Journal of Sport and Exercise Physiology
2024, 17(3): 124-138

Review Article

The impact of ischemic preconditioning on some aspects of sports performance: A review article

Fereshteh Shahidi*, Saeed Khaje Bahrami

Department of Eexercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Abstract

Ischemic Preconditioning (IPC) is a relatively new and non-invasive method involving the application of limited blood flow and its subsequent reperfusion in a specific body organ, such as the hand or leg, using a cuff pressure device. The main goal of this method is to prepare the body to cope with more severe ischemic injuries that may occur in the future. Although, IPC has gathered significant attention in clinical settings, its effects on aerobic, resistance, and speed performance and underlying mechanisms remain unclear and contradictory. Therefore, the aim of this comprehensive review article is to examine the impact of IPC on aerobic, resistance, and speed performance. Studies investigating the effects of IPC on various aspects of sports performance were included in this analysis. Relevant scientific articles were extensively searched by two researchers using databases such as PubMed, SID, Magiran, and Google Scholar. The selected keywords for the search included ischemic preconditioning, aerobic, strength, and speed performance. The inclusion criteria for the selected studies involved human subjects, publication in reputable scientific or peer-reviewed journals, and evaluation of the desired variables in these studies. A total of 15 studies were examined in this review. The diversity of exercise protocols, target body parts, intensity, and other known and unknown factors were evaluated in the findings section. Overall, the effectiveness of IPC on sports performance variables indicated its positive impact on aerobic, strength, and speed performance. These positive adaptations are created through various signaling pathways, including neural, humoral, and intercellular mechanisms. These processes play a significant role in how our body respond to stimuli such as ischemic preconditioning. It seems that ischemic preconditioning has an effective impact on sports performance. However, considering the limited and conflicting current research on its effects, further studies in this area are necessary.

Keywords: Ischemic Preconditioning, Blood Flow Restriction, Reperfusion, Exercise Training**.**

How to cite this article: Shahidi F, Khaje Bahrami S. The impact of ischemic preconditioning on some aspects of sports performance: A review article. J Sport Exerc Physiol. 2024;17(2):124-138.

* Corresponding Author's E-mail: Fe-Shahidi@sru.ac.ir
https://doi.org/10.48308/joeppa.2024.235638.1246
Received: 10/05/2024 Revised: 11/06/2024 Accepted: 13/06/2024

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۳، دوره ۱۷، شماره ۳، صفحه‌های ۱۲۴-۱۳۸

مقاله مروری

نقش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر برخی از جنبه‌های عملکرد ورزشی: یک مقالهٔ مروری

فرشته شهیدی*، سعید خواجه بهرامی

گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک (IPC) روش نسبتاً جدید و غیرتهاجمی شامل اعمال محدودیت جریان خون و برقراری مجدد آن در یک اندام مشخص، مانند دست یا پا، با استفاده از کاف فشارسنج است. هدف اصلی این روش، آماده‌سازی بدن برای مقابله با آسیب‌های ایسکمیک شدیدتری است که شاید در آینده رخ دهد. با اینکه IPC توجه زیادی را در بخش‌های بالینی به خود جلب کرده است، تأثیرات آن بر عملکرد ورزشی و سازوکارهای زیربنایی درگیر همچنان محدود و متناقض است. بنابراین هدف از این مقالهٔ مروری جامع، بررسی تأثیر IPC بر عملکرد هوازی، مقاومتی و سرعتی است. مطالعاتی که تأثیر IPC بر جنبه‌های گوناگون عملکرد ورزشی را بررسی کرده‌اند، در این تحلیل گنجانده شده‌اند. برای دسترسی به مقالات علمی مرتبط، پایگاه‌های اطلاعاتی مانند PubMed، SID، Magiran و Google Scholar به‌طور گسترده توسط دو پژوهشگر جست‌وجو شدند. کلمات کلیدی انتخاب‌شده برای جست‌وجو شامل پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک، عملکرد هوازی، قدرتی و سرعتی بود. معیارهای ورود به پژوهش‌ها انتخابی شامل آزمودنی‌های انسانی و انتشار در مجلات علمی یا پژوهشی معتبر و ارزیابی متغیرهای موردنظر در این پژوهش‌ها بود. روی‌هم‌رفته ۱۵ پژوهش بررسی شد. گستردگی روش‌های تمرین، اندام‌های هدف، شدت و سایر عوامل شناخته‌شده و ناشناخته در بخش یافته‌ها ارزیابی شد و روی‌هم‌رفته اثربخشی IPC بر متغیرهای عملکرد ورزشی بیانگر تأثیر مثبت آن بر عملکرد هوازی، قدرتی و سرعتی بود. این سازگاری‌های مثبت از طریق مسیرهای پیام‌رسانی گوناگون از جمله سازوکارهای عصبی، هومورال و بین‌سلولی ایجاد می‌شود. این فرایندها نقش مهمی در نحوهٔ واکنش بدن ما به محرک‌هایی مانند پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دارند. گمان می‌رود که پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک (IPC) روی عملکرد ورزشی مؤثر است. هرچند با توجه به پژوهش‌های محدود و متناقض فعلی در خصوص تأثیرات آن، انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه ضروری است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک، محدودیت جریان خون، بازجریان، تمرین ورزشی

نحوه استناد به این مقاله: شهیدی ف، خواجه بهرامی س. نقش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر برخی از جنبه‌های عملکرد ورزشی: یک مقالهٔ مروری. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی.۱۴۰۳؛۱۷(۲):۱۲۴-۱۳۸.

* رایانامه نویسنده مسئول: Fe-Shahidi@sru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴

مقدمه

پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک یک روش محافظتی است که از طریق ایجاد تناوب‌های ایسکیمی و بازجریان کنترل‌شده، آستانهٔ تحمل بافت‌ها را در برابر آسیب‌های ایسکیمیک بعدی افزایش می‌دهد (۱-۳). این روش در ابتدا توسط مری و همکاران در سال ۱۹۸۶ معرفی شد (۴). آن‌ها با ایجاد چهار تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای، به‌صورت موضعی در سرخرگ کرونری سگ‌های بی‌هوش‌شده، پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک اعمال کردند. سپس سگ‌ها را در معرض یک ایسکیمی ۴۰ دقیقه‌ای قرار دادند. پس از چهار روز، اندازهٔ سکتهٔ قلبی بین گروه آزمایش و گروه کنترل مقایسه شد. آن‌ها کاهش ۲۵ درصدی اندازهٔ سکته را در گروهی که تحت پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک قرار گرفته بودند، گزارش کردند. پژوهش‌های بعدی نشان داد که اعمال غیرتهاجمی ایسکیمی و بازجریان در یک اندام دور نیز می‌تواند موجب ایجاد تأثیرات محافظتی مشابه شود که این روش تحت عنوان پیش‌آماده‌سازی ایسکیمی دور[1] شناخته شد. این پیش‌آماده‌سازی به‌صورت تهاجمی از طریق جراحی یا غیرتهاجمی با استفاده از کاف فشارسنج اعمال می‌شود. برتری اصلی پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک دور در مقابل سایر راهبردهای محافظتی سهولت انجام و غیرتهاجمی بودن آن است؛ به‌گونه‌ای که تنها با استفاده از یک کاف فشارسنج و انسداد جریان خون اندام هدف می‌توان آن را اعمال کرد.

