولی و مولکولی، تغییرات در انتقال‌دهنده‌های عصبی، از جمله گلوتامات، نوراپی نفرین و دوپامین، به عنوان پیوندهای حیاتی بین فعالیت عصبی و عملکرد قلبی-عروقی عمل می‌کنند [۴۹]. این تغییرات عصبی شیمیایی، نه تنها بر عملکرد شناختی تأثیر می‌گذارد، بلکه فعالیت قلبی را از طریق مسیرهای نزولی تعدیل می‌کند [۵۰]. بنابراین خستگی ذهنی را می‌توان به عنوان نتیجه نهایی بی‌نظمی در این سیستم عصبی فیزیولوژیک یکپارچه درک کرد که در هر دو سطح رفتاری (اختلال شناختی) و فیزیولوژیک (تغییرات ضربان قلب) ظاهر می‌شود [۵۰].

اگرچه این مطالعه به بررسی تأثیر خستگی مغزی و جسمانی بر تغییرات ضربان قلب و ادراک از خستگی جسمانی و ذهنی پرداخته است، اما با چند محدودیت مهم همراه بوده است. نخست آنکه نمونه‌گیری عمدتاً از جمعیت جوان و سالم انجام شده که ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج به گروه‌های سنی دیگر یا افراد با شرایط پزشکی خاص را محدود کند. دوم، ارزیابی خستگی به صورت تجربی و در محیط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد که ممکن است کاملاً بازتاب‌دهنده شرایط واقعی زندگی روزمره نباشد. همچنین اگرچه از روش‌های استاندارد برای اندازه‌گیری

24. Hypothalamic-Pituitary-Adrenal (HPA)

25. Corticotrophin-Releasing Hormone (CRH)

26. Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH)

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشجویانی که در این مطالعه شرکت کردند، به خاطر همکاری‌شان تشکر و قدردانی می‌کنند.

بروز خستگی بحرانی، با تحلیل هم‌زمان داده‌های عینی و ذهنی، شدت و محتوای تمرینات بازتنظیم شود [۲۱].

همچنین یافته‌های مطالعه می‌توانند در طراحی دوره‌های توانبخشی پله‌ای و مرحله‌بندی‌شده کاربرد داشته باشند. به عبارتی، این امکان ایجاد می‌شود که این دوره‌ها ابتدا با تمریناتی شروع شود که بار ذهنی یا جسمانی کمتری دارند و سپس با پیشرفت وضعیت بیمار، میزان درگیری هر حوزه افزایش یابد. این نوع برنامه‌ریزی تطبیقی، به‌ویژه برای افرادی که دچار کاهش تحمل روانی یا قلبی عروقی هستند (مانند سالمندان، بیماران قلبی و افراد دچار افسردگی پس از سکته مغزی)، بسیار مؤثر خواهد بود. بنابراین تبیین کامل پدیده خستگی مستلزم درک چندسویه از تعاملات بین سیستم عصبی مرکزی، مکانیسم‌های تنظیم روان‌شناختی و مؤلفه‌های جسمانی است. این امر به‌ویژه در شرایطی مانند تمرینات فشرده، ورزش‌های نیازمند تمرکز بالا، یا مداخلات توانبخشی، اهمیت دوچندان می‌یابد. با اتکا به این یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود در طراحی و نظارت بر تمرینات ورزشی، رویکردی جامع و چندبعدی اتخاذ شود که نه فقط بار جسمانی، بلکه بار شناختی ذهنی تمرین را نیز لحاظ کند. همچنین بررسی مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک مرتبط با خستگی شناختی می‌تواند افق‌های جدیدی در فهم نقش مغز در محدودسازی عملکرد جسمانی و تنظیم رفتار حرکتی فراهم آورد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق پژوهشگاه تربیت بدنی در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره SSRI.REC-2211-1962 دریافت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد فاطمه سادات موسویان در **دانشگاه الزهرا** است و هیچ کمک مالی از ارگان‌های تأمین مالی در بخش‌های دولتی، تجاری و یا غیرانتفاعی دریافت نکرد.

