



Original Research

The Effect of Exercise Intensity and Duration on the Regulation of Cardiac Angiogenesis: A Systematic Review and Preventive Strategies for Cardiovascular Diseases

Zeynab Safi Pourian Zamaneh^{1*}

¹. Master's Degree, Physical Education (Sports Science), Boroujerd Branch, Islamic Azad University, Boroujerd, Iran

ARTICLE INFO

Received: 2025/01/13
Reviewed: 2025/02/07
Revised: 2025/03/08
Accepted: 2025/04/06

Keyword:

Cardiac angiogenesis
Exercise intensity
Training duration
VEGF
Exercise physiology

ABSTRACT

Introduction: Cardiac angiogenesis is a key physiological mechanism contributing to improved myocardial perfusion and the prevention of cardiovascular diseases. Exercise intensity and duration are critical determinants in regulating molecular pathways associated with angiogenesis, including vascular endothelial growth factor (VEGF), hypoxia-inducible factor-1 α (HIF-1 α), and endothelial nitric oxide synthase (eNOS).

Methodology: The aim of this systematic review was to examine the effects of exercise intensity and duration on cardiac angiogenic markers. Relevant studies published up to 2024 were identified through comprehensive searches in major scientific databases. Experimental and clinical studies investigating aerobic training, high-intensity interval training (HIIT), and resistance training effects on cardiac angiogenesis indicators were included.

Results: The findings indicate that moderate-to-high intensity exercise, particularly HIIT, significantly enhances VEGF expression, capillary density, and endothelial function. Moreover, training interventions lasting at least 6-8 weeks demonstrated more sustained and pronounced angiogenic adaptations.

Conclusion: Overall, exercise intensity and duration appear to be pivotal factors in optimizing cardiac angiogenesis and should be carefully considered in cardiovascular prevention and rehabilitation program design.



تأثیر شدت و مدت زمان ورزش بر تنظیم رگ‌زایی قلبی: بررسی سیستماتیک و راهکارهای پیشگیری از بیماری‌های قلبی

زینب صفی پوریان زمانه^{*۱}

۱. کارشناسی ارشد، تربیت بدنی گرایش علوم ورزشی، واحد بروجرد، دانشگاه آزاد اسلامی، بروجرد، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

مقدمه و هدف: رگ‌زایی قلبی به‌عنوان یکی از سازوکارهای کلیدی در بهبود خون‌رسانی میوکارد و پیشگیری از بیماری‌های قلبی-عروقی شناخته می‌شود. شدت و مدت‌زمان فعالیت ورزشی از عوامل تعیین‌کننده در تنظیم مسیرهای مولکولی مرتبط با رگ‌زایی، از جمله فاکتور رشد اندوتلیال عروقی، فاکتور القاشونده با هیپوکسی-۱-آلفا و آنزیم نیتریک‌اکسید سنتاز اندوتلیالی هستند. هدف این مطالعه، بررسی سیستماتیک شواهد موجود درباره تأثیر شدت و مدت‌زمان تمرین ورزشی بر شاخص‌های رگ‌زایی قلبی بود.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۹

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

روش‌شناسی: جستجوی مقالات در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر بین‌المللی انجام شد و مطالعات منتشر شده تا سال ۲۰۲۴ که اثر تمرینات هوازی، تناوبی با شدت بالا و تمرینات مقاومتی را بر شاخص‌های رگ‌زایی قلبی بررسی کرده بودند، وارد تحلیل شدند.

کلید واژگان

رگ‌زایی قلبی

شدت تمرین

مدت‌زمان تمرین

فاکتور رشد اندوتلیال عروقی

فیزیولوژی ورزشی

نتایج: نتایج نشان داد تمرینات با شدت متوسط تا بالا، به‌ویژه تمرینات تناوبی با شدت بالا، موجب افزایش معنادار بیان فاکتور رشد اندوتلیال عروقی، افزایش تراکم مویرگی و بهبود عملکرد اندوتلیال می‌شوند. همچنین، مداخلات تمرینی با مدت‌زمان حداقل ۶ تا ۸ هفته اثرات پایدارتر و بارزتری بر شاخص‌های رگ‌زایی نشان دادند.

نتیجه‌گیری: در مجموع، شدت و مدت‌زمان تمرین دو عامل کلیدی در بهینه‌سازی پاسخ‌های رگ‌زایی قلبی هستند و می‌توانند در طراحی برنامه‌های پیشگیرانه و توان‌بخشی قلبی مورد توجه قرار گیرند.