پژوهش‌های پیشین نشان داده است که این روش می‌تواند در دستگاه‌های قلب و عروق، کبد و مغز تأثیرات محافظتی بر جای بگذارد (۵-۷). در همین زمینه مشخص شده است که اعمال ایسکیمی و بازجریان در تناوب‌ها و زمان‌های گوناگون عملکرد قلبی-عروقی را بهبود می‌بخشد (۴، ۸). بیان شده است که پیش آماده‌سازی ایسکیمیک دور می‌تواند موجب بهبود گردش خون شود (۹). در پژوهشی دیگر بیان شده است که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک فعالیت پلاکتی را نیز کاهش می‌دهد که شاید دلیلی بر کاهش میزان تشکیل ترومبوز و تأثیر بر دستگاه هومئوستازی باشد (۱۰، ۱۱). از سوی دیگر بیان شده است که اجتماع-مونوسیتی-پلاکتی در جریان خون نیز در پی پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دور کاهش یافته است (۱۲). گمان می‌رود نقش دستگاه‌های عملکردی اندوتلیال و سنتز NO در این فرایندها پررنگ است (۱۳). این سازگاری‌ها می‌تواند از بروز آسیب عروقی و در نتیجه ایجاد تداخل در دستگاه هومئوستازی نیز پیشگیری کند (۱۴، ۱۵).

پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دور با ایجاد شرایط محدودیت کالریک وهایپوکسی، دفاع سلولی را تقویت می‌کند. در این شرایط فراورده‌های سوخت‌وسازی مانند لاکتات،ADP، آدنوزین و غیره درون خون رها می‌شوند که مشخص شده است می‌توانند موجب سازگاری‌های عملکردی شوند (۱۶). در شرایط ایسکیمیک، سوخت‌وساز بی‌هوازی در اولویت تأمین انرژی سلولی قرار می‌گیرد که این شرایط با کارایی و تأمین ATP کمتری همراه است و از سوی دیگر به تجمع اسید لاکتیک منجر می‌شود. کاهش مقدار ATP، همراه با اسیدوز داخل‌سلولی موجب اختلال هموستاز یونی و افزایش کنترل‌نشدنی یون‌های داخل‌سلولی از جمله کلسیم می‌شود. ایسکیمی همچنین موجب ایجاد گونه‌های اکسیژن واکنشی (ROS) می‌شود که علاوه بر تشدید اختلالات یونی، از طریق کاهش عملکرد سارکولما و میتوکندری‌ها، به مرگ سلولی نیز منجر می‌شود (۱۷). تداوم این شرایط سازگاری‌هایی را در پی دارد (۱۶). شواهد جدید نشان می‌دهد که این سازگاری‌ها از مسیرهای عصبی، هورمونی و یا سلولی

رخ می‌دهند و می‌توانند موجب بهبود عملکرد ورزشی نیز شوند (۱۸، ۱۹).

برخی پژوهش‌ها گزارش کرده‌اند که با توجه به وجود شباهت در سازوکارهای زیربنایی پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک و فعالیت‌های ورزشی، اعمال این روش می‌تواند موجب بهبود عملکرد ورزشی شود. گمان می‌رود که فعالیت‌ها و تمرینات ورزشی شدید نیز با ایجاد هایپوکسی و یا تولید برخی متابولیت‌ها مشابه با تناوب‌های ایسکیمی و باز جریان عمل می‌کنند (۲۰).

پژوهش‌های اندکی در زمینهٔ تأثیر پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی انجام گرفته است و بسیاری از این تأثیرات نامشخص‌اند، هرچند این موضوع توجه زیادی را در بخش‌های بالینی به خود جلب کرده است، تأثیرات آن بر عملکرد ورزشی و سازوکارهای زیربنایی درگیر همچنان محدود و متناقض است. همین کمبود اطلاعات است که انجام پژوهش‌ها جامع را در این باره ضروری می‌نماید. در این مقاله یافته‌های پژوهش‌های پیشین در این باره مرور و بررسی می‌شود. بنابراین هدف از این مقالهٔ مروری جامع، بررسی تأثیر IPC بر عملکرد هوازی، مقاومتی و سرعتی است.

روش پژوهش

در این تحقیق مروری تأثیر پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر جنبه‌های گوناگون عملکرد ورزشی مورد توجه قرار گرفته است. . به‌منظور استخراج مقالات اصیل، جست‌وجو در پایگاه‌های پژوهش‌های الکترونیکی PubMed، SID، Magiran و Google Scholar با استفاده از کلیدواژه‌های پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک، تمرین ورزشی، عملکرد قدرتی، عملکرد هوازی و عملکرد سرعتی انجام گرفت. فهرست منابع مقالات استخراج‌شده نیز بررسی شد. تمام مراحل جست‌وجو توسط دو محقق انجام گرفت. معیارهای ورود به پژوهش شامل پژوهش‌ها انسانی و مقالات چاپ‌شده در نشریات معتبر بود. در خصوص آزمودنی‌های انسانی و شدت تمرینات و روش‌های مربوط به متغیرها نیز محدودیتی وجود نداشت. معیارهای خروج نیز پژوهش‌هایی با نمونه‌های حیوانی، مقالات غیر اصیل یا همراه با مداخلات دارویی بود. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از این مقالات، ارزیابی شد و نتایج مورد بحث قرار گرفت.

نتایج

در جدول ۱ خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین در خصوص تأثیر پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی ارائه شده است. سپس یافته‌ها به‌صورت تفکیک‌شده بررسی می‌شوند.

جدول ۱. پیشینهٔ پژوهشی

پژوهشگران	آزمودنی‌ها	روش	نتیجه
کاتیانوانگ و همکاران، ۲۰۲۰ (۲۱)	بیماران مبتلا به اسکلروزیس	سه تناوب پنج‌دقیقه‌ای ایسکیمی و بازجریان پیش از آزمون ورزشی شش دقیقه راه رفتن روی نوار گردان	بهبود عملکرد و افزایش مسافت طی‌شده
کارو و همکاران، ۲۰۱۹ (۲۲)	مردان جوان فعال	پنج تناوب (پنج‌دقیقه‌ای) ایسکیمی و بازجریان پیش از فعالیت هوازی	عدم تغییر سوخت‌وساز اکسایشی
گرونبک و همکاران، ۲۰۱۹ (۲۳)	بیماران مبتلا به نارسایی قلب مادرزادی	چهار تناوب (پنج‌دقیقه‌ای) ایسکیمی و بازجریان پیش از آزمون‌های عملکردی	عدم تغییر عملکرد میتوکندریایی عضلات و ظرفیت عملکردی
توکو و همکاران، ۲۰۱۴ (۲۴)	دونده‌های حرفه‌ای	سه تناوب ایسکیمیو بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت ورزشی هوازی	عدم تغییر در میانگین سرعت دویدن، اکسیژن مصرفی و عملکرد هوازی
باربوسا و همکاران، ۲۰۱۵ (۲۵)	مردان جوان فعال	سه مرحلهٔ ایسکیمی و سه مرحلهٔ بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت هندگریپ	به تأخیر انداختن واماندگی
بیلی و همکاران، ۲۰۱۲ (۲۶)	ورزشکاران جوان	چهار تناوب پنج‌دقیقه‌ای ایسکیمی و بازجریان پیش از فعالیت دویدن روی نوار گردان	بهبود عملکرد ورزشی و کاهش سطوح لاکتات