مشارکت نویسندگان

ایده‌پردازی، طراحی روش: پروانه شمسی پوردهکردی؛ جمع‌آوری داده‌ها و تهیه نسخه اولیه مقاله: فاطمه سادات موسویان؛ طراحی روش و آنالیز داده‌ها: مریم خلجی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- [1] Goodman JM, Banks L, Connelly KA, Yan AT, Backx PH, Dorian P. Excessive exercise in endurance athletes: Is atrial fibrillation a possible consequence? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2018; 43(9):973-6. [DOI:10.1139/apnm-2017-0764] [PMID]
- [2] Gańko T, Szafrńska W, Kahan W, Poborowska D, Wojacek M, Bąk E, et al. Effects of physical activity on the cardiovascular system. *Quality in Sport*. 2024; 21:53890. [DOI:10.12775/QS.2024.21.53890]
- [3] Nystoriak MA, Bhatnagar A. Cardiovascular effects and benefits of exercise. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2018; 5:135. [PMID]
- [4] Lavie CJ, Arena R, Swift DL, Johannsen NM, Sui X, Lee DC, et al. Exercise and the cardiovascular system: Clinical science and cardiovascular outcomes. *Circulation Research*. 2015; 117(2):207-19. [DOI:10.1161/CIRCRESAHA.117.305205] [PMID]
- [5] Tiwari R, Kumar R, Malik S, Raj T, Kumar P. Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability. *Current Cardiology Reviews*. 2021; 17(5):e160721189770. [DOI:10.2174/1573403X16999201231203854] [PMID]
- [6] Baggish AL, Wood MJ. Athlete's heart and cardiovascular care of the athlete: Scientific and clinical update. *Circulation*. 2011; 123(23):2723-35. [DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.110.981571] [PMID]
- [7] Verma AK, Garg A, Xu D, Bruner M, Fazel-Rezai R, Blaber AP, et al. Skeletal muscle pump drives control of cardiovascular and postural systems. *Scientific Reports*. 2017; 7:45301. [DOI:10.1038/srep45301] [PMID]
- [8] Skytjoti M, Søvik S, Elstad M. Respiratory pump maintains cardiac stroke volume during hypovolemia in young, healthy volunteers. *Journal of Applied Physiology*. 2018; 124(5):1319-25. [DOI:10.1152/japplphysiol.01009.2017] [PMID]
- [9] Farah BQ, Andrade-Lima A, Germano-Soares AH, Christofaro DGD, de Barros MVG, do Prado WL, et al. Physical activity and heart rate variability in adolescents with abdominal obesity. *Pediatric Cardiology*. 2018; 39(3):466-72. [DOI:10.1007/s00246-017-1775-6] [PMID]
- [10] Savić M, Milivojević M, D'Onofrio R. Changes in heart rate during activity and recovery. *Italian Journal of Sports Rehabilitation and Posturology*. 2022; 9(S1):1-9. [Link]
- [11] Zanuto EF, Ritti-Dias RM, Tebar WR, Scarabottolo CC, Delfino LD, Casonatto J, et al. Is physical activity associated with resting heart rate in boys and girls? A representative study controlled for confounders. *Jornal de Pediatria*. 2020; 96(2):247-54. [DOI:10.1016/j.jped.2018.10.007] [PMID]
- [12] Delliaux S, Delaforge A, Deharo JC, Chaumet G. Mental workload alters heart rate variability, lowering non-linear dynamics. *Frontiers in Physiology*. 2019; 10:565. [DOI:10.3389/fphys.2019.00565] [PMID]