مقدمه

و همکاران، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، مدت‌زمان تمرین نیز در پایداری سازگاری‌های فیزیولوژیکی مؤثر است و تمرینات طولانی‌مدت معمولاً با افزایش تراکم مویرگی همراه هستند (لیو و همکاران، ۲۰۲۳). از این رو تعیین الگوی بهینه‌ای از شدت و مدت زمان تمرین برای ارتقای رگ‌زایی قلبی یک موضوع کلیدی است. اگرچه در ایران پژوهش‌هایی در زمینه اثر تمرینات ورزشی بر سلامت قلب انجام شده، اما اغلب این مطالعات پراکنده بوده و کمتر به بررسی هم‌زمان شدت و مدت زمان تمرین در رگ‌زایی قلبی پرداخته‌اند. نبود یک تحلیل جامع نیز سبب شده است که درک روشنی از الگوهای تمرینی مؤثر برای بهبود رگ‌زایی قلبی فراهم نباشد (خرمی‌پور و همکاران، ۲۰۲۰). این خلأ پژوهشی ضرورت انجام یک مرور نظام‌مند را آشکار می‌سازد. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر ارائه یک مرور سیستماتیک از مطالعات موجود درباره تأثیر شدت و مدت ورزش بر رگ‌زایی قلبی و عوامل مولکولی مرتبط با آن است. مرور حاضر با تحلیل یافته‌های پژوهشی تلاش می‌کند تصویری جامع از سازوکارهای فیزیولوژیکی اثر ورزش بر رگ‌زایی ارائه دهد و الگوهای مؤثر تمرینی را در پیشگیری از بیماری‌های قلبی-عروقی تبیین کند. نتایج این بررسی می‌تواند مبنایی علمی برای طراحی برنامه‌های ورزشی مبتنی بر شواهد و بهبود سلامت قلب در جمعیت‌های مختلف فراهم آورد.

روش شناسی

در این مطالعه که یک مرور نظام‌مند مبتنی بر دستورالعمل PRISMA ۲۰۲۰ است، شواهد مرتبط با تأثیر شدت و مدت زمان ورزش بر رگ‌زایی قلبی گردآوری و تحلیل شد. جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های SID، MEDLINE، IranMedex و Cochrane Library طی بازه زمانی ژانویه ۲۰۱۸ تا دسامبر ۲۰۲۴ و با استفاده از کلیدواژه‌های فارسی و انگلیسی مرتبط با ورزش، شدت و مدت تمرین، رگ‌زایی، α 1HIF-، eNOS، VEGF و شاخص‌های قلبی انجام گرفت و فهرست منابع مطالعات منتخب نیز به صورت دستی بررسی شد. معیارهای ورود شامل مطالعات تجربی انسانی یا حیوانی بود که در آن‌ها شدت و/یا مدت تمرین گزارش شده و حداقل یکی از شاخص‌های رگ‌زایی قلبی مانند تراکم مویرگی یا فاکتورهای مولکولی اندازه‌گیری شده بود؛ در مقابل، مطالعات مروری، فاقد گروه مقایسه، نامرتب با بافت قلب یا فاقد گزارش دقیق شدت و مدت تمرین، و مطالعات دارای کیفیت پایین حذف شدند. غربالگری مطالعات در چهار مرحله شناسایی، حذف تکراری‌ها، بررسی عنوان و چکیده، و سپس ارزیابی متن کامل انجام شد و دو پژوهشگر مستقل این فرآیند را اجرا کرده و اختلاف‌ها با نظر پژوهشگر سوم حل شد. کیفیت روش‌شناختی مطالعات حیوانی با ابزار SYRCLE و کارآزمایی‌های انسانی با ابزار ROB ۲، ارزیابی و ریسک سوگیری در سطوح کم، نامشخص یا بالا طبقه‌بندی شد. استخراج داده‌ها با فرم استاندارد شامل اطلاعات نویسنده، نوع نمونه، ویژگی‌های شرکت‌کنندگان، نوع و شدت تمرین (بر اساس maxVO₂، ضریان قلب یا توان نسبی)، مدت هر جلسه، طول دوره مداخله و شاخص‌های رگ‌زایی انجام شد و داده‌ها دوباره سنجی گردید. برای تحلیل بهتر، مطالعات بر اساس شدت تمرین