ادامه جدول ۱. پیشینهٔ پژوهشی

پژوهشگران	آزمودنی‌ها	روش	نتیجه
میشل و همکاران، ۲۰۱۱ (۲۷)	شناگران حرفه‌ای ۱۳ تا ۱۷ ساله	چهار مرحلهٔ ایسکیمی و چهار بازجریان بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت شنا	بهبود زمان شنا کردن
کریسفولی و همکاران، ۲۰۱۱ (۲۸)	افراد جوان فعال	پنج مرحلهٔ ایسکیمی و پنج مرحلهٔ بازجریان با زمان‌های سه‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت رکاب زدن به‌صورت فزاینده روی ارگومتر	عدم تغییر در اکسیژن مصرفی بیشینه/ بهبود عملکرد ورزشی
گروت و همکاران، ۲۰۱۰ (۲۹)	مردان و زنان دوچرخه‌سوار حرفه‌ای	سه تناوب ایسکیمی بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت رکاب زدن فزاینده	عدم تغییر تهویه،ضریب تنفسی، حداکثر ضربان قلب، سطوح لاکتات / بهبود اکسیژن مصرفی بیشینه
گرفین و همکاران، ۲۰۱۸ (۳۰)	افراد جوان سالم	چهار تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای به‌صورت موضعی و دور پیش از فعالیت ورزشی دوی سرعت	کاهش خستگی پس از فعالیت‌های ورزشی سرعتی
زینر و همکاران، ۲۰۱۷ (۳۱)	ورزشکاران حرفه‌ای	سه تناوب پنج‌دقیقه‌ای ایسکیمی و بازجریان پیش از فعالیت دوی سرعت	عدم تغییر اکسیژن مصرفی، ضربان قلب و عملکرد سرعتی
پترسن و همکاران، ۲۰۱۵ (۳۲)	مردان جوان فعال	چهار تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت ورزشی رکاب‌زنی سرعتی	بهبود میانگین و توان بیشینه در فعالیت سرعتی
گیبسن و همکاران، ۲۰۱۳ (۳۳)	ورزشکاران حرفه‌ای	سه تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های ۵ دقیقه‌ای پیش از فعالیت دوی سرعتی	عدم تغییر عملکرد سرعتی
سورکر و همکاران، ۲۰۲۰ (۳۴)	افراد بین سنین ۱۸ تا ۴۰ سال سالم	پنج تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت ورزشی قدرتی	بهبود عملکرد قدرتی
ولنزولا و همکاران، ۲۰۱۹ (۳۵)	افراد جوان سالم	سه تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت ورزشی قدرتی	عدم تغییر عملکرد قدرتی

نقش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی هوازی: گرونبک و همکاران تأثیر پیش آماده‌سازی ایسکیمیک را بر عملکرد ورزشی ۳۶ بیمار مبتلا به نارسایی قلبی ارزیابی و گزارش کردند که هیچ تغییر معناداری در ظرفیت اکسایشی میتوکندریایی و عملکرد ورزشی استقامتی و قدرتی آزمودنی‌ها در پی اعمال مداخله حاصل نشده است (۲۳). در پژوهش آنها آزمودنی‌ها سه بار در هفته به مدت شش هفته تحت روش منتخب پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دور قرار گرفتند. پیش و پس از اعمال مداخله ظرفیت عملکردی آزمودنی‌ها ارزیابی شد. روش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک نیز به‌صورت چهار تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای بود. پژوهشگران گزارش کردند که مداخلهٔ منتخب موجب تحریک سنتز پروتئین و بهبود کارایی میتوکندریایی نشده است، هرچند که با توجه به نوع بیماری آزمودنی‌ها و سازگاری آنها با شرایط هایپوکسیک، حصول این نتایج منطقی گزارش شده است. در پژوهشی ناهمسو تأثیر پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک بر عملکرد راه رفتن در ۷۵ بیمار مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس ارزیابی شد. افراد شرکت‌کننده در این پژوهش توانایی راه رفتن به مدت شش دقیقه را داشتند. برای اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک سه تناوب پنج‌دقیقه‌ای ایسکیمی و بازجریان انجام گرفت که اعمال ایسکیمی با استفاده از یک کاف فشارسنج در قسمت فوقانی بازو با فشار ۳۰ میلی‌متر جیوه فراتر از فشار خون سیستولی صورت پذیرفت. آزمودنی‌ها به مدت شش دقیقه آزمون پیاده‌روی را به‌صورت راه رفتن در مسیر ۱۴ متری به‌صورت رفت‌وبرگشت انجام دادند. تحلیل‌های آماری به‌صورت مقایسهٔ درون‌گروهی و بین‌گروهی در گروه‌های پیش‌آماده‌سازی و گروه شم انجام گرفت. به‌صورت کلی نتایج بیانگر افزایش ۱/۹ درصدی مسافت طی‌شده در گروه شم و ۵/۷ درصدی در گروه پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بود (۲۱). با توجه به اینکه در این پژوهش