- [13] Bozorgi H, Rajabi H, Barzegarpour HR, Milani RF. [The effect of simultaneous submaximal physical exercise and mental exertion on fatigue indices in active men (Persian)]. *Journal of Sport and Exercise Physiology*. 2021; 14(2/1):1-10. [DOI:10.52547/joeppa.14.2.1]
- [14] Forte G, Favieri F, Casagrande M. Heart rate variability and cognitive function: A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*. 2019; 13:710. [DOI:10.3389/fnins.2019.00710] [PMID]
- [15] Matuz A, van der Linden D, Kisander Z, Hernádi I, Kázmér K, Csathó Á. Enhanced cardiac vagal tone in mental fatigue: Analysis of heart rate variability in Time-on-Task, recovery, and reactivity. *PLoS One*. 2021; 16(3):e0238670. [DOI:10.1371/journal.pone.0238670] [PMID]
- [16] Wei L, Chen H, Wu GR. Heart rate variability associated with grey matter volumes in striatal and limbic structures of the central autonomic network. *Brain Research*. 2018; 1681:14-20. [DOI:10.1016/j.brainres.2017.12.024] [PMID]
- [17] Di Lorenzo L, Capaldi C, Maisto A, DeVita G, D'Avanzo C. Intensive rehabilitation services in Italy: New 2024 guidelines and general process requirements improving appropriateness and quality. *Journal of Hospital Management and Health Policy*. 2024; 8:9. [DOI:10.21037/jhmhp-24-11]
- [18] Smith MR, Coutts AJ, Merlini M, Deprez D, Lenoir M, Marcora SM. Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2016; 48(2):267-76. [DOI:10.1249/MSS.0000000000000762] [PMID]
- [19] Greeley B, Larssen BC, Ferris J, Yeganeh NM, Andrushko JW, Chau B, et al. High intensity exercise paired with motor practice benefits cognitive performance in stroke and older adults. *Med Rxiv*. 2023; 11:2023-02. [Preprint] [Link]
- [20] Ku PH, Yang YR, Yeh NC, Li PY, Lu CF, Wang RY. Prefrontal activity and heart rate variability during cognitive tasks may show different changes in young and older adults with and without mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2024; 16:1392304. [DOI:10.3389/fnagi.2024.1392304] [PMID]
- [21] Fattahi M, Ghasemi Gh. [The effect of fatigue on the electrical activity of lower limb muscles in the lower limb functional test (Persian)]. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2017; 14(1): 48-58. [Link]
- [22] Henderson J, Kavussanu M, Gallicchio G, Ring C. Effects of task difficulty on performance and event-related bradycardia during preparation for action. *Psychology of Sport and Exercise*. 2024; 70:102548. [DOI:10.1016/j.psychsport.2023.102548] [PMID]
- [23] Ghorbani R, Hadadnezhad M, Shoaedin S. The effect of core muscle fatigue on upper limb function and functional movement screening scores of male athletes: A purposeful semi-experimental study. *Journal for Research in Sport Rehabilitation*. 2024; 12(23):115-29. [Link]
- [24] Ramos Bernardes da Silva Filho S, Oliveira Barbosa JH, Rondinoni C, Dos Santos AC, Garrido Salmon CE, da Costa Lima NK, et al. Neuro-degeneration profile of Alzheimer's patients: A brain morphometry study. *NeuroImage. Clinical*. 2017; 15:15-24. [DOI:10.1016/j.nicl.2017.04.001] [PMID]