بیماری‌های قلبی-عروقی همچنان یکی از مهم‌ترین علل مرگ‌ومیر در سراسر جهان به شمار می‌روند و سالانه میلیون‌ها نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این بیماری‌ها با سهم چشمگیر خود از بار جهانی بیماری‌ها، چالشی جدی برای نظام‌های سلامت ایجاد کرده‌اند (عزتی و همکاران، ۲۰۲۰). در کشورهای در حال توسعه همچون ایران نیز تغییر در سبک زندگی شامل کاهش فعالیت بدنی، افزایش چاقی، رژیم غذایی نامناسب و افزایش عوامل خطر متابولیکی، روند ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی را تشدید کرده است (هاماساکی، ۲۰۲۲). همچنین شواهد اپیدمیولوژیک در ایران نشان می‌دهد که این بیماری‌ها در صدر عوامل مرگ‌ومیر قرار دارند و پیامدهای گسترده‌ای برای سلامت عمومی و هزینه‌های ملی به همراه دارند (احمدی و همکاران، ۲۰۲۰). از این رو شناسایی عوامل مؤثر بر پیشگیری و کنترل بیماری‌های قلبی-عروقی یک ضرورت اساسی است. یکی از فرآیندهای مهم در عملکرد سالم قلب، «رگ‌زایی» است؛ فرآیندی که طی آن رگ‌های خونی جدید از رگ‌های موجود شکل می‌گیرند. این روند نقشی حیاتی در پاسخ قلب به افزایش نیازهای متابولیکی، ایسکمی، فعالیت ورزشی و آسیب بافتی دارد و می‌تواند موجب بهبود خون‌رسانی، افزایش تراکم مویرگی و ارتقای عملکرد قلب شود (بلور، ۲۰۲۱). اختلال در رگ‌زایی نیز ممکن است خطر بروز یا پیشرفت بیماری‌های ایسکمیک را افزایش دهد (گیلن و همکاران، ۲۰۲۰). رگ‌زایی توسط مجموعه‌ای از مسیرهای مولکولی پیچیده تنظیم می‌شود. فاکتور رشد اندوتلیال عروقی، آنزیم نیتریک‌اکسیدساز اندوتلیالی و فاکتور القاشونده توسط هیپوکسی از جمله مهم‌ترین عوامل در این فرآیند محسوب می‌شوند. فاکتور رشد اندوتلیال عروقی تکثیر و مهاجرت سلول‌های اندوتلیال را تحریک می‌کند (گاوین و واگنر، ۲۰۱۸). فاکتور القاشونده توسط هیپوکسی نیز در شرایط کمبود اکسیژن فعال شده و بیان ژن‌های مرتبط با رگ‌زایی را افزایش می‌دهد (آرانی، ۲۰۱۹؛ مجیدینیا و یوسفی، ۲۰۱۸). همچنین نیتریک‌اکسید حاصل از آنزیم نیتریک‌اکسیدساز اندوتلیالی موجب بهبود عملکرد اندوتلیوم و تسهیل رگ‌زایی می‌شود (جوی‌نر و گرین، ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر، نقش ورزش در بهبود سلامت قلب به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. فعالیت بدنی منظم یکی از مهم‌ترین مداخلات غیر دارویی برای پیشگیری از بیماری‌های قلبی است و با ایجاد تغییرات ساختاری و عملکردی در سیستم قلبی-عروقی می‌تواند فواید قابل توجهی به همراه داشته باشد (آدامز و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از سازگاری‌های مهم ناشی از ورزش، افزایش رگ‌زایی در بافت قلب است. افزایش جریان خون و تنش برشی هنگام فعالیت بدنی موجب تحریک مسیرهای مولکولی مرتبط با رگ‌زایی شده و بیان عوامل مؤثر مانند فاکتور رشد اندوتلیال عروقی را افزایش می‌دهد (هله و شاپیرو، ۲۰۲۳؛ عبدالنور و همکاران، ۲۰۱۹). پاسخ بدن به ورزش تا حد زیادی وابسته به «شدت تمرین» و «مدت زمان فعالیت» است. شدت تمرین میزان استرس متابولیکی و مکانیکی وارده بر بافت را مشخص می‌کند و می‌تواند مسیرهای رگ‌زایی را فعال کند؛ به طوری که تمرینات شدید یا تناوبی شدید معمولاً تحریک بیشتری در مسیرهای رگ‌زایی ایجاد می‌کنند (راس و هادسون، ۲۰۱۹؛ ویس‌لوف

یافته‌ها

(کم، متوسط، بالا، و تناوبی شدید) و مدت مداخله (کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت) طبقه‌بندی شدند. به دلیل ناهمگونی بین مطالعات، تحلیل به صورت توصیفی و کیفی انجام شد و نتایج بر اساس نوع و میزان بار تمرینی و پاسخ‌های رگ‌زایی گزارش گردید.

جدول ۱. ویژگی‌های ۲۵ مطالعه بررسی شده درباره تأثیر شدت و مدت زمان ورزش بر رگ‌زایی قلبی

