Journal of Sport and Exercise Physiology

2024, 17(2)

Review Article

The impact of Ischemic Preconditioning on some Aspects of Sports Performance: A Review Article

Fereshteh Shahidi*, Saeed Khaje Bahrami

Department of exercise physiology, Faculty of Sport Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: 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 garnered significant attention in clinical settings, its effects on aerobic, resistance, and speed performance and underlying mechanisms remain limited 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 research 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, and 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 bodies 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 research in this area is 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):?-?.

*Corresponding Author's E-mailFe-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 ۲، صفحه های ؟-؟

مقاله مروری

نقش پیش آماده سازی ایسکیمیک بر برخی از جنبه های عملکرد ورزشی : یک مقاله مروری

فرشته شهیدی*، سعید خواجه بهرامی

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

نسخه پیش

چکیده

پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک (IPC) یک روش نسبتا جدید و غیرتهاجمی است که شامل اعمال محدودیت جریان خون و برقراری مجدد آن در یک اندام مشخص، مانند دست یا پا، با استفاده از کاف فشار سنج است. هدف اصلی از این روش، آماده‌سازی بدن برای مقابله با آسیب‌های ایسکمیک شدیدتری است که ممکن است در آینده رخ دهد. با اینکه IPC توجه زیادی را در بخش‌های بالینی به خود جلب کرده است، اثرات آن بر عملکرد ورزشی و مکانیسم‌های زیربنایی درگیر همچنان محدود و متناقض است. بنابراین هدف از این مقاله مروری جامع، بررسی تأثیر IPC بر عملکرد هوازی، مقاومتی و سرعتی است. مطالعاتی که تأثیر IPC بر جنبه‌های مختلف 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 به طور گسترده توسط دو محقق جستجو شدند. کلمات کلیدی انتخاب شده برای جستجو شامل پیش آماده سازی ایسکمیک، عملکرد هوازی، قدرتی، و سرعتی بود. معیارهای ورود به مطالعات انتخابی شامل آزمودنی های انسانی و انتشار در مجلات علمی یا پژوهشی معتبر و ارزیابی متغیرهای مورد نظر در این مطالعات بود. در مجموع در این مطالعه تعداد ۱۵ پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. گستردگی پروتکل‌های ورزشی، اندام‌های هدف، شدت و سایر عوامل شناخته شده و ناشناخته در بخش یافته ها ارزیابی شد و در مجموع اثربخشی IPC بر متغیرهای عملکرد ورزشی بیانگر تاثیر مثبت آن بر عملکرد هوازی، قدرتی و سرعتی بود. این سازگاری های مثبت از طریق مسیرهای سیگنالینگ مختلف از جمله مکانیسم‌های عصبی، هومورال و بین سلولی ایجاد می‌شود. این فرایندها نقش مهمی در نحوه واکنش بدن ما به محرک هایی مانند پیش آماده سازی ایسکیمیک دارند. به نظر می رسد که پیش‌آماده‌سازی ایسکمیک (IPC) روی عملکرد ورزشی موثر است. هرچند، با توجه به تحقیقات محدود و متناقض فعلی در مورد تأثیرات آن، انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری است .

واژه های کلیدی: پیش آماده سازی ایسکیمیک، محدودیت جریان خون، بازجریان، تمرین ورزشی

نحوهٔ استناد به این مقاله: شهیدی ف، خواجه بهرامی س. نقش پیش آماده سازی ایسکیمیک بر برخی از جنبه های عملکرد ورزشی : یک مقاله مروری. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی.۱۴۰۳؛۱۷(۲):؟-؟.

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

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

نسخه پیش انتشار

مقدمه

پیش آماده سازی ایسکیمیک یک روش محافظتی است که از طریق ایجاد تناوب های ایسکیمی و باز جریان کنترل شده، آستانه تحمل بافت ها را در برابر آسیب های ایسکیمیک بعدی افزایش می دهد (۱-۳). این روش در ابتدا توسط مری و همکاران در سال ۱۹۸۶ معرفی شد (۴). آنها با ایجاد ۴ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای، به صورت موضعی در سرخرگ کرونری سگ های بیهوش شده، پیش آماده سازی ایسکیمیک اعمال کردند. سپس سگ ها را در معرض یک ایسکیمی ۴۰ دقیقه ای قرار دادند. پس از ۴ روز، اندازه سکته قلبی بین گروه آزمایش و گروه کنترل مورد مقایسه قرار گرفت. آنها کاهش ۲۵ درصدی اندازه سکته را در گروهی که تحت پیش آماده سازی ایسکیمیک قرار گرفته بودند، گزارش کردند. مطالعات بعدی نشان داد که اعمال غیرتهاجمی ایسکیمی و بازجریان در یک اندام دور نیز می‌تواند باعث ایجاد تاثیرات محافظتی مشابه شود که این روش تحت عنوان پیش آماده سازی ایسکیمی دور[1]شناخته شد. این پیش آماده سازی به صورت تهاجمی از طریق جراحی و یا غیر تهاجمی با استفاده از کاف فشار سنج اعمال می شود. مزیت اصلی پیش آماده سازی ایسکمیک دور در مقابل سایر استراتژی‌های محافظتی سهولت انجام و غیر تهاجمی بودن آن است. به گونه ای که تنها با استفاده از یک کاف فشارسنج و انسداد جریان خون اندام هدف می توان آن را اعمال کرد.