تنها از یک جلسهٔ پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک اعمال‌شده و تنها از بیمارانی که توانایی راه رفتن و اجرای روش منتخب ورزشی را داشتند استفاده شده است، نتیجه‌گیری در خصوص تأثیرگذاری مداخلهٔ اعمال‌شده بر بیماران مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس دشوار است. با این حال استدلال شده است که پیش‌آماده‌سازی شاید از دو مسیر بر فعالیت‌های نورون‌های عصبی تأثیرات مثبت گذاشته باشد: ۱. مسیرهای پیام‌رسانی وابسته به هایپوکسی و ایسکیمی و ۲) تأثیرات ضدالتهابی پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک که موجب کاهش آسیب‌های عصبی شده است (۲۱). باربوسا و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی مردان جوان فعال را ارزیابی کردند. اعمال مداخلهٔ پیش‌آماده‌سازی به‌صورت سه مرحلهٔ ایسکیمی و سه مرحلهٔ بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای پیش از فعالیت موزون و آهنگین هندگریپ و ارزیابی زمان رسیدن به واماندگی بود. پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دور با استفاده از کاف فشارسنج در قسمت ران پا با فشار ۲۲۰ میلی‌متر جیوه اعمال شد. در گروه کنترل اعمال فشار ۱۰ میلی‌متر جیوه بود. آن‌ها گزارش کردند که اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک به تأخیر رسیدن به واماندگی منجر شده است (۲۵). با توجه به اینکه نتایج این پژوهش بیانگر عدم تغییر در جریان خون مویرگی و همچنین اکسیژن برداشتی در عضلهٔ در حال فعالیت بود، گزارش شده است که مسیرهای دیگری از جمله فرایندهای موزون و آهنگین و یا سازوکارهای هورمونی در بهبود عملکرد نقش داشته است. در پژوهشی متقاطع نیز، بیلی و همکاران (۲۰۱۲) بهبود عملکرد ورزشی زیربیشینه و عدم تغییر در اکسیژن مصرفی را گزارش کردند. در پژوهش آن‌ها ۱۳ مرد سالم فعال با میانگین سنی ۱۹ تا ۳۱ سال داوطلبانه شرکت کردند. آزمودنی‌ها به‌طور معمول در فعالیت‌های هوازی با شدت کم (برای نمونه پیاده‌روی) و متوسط (برای نمونه دویدن، دوچرخه‌سواری ثابت؛ دو تا سه روز در هفته) فعالیت می‌کردند. به‌منظور ایجاد مداخلهٔ پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک با استفاده از کاف فشارسنج در وضعیت خوابیده فشار ۲۲۰ میلی‌متر جیوه جریان شریانی در ناحیهٔ فوقانی هر دو ران به مدت پنج دقیقه اعمال شد. اعمال ایسکمیک چهار بار تکرار شد، و هر تناوب ایسکیمی با پنج دقیقه استراحت همراه بود. در مرحله‌ای دیگر، شرکت‌کنندگان روش یکسانی را دنبال کردند، اما در عوض، اعمال فشار کاف در ۲۰ میلی‌متر جیوه انجام گرفت (که جریان شریانی را تغییر نمی‌دهد). شرکت‌کنندگان آزمون حداکثر دویدن روی نوار گردان را انجام دادند. روش تمرینی با پنج مرحلهٔ سه‌دقیقه‌ای دویدن روی نوار گردان با شدت زیربیشینه (با سرعت ۱۰ تا ۱۴ کیلومتر در ساعت) آغاز شد. لاکتات خون در تمام مراحل مورد سنجش قرار گرفت. پس از ۴۵ دقیقه استراحت، آزمودنی‌ها آزمون دویدن به مسافت پنج کیلومتر را به‌صورت تایم ترایل (تعقیبی) انجام دادند. پژوهشگران گزارش کردند که اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک موجب بهبود عملکرد ورزشی هوازی در آزمودنی‌ها شده است. علاوه بر این، آنها کاهش غلظت لاکتات خون را در پی اعمال ایسکیمی در سطح فعالیتی زیربیشینه نیز گزارش کردند (۲۶). در این پژوهش اعمال ایسکیمی در ناحیهٔ فوقانی ران اعمال شد و اعمال ایسکیمی در اندام‌های دور بررسی نشده است. از سوی دیگر با توجه به اینکه آزمودنی‌ها در ابتدا تحت اعمال مداخله شم قرار گرفتند، مقایسهٔ نتایج باید با احتیاط صورت گیرد. در این پژوهش یکی از سازوکارهای احتمالی بهبود عملکرد ورزشی افزایش جریان خون و بهبود عملکرد عروقی گزارش شده است. همچنین کاهش تولید و یا افزایش برداشت لاکتات نیز از جمله فواید پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک مطرحشده است. کریسفولی و همکاران نیز ۱۷ مرد سالم و فعال را در پژوهشی ارزیابی و گزارش

کردند که اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک موجب بهبود عملکرد ورزشی بیشینهٔ رکاب‌زنی شده، اما موجب تغییر معنادار اکسیژن مصرفی بیشینه در آزمودنی‌ها نشده است (۲۸). از جمله دلایل احتمالی بهبود عملکرد ورزشی تغییر آستانهٔ تحریک آوران‌های خستگی تحت تأثیر متابولیت‌های محیطی و همچنین افزایش کارایی تأمین انرژی مسیرهای بی‌هوازی بیان شده است. در پژوهشی دیگر، میشل و همکاران در پژوهشی متقاطع شناگران مرد یا زن سالم ۱۳ تا ۲۷ سال را که در سطح ملی و منطقه‌ای قرار داشتند، ارزیابی و گزارش کردند که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک موجب بهبود عملکرد ورزشی در سطح زیر بیشینه نشد؛ اما عملکرد ورزشی بیشینه در شناگران حرفه‌ای بهبود یافت. اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک به‌صورت چهار تناوب پنج‌دقیقه‌ای ایسکیمی به‌صورت اعمال فشار با کاف فشارسنج به مقدار ۱۵ میلی‌متر جیوه فراتر از فشارخون سیستولی در اندام فوقانی و تناوب‌های پنج‌دقیقه‌ای برقراری مجدد جریان خون انجام شد. برای گروه کنترل اعمال فشار ۱۰ میلی‌متر جیوه تعیین شد. در مرحلهٔ دوم پژوهش که با فاصلهٔ زمانی یک هفته انجام گرفت، آزمودنی‌ها تحت مداخله‌ای قرار گرفتند که طی مرحلهٔ اول دریافت نکرده بودند. در مرحلهٔ اول پژوهش، آزمودنی‌ها دو آزمون شنا زیربیشینهٔ فزاینده و در مرحلهٔ دوم، دو آزمون بیشینه شنای رقابتی به‌صورت تعقیبی را انجام دادند. برای بررسی سازوکارهای احتمالی، نمونه‌های خون گرفته‌شده پیش و پس از RIPC برای خون‌رسانی به قلب موش‌های صحرایی و ارزیابی اندازهٔ سکتهٔ قلبی استفاده شد. از سوی دیگر پژوهشگران گزارش کردند که RIPC موجب کاهش اندازهٔ انفارکتوس در موش‌ها شده است (۲۷). توکو و همکاران نیز ۱۱ مرد سالم بین سنین ۲۶ تا ۴۲ سال را مورد ارزیابی قرار دادند. همه آزمودنی‌ها دونده‌های حرفه‌ای بودند که به‌طور متوسط ۱۰ تا ۱۲ ساعت در هفته فعالیت ورزشی منظم داشتند و در رقابت‌های ملی و منطقه‌ای شرکت می‌کردند. دو مرحله برای آزمون در نظر گرفته شد؛ در مرحلهٔ اول از آزمودنی‌ها خواسته شد که مسافت پنج هزار متری را طی کنند. در مرحلهٔ دوم پیش از آغاز فعالیت ورزشی مداخلهٔ پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک اعمال شد. برای ایجاد ایسکیمی با استفاده از کاف فشارسنج در قسمت فوقانی هر دو پا، طی سه مرحله به مقدار ۵۰ میلی‌متر جیوه فراتر از فشار خون سیستولی چرخه‌های ایسکیمی برقرار شد. در گروه شم فشار کاف ۱۰ میلی‌متر جیوه فراتر از فشارخون سیستولی بود. مدت زمان هر چرخهٔ ایسکیمی پنج دقیقه بود که با چرخه‌های بازجریان با مدت زمان مشابه مجزا می‌شد. پژوهشگران گزارش کردند که تفاوت معناداری در اکسیژن مصرفی و عملکرد هوازی گروه‌های گوناگون وجود نداشته است (۲۴). در مقابل گروت و همکاران نیز ۱۵ مرد و زن ورزشکار با میانگین سنی ۲۷ سال را در پژوهشی ارزیابی و گزارش کردند که به‌دنبال اعمال ایسکیمی بازجریان پیش از فعالیت رکاب‌زنی اکسیژن مصرفی بیشینه سه درصد افزایش داشته است (۲۹). روش ورزشی به‌صورت فعالیت بیشینهٔ رکاب‌زنی به‌صورت فزاینده بود که در تناوب‌های چهاردقیقه‌ای، با توان خروجی ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ وات ادامه یافت. در صورت عدم خستگی نیز به ازای هر دقیقه ۲۰ وات شدت رکاب‌زنی افزایش می‌یافت. از آزمودنی‌ها خواسته شده بود که سرعت رکاب‌زنی را بین ۶۰ تا ۸۰ دور در دقیقه حفظ کنند. پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک (IPC) با استفاده از انسداد شریانی در ناحیهٔ فوقانی هر دو پا در سه تناوب پنج‌دقیقه‌ای با فشار ۲۲۰ میلی‌متر جیوه و دوره‌های استراحتی پنج‌دقیقه‌ای انجام شد. پنج دقیقه پس از پیش‌آماده‌سازی آزمون ورزشی اجرا شد. آزمودنی‌ها دو فعالیت ورزشی بیشینه را روی دوچرخه ارگومتر اجرا کردند. آزمون کنترل نیز به فاصله زمانی یک هفته در زمان مشابه انجام شد. آنها دلیل