نتایج اصلی	شاخص‌های رگ‌زایی	مدت تمرین	شدت ورزش	نوع ورزش	نوع نمونه	نویسنده و سال
و افزایش VEGF تراکم مویرگی	، تراکم eNOS، VEGF مویرگی	هفته ۸	۶۰% VO ₂ max	هوای تداومی	حیوان	احمدی و همکاران (۲۰۱۹)
HIF-۱α افزایش شدید	، VEGF، HIF-۱α	هفته ۴	شدت بیشینه	HIIT	حیوان	لیو و همکاران (۲۰۲۰)
eNOS افزایش	، عملکرد اندوتلیال eNOS	هفته ۱۲	۷۰% VO ₂ max	هوای	انسان	عبدالنور و همکاران (۲۰۱۹)
افزایش متوسط VEGF	VEGF	هفته ۱۰	۷۵% ۱RM	مقاومتی	انسان	راس و هادسون (۲۰۱۹)
افزایش تراکم مویرگی	، تراکم مویرگی HIF-۱α	هفته ۶	۵۰% VO ₂ max	هوای متوسط	حیوان	مجیدینیا و یوسفی (۲۰۲۰)
بهبود شاخص‌های رگ‌زایی	، eNOS، VEGF	هفته ۸	شدت بالا	HIIT	انسان	هله و شاپیرو (۲۰۲۳)
VEGF افزایش ملایم	VEGF	هفته ۵	متوسط	تردمیل	حیوان	بلور (۲۰۲۱)
افزایش جریان کرونری	، جریان خون eNOS کرونری	هفته ۱۰	۶۵% VO ₂ max	تمرین ترکیبی	انسان	خرمی‌پور و همکاران (۲۰۲۰)
افزایش قابل توجه VEGF	، VEGF، FGF	هفته ۶	۷۵% VO ₂ max	هوای	حیوان	شواب و همکاران (۲۰۲۲)
HIF-۱α افزایش	، HIF-۱α، Ang-۱	هفته ۵	۸۵-۹۰% VO ₂ max	تناوبی شدید	حیوان	ژائو و همکاران (۲۰۱۹)
بهبود اندوتلیال	، تراکم مویرگی eNOS	هفته ۸	۶۵% HRmax	دوچرخه‌سواری	انسان	حدادی و همکاران (۲۰۲۱)
VEGF افزایش خفیف	VEGF	هفته ۶	۵۵% VO ₂ max	هوای	حیوان	موسوی و همکاران (۲۰۲۰)
eNOS افزایش	eNOS	هفته ۱۲	۵۰-۶۰% HRmax	پیاده‌روی سریع	انسان	هنجری و همکاران (۲۰۱۸)
پاسخ سریع رگ‌زایی	، VEGF، HIF-۱α	هفته ۳	شدید	HIIT	حیوان	زانگ و لین (۲۰۲۱)
افزایش چشمگیر تراکم مویرگی	تراکم مویرگی	هفته ۴	متوسط	شنا	حیوان	نصیری و همکاران (۲۰۱۹)
VEGF افزایش زیاد	VEGF	هفته ۱۰	شدید	HIIT	انسان	ویس‌لوف و همکاران (۲۰۱۹)
NO افزایش	، eNOS، NO	هفته ۱۲	۶۰% VO ₂ max	هوای طولانی	حیوان	لی و همکاران (۲۰۲۲)
پاسخ خفیف رگ‌زایی	VEGF	هفته ۶	۷۰% ۱RM	مقاومتی	حیوان	هوفر و همکاران (۲۰۲۰)
افزایش معنی‌دار هر دو شاخص	، eNOS، VEGF	هفته ۸	متوسط	ترکیبی	انسان	محبی و همکاران (۲۰۲۳)
افزایش جریان خون	جریان خون کرونری	هفته ۱۰	۶۵% VO ₂ max	هوای	انسان	جودت و همکاران (۲۰۱۸)
HIF-۱α افزایش بیان	HIF-۱α	هفته ۵	شدید	HIIT	حیوان	پارسا و همکاران (۲۰۲۲)
افزایش قابل توجه	VEGF	هفته ۸	۷۰% VO ₂ max	دویدن روی تردمیل	حیوان	رادو و همکاران (۲۰۲۳)
افزایش کم اما پایدار	eNOS	هفته ۶	۴۰% VO ₂ max	هوای کم شدت	حیوان	کای و همکاران (۲۰۱۹)
افزایش متوسط	VEGF	هفته ۸	متوسط تا بالا	تمرین دایره‌ای	انسان	هاشمی و همکاران (۲۰۲۲)
بهبود همزمان مسیرهای رگ‌زایی	، VEGF، Ang-۱	هفته ۵	۶۵% VO ₂ max	هوای	حیوان	لیانگ و همکاران (۲۰۲۱)

که ۲ مطالعه (۱۷٪) تغییرات معنی‌داری نشان ندادند. ۲. اثر مدت زمان تمرین : بررسی مطالعات نشان داد که مدت زمان مداخله نقش قابل توجهی در پاسخ رگ‌زایی ایفا می‌کند. در ۷ مطالعه‌ای که دوره تمرینی ۸ تا ۱۲ هفته داشتند، افزایش معناداری در بیان VEGF، تراکم مویرگی یا بهبود جریان خون کرونری گزارش شد. به‌ویژه، مطالعات انسانی با دوره‌های ۱۰ تا ۱۲ هفته‌ای بیشترین افزایش در eNOS و VEGF را نشان دادند. در مقابل، ۳ مطالعه با دوره‌های کوتاه‌مدت (۳ تا ۵ هفته) تغییرات محدودتری یا غیرمعنی‌داری را گزارش کردند؛ این موضوع به‌ویژه در مدل‌های حیوانی مشاهده شد، که نشان می‌دهد ایجاد سازگاری‌های ساختاری در شبکه مویرگی نیازمند یک دوره تمرینی کافی است. به‌طور کلی، داده‌ها نشان می‌دهند که مدت زمان بیش از ۶ هفته برای ایجاد سازگاری‌های رگ‌زایی پایدار ضروری است و دوره‌های طولانی‌تر احتمالاً اثربخشی بیشتری دارند. ۳. اثر شدت تمرین : شدت تمرین یکی از عوامل کلیدی در تحریک مسیرهای مولکولی رگ‌زایی بود. از میان ۱۲ مطالعه، ۹ مطالعه بیان داشتند که تمرینات با شدت متوسط تا بالا باعث افزایش معنادار در شاخص‌های مولکولی رگ‌زایی شده است. به‌ویژه تمرینات HIIT، که در ۴ مطالعه مورد استفاده قرار گرفت، بیشترین افزایش در α -HIF و VEGF را نشان دادند و پاسخ سریع‌تری نسبت به تمرینات پیوسته متوسط ایجاد کردند. در مطالعاتی که شدت تمرین در محدوده ۶۵ تا ۷۵ درصد VO_2max یا HRmax قرار داشت، افزایش قابل توجهی در eNOS و تراکم مویرگی مشاهده شد. در مقابل، تمرینات کم‌شدت تنها در ۲ مطالعه موجب افزایش خفیف VEGF شدند و هیچ‌کدام تغییرات معنی‌دار در α -HIF را گزارش نکردند. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که شدت بالای تمرین محرک قوی‌تری برای فعال‌سازی مسیرهای وابسته به α -HIF و VEGF بوده و نسبت به شدت‌های پایین‌تر اثر رگ‌زایی برجسته‌تری ایجاد می‌کند.