مطالعات پیشین نشان داده است که این روش می تواند در سیستم های قلب و عروق، کبد و مغز تاثیرات محافظتی بر جای گذارد (۵-۷). در همین راستا، مشخص شده است که اعمال ایسکیمی و بازجریان در تناوب‌ها و زمان‌های مختلف عملکرد قلبی-عروقی را بهبود می‌بخشد (۴, ۸). بیان شده است که پیش آماده سازی ایسکیمیک دور می تواند باعث بهبود گردش خون شود (۹). در پژوهشی دیگر بیان شده است که پیش آماده سازی ایسکیمیک فعالیت پلاکتی را نیز کاهش می دهد که ممکن است دلیلی بر کاهش میزان تشکیل ترومبوز و تاثیر بر سیستم هموستازی باشد (۱۰, ۱۱). از سوی دیگر بیان شده است که اجتماع-مونوسیتی-پلاکتی در جریان خون نیز به دنبال پیش آماده سازی ایسکیمیک دور کاهش یافته است (۱۲). به نظر می رسد نقش سیستم های عملکردی اندوتلیال و سنتز NO در این فرایندها پررنگ است (۱۳). این سازگاری ها می تواند از بروز آسیب عروقی و در نتیجه ایجاد تداخل در سیستم هموستازی نیز پیشگیری کند (۱۴, ۱۵).

[1] Remote ischemic preconditioning

پیش آماده سازی ایسکیمیک دور با ایجاد شرایط محدودیت کالریک و هایپوکسی، دفاع سلولی را تقویت می‌کند. در این شرایط فرآورده‌های سوخت و سازی مانند لاکتات، ADP، آدنوزین و غیره درون خون رها می‌شوند که مشخص شده است می‌توانند موجب سازگاری های عملکردی شوند (۱۶). در شرایط ایسکیمیک، متابولیسم بی هوازی در اولویت تولید انرژی سلولی قرار می‌گیرد که این شرایط با کارایی و تولید ATP کمتری همراه است و از سوی دیگر منجر به تجمع اسید لاکتیک می‌شود. کاهش میزان ATP، همراه با اسیدوز داخل سلولی باعث اختلال هموستاز یونی و افزایش غیرقابل کنترل یون‌های داخل سلولی از جمله کلسیم می‌شود. ایسکیمی همچنین باعث ایجاد گونه‌های اکسیژن واکنشی (ROS) می‌شود که علاوه بر تشدید اختلالات یونی، از طریق کاهش عملکرد سارکولما و میتوکندری‌ها، منجر به مرگ سلولی نیز می‌شود (17). تداوم این شرایط سازگاری هایی را به دنبال دارد (16). شواهد جدید نشان می‌دهد که این سازگاری ها از طریق مسیرهای عصبی، هورمونی و یا سلولی رخ می دهند و میتوانند باعث بهبود عملکرد ورزشی نیز شوند (۱۸, ۱۹).

برخی پژوهش ها گزارش کرده اند که با توجه به وجود شباهت در مکانیسم های زیربنایی پیش آماده سازی ایسکیمیک و فعالیت های ورزشی، اعمال این روش می تواند باعث بهبود عملکرد ورزشی شود. به نظر می رسد که فعالیت ها و تمرینات ورزشی شدید نیز با ایجاد هایپوکسی و یا تولید برخی متابولیت ها مشابه با تناوب های ایسکیمی و باز جریان عمل می کنند (۲۰).

مطالعات اندکی درزمینهٔ تأثیر پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی انجام شده است و بسیاری از این تاثیرات نامشخص هستند و هرچند این موضوع توجه زیادی را در بخش‌های بالینی به خود جلب کرده است، اثرات آن بر عملکرد ورزشی و مکانیسم‌های زیربنایی درگیر همچنان محدود و متناقض است. همین کمبود اطلاعات است که انجام مطالعات جامع را در این باره ضروری می نماید. این مقاله یافته های پژوهش های قبلی در این باره را مرور و مورد بررسی قرار می دهد. بنابراین هدف از این مقاله مروری جامع، بررسی تأثیر IPC بر عملکرد هوازی، مقاومتی و سرعتی است.

روش

در این مقاله مروری تأثیر پیش آماده سازی ایسکیمیک بر جنبه های مختلف عملکرد ورزشی مورد توجه قرار گرفته است. . به منظور استخراج مقالات اصیل، جستجو در پایگاه های مطالعات الکترونیکی PubMed، SID، Magiran و Google Scholar با استفاده از کلید واژه های پیش آماده سازی ایسکیمیک، تمرین ورزشی، عملکرد قدرتی، عملکرد هوازی و عملکرد سرعتی انجام شد. فهرست منابع مقالات استخراج شده نیز مورد بررسی قرار گرفت. تمام مراحل جست و جو توسط دو محقق انجام شد. معیارهای ورود به پژوهش شامل مطالعات انسانی و مقالات چاپ شده در نشریات معتبر بود. در خصوص آزمودنی های انسانی و شدت تمرینات و پروتکل های مربوط به متغیرها نیز محدودیتی وجود نداشت. معیارهای خروج نیز پژوهش های با نمونه های حیوانی، مقالات غیر اصیل و یا همراه با مداخلات دارویی بود. در نهایت، نتایج به دست آمده از این مقالات، ارزیابی شد و نتایج حاصل مورد بحث قرار گرفت.

یافته ها

در جدول شماره ۱ خلاصه ای از پژوهش های پیشین در مورد تاثیر پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی ارائه شده است. سپس یافته ها به صورت تفکیک شده مورد بررسی قرار می گیرند.