احتمالی افزایش اکسیژن مصرفی را سازوکارهای وابسته به نیتریک اکساید و افزایش کارایی میتوکندری‌ها بیان کردند. با توجه به اینکه جنسیت، روش ورزشی، روش پیش‌آماده‌سازی و سطح آمادگی آزمودنی‌ها با پژوهش‌های پیشین متفاوت بوده است، مغایرت موجود در یافته‌ها توجیه‌پذیر است. کارو و همکاران نیز با ارزیابی افراد غیرورزشکار، یافته‌های متفاوتی را گزارش کردند؛ آن‌ها با پژوهش روی ۱۵ آزمودنی سالم ۱۸ تا ۴۰ سال بیان کردند که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دور به تغییر معنادار سوخت‌وساز اکسایشی و بیشترین اکسیژن برداشتی منجر نشده است (۲۲). در این پژوهش آزمودنی‌ها در دو گروه پیش آماده‌سازی اسکیمیک دور و گروه کنترل قرار گرفتند. اکسیژن مصرفی بیشینهٔ آن‌ها مورد سنجش و اندازه‌گیری قرار گرفت و پس از یک هفته دو وهله آزمون ورزشی با شدت ۷۵ و ۱۱۵ درصد آستانهٔ تبادل گازی را انجام دادند. در گروه آزمایش فعالیت ورزشی پنج دقیقه پس از اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمی انجام شد. گروه کنترل نیز پیش از فعالیت مداخله‌ای نداشت. مرحلهٔ دوم نیز پس از یک هفته انجام گرفت. آزمون‌های فعالیت ورزشی با شدت ثابت در دو مرحله اجرا شدند؛ مرحلهٔ اول شامل پنج دقیقه گرم کردن، هشت دقیقه رکاب‌زنی با شدت ۷۵ درصد آستانهٔ تبادل گازی و پنج دقیقه سرد کردن بود. در مرحلهٔ دوم فعالیت ورزشی شامل پنج دقیقه گرم کردن، هشت دقیقه رکاب‌زنی با شدت ۱۱۵ درصد بیشینه آستانهٔ تبادل گازی و پنج دقیقه سرد کردن بود. در طول این فعالیت آزمودنی باید سرعت رکاب زدن را ۹۰ دور در دقیقه حفظ کند. مراحل آزمون با فاصلهٔ زمانی ۲۰ دقیقه‌ای از یکدیگر جدا شد. پژوهشگران گزارش کردند که زمان رسیدن به حداکثر سرعت و همچنین آستانه تبادل تنفسی در هر دو گروه مشابه بوده است.

نقش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی سرعتی: در پژوهشی متقاطع، گیبسن و همکاران گزارش کردند که اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک به تغییر معنادار عملکرد سرعتی در آزمودنی‌ها منجر نشده است (۳۳). در این پژوهش ۲۵ ورزشکار زن و مرد مورد پژوهش قرار گرفتند. آزمودنی‌ها در پی اعمال مداخلهٔ پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک یا پلاسبو فعالیت ورزشی سرعتی را انجام دادند. اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک با استفاده از کاف فشارسنج در ناحیهٔ ران با فشار ۲۲۰ میلی‌متر جیوه انجام گرفت. در گروه پلاسبو فشار ۵۰ میلی‌متر جیوه بود. پس از اعمال مداخله و گرم کردن، آزمودنی‌ها با فواصل استراحتی یک‌دقیقه‌ای، سه تناوب فعالیت سرعتی را در مسافت ۳۰ متری طی کردند. پژوهشگران استدلال کردند که به آستانه نرسیدن تولید متابولیت‌هایی مانند آدنوزین و برادی کینین به‌دنبال به‌کارگیری مداخله، دلیل عدم تغییر در عملکرد ورزشی بوده است. همراستا با این پژوهش، پژوهشگران ۱۴ آزمودنی ورزشکار را به‌منظور ارزیابی تأثیر پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی سرعتی بررسی و گزارش کردند که میانگین زمانی و شاخص‌های خستگی بین گروه‌های گوناگون تفاوت معناداری نداشته است (۳۱). در این پژوهش آزمودنی‌ها پس از طی دو مرحلهٔ آشناسازی، در مراحل سه و چهار پژوهش تحت اعمال مداخلهٔ پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک یا پلاسبو قرار گرفتند. مراحل آزمایش با فواصل زمانی پنج تا هفت روز و به‌صورت کانتربالانس اجرا شد. اعمال ایسکیمی در چهار تناوب پنج‌دقیقه‌ای با استفاده از کاف فشارسنج در ناحیهٔ فوقانی هر دو پا در فشار ۲۲۰ میلی‌متر جیوه اعمال شد. در گروه پلاسبو اعمال فشار ۲۰ میلی‌متر جیوه بود. فعالیت ورزشی سرعتی ۳۰ دقیقه پس از اعمال مداخلهٔ ایسکیمی یا پلاسبو انجام شد. روش گرم کردن شامل سه دقیقه رکاب‌زنی در شدت ۱۲۰ وات و دو مرحلهٔ سرعتی شش‌ثانیه‌ای بود که با یک دقیقه

استراحت تفکیک شدند و پس از آن پنج دقیقه استراحت غیرفعال در نظر گرفته شده بود. روش فعالیت ورزشی نیز شامل ۱۲ تناوب سرعتی شش‌ثانیه‌ای روی دوچرخهٔ ارگومتر بود. فواصل استراحتی نیز ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شده بود که طی آن آزمودنی به‌صورت غیرفعال روی دوچرخه می‌نشست. بر اساس گزارش‌ها، میانگین و بیشینهٔ برون‌ده توان در پی اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک افزایش معناداری داشت. آن‌ها همچنین بیان کردند که تغییرات EMG در گروه پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک نسبت به گروه پلاسبو بیشتر بوده است. از سوی دیگر، در پژوهشی ۱۳ آزمودنی زن و مرد ورزشکار با میانگین سنی ۲۴ سال بررسی شدند. آزمودنی‌ها چهار مرحلهٔ آشناسازی، پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک در ناحیهٔ پا، پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دور در ناحیهٔ دست و مرحلهٔ آزمون کنترل را پشت سر گذاشتند. در مراحل دوم، سوم و چهارم فعالیت ورزشی دوی سرعت تناوبی ۴۵ دقیقه س از اعمال انجام پذیرفت. مراحل گوناگون طی بازه‌های زمانی پنج تا هفت‌روزه تفکیک و به‌صورت کانتربالانس در زمان یکسان اجرا شد. روش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک در سه تناوب پنج‌دقیقه‌ای با فشار ۲۴۰ میلی‌متر جیوه با استفاده از کاف در هر دو ران پا (IPCleg) یا با فشار ۱۸۰ تا ۱۹۰ میلی‌متر جیوه در قسمت بازوها (IPCremote)در حالت خوابیده انجام گرفت. در مداخلهٔ کنترل، میزان فشار ۲۰ میلی‌متر جیوه بود. گرم کردن و فعالیت ورزشی دوی سرعتی ۴۰ دقیقه پس از مداخلات انجام شد. با توجه به اینکه آزمودنی‌های این پژوهش افراد ورزشکار حرفه‌ای بودند، گمان می‌رود که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک نتوانسته است تحریک لازم برای ایجاد تغییر در عملکرد ورزشی را ایجاد کند (۳۲). در مقابل، در پژوهشی اعمال چهار تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای به‌صورت موضعی و دور پیش از فعالیت ورزشی دوی سرعت موجب کاهش خستگی پس از فعالیت‌های ورزشی سرعتی در افراد غیرورزشکار شد (۳۰). بنابراین گمان می‌رود که تفاوت در نوع آزمودنی‌ها نقش تعیین‌کننده و مهمی در مغایرت بین نتایج داشته است.