- [25] Lee KFA, Gan WS, Christopoulos G. Biomarker-informed machine learning model of cognitive fatigue from a heart rate response perspective. *Sensors*. 2021; 21(11):3843. [DOI:10.3390/s21113843] [PMID]
- [26] Rezaizmanesh S, Shetab Boushehri N, Shafinia P, Doostan M. [The effects of temporal preparation and handedness on function neuropsychological (Persian)]. *Journal of Neuropsychology*. 2015; 2(1):89-104. [Link]
- [27] Coutinho D, Gonçalves B, Wong DP, Travassos B, Coutts AJ, Sampaio J. Exploring the effects of mental and muscular fatigue in soccer players' performance. *Human Movement Science*. 2018; 58:287-96. [PMID]
- [28] Straker LM. Body discomfort assessment tools. In: Karwowski W, Marras WS, editors. *The occupational ergonomics handbook*. Boca Raton (FL): CRC Press; 1999. [Link]
- [29] Satoshi H, Kengo H, Erika M, Nishizawa K, Kobayashi Sh, Niki Y, et al. Biomechanical correlation between trunk and foot kinematics during golf swing movement before and after fatigue. 2021. [Unpublished]. [Link]
- [30] Kazemizadeh V, Behpour N. The effect of sleep deprivation on objective and subjective physiological responses of student-athletes. *Journal of Health and Safety at Work*. 2022; 12(1):222-36. [Link]
- [31] Moradi Y, Asad MR, Naderian E, Pardavar A. [The effect of performing a sports activity until the fatigue threshold in the morning and evening on body temperature, heart rate and systolic and diastolic blood pressure in young boys (Persian)]. Paper presented at: Fifth International Conference on Modern Research in Sports Sciences and Physical Education. 21 January 2021; Hamadan, Iran. [Link]
- [32] Daneshmandi H, Choobineh AR, Rajaei-Fard A. [Validation of Borg's RPE 6-20 scale in male industrial workers of Shiraz City based on heart rate (Persian)]. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2012; 11(1):1-10. [Link]
- [33] Gardner RT, Ripplinger CM, Myles RC, Habecker BA. Molecular mechanisms of sympathetic remodeling and arrhythmias. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2016; 9(2):e001359. [DOI:10.1161/CIRCEP.115.001359]
- [34] Palermi S, Cavarretta E, D'Ascenzi F, Castelletti S, Ricci F, Vecchiato M, et al. Athlete's Heart: A cardiovascular step-by-step multimodality approach. *Reviews in Cardiovascular Medicine*. 2023;24(5):151. [DOI:10.31083/j.rcm2405151] [PMID]
- [35] Malhotra A, Moshal K. Effect of exercise on heart rate - curiosity turned into an experiment. *Journal of Student Research*. 2024; 13(1). [DOI:10.47611/jsrshs.v13i1.6012]
- [36] Darbandy MT, Rostamnezhad M, Hussain S, Khosravi A, Nahavandi S, Sani ZA. A new approach to detect the physical fatigue utilizing heart rate signals. *Research in Cardiovascular Medicine*. 2020; 9(1):23-7. [DOI:10.4103/rcm.rcm_8_20]
- [37] Pind R, Hofmann P, Mäestu E, Vahtra E, Purge P, Mäestu J. Increases in RPE rating predict fatigue accumulation without changes in heart rate zone distribution after 4-week low-intensity high-volume training period in high-level rowers. *Frontiers in Physiology*. 2021; 12:735565. [DOI:10.3389/fphys.2021.735565] [PMID]
- [38] Jacquet T, Lepers R, Poulin-Charronnat B, Bard P, Pfister P, Pageaux B. Mental fatigue induced by prolonged motor imagery increases perception of effort and the activity of motor areas. *Neuropsychologia*. 2021; 150:107701. [DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2020.107701] [PMID]
- [39] Wan HY, Bunsawat K, Amann M. Autonomic cardiovascular control during exercise. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology*. 2023; 325(4):H675-86. [DOI:10.1152/ajpheart.00303.2023] [PMID]
- [40] 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. *Journal of Human Hypertension*. 2010; 24(3):175-82. [DOI:10.1038/jhh.2009.51] [PMID]
- [41] Dashti H. The effect of programmed exercise on body compositions and heart rate of 11-13 years-old male students [Persian]. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*. 2011; 13(6):e93836. [Link]
- [42] Honório S, Batista M, Silva MG. Physical activity practice and healthy lifestyles related to resting heart rate in health sciences first-year students. *American Journal of Lifestyle Medicine*. 2019 Oct 8;16(1):101-8. [DOI:10.1177/1559827619878661] [PMID]
- [43] Seiler KS, Kjerland GØ. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an «optimal» distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2006; 16(1):49-56. [DOI:10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x] [PMID]
- [44] Van Cutsem J, Marcora S, De Pauw K, Bailey S, Meeusen R, Roelands B. The effects of mental fatigue on physical performance: A systematic review. *Sports Medicine*. 2017; 47(8):1569-88. [DOI:10.1007/s40279-016-0672-0] [PMID]
- [45] Penna EM, Filho E, Wanner SP, Campos BT, Quinan GR, Mendes TT, et al. Mental fatigue impairs physical performance in young swimmers. *Pediatric Exercise Science*. 2018; 30(2):208-15. [PMID]
- [46] Brown DM, Bray SR. Heart rate biofeedback attenuates effects of mental fatigue on exercise performance. *Psychology of Sport and Exercise*. 2019; 41:70-9. [DOI:10.1016/j.psychsport.2018.12.001]
- [47] Watanabe Y. PET/SPECT/MRI/fMRI studies in the myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome. In: Dierckx RA, Otte A, de Vries EFJ, van Waarde A, Sommer IE, editors. *PET and SPECT in psychiatry*. Cham: Springer; 2021. [DOI:10.1007/978-3-030-57231-0_32]
- [48] Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*. 2017; 5:258. [DOI:10.3389/fpubh.2017.00258] [PMID]
- [49] Benarroch EE. Physiology and pathophysiology of the autonomic nervous system. *Continuum (Minneapolis)*. 2020; 26(1):12-24. [DOI:10.1212/CON.0000000000000817] [PMID]
- [50] Arnsten AF, Raskind MA, Taylor FB, Connor DF. The effects of stress exposure on prefrontal cortex: Translating basic research into successful treatments for post-traumatic stress disorder. *Neurobiology of Stress*. 2015; 1:89-99. [DOI:10.1016/j.ynstr.2014.10.002] [PMID]

This Page Intentionally Left Blank