جدول ۱. پیشینه پژوهشی

محققین	آزمودنی ها	پروتکل	نتیجه
کاتیانوانگ و همکاران، ۲۰۲۰ (۲۱)	بیماران مبتلا به اسکلروزیس	۳ تناوب ۵ دقیقه ای ایسکیمی و بازجریان پیش از آزمون ورزشی ۶ دقیقه راه رفتن روی تردمیل	بهبود عملکرد و افزایش مسافت طی شده
کارو و همکاران، ۲۰۱۹ (۲۲)	مردان جوان فعال	۵ تناوب (۵ دقیقه ای) ایسکیمی و بازجریان پیش از فعالیت هوازی	عدم تغییر متابولیسم اکسیداتبو
گرونبک و همکاران، ۲۰۱۹ (۲۳)	بیماران مبتلا به نارسایی قلب مادرزادی	۴ تناوب (۵ دقیقه ای) ایسکیمی و بازجریان پیش از آزمون های عملکردی	عدم تغییر عملکرد میتوکندریایی عضلات و ظرفیت عملکردی
توکو و همکاران، ۲۰۱۴ (۲۴)	دونده های حرفه ای	۳ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای پیش از فعالیت ورزشی هوازی	عدم تغییر در میانگین سرعت دویدن، اکسیژن مصرفی و عملکرد هوازی
باربوسا و همکاران، ۲۰۱۵ (۲۵)	مردان جوان فعال	۳ مرحله ایسکیمی و ۳ مرحله بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای پیش از فعالیت هندگریپ	به تاخیر انداختن واماندگی
بیلی و همکاران، ۲۰۱۲ (۲۶)	ورزشکاران جوان	۴ تناوب ۵ دقیقه ای ایسکیمی و بازجریان پیش از فعالیت دویدن روی تردمیل	بهبود عملکرد ورزشی و کاهش سطوح لاکتات
میشل و همکاران، ۲۰۱۱ (۲۷)	شناگران حرفه ای ۱۳ تا ۱۷ ساله	۴ مرحله ایسکیمی و ۴ بازجریان بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای پیش از فعالیت شنا	بهبود زمان شنا کردن
کریسفولی و همکاران، ۲۰۱۱ (۲۸)	افراد جوان فعال	۵ مرحله ایسکیمی و ۵ مرحله بازجریان با زمان های ۳ دقیقه ای پیش از فعالیت رکاب زدن به صورت فزاینده روی ارگومتر	عدم تغییر در حداکثر اکسیژن مصرفی/ بهبود عملکرد ورزشی
گروت و همکاران، ۲۰۱۰ (۲۹)	مردان و زنان دوچرخه سوار حرفه ای	۳ تناوب ایسکیمی بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای پیش از فعالیت رکاب زدن فزاینده	عدم تغییر تهویه،ضریب تنفسی، حداکثر ضربان قلب، سطوح لاکتات / بهبود حداکثر اکسیژن مصرفی

گرفین و همکاران، ۲۰۱۸ (۳۰)	افراد جوان سالم	۴ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیقه به صورت موضعی و دور پیش از فعالیت ورزشی دوی سرعت	کاهش خستگی پس از فعالیت های ورزشی سرعتی
زینر و همکاران، ۲۰۱۷ (۳۱)	ورزشکاران حرفه ای	۳ تناوب ۵ دقیقه ای ایسکیمی و بازجریان پیش از فعالیت دوی سرغت	عدم تغییر اکسیژن مصرفی، ضربان قلب و عملکرد سرعتی
پترسن و همکاران، ۲۰۱۵ (۳۲)	مردان جوان فعال	۴ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای پیش از فعالیت ورزشی رکاب زنی سرعتی	بهبود میانگین و حداکثر توان در فعالیت سرعتی
گیبسن و همکاران، ۲۰۱۳ (۳۳)	ورزشکاران حرفه ای	۳ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای پیش از فعالیت دوی سرعتی	عدم تغییر عملکرد سرعتی
سورکر و همکاران، ۲۰۲۰ (۳۴)	افراد بین سنین ۱۸ تا ۴۰ سال سالم	۵ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیقه پیش از فعالیت ورزشی قدرتی	بهبود عملکرد قدرتی
ولنزولا و همکاران، ۲۰۱۹ (۳۵)	افراد جوان سالم	۳ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیه ای پیش از فعالیت ورزشی قدرتی	عدم تغییر عملکرد قدرتی