نقش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی قدرتی: سورکر و همکاران نیز با اعمال پنج تناوب ایسکیمی با استفاده از کاف فشارسنج به‌صورت ایجاد ۲۰ میلی‌متر فشار جیوه فراتر از فشار خون سیستولی استراحتی و اعمال بازجریان با زمان‌های پنج دقیقه به میزان فشار ۱۰ میلی‌متر جیوه کمتر از فشار خون دیاستولی در قسمت فوقانی دست (اندام دور) پیش از فعالیت ورزشی قدرتی اکستنشن مچ دست به‌صورت شش تا هشت تکرار در شدت حدود ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه و در شش ست، عملکرد قدرتی را ارزیابی و گزارش کردند که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک دور موجب بهبود عملکرد قدرتی در آزمودنی‌ها شده است (۳۴). در مقابل، ولنزولا و همکاران با اعمال سه تناوب ایسکیمی و بازجریان در هر دو بازوی دست با استفاده از کاف فشارسنج به‌صورت اعمال فشار به میزان ۲۲۰ میلی‌متر جیوه در مقایسه با گروه شم با اعمال ۱۰ میلی‌متر جیوه، با زمان‌های پنج‌دقیقه‌ای ۴۰ دقیقه پیش از فعالیت ورزشی قدرتی که در سه ست با ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه تا حد خستگی اجرا شد، گزارش کردند که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمی موجب تغییر معنادار عملکرد قدرتی نشده است (۳۵). یکی از دلایل احتمالی مغایرت در نتایج، تفاوت نوع روش اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک است. از سوی دیگر شروع فعالیت‌های ورزشی پس از اعمال مداخله نیز در پنجره‌های زمانی متفاوتی انجام شده است که ضروری است در این خصوص پژوهش‌های بیشتری نیز انجام گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

اختلاف یافته‌ها شاید ناشی از شدت‌های گوناگون تمرینی، نوع آزمودنی‌ها، روش‌های گوناگون و تفاوت سازوکارهای زیربنایی مسیرهای به‌کارگیری انرژی طی فعالیت‌های گوناگون باشد. سازوکارهای گوناگونی در تأیید نقش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر تمرینات استقامتی وجود دارد. پژوهش‌ها نشان داده است که پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک به باز شدن کانال‌های پتاسیم حساس به ATP میتوکندری و افزایش کارایی سوخت‌وساز اکسایشی منجر می‌شود (۳۶) و می‌تواند موجب جذب سریع‌تر استیل-کوا (محصول تجزیه گلیکولیز) توسط میتوکندری شود، تجمع لاکتات را در سطح قابل قبول از دید سوخت‌وسازی حفظ کند و موجب افزایش تأمین هوازی ATP شود. از سوی دیگر تولید، انتقال و استفاده از لاکتات خون نیز نقش چشمگیری در تأمین ATP دارد (۲۷، ۲۹، ۳۷). بیان شده است که بهبود عملکرد عروقی به‌دنبال اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک، موجب انتقال بیشتر لاکتات به سایر بافت‌ها شده است. اعمال پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک با تأثیر بر کانال‌های پتاسیم حساس به ATP عضلانی، می‌تواند جریان خون عضلانی را بهبود بخشد (۳۸، ۳۹). علاوه بر این، تنظیم افزایشی نفوذپذیری میتوکندری به‌صورت موضعی و دستگاهی که شاید موجب افزایش انتقال لاکتات و اکسایش در عضله در حال فعالیت و یا برداشت و اکسایش آن شود (۴۰). بیان شده است که RIPC موجب اتساع عروقی (۴۱، ۴۲)، افزایش کارایی تحریک انقباض (۴۳, ۴۴)، سازگاری‌های عصبی و بهبود تعادل استفاده و تحویل O_2و در نتیجه بهبود عملکرد ورزشی می‌شود (۲۵). نظریه‌های دیگری نیز مبنی بر افزایش کارایی تحریک-انقباض و مصرف انرژی عضلانی نیز مطرح شده است (۲۶، ۲۷). افزایش کارایی پمپ‌های یونی و ایجاد انقباض‌های عضلانی کارامدتر و در نتیجه مصرف کمتر ATP موجب می‌شود که عضلهٔ اسکلتی نیازی به اتکا به منابع انرژی بی‌هوازی برای تولید نیروی اضافی مورد نیاز نداشته باشد (۲۸).

با توجه به تعداد اندک پژوهش‌ها نتیجه‌گیری دربارهٔ نقش و سازوکارهای احتمالی پیش آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد سرعتی دشوار خواهد بود. هرچند گزارش‌هایی ارائه شده است که افزایش تأمین ATP از مسیرهای گلیکولیز بی‌هوازی یا افزایش غلظت فسفوکراتین و نسبت‌های بالاتر آن به ATP پس از اعمال روش پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک می‌تواند برون‌ده توان را افزایش دهد. در شدت‌های زیربیشینه، انرژی عمدتاً توسط مسیرهای اکسایشی هوازی تأمین می‌شود، درحالی‌که در شدت‌های بیشینه، انرژی علاوه بر دستگاه اکسایشی هوازی، نه‌تنها با تجزیهٔ فسفوکراتین بلکه توسط مسیر گلیکولیتیک بی‌هوازی نیز تأمین می‌شود (۲۷، ۴۵). بیان شده است که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک می‌تواند سنتز مجدد فسفوکراتین را افزایش دهد (۲۷). سازوکار احتمالی دیگر نیز شاید این باشد که با افزایش جریان خون عضلانی در پی حذف مداخله ایسکیمی، برداشت و حذف متابولیت‌ها نیز افزایش می‌یابد که این فرایند نیز می‌تواند برون‌ده توان و عملکرد سرعتی را بهبود بخشد (۳۲، ۴۶، ۴۷).