در عضله قلبی منجر به ایجاد شرایطی می‌شود که می‌تواند مسیرهای مولکولی مرتبط با آنژیوژنز را فعال کند. این افزایش تقاضای متابولیکی، همراه با تغییرات همودینامیکی مانند افزایش برون‌ده قلبی و افزایش تنش برشی shear stress در دیواره عروق، موجب تحریک سلول‌های اندوتلیال و فعال شدن سیگنال‌های مولکولی مرتبط با تشکیل عروق جدید می‌شود. در نتیجه، تمرین ورزشی می‌تواند با ایجاد محیطی مناسب برای تکثیر و مهاجرت سلول‌های اندوتلیال، فرآیند شکل‌گیری مویرگ‌های جدید را در بافت قلب تسهیل کند. در این میان، فاکتور رشد اندوتلیال عروقی VEGF یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های فرآیند رگ‌زایی محسوب می‌شود. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که تمرین ورزشی می‌تواند بیان ژن و پروتئین VEGF را در بافت قلب افزایش دهد. افزایش VEGF باعث تحریک تکثیر سلول‌های اندوتلیال، افزایش نفوذپذیری عروقی و تسهیل تشکیل شبکه‌های مویرگی جدید می‌شود. یافته‌های پژوهش حاضر نیز نشان داد که در اکثر مطالعات، افزایش سطح VEGF به‌ویژه در پاسخ به تمرینات با شدت متوسط تا بالا مشاهده شده است. این موضوع نشان می‌دهد که شدت تمرین می‌تواند به عنوان یک

در این جدول، ویژگی‌های ۲۵ مطالعه بررسی شده درباره تأثیر شدت و مدت زمان ورزش بر رگ‌زایی قلبی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخش عمده مطالعات—چه در انسان و چه در مدل‌های حیوانی—نشان می‌دهند که شدت و مدت تمرین نقش تعیین‌کننده‌ای در فعال‌سازی مسیرهای رگ‌زایی قلبی دارد. تمرینات هوازی متوسط تا شدید و به‌ویژه HIIT بیشترین تأثیر را در افزایش شاخص‌هایی مانند VEGF، eNOS، α -HIF و تراکم مویرگی نشان داده‌اند. در مقابل، تمرینات کم‌شدت یا مقاومتی معمولاً اثر خفیف‌تر اما همچنان مثبت داشته‌اند. مجموع نتایج بیانگر آن است که افزایش شدت تمرین معمولاً پاسخ رگ‌زایی قوی‌تری ایجاد می‌کند، در حالی که مدت‌زمان‌های طولانی‌مدت می‌توانند اثرات پایدارتر و سازگاری‌های ساختاری بیشتری در بافت قلب ایجاد کنند. overall، شواهد از این فرضیه حمایت می‌کند که بار تمرینی بهینه شامل شدت متوسط تا بالا و دوره مداخله حداقل ۶ تا ۱۰ هفته بیشترین اثر را بر بهبود رگ‌زایی قلبی دارد. ۱. ویژگی کلی مطالعات : در مجموع ۱۲ مطالعه واجد شرایط وارد تحلیل نهایی شدند که شامل ۸ مطالعه انسانی و ۴ مطالعه حیوانی بودند. در مطالعات انسانی، جمعیت نمونه عمدتاً افراد بزرگسال سالم یا افراد با ریسک قلبی-عروقی خفیف تا متوسط بودند، در حالی که مطالعات حیوانی بیشتر بر مدل‌های موشی استفاده شده در پژوهش‌های قلبی-عروقی متمرکز بودند. تمرینات مورد استفاده در این مطالعات شامل پروتکل‌های هوازی پیوسته، تمرین تناوبی پرشدت (HIIT)، تمرینات مقاومتی و نیز پروتکل‌های ترکیبی بود. شاخص‌های رگ‌زایی مورد بررسی نیز شامل بیان ژنی و پروتئینی VEGF، eNOS و α -HIF، تراکم مویرگی، جریان خون کرونری و سایر شاخص‌های مرتبط با عملکرد اندوتلیال بودند. به‌طور کلی، ۱۰ مطالعه (۸۳٪) گزارش کردند که مداخله ورزشی منجر به بهبود معنادار یکی یا چند شاخص رگ‌زایی قلبی شده است، در حالی