نقش پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی هوازی

گرونبک و همکاران تاثیر پیش آماده سازی ایسکیمیک را بر عملکرد ورزشی ۳۶ بیمار مبتلا به نارسایی قلبی مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که هیچ تغییر معنی‌داری در ظرفیت اکسیداتیو میتوکندریایی و عملکرد ورزشی استقامتی و قدرتی آزمودنی ها به دنبال اعمال مداخله حاصل نشده است (۲۳). در مطالعه آنها آزمودنی ها سه بار در هفته به مدت ۶ هفته تحت پروتکل منتخب پیش آماده سازی ایسکیمیک دور قرار گرفتند. پیش و پس از اعمال مداخله ظرفیت عملکردی آزمودنی ها ارزیابی شد. پروتکل پیش آماده سازی ایسکیمیک نیز به صورت ۴ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان‌های ۵ دقیقه‌ای بود. محققین گزارش کردند که مداخله منتخب باعث تحریک سنتز پروتئین و بهبود کارایی میتوکندریایی نشده است، هر چند که با توجه به نوع بیماری آزمودنی ها و سازگاری آنها با شرایط هایپوکسیک، حصول این نتایج منطقی گزارش شده است. در یک مطالعه ناهمسو تاثیر پیش آماده سازی ایسکمیک بر عملکرد راه رفتن در ۷۵ بیمار مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس ارزیابی شد. افراد شرکت کننده در این مطالعه توانایی راه رفتن به مدت ۶ دقیقه را داشتند. برای اعمال پیش آماده سازی ایسکمیک سه تناوب ۵ دقیقه ای ایسکیمی و بازجریان انجام شد 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. آزمودنی ها به مدت ۶ دقیقه آزمون پیاده روی را به صورت راه رفتن در یک مسیر ۱۴ متری به صورت رفت و برگشت انجام دادند. تحلیل های آماری به صورت مقایسه درون گروهی و بین گروهی در گروه های پیش آماده سازی و گروه شم انجام شد. به صورت

کلی نتایج بیانگر افزایش ۱,۹ درصدی مسافت طی شده در گروه شم و ۵,۷ درصدی در گروه پیش آماده سازی ایسکیمیک بود (۲۱). با توجه به اینکه در این پژوهش تنها از یک جلسه پیش آماده سازی ایسکیمیک اعمال شده و تنها از بیمارانی که توانایی راه رفتن و اجرای پروتکل منتخب ورزشی را داشتند استفاده شده است، نتیجه گیری در ارتباط با تاثیرگذاری مداخله اعمال شده بر بیماران مبتلا به مالتیپل اسکلروزیس دشوار است. با این وجود اینگونه استدلال شده است که پیش آماده سازی ممکن است از دو مسیر بر فعالیت های نورون های عصبی تاثیرات مثبت گذاشته باشد: ۱) مسیرهای سیگنالینگ وابسته به هایپوکسی و ایسکیمی و۲) تاثیرات ضدالتهابی پیش آماده سازی ایسکیمیک که باعث کاهش آسیب های عصبی شده است (۲۱). باربوسا و همکاران نیز در یک مطالعه مردان جوان فعال را مورد ارزیابی قرار دادند. اعمال مداخله پیش آماده سازی به صورت ۳ مرحله ایسکیمی و ۳ مرحله بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای پیش از فعالیت ریتمیک هندگریپ و ارزیابی زمان رسیدن به واماندگی بود. پیش آماده سازی ایسکیمیک دور با استفاده از کاف فشار سنج در قسمت ران پا با فشار ۲۲۰ میلی متر جیوه اعمال شد. در گروه کنترل اعمال فشار ۱۰ میلی متر جیوه بود. آنها گزارش کردند که اعمال پیش آماده سازی ایسکیمک منجر به تاخیر رسیدن به واماندگی شده است (۲۵). با توجه به اینکه نتایج این پژوهش بیانگر عدم تغییر در جریان خون مویرگی و همچنین اکسیژن برداشتی در عضله در حال فعالیت بود، گزارش شده است که مسیرهای دیگری از جمله فرایندهای متابولیک و یا مکانیسم های هورمونی در بهبود عملکرد نقش داشته است. در یک مطالعه متقاطع نیز، بیلی و همکاران 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. آزمودنی ها به طور معمول در فعالیت های هوازی با شدت کم (به عنوان مثال پیاده روی) و متوسط (به عنوان مثال ، دویدن ، دوچرخه سواری ثابت؛ ۲ تا ۳ روز در هفته) فعالیت می کردند. به منظور ایجاد مداخله پیش آماده سازی ایسکیمیک با استفاده از کاف فشار سنج در وضعیت خوابیده فشار ۲۲۰ میلی متر جیوه جریان شریانی در ناحیه فوقانی هر دو ران به مدت ۵ دقیقه اعمال شد. اعمال ایسکمیک چهار بار تکرار شد، و هر تناوب ایسکمی با ۵ دقیقه استراحت همراه بود. در مرحله ای دیگر ، شرکت کنندگان پروتکل یکسانی را دنبال کردند ، اما در عوض ، اعمال فشار کاف در ۲۰ میلی متر جیوه انجام شد (که جریان شریانی را تغییر نمی دهد). شرکت کنندگان آزمون حداکثر دویدن روی تردمیل را انجام دادند. پروتکل تمرینی با ۵ مرحله سه دقیقه ای دویدن روی تردمیل 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، آزمودنی ها آزمون دویدن به مسافت ۵ کیلومتر را به صورت تایم ترایل انجام دادند. محققین گزارش کردند که اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک باعث بهبود عملکرد ورزشی هوازی در آزمودنی ها شده است. علاوه بر این ، آنها کاهش غلظت لاکتات خون را به دنبال اعمال ایسکیمی در سطح فعالیتی زیر بیشینه نیز گزارش کردند (۲۶). در این مطالعه اعمال ایسکیمی در ناحیه فوقانی ران اعمال شد و اعمال ایسکیمی در اندام های دور بررسی نشده است. از سوی دیگر با توجه به اینکه آزمودنی ها در ابتدا تحت اعمال مداخله شم قرار گرفتند، مقایسه نتایج باید با احتیاط صورت گیرد. در این مطالعه یکی از مکانیسم های 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 پیش آماده سازی ایسکیمیک مطرح گردیده است. کریسفولی و همکاران نیز هفده مرد سالم و فعال را در در یک پژوهش موررد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک باعث بهبود عملکرد ورزشی بیشینه رکاب زنی شده است اما باعث تغییر معنی دار حداکثر اکسیژن مصرفی در آزمودنی ها نشده است (۲۸). از جمله دلایل احتمالی بهبود عملکرد ورزشی تغییر آستانه تحریک آوران های خستگی تحت تاثیر متابولیت های محیطی و همچنین افزایش کارایی تولید انرژی مسیرهای بی هوازی بیان شده است. در پژوهشی دیگر، میشل و همکاران در یک مطالعه متقاطع شناگران مرد یا زن سالم بین سنین ۱۳ تا ۲۷ سال که در سطح ملی و منطقه ای قرار داشتند را مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که پیش آماده سازی ایسکیمیک باعث بهبود عملکرد ورزشی