از دیدگاه نظری اتساع عروق به‌دنبال اعمال ایسکیمی می‌تواند موجب افزایش جریان خون در عضلات اسکلتی شود و با افزایش تحویل اکسیژن و مواد مغذی به افزایش نیازهای سوخت و سازی عضلات در طی تمرینات قدرتی پاسخ دهد و در نتیجه موجب بهبود عملکرد عضلات شود (۳۸، ۴۸-۵۰). گزارش شده است که پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک با ایجاد تغییرات عصبی از طریق بالا بردن آستانهٔ تحریک آوران‌های عضلانی، حساسیت بافت را نسبت به پیام‌های خستگی کاهش

داده و در نتیجه به افراد اجازه می‌دهد مدت بیشتری فعالیت کنند و با فراخوانی واحدهای حرکتی بیشتر توان نیز افزایش یابد (۲۸، ۵۱). همچنین بیان شده است که کاهش سطوح لاکتات می‌تواند حساسیت به پیام‌های خستگی را کاهش دهد. با توجه به گزارش‌هایی که مشخص کرده‌اند نورون‌های آوران گروه III و IV در عضلهٔ اسکلتی از طریق عوامل هومورال آزادشدهٔ ناشی از پیش آماده‌سازی ایسکیمیک مسدود می‌شوند و می‌توان نتیجه گرفت این سازوکار می‌تواند موجب بهبود عملکرد دستگاه عصبی و افزایش قدرت شود (۱۸، ۲۶، ۳۴، ۵۲) .

یافته‌های پژوهشی موجود نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری و نتیجه‌گیری در خصوص تأثیرات پیش‌آماده‌سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی باید با احتیاط صورت گیرد؛ هرچند با توجه به سازوکارهای احتمالی و مشخص، شواهد روزافزونی وجود دارد که نشان می‌دهد این روش می‌تواند به‌عنوان یک روش غیرتهاجمی، آسان و کم‌هزینه با کاربردهای بالینی و ورزشی استفاده شود و تأثیرات مثبت به‌همراه داشته باشد. با توجه به اینکه هنوز بسیاری از جوانب و سازوکارهای مرتبط با پیش‌آماده‌سازی ایسکیمک به‌خوبی شناخته نشده است و با وجود گستردگی تفاوت در روش‌های منتخب ورزشی، اندام‌های هدف، نوع آزمودنی‌ها، میزان شدت‌های اعمال‌شده و سایر موارد شناخته‌شده و ناشناخته، ضرورت انجام پژوهش‌های بیشتر احساس می‌شود.

تشکر و قدردانی

از کسانی که در تهیهٔ این مقاله یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

حمایت مالی

پژوهش حاضر بدون حمایت مالی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

همهٔ نویسندگان به‌صورت یکسان در انجام این پژوهش مشارکت داشتند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در این پژوهش وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Remote ischemic preconditioning

منابع

1. Pranata R, Tondas AE, Vania R, Toruan MP, Lukito AA, Siswanto BB. Remote ischemic preconditioning reduces the incidence of contrast-induced nephropathy in patients undergoing coronary angiography/intervention: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Catheterization and Cardiovascular Interventions. 2020;96(6):1200-12.

2. Ouyang H, Zhou M, Xu J, Fang C, Zhong Z, Zhou Y, et al. Effect of remote ischemic preconditioning on patients undergoing elective major vascular surgery: a systematic review and meta-analysis. Annals of Vascular Surgery. 2020;62:452-62.

3. Wenwu Z, Debing Z, Renwei C, Jian L, Guangxian Y, Pingbo L, et al. Limb ischemic preconditioning reduces heart and lung injury after an open heart operation in infants. Pediatric cardiology. 2010;31:22-9.

4. Murry CE, Jennings RB, Reimer KA. Preconditioning with ischemia: a delay of lethal cell injury in ischemic myocardium. Circulation. 1986;74(5):1124-36.

5. Billah M, Ridiandries A, Allahwala U, Mudaliar H, Dona A, Hunyor S, et al. Circulating mediators of remote ischemic preconditioning: search for the missing link between non-lethal ischemia and cardioprotection. Oncotarget. 2019;10(2):216.

6. Emontzpohl C, Stoppe C, Theißen A, Beckers C, Neumann UP, Lurje G, et al. The role of macrophage migration inhibitory factor in remote ischemic conditioning induced hepatoprotection in a rodent model of liver transplantation. Shock. 2019;52(5):e124-e34.

7. Zhang Y, Ma L, Ren C, Liu K, Tian X, Wu D, et al. Immediate remote ischemic postconditioning reduces cerebral damage in ischemic stroke mice by enhancing leptomeningeal collateral circulation. Journal of cellular physiology. 2019;234(8):12637-45.

8. Bøtker HE, Kharbanda R, Schmidt MR, Bøttcher M, Kaltoft AK, Terkelsen CJ, et al. Remote ischaemic conditioning before hospital admission, as a complement to angioplasty, and effect on myocardial salvage in patients with acute myocardial infarction: a randomised trial. The Lancet. 2010;375(9716):727-34.

9. Ropcke DM, Hjortdal VE, Toft G, Jensen MO, Kristensen SD. Remote ischemic preconditioning reduces thrombus formation in the rat. Am Heart Assoc; 2012.

10. Linden MD, Whittaker P, FRELINGER III AL, Barnard MR, Michelson AD, Przyklenk K. Preconditioning ischemia attenuates molecular indices of platelet activation-aggregation. Journal of Thrombosis and Haemostasis. 2006;4(12):2670-7.

11. Fereshteh S, Saeed KB, Zahra HS. The effect of high-intensity interval training and remote ischemic preconditioning on hematological parameters in middle-aged male Wistar rats. Comparative Clinical Pathology. 2022;31(4):677-81.

12. Pedersen C, Cruden N, Schmidt M, Lau C, Bøtker H, Kharbanda R, et al. Remote ischemic preconditioning prevents systemic platelet activation associated with ischemia–reperfusion injury in humans. Journal of thrombosis and haemostasis. 2011;9(2):404-7.

13. Veighey K, MacAllister RJ. Clinical applications of remote ischemic preconditioning. Cardiology research and practice. 2012;2012.

14. Ahmadizad S, Malekyian E, Khani E, Rahmani H. Exercise and training effects on platelet activation and function: A review article. Sport Physiology. 2019 Sep 23;11(43):17-38 (Persian)

15. Fereshte S, Majid K, Sajad A, Saeed KB. Gene expression of hemostasis biomarkers following HIIT and RIPC. Comparative Clinical Pathology. 2024:1-9.

16. Marongiu E, Crisafulli A. Cardioprotection acquired through exercise: the role of ischemic preconditioning. Current cardiology reviews. 2014;10(4):336-48.

17. McAlindon E, Bucciarelli-Ducci C, Suleiman M, Baumbach A. Infarct size reduction in acute myocardial infarction. Heart. 2015;101(2):155-60.

18. Sharma V, Marsh R, Cunniffe B, Cardinale M, Yellon DM, Davidson SM. From protecting the heart to improving athletic

performance–the benefits of local and remote ischaemic preconditioning. Cardiovascular drugs and therapy. 2015;29:573-88.

19. Fereshteh S, Mohammad K, Saeed KB, Zahra HS. RIPC and HIIT affect inflammatory and cardiac injury biomarkers in middle-aged rats. Comparative Clinical Pathology. 2023;32(4):547-51.

20. Rock-Willoughby J, Boardley D, Badenhop D, Tinkel J. Vigorous exercise mimics remote ischemic preconditioning and provides benefit in cardiac rehabilitation patients. J Clin Exp Cardiolog. 2013;4(8):1000261.