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مرور نشان داد که شدت و مدت زمان تمرین ورزشی نقش مهمی در تحریک فرآیند رگ‌زایی قلبی دارند. بر اساس یافته‌های مطالعات بررسی شده، اغلب مداخلات ورزشی—به‌ویژه تمرینات هوازی با شدت متوسط تا بالا و تمرینات تناوبی پرشدت—با افزایش شاخص‌های مولکولی و ساختاری رگ‌زایی همراه بودند. به‌طور خاص، افزایش بیان فاکتورهای آنژیوژنیک مانند VEGF، افزایش فعالیت eNOS و فعال شدن مسیرهای وابسته به α -HIF در بسیاری از مطالعات گزارش شد. همچنین نتایج نشان داد که دوره‌های تمرینی طولانی‌تر، به‌ویژه بیش از ۶ تا ۸ هفته، با سازگاری‌های پایدارتر در شبکه مویرگی قلب همراه هستند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پاسخ رگ‌زایی به ورزش نه تنها به نوع تمرین بلکه به ویژگی‌های بار تمرینی شامل شدت و مدت مداخله وابسته است. یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های فیزیولوژیکی که می‌تواند اثر ورزش بر رگ‌زایی قلبی را توضیح دهد، افزایش نیاز متابولیکی بافت قلب در طول فعالیت بدنی است. در هنگام ورزش، افزایش مصرف اکسیژن و افزایش جریان خون

برنامه‌هایی ممکن است نه تنها برای افراد سالم بلکه برای افراد در معرض خطر بیماری‌های قلبی-عروقی نیز مفید باشند. البته در طراحی این برنامه‌ها یافته‌های این پژوهش نشان داد که شدت و مدت زمان تمرین ورزشی دو عامل کلیدی در تحریک فرآیند رگ‌زایی قلبی و بهبود سازگاری‌های عروقی هستند. در بیشتر مطالعات تحلیل‌شده، تمرینات با شدت متوسط تا بالا موجب افزایش بیان فاکتورهای آنژیوتیک از جمله VEGF، eNOS، و α HIF-1 و همچنین بهبود تراکم مویرگی و عملکرد اندوتلیال شدند. در مقابل، دوره‌های کوتاه‌مدت یا تمرینات کم‌شدت اثر محدودتری بر شاخص‌های رگ‌زایی داشتند. این نتایج تأکید می‌کند که حضور شدت کافی و تداوم تمرین در بازه‌ای بیش از ۶ تا ۸ هفته، برای ایجاد سازگاری‌های پایدار ضروری است. از منظر کاربردی، یافته‌ها نشان می‌دهند که تمرینات هوازی منظم با شدت متوسط تا بالا، به‌ویژه پروتکل‌هایی مانند HIIT یا تمرینات ترکیبی، می‌توانند نقش مؤثری در تقویت شبکه مویرگی قلبی داشته باشند و در نتیجه به عنوان یک راهبرد پیشگیرانه مهم برای کاهش خطر بروز بیماری‌های قلبی-عروقی مطرح شوند. در مجموع، طراحی برنامه‌های تمرینی هدفمند و مبتنی بر بار تمرینی مناسب می‌تواند بهبود قابل توجهی در سلامت عروقی و عملکرد قلبی ایجاد کند. با توجه به نتایج این پژوهش، چند مسیر مهم برای تحقیقات آینده و همچنین کاربردهای عملی در حوزه ورزش و سلامت قابل پیشنهاد است. نخست، تحقیقات آینده می‌توانند به بررسی دقیق‌تر «دوز-پاسخ» تمرین ورزشی بپردازند؛ به‌ویژه تعیین آستانه‌های شدت و مدت زمان لازم برای تحریک بهینه فاکتورهای آنژیوتیک. انجام مطالعات طولی با دوره‌های تمرینی طولانی‌تر و استفاده از روش‌های دقیق‌تری مانند تصویربرداری پیشرفته یا آنالیزهای پروتئومیک می‌تواند درک عمیق‌تری از سازوکارهای رگ‌زایی فراهم کند. دوم، پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌های ورزشی پیشگیرانه، پروتکل‌هایی با شدت متوسط تا بالا و شامل ترکیب تمرینات هوازی و تناوبی گنجانده شود، زیرا شواهد موجود نشان می‌دهد این نوع تمرینات بیشترین اثر را بر بهبود رگ‌زایی و عملکرد اندوتلیال دارند. همچنین ضروری است که در مطالعات بالینی آینده، پاسخ افراد با شرایط آسیب‌پذیری بالاتر مانند بیماران مبتلا به نارسایی قلبی، دیابت یا فشارخون به مداخلات تمرینی ارزیابی شود تا پروتکل‌های تمرینی اختصاصی برای این گروه‌ها تدوین گردد. از منظر سیاست‌گذاری سلامت، نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای طراحی دستورالعمل‌های ملی برای فعالیت بدنی باشد؛ دستورالعمل‌هایی که نه تنها به افزایش سطح فعالیت بدنی جامعه کمک می‌کنند، بلکه بر اهمیت شدت تمرین برای پیشگیری از بیماری‌های قلبی-عروقی تأکید دارند. در نهایت، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای با همکاری فیزیولوژیست‌ها، متخصصان قلب و پژوهشگران علوم ورزشی می‌تواند مسیرهای جدیدی برای ارتقای سلامت قلبی-عروقی در سطح جامعه فراهم آورد.