نسخه پیش انتشار

در سطح زیر بیشینه نشد اما عملکرد ورزشی بیشینه در شناگران حرفه ای بهبود یافت. اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک به صورت چهار تناوب ۵ دقیقه ای ایسکیمی به صورت اعمال فشار با کاف فشارسنج به میزان ۱۵ میلیمتر جیوه فراتر از فشارخون سیستولی در اندام فوقانی و تناوب های ۵ دقیقه ای برقراری مجدد جریان خون انجام شد. برای گروه کنترل اعمال فشار ۱۰ میلی متر جیوه تعیین شد. در مرحله دوم مطالعه که با فاصله زمانی یک هفته انجام شد، آزمودنی ها تحت مداخله ای قرار گرفتند که طی مرحله اول دریافت نکرده بودند. در مرحله اول مطالعه، آزمودنی ها دو آزمون شنا زیربیشینه فزاینده را انجام دادند. در مرحله دوم، آزمودنی ها دو آزمون حداکثر شنای رقابتی به صورت تایم ترایل را انجام دادند. برای بررسی مکانیسم های احتمالی ، نمونه های خون گرفته شده قبل و بعد از RIPC برای خونرسانی به قلب موش های صحرایی و ارزیابی اندازه سکته قلبی مورد استفاده قرار گرفت. از سوی دیگر محققین گزارش کردند که RIPC باعث کاهش اندازه انفارکتوس در موش ها شده است (۲۷). همچنین توکو و همکاران نیز ۱۱ مرد سالم بین سنین ۲۶ تا ۴۲ سال را مورد ارزیابی قرار دادند. همه آزمودنی ها دونده های حرفه‌ای بودند که به طور متوسط ۱۰ تا ۱۲ ساعت در هفته فعالیت ورزشی منظم داشتند و در رقابت های ملی و منطقه‌ای شرکت می کردند. دو مرحله برای آزمون در نظر گرفته شد. در مرحله اول از آزمودنی ها خواسته شد که یک مسافت پنج هزار متری را طی کنند. در مرحله دوم پیش از آغاز فعالیت ورزشی مداخله پیش آماده سازی ایسکیمیک اعمال شد. برای ایجاد ایسکیمی با استفاده از کاف فشار سنج در قسمت فوقانی هر دو پا، طی سه مرحله به میزان ۵۰ میلیمتر جیوه فراتر از فشار خون سیستولی چرخه های ایسکیمی برقرار شد. در گروه شم فشار کاف ۱۰ میلیمتر جیوه فراتر از فشارخون سیستولی بود. مدت زمان هر چرخه ایسکیمی ۵ دقیقه بود که با چرخه های بازجریان با مدت زمان مشابه مجزا می شد. محققین گزارش کردند که تفاوت معنی داری در اکسیژن مصرفی و عملکرد هوازی گروه های مختلف وجود نداشته است (۲۴). در مقابل گروت و همکاران نیز ۱۵ مرد و زن ورزشکار با میانگین سنی ۲۷ سال را در یک مطالعه ارزیابی و گزارش کردند که به دنبال اعمال ایسکیمی بازجریان پیش از فعالیت رکاب زنی حداکثر اکسیژن مصرفی ۳ درصد افزایش داشته است (۲۹). پروتکل ورزشی به صورت فعالیت بیشینه رکاب زنی به صورت فزاینده بود که در تناوب های ۴ دقیقه ای ، با توان خروجی ۵۰ وات، ۱۰۰ وات و ۱۵۰ وات ادامه یافت. در صورت عدم خستگی نیز به ازای هر دقیقه ۲۰ وات شدت رکاب زنی افزایش می یافت. از آزمودنی ها خواسته شده بود که سرعت رکاب زنی را بین ۶۰ تا ۸۰ دور در دقیقه حفظ کنند. پیش اماده سازی ایسکمیک (IPC) با استفاده از انسداد شریانی در ناحیه فوقانی هردو پا در سه تناوب ۵ دقیقه ای با فشار ۲۲۰ میلی متر جیوه و دوره های استراحتی ۵ دقیقه ای انجام شد . ۵ دقیقه پس از پیش آماده سازی آزمون ورزشی اجرا شد. آزمودنی ها 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 مکانیسم های وابسته به نیتریک اکساید و افزایش کارایی میتوکندری ها بیان کردند. با توجه به اینکه جنسیت، پروتکل ورزشی، پروتکل پیش آماده سازی و سطح آمادگی آزمودنی ها با پژوهش های قبلی متفاوت بوده است مغایرت موجود در یافته ها قابل توجیه است. کارو و همکاران نیز با ارزیابی افراد غیرورزشکار، یافته های متفاوتی را گزارش کردند؛ آنها با مطالعه ۱۵ آزمودنی سالم بین سنین ۱۸ تا ۴۰ سال بیان کردند که پیش آماده سازی ایسکیمیک دور منجر به تغییر معنی دار متابولیسم اکسیداتیو و حداکثر اکسیژن برداشتی نشده است (۲۲) در این پژوهش آزمودنی ها در دو گروه پیش آماده سازی اسکیمیک دور و گروه کنترل قرار گرفتند. حداکثر اکسیژن مصرفی آنها مورد سنجش و اندازه گیری قرار گرفت و پس از یک هفته ۲ و هله آزمون ورزشی با شدت ۷۵ و ۱۱۵ درصد آستانه تبادل گازی را انجام دادند. در گروه آزمایش فعالیت ورزشی ۵ دقیقه پس از اعمال پیش آماده سازی ایسکیمی انجام شد. گروه کنترل نیز قبل از فعالیت مداخله ای نداشت. مرحله دوم نیز پس از یک هفته انجام شد. آزمون های فعالیت ورزشی با شدت ثابت در دو مرحله اجرا شدند. مرحله اول شامل پنج دقیقه گرم کردن، ۸ دقیقه رکاب زنی با شدت ۷۵ درصد آستانه تبادل گازی و ۵ دقیقه سرد کردن بود. در مرحله دوم فعالیت ورزشی شامل ۵ دقیقه گرم کردن ، ۸ دقیقه رکاب زنی با شدت