21. Chotiyarnwong C, Nair K, Angelini L, Buckley E, Mazza C, Heyes D, et al. Effect of remote ischaemic preconditioning on walking in people with multiple sclerosis: double-blind randomised controlled trial. BMJ Neurology Open. 2020;2(1).

22. Caru M, Lalonde F, Daigle C, Comtois AS, Curnier D. The effect of remote ischemic preconditioning at moderate-and high-intensity steady-state cycling exercise amongst amateur athletes. Medicina dello sport. 2019;72(3):317-30.

23. Groennebaek T, Sieljacks P, Nielsen R, Pryds K, Jespersen NR, Wang J, et al. Effect of blood flow restricted resistance exercise and remote ischemic conditioning on functional capacity and myocellular adaptations in patients with heart failure. Circulation: Heart Failure. 2019;12(12):e006427.

24. Tocco F, Marongiu E, Ghiani G, Sanna I, Palazzolo G, Olla S, et al. Muscle ischemic preconditioning does not improve performance during self-paced exercise. International journal of sports medicine. 2014:9-15.

25. Barbosa T, Machado A, Braz I, Fernandes I, Vianna L, Nobrega A, et al. Remote ischemic preconditioning delays fatigue development during handgrip exercise. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2015;25(3):356-64.

26. Bailey TG, Jones H, Gregson W, Atkinson G, Cable NT, Thijssen DH. Effect of ischemic preconditioning on lactate accumulation and running performance. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2012;44(11):2084-9.

27. Jean-St-Michel E, Manlhiot C, Li J, Tropak M, Michelsen MM, Schmidt MR, et al. Remote preconditioning improves maximal performance in highly trained athletes. Medicine and science in sports and exercise. 2011;43(7):1280-6.

28. Crisafulli A, Tangianu F, Tocco F, Concu A, Mameli O, Mulliri G, et al. Ischemic preconditioning of the muscle improves maximal exercise performance but not maximal oxygen uptake in humans. Journal of applied physiology. 2011;111(2):530-6.

29. De Groot PC, Thijssen DH, Sanchez M, Ellenkamp R, Hopman MT. Ischemic preconditioning improves maximal performance in humans. European journal of applied physiology. 2010;108:141-6.

30. Griffin PJ, Hughes L, Gissane C, Patterson SD. Effects of local versus remote ischemic preconditioning on repeated sprint running performance. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 2018;58(5):187-94.

31. Zinner C, Born D-P, Sperlich B. Ischemic preconditioning does not alter performance

in multidirectional high-intensity intermittent exercise. Frontiers in physiology. 2017;8:280294.

32. Patterson SD, Bezodis NE, Glaister M, Pattison JR. The effect of ischemic preconditioning on repeated sprint cycling performance. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2015;47(8):1652-8.

33. Gibson N, White J, Neish M, Murray A. Effect of ischemic preconditioning on land-based sprinting in team-sport athletes. International journal of sports physiology and performance. 2013;8(6):671-6.

34. Surkar SM, Bland MD, Mattlage AE, Chen L, Gidday JM, Lee J-M, et al. Effects of remote limb ischemic conditioning on muscle strength in healthy young adults: a randomized controlled trial. PLoS One. 2020;15(2):e0227263.

35. Valenzuela PL, Martín-Candilejo R, Sánchez-Martínez G, Marins JCB, de la Villa P, Sillero-Quintana M. Ischemic preconditioning and muscle force capabilities. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2021;35(8):2187-92.

36. Fryer RM, Eells JT, Hsu AK, Henry MM, Gross GJ. Ischemic preconditioning in rats: role of mitochondrial KATP channel in preservation of mitochondrial function. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2000;278(1):H305-H12.

37. Wells GD, Selvadurai H, Tein I. Bioenergetic provision of energy for muscular activity. Paediatric respiratory reviews. 2009;10(3):83-90.

38. Riksen N, Smits P, Rongen G. Ischaemic preconditioning: from molecular characterisation to clinical application-part I. Neth J Med. 2004;62(10):353-63.

39. Kharbanda RK, Peters M, Walton B, Kattenhorn M, Mullen M, Klein N, et al. Ischemic preconditioning prevents endothelial injury and systemic neutrophil activation during ischemia-reperfusion in humans in vivo. Circulation. 2001;103(12):1624-30.

40. Hashimoto T, Brooks GA. Mitochondrial lactate oxidation complex and an adaptive role for lactate production. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2008;40(3):486-94.

41. Wang WZ, Stepheson LL, Fang X-H, Khiabani KT, Zamboni WA. Ischemic preconditioning-induced microvascular protection at a distance. Journal of reconstructive microsurgery. 2004;20(02):175-81.

42. Zhou K, Yang B, Zhou X-M, Tan C-M, Zhao Y, Huang C, et al. Effects of remote ischemic preconditioning on the flow pattern of the left anterior descending coronary artery in normal subjects. International journal of cardiology. 2007;122(3):250-1.

43. Moses MA, Addison PD, Neligan PC, Ashrafpour H, Huang N, Zair M, et al. Mitochondrial KATP channels in hindlimb remote ischemic preconditioning of skeletal muscle against infarction. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2005;288(2):H559-H67.

44. Mansour Z, Bouitbir J, Charles AL, Talha S, Kindo M, Pottecher J, et al. Remote and local ischemic preconditioning equivalently

protects rat skeletal muscle mitochondrial function during experimental aortic cross-clamping. Journal of vascular surgery. 2012;55(2):497-505. e1.

45. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports: Review Article. 2000;10(3):123-45.

46. Lukes D, Lundgren A, Skogsberg U, Karlsson-Parra A, Soussi B, Olausson M, editors. Ischemic preconditioning can overcome the effect of moderate to severe cold ischemia on concordant mouse xeno–heart transplants. Transplantation proceedings; 2005: Elsevier.

47. Libonati JR, Howell AK, Incanno NM, Pettee KK, Glassberg HL. Brief muscle hypoperfusion/hyperemia: an ergogenic aid? The Journal of Strength & Conditioning Research. 2001;15(3):362-6.

48. Hess DC, Blauenfeldt RA, Andersen G, Hougaard KD, Hoda MN, Ding Y, et al. Remote ischaemic conditioning—a new paradigm of self-protection in the brain. Nature Reviews Neurology. 2015;11(12):698-710.

49. Kimura M, Ueda K, Goto C, Jitsuiki D, Nishioka K, Umemura T, et al. Repetition of ischemic preconditioning augments endothelium-dependent vasodilation in humans: role of endothelium-derived nitric oxide and endothelial progenitor cells. Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology. 2007;27(6):1403-10.

50. Cooper CE, Brown GC. The inhibition of mitochondrial cytochrome oxidase by the gases carbon monoxide, nitric oxide, hydrogen cyanide and hydrogen sulfide: chemical mechanism and physiological significance. Journal of bioenergetics and biomembranes. 2008;40:533-9.

51. Amann M, Eldridge MW, Lovering AT, Stickland MK, Pegelow DF, Dempsey JA. Arterial oxygenation influences central motor output and exercise performance via effects on peripheral locomotor muscle fatigue in humans. The Journal of physiology. 2006;575(3):937-52.

52. Leal AK, Yamauchi K, Kim J, Ruiz-Velasco V, Kaufman MP. Peripheral δ-opioid receptors attenuate the exercise pressor reflex. American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. 2013;305(8):H1246-H55.