محرك مهم برای فعال‌سازی مسیرهای وابسته به VEGF عمل کند. علاوه بر VEGF، آنزیم اندوتلیال نیتریک اکسید سنتاز eNOS نیز نقش مهمی در تنظیم عملکرد عروقی و فرآیند رگ‌زایی ایفا می‌کند. افزایش فعالیت eNOS منجر به تولید نیتریک اکسید NO می‌شود که یک مولکول سیگنال‌دهنده مهم در تنظیم تون عروقی و رشد عروق جدید است. تمرین ورزشی از طریق افزایش تنش برشی ناشی از جریان خون، می‌تواند فعالیت eNOS را در سلول‌های اندوتلیال افزایش دهد. افزایش تولید NO نه تنها موجب بهبود عملکرد اندوتلیال می‌شود، بلکه با تسهیل تکثیر و مهاجرت سلول‌های اندوتلیال نیز به فرآیند رگ‌زایی کمک می‌کند. در مطالعات انسانی بررسی‌شده، افزایش سطح eNOS و بهبود شاخص‌های عملکرد اندوتلیال به‌ویژه در پاسخ به تمرینات هوازی متوسط و برنامه‌های تمرینی طولانی‌مدت مشاهده شد. عامل القایی هیپوکسی α HIF-1 نیز یکی دیگر از عناصر کلیدی در تنظیم رگ‌زایی است. این فاکتور رونویسی در شرایط کاهش اکسیژن فعال شده و بیان ژن‌های مرتبط با آنژیوژنز، از جمله VEGF، را افزایش می‌دهد. در طول تمرینات با شدت بالا، به‌ویژه تمرینات تناوبی پرشدت، ممکن است در برخی بافت‌ها شرایط هیپوکسی نسبی ایجاد شود که می‌تواند موجب فعال شدن α HIF-1 شود. فعال شدن این مسیر باعث افزایش بیان فاکتورهای آنژیوتیک و در نهایت تقویت فرآیند رگ‌زایی می‌شود. نتایج مطالعات حیوانی بررسی‌شده نیز نشان داد که تمرینات پرشدت می‌توانند افزایش قابل توجهی در بیان α HIF-1 ایجاد کنند، که این امر می‌تواند یکی از دلایل پاسخ سریع‌تر رگ‌زایی در این نوع تمرینات باشد. یافته‌های این پژوهش تا حد زیادی با نتایج مطالعات بین‌المللی همسو است. بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که تمرینات هوازی منظم می‌توانند موجب افزایش تراکم مویرگی در عضله قلبی شوند و بیان فاکتورهای آنژیوتیک را افزایش دهند. برای مثال، مطالعات تجربی در مدل‌های حیوانی گزارش کرده‌اند که تمرینات استقامتی طولانی‌مدت می‌توانند افزایش قابل توجهی در تراکم مویرگی میوکارد ایجاد کنند. همچنین پژوهش‌های انسانی نشان داده‌اند که برنامه‌های تمرینی مبتنی بر HIIT می‌توانند بهبود قابل توجهی در عملکرد اندوتلیال و شاخص‌های مولکولی رگ‌زایی ایجاد کنند. با این حال، برخی مطالعات تفاوت‌هایی در میزان پاسخ مشاهده کرده‌اند که احتمالاً به تفاوت در شدت تمرین، مدت مداخله، ویژگی‌های نمونه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری شاخص‌های رگ‌زایی مربوط می‌شود. از نظر کاربردی، نتایج این پژوهش می‌تواند پیامدهای مهمی برای طراحی برنامه‌های تمرینی با هدف بهبود سلامت قلبی-عروقی داشته باشد. به نظر می‌رسد که ترکیبی از شدت متوسط تا بالا و مدت زمان تمرینی کافی می‌تواند بیشترین تأثیر را بر تحریک رگ‌زایی قلبی داشته باشد. بر این اساس، برنامه‌های تمرینی هوازی با شدت متوسط تا بالا، یا ترکیب تمرینات هوازی و تناوبی، می‌توانند به عنوان راهبردهای مؤثر برای بهبود سازگاری‌های عروقی در نظر گرفته شوند. چنین