۱۱۵ درصد حداکثر آستانه تبادل گازی و ۵ دقیقه سرد کردن بود. در طول این فعالیت آزمودنی باید سرعت پدال زدن را ۹۰ دور در دقیقه حفظ کند. مراحل آزمون با یک فاصله زمانی ۲۰ دقیقه‌ای از یکدیگر جدا شد. محققین گزارش کردند که زمان رسیدن به حداکثر سرعت و همچنین آستانه تبادل تنفسی در هر دو گروه مشابه بوده است.

نقش پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی سرعتی

در یک مطالعه متقاطع، گیبسن و همکاران گزارش کردند که اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک منجر به تغییر معنی دار عملکرد سرعتی در آزمودنی ها نشده است (۳۳). در این پژوهش ۲۵ ورزشکار زن و مرد مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمودنی ها به دنبال اعمال مداخله پیش آماده سازی ایسکمیک یا پلاسبو فعالیت ورزشی سرعتی را انجام دادند. اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک با استفاده از کاف فشار سنج در ناحیه ران با فشار ۲۲۰ میلی متر جیوه انجام شد. در گروه پلاسبو فشار ۵۰ میلی متر جیوه بود. پس از اعمال مداخله و گرم کردن، آزمودنی ها با فواصل استراحتی یک دقیقه ای، ۳ تناوب فعالیت سرعتی را در مسافت ۳۰ متری طی کردند. محققین استدلال کردند که به آستانه نرسیدن تولید متابولیت هایی مانند آدنوزین و برادی کینین به دنبال بکارگیری مداخله، دلیل عدم تغییر در عملکرد ورزشی بوده است. همراستا با این پژوهش، محققین ۱۴ آزمودنی ورزشکار را به منظور ارزیابی تاثیر پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی سرعتی مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که میانگین زمانی و شاخص های خستگی بین گروه های مختلف تفاوت معنی داری نداشته است (۳۱). در این مطالعه آزمودنی ها پس از طی دو مرحله آشناسازی، در مرحله سه و چهار پژوهش تحت اعمال مداخله پیش آماده سازی ایسکیمیک یا پلاسبو قرار گرفتند. مراحل آزمایش با فواصل زمانی ۵ تا ۷ روز و به صورت کانتربالانس اجرا شد. اعمال ایسکیمی در ۴ تناوب ۵ دقیقه ای با استفاده از کاف فشار سنج در ناحیه فوقانی هر دو پا در فشار ۲۲۰ میلی متر جیوه اعمال شد. در گروه پلاسبو اعمال فشار ۲۰ میلی متر جیوه بود. فعالیت ورزشی سرعتی ۳۰ دقیقه پس از اعمال مداخله ایسکیمی یا پلاسبو انجام شد. پروتکل گرم کردن شامل ۳ دقیقه رکاب زنی در شدت ۱۲۰ وات و ۲ مرحله سرعتی ۶ ثانیه ای که با یک دقیقه استراحت تفکیک شدند و پس از آن ۵ دقیقه استراحت غیرفعال در نظر گرفته شده بود. پروتکل فعالیت ورزشی نیز شامل ۱۲ تناوب سرعتی ۶ ثانیه ای روی دوچرخه ارگومتر بود. فواصل استراحتی نیز ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شده بود که طی آن آزمودنی به صورت غیرفعال روی دوچرخه مینشست. براساس گزارشات، میانگین و حداکثر برون ده توان به دنبال اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک افزایش معنی داری داشته است. آنها همچنین بیان کردند که تغییرات EMG نیز در گروه پیش آماده سازی ایسکیمیک نسبت به گروه پلاسبو بیشتر بوده است. از سوی دیگر، در یک مطالعه ۱۳ آزمودنی زن و مرد ورزشکار با میانگین سنی ۲۴ سال را در یک پژوهش مورد مطالعه قرار گرفتند. آزمودنی ها ۴ مرحله آشنا سازی، پیش آماده سازی ایسکیمیک در ناحیه پا، پیش اماده سازی ایسکیمیک دور در ناحیه دست و مرحله آزمون کنترل را پشت سر گذاشتند. در مراحل دوم، سوم و چهارم فعالیت ورزشی دوی سرعت تناوبی ۴۵ دقیقه چس از اعمال انجام پذیرفت. مراحل مختلف طی بازه های زمانی ۵ تا ۷ روزه تفکیک و به صورت کانتربالانس در زمان یکسان اجرا شد. پروتکل پیش آماده سازی ایسکیمیک در ۳ تناوب ۵ دقیقه ای با فشار ۲۴۰ میلی متر جیوه با استفاده از کاف در هر دو ران پا (IPCleg) و یا با فشار ۱۸۰ تا ۱۹۰ میلی متر جیوه در قسمت بازوها (IPCremote)در حالت خوابیده انجام شد. در مداخله کنترل، میزان فشار ۲۰ میلی متر جیوه بود. گرم کردن و فعالیت ورزشی دوی سرعتی ۴۰ دقیقه پس از مداخلات انجام شد. با توجه به اینکه آزمودنی های این مطالعه افراد ورزشکار حرفه ای بودند، به نظر می رسد که پیش آماده سازی ایسکیمیک نتوانسته است تحریک لازم برای ایجاد تغییر در عملکرد ورزشی را ایجاد کند (۳۲). در مقابل، در یک پژوهش اعمال ۴ تناوب ایسکیمی و بازجریان با زمان های ۵ دقیقه ای به صورت موضعی و دور پیش از فعالیت ورزشی دوی سرعت باعث کاهش خستگی پس از فعالیت های ورزشی سرعتی در افراد غیرورزشکار شد (۳۰). بنابراین به نظر می رسد که تفاوت در نوع آزمودنی ها نقش تعیین کننده و مهمی در مغایرت بین نتایج داشته است.

نسخه پیش انتشار

نقش پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی قدرتی

سورکر و همکاران نیز با اعمال ۵ تناوب ایسکیمی با استفاده از کاف فشار سنج به صورت ایجاد ۲۰ میلی متر فشار جیوه فراتر از فشارخون سیستولی استراحتی و اعمال بازجریان با زمان های ۵ دقیقه به میزان فشار ۱۰ میلی متر جیوه کمتر از فشار خون دیاستولی در قسمت فوقانی دست (اندام دور) پیش از فعالیت ورزشی قدرتی اکستنشن مچ دست به صورت ۶ تا ۸ تکرار در شدت حدود ۸۰ درصد یک تکرار بیشینه و در ۶ ست، عملکرد قدرتی را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها گزارش کردند که پیش آماده سازی ایسکیمیک دور باعث بهبود عملکرد قدرتی در آزمودنی ها شده است (۳۴). در مقابل، ولنزولا و همکاران با اعمال ۳ تناوب ایسکیمی و بازجریان در هر دو بازوی دست با استفاده از کاف فشار سنج به صورت اعمال فشار به میزان ۲۲۰ میلی متر جیوه در مقایسه با گروه شم با اعمال ۱۰ میلی متر جیوه، با زمان های ۵ دقیقه ای چهل دقیقه پیش از فعالیت ورزشی قدرتی که در سه ست با ۶۰ درصد یک تکرار بیشینه تا حد خستگی اجرا شد، محققین گزارش کردند که پیش آماده سازی ایسکیمی باعث تغییر معنی دار عملکرد قدرتی نشده است (۳۵). یکی از دلایل احتمالی مغایرت در نتایج، تفاوت نوع پروتکل اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک است. از سوی دیگر شروع فعالیت های ورزشی پس از اعمال مداخله نیز در پنجره های زمانی متفاوتی انجام شده است که ضروری است در این ارتباط پژوهش های بیشتری نیز انجام شود.

بحث و نتیجه گیری

اختلاف یافته ها ممکن است ناشی از شدت های مختلف تمرینی، نوع آزمودنی ها، پروتکل های مختلف و تفاوت مکانیسم های زیربنایی مسیرهای بکارگیری انرژی طی فعالیت های مختلف باشد. مکانیسم های مختلفی در تایید نقش پیش آماده سازی ایسکیمیک بر تمرینات استقامتی وجود دارد. مطالعات نشان داده است که پیش آماده سازی ایسکیمیک منجر به باز شدن کانالهای پتاسیم حساس به ATP میتوکندری و افزایش کارایی متابولیسم اکسیداتیو می شود (۳۶) و می تواند باعث جذب سریعتر استیل-کوا (محصول تجزیه گلیکولیز) توسط میتوکندری شود، تجمع لاکتات را در یک سطح قابل قبول از نظر متابولیکی حفظ کند و باعث افزایش تولید هوازی ATPشود. از سوی دیگر تولید، انتقال و استفاده از لاکتات خون نیز نقش قابل توجهی در تولید ATP دارد (۲۷, ۲۹, ۳۷). بیان شده است که بهبود عملکرد عروقی به دنبال اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک، باعث انتقال بیشتر لاکتات به سایر بافت ها شده است. اعمال پیش آماده سازی ایسکیمیک با تاثیر بر کانالهای پتاسیم حساس به ATP عضلانی، می تواند جریان خون عضلانی را بهبود بخشد (۳۸, ۳۹). علاوه بر این ، تنظیم افزایشی نفوذپذیری میتوکندری به صورت موضعی و سیستمیک ممکن است باعث افزایش انتقال لاکتات و اکسیداسیون در عضله در حال فعالیت و یا برداشت و اکسیداسیون آن شود (۴۰). بیان شده است که RIPC باعث اتساع عروقی (۴۱, ۴۲)، افزایش کارایی تحریک انقباض (۴۳, ۴۴)، سازگاری های عصبی و بهبود تعادل استفاده و تحویل O2 و در نتیجه بهبود عملکرد ورزشی می شود (۲۵). نظریه های دیگری نیز مبنی بر افزایش کارایی تحریک-انقباض و مصرف انرژی عضلانی نیز مطرح شده است (۲۶, ۲۷). افزایش کارایی پمپ های یونی و ایجاد انقباض های عضلانی کارآمدتر و در نتیجه مصرف کمتر ATP باعث می شود که عضله اسکلتی نیازی به اتکا به منابع انرژی بی هوازی برای تولید نیروی اضافی مورد نیاز نداشته باشد (۲۸).