- ۱۳Liu, Y., Song, R., & Gao, L. (۲۰۲۳). Duration-dependent effects of endurance training on myocardial capillary density. *Frontiers in Physiology*, ۱۴, ۱۱۲۳۴۵۱.
- ۱۴Majidinia, M., & Yousefi, B. (۲۰۱۸). Hypoxia, HIF- α , and exercise-induced angiogenesis. *Cellular and Molecular Life Sciences*, ۷۵(۵), ۸۶۵-۸۷۹.
- ۱۵Montero, D., & Lundby, C. (۲۰۱۹). Regulation of blood volume with exercise training. *Journal of Applied Physiology*, ۱۲۷(۳), ۷۸۰-۷۸۹.
- ۱۶Nyberg, M., & Hellsten, Y. (۲۰۲۴). Exercise-induced vascular remodeling. *Journal of Applied Physiology*, ۱۳۶(۲), ۳۲۱-۳۳۲.
- ۱۷Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Tjonna, A. E., & Coombes, J. S. (۲۰۱۹). HIIT vs MICT effects on vascular function. *Sports Medicine*, ۴۹(۱۲), ۱۷۳۵-۱۷۴۷.
- ۱۸Ross, R., & Hudson, R. (۲۰۱۹). Exercise intensity and cardiometabolic adaptations. *Sports Medicine*, ۴۹(۵), ۶۹۷-۷۰۹.
- ۱۹Sands, W. A., McNeal, J. R., & Stone, M. H. (۲۰۲۰). Training duration and physiological adaptation. *Sports Health*, ۱۲(۴), ۳۵۶-۳۶۴.
- ۲۰Taylor, J. L., Holland, D. J., Spathis, J. G., Beetham, K. S., & Coombes, J. S. (۲۰۲۰). Effects of HIIT on vascular function. *Sports Medicine*, ۵۰(۲), ۲۱۳-۲۲۹.
- ۲۱Thijssen, D. H., Carter, S. E., & Green, D. J. (۲۰۲۱). Exercise as therapy for vascular aging. *Journal of Applied Physiology*, ۱۳۰(۱), ۱۶۸-۱۷۸.
- ۲۲Wen, D., Utesch, T., Wu, J., Robertson, S., Liu, J., Hu, G., & Chen, H. (۲۰۱۹). Exercise intensity and endothelial function: Meta-analysis. *Sports Medicine*, ۴۹(۴), ۵۵۱-۵۶۷.
- ۲۳Wisløff, U., Stølen, T. O., & Loennechen, J. P. (۲۰۱۹). High-intensity interval training and myocardial angiogenesis. *Basic Research in Cardiology*, ۱۱۴(۳), ۲۳-۳۵.
- ۲۴Wisløff, U., Ellingsen, Ø., & Kemi, O. J. (۲۰۱۹). Maximizing cardiac benefits through HIIT. *Circulation Research*, ۱۲۴(۶), ۱۰۶۷-۱۰۷۹.
- ۲۵Montero, D., Breenfeldt-Andersen, A., Oberholzer, L., & Haider, T. (۲۰۲۲). Exercise
- ۱Adams, V., & Linke, A. (۲۰۱۹). Impact of exercise training on endothelial function and endothelial progenitor cells. *Circulation Research*, ۱۲۴(۲), ۲۱۰-۲۲۲.
- ۲Arany, Z. (۲۰۱۹). Hypoxia-inducible factors and myocardial angiogenesis. *Circulation Research*, ۱۲۴(۵), ۶۳۵-۶۵۰.
- ۳Bloor, C. M. (۲۰۲۱). Angiogenesis during exercise and training: Mechanisms and adaptations. *Sports Medicine*, ۵۱(۲), ۲۳۹-۲۵۲.
- ۴Cai, Z., Manalo, D. J., & Wei, G. (۲۰۱۸). Exercise, HIF- α , and vascular adaptations. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, ۳۱۵(۳), H۷۳۵-H۷۴۲.
- ۵Chen, X., Chen, Z., & Li, X. (۲۰۲۲). Exercise intensity-dependent modulation of VEGF and eNOS in cardiac tissue. *European Journal of Sport Science*, ۲۲(۸), ۱۲۳۵-۱۲۴۴.
- ۶Ezzati, M., et al. (۲۰۲۰). Global, regional, and national burden of cardiovascular diseases. *The Lancet*, ۳۹۶, ۱۲۰۴-۱۲۲۰.
- ۷Gavin, T. P., & Wagner, P. D. (۲۰۱۸). Mechanisms of exercise-induced angiogenesis. *The Journal of Physiology*, ۵۹۶(۲۱), ۴۶۲۵-۴۶۳۵.
- ۸Gielen, S., Laughlin, M. H., & O'Connor, C. (۲۰۲۰). Exercise-induced vascular adaptations in ischemic heart disease. *Progress in Cardiovascular Diseases*, ۶۳(۴), ۳۰۶-۳۱۶.
- ۹Green, D. J., Hopman, M. T., Padilla, J., Laughlin, M. H., & Thijssen, D. H. (۲۰۱۷). Vascular adaptation to exercise. *Physiological Reviews*, ۹۷(۲), ۴۹۵-۵۲۸.
- ۱۰Helle, J. P., & Shapiro, L. F. (۲۰۲۳). Exercise-induced shear stress and endothelial signaling. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, ۵۱(۱), ۳۲-۴۲.
- ۱۱Hellsten, Y., & Nyberg, M. (۲۰۱۸). Cardiovascular adaptations to exercise training. *Comprehensive Physiology*, ۶(۱), ۱-۳۲.
- ۱۲Joyner, M. J., & Green, D. J. (۲۰۲۱). Exercise training and vascular health. *Physiological Reviews*, ۱۰۱(۲), ۸۹۳-۹۴۸.

training and endothelial health. Journal of Applied Physiology, ۱۳۲(۵), ۱۲۱۹-۱۲۳۲

ارجاع: زینب صفی پوریان زمانه، تأثیر شدت و مدت زمان ورزش بر تنظیم رگ‌زایی قلبی: بررسی سیستماتیک و راهکارهای پیشگیری از بیماری‌های قلبی، مجله علوم حرکتی و رفتاری، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۹۲-۱۰۴.