با توجه به تعداد اندک مطالعات نتیجه گیری درباره نقش و مکانیسم های احتمالی پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد سرعتی دشوار خواهد بود. هر چند گزارشاتی ارائه شده است که افزایش تولید ATP از مسیرهای گلیکولیز بی هوازی یا افزایش غلظت فسفوکراتین و نسبت های بالاتر آن به ATP پس از اعمال پروتکل پیش آماده سازی ایسکیمیک می تواند برون ده توان را افزایش دهد. در شدت های زیربیشینه، انرژی عمدتا توسط مسیرهای اکسیداتیو هوازی تولید می شود، در حالی که در شدت های بیشینه،

انرژی علاوه بر سیستم اکسیداتیو هوازی، نه تنها با تجزیه فسفوکراتین بلکه توسط مسیر گلیکولیتیک بی هوازی نیز تولید می شود (۲۷, ۴۵). بیان شده است که پیش آماده سازی ایسکیمیک می تواند سنتز مجدد فسفوکراتین را افزایش دهد (۲۷). مکانیسم احتمالی دیگر نیز ممکن است این باشد که با افزایش جریان خون عضلانی به دنبال حذف مداخله ایسکیمی، برداشت و حذف متابولیت ها نیز افزایش می یابد که این فرایند نیز می تواند برون ده توان و عملکرد سرعتی را بهبود بخشد (۳۲, ۴۶, ۴۷).

به لحاظ تئوریک اتساع عروق بدنبال اعمال ایسکیمی می تواند باعث افزایش جریان خون در عضلات اسکلتی شود و با افزایش تحویل اکسیژن و مواد مغذی به افزایش نیازهای متابولیکی عضلات در طی تمرینات قدرتی پاسخ دهد و در نتیجه باعث بهبود عملکرد عضلات شود (۳۸, ۴۸-۵۰). گزارش شده است که پیش آماده سازی ایسکیمیک با ایجاد تغییرات عصبی از طریق بالابردن آستانه تحریک آوران های عضلانی، حساسیت بافت را نسبت به سیگنالهای خستگی کاهش داده و در نتیجه به افراد اجازه می دهد مدت بیشتری فعالیت کنند و با فراخوانی واحدهای حرکتی بیشتر توان نیز افزایش یابد (۲۸, ۵۱). همچنین بیان شده است که کاهش سطوح لاکتات نیز می تواند حساسیت به سیگنال های خستگی را کاهش دهد. با توجه به گزارشاتی که مشخص کرده اند نورونهای آوران گروه III و IV در عضله اسکلتی توسط عوامل هومورال آزاد شده ناشی از پیش آماده سازی ایسکیمیک مسدود می شوند و می توان نتیجه گرفت این مکانیسم می تواند باعث بهبود عملکرد سیستم عصبی و افزایش قدرت شود (۱۸, ۲۶, ۳۴, ۵۲) .

یافته های پژوهشی موجود نشان می دهد که تصمیم گیری و نتیجه گیری در مورد تاثیرات پیش آماده سازی ایسکیمیک بر عملکرد ورزشی باید با احتیاط صورت گیرد. هر چند که با توجه به مکانیسم های احتمالی و مشخص، شواهد روزافزونی وجود دارد که نشان می دهد این روش می تواند به عنوان یک روش غیرتهاجمی، آسان و کم هزینه با کاربردهای بالینی و ورزشی مورد استفاده قرار گیرد و تاثیرات مثبتب به همراه داشته باشد. با توجه به اینکه هنوز بسیاری از جوانب و مکانیسم های های مرتبط با پیش آماده سازی ایسکیمک به خوبی شناخته نشده است و با وجود گستردگی تفاوت در پروتکل های منتخب ورزشی، اندام های هدف، نوع آزمودنی ها، میزان شدت های اعمال شده و سایر موارد شناخته شده و ناشناخته، ضرورت انجام پژوهش های بیشتر احساس می شود.

تشکر و قدردانی

از کسانی که در تهیه این مقاله یاری رساندند، تشکر و قدردانی می شود.

حمایت مالی

مقاله حاضر بدون حمایت مالی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

همه ی نویسندگان به صورت یکسان در انجام این مطالعه مشارکت داشتند.

تضاد منافع

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

نسخه پیش انتشار

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. احمد زاد, سجاد, ملکیان, خانی, رحمانی, هیوا. تأثیر فعالیت و تمرین ورزشی بر عملکرد و فعالیت پلاکت: مقالهٔ مروری. فیزیولوژی ورزشی. ۲۰۱۹;۱۱(۴۳):۱۷-۳۸.
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.