

به نام خدا

فیزیولوژی تمرین: واکنش بدن در پاسخ به تمرینات ورزش

مؤلف:

فرشته فهیمی

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران - ۱۴۰۴)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir

سرشناسه: فهیمی، فرشته، ۱۳۵۰
عنوان و نام پدیدآور: فیزیولوژی تمرین: واکنش بدن در پاسخ به تمرینات ورزش / مولف فرشته فهیمی
مشخصات نشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری: ۱۱۰ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۱۷-۴۵۵-۳
وضعیت فهرست نویسی: فیبا
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: فیزیولوژی - واکنش بدن - پاسخ به تمرینات ورزش
رده بندی کنگره: TP ۹۸۳
رده بندی دیویی: ۵۵/۶۶۸
شماره کتابشناسی ملی: ۹۹۷۶۵۸۸
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیبا

نام کتاب: فیزیولوژی تمرین: واکنش بدن در پاسخ به تمرینات ورزش

مولف: فرشته فهیمی

ناشر: انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)

صفحه آرای، تنظیم و طرح جلد: پروانه مهاجر

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۴

چاپ: زیرجد

قیمت: ۱۱۰۰۰۰ تومان

فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان:

<https://chaponashr.ir/ketabresan>

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۱۱۷-۴۵۵-۳

تلفن مرکز پخش: ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵

www.chaponashr.ir



انتشارات ارسطو



"این کتاب را به همسر عزیزم تقدیم می‌کنم،
که با همه وجودش در کنارم بوده و عشق
بی‌پایانش زندگی‌ام را پر از آرامش و امید کرده
است. او نه تنها شریک زندگی من، بلکه بهترین
دوست و همراه من است.

و همچنین، به النا، دختر عزیزم، که با قلب پاک
و مهربانش هر روز زندگی را برای من معنا
می‌بخشد. النا، تو نوری هستی که هر روز
زندگی‌ام را روشن می‌کند و با عشق و انرژی
مثبت، هر لحظه را برای من شیرین‌تر می‌کنی.
تو الهام‌بخش من و چراغ راه من در این مسیر
پرچالش هستی. دوستت دارم، النا".

فهرست

۷	مقدمه
۹	فصل اول : مبانی فیزیولوژی تمرین
۱۱	اصول اساسی هموستاز و سازگاری‌های فیزیولوژیکی
۱۴	انرژی و متابولیسم در فعالیت‌های ورزشی
۱۷	انواع سیستم‌های انرژی ATP-PC ، گلیکولیتیک، اکسیداتیو
۱۹	مفاهیم شدت، مدت و بار تمرین
۲۱	پاسخ‌های حاد و سازگاری‌های مزمن به فعالیت بدنی
۲۵	فصل دوم: سیستم‌های قلبی-عروقی و تنفسی در تمرین
۲۷	تغییرات ضربان قلب و برون‌ده قلبی در فعالیت ورزشی
۳۰	نقش سیستم عروقی در تأمین اکسیژن عضلات
۳۲	فیزیولوژی تنفس در ورزش‌های هوازی و بی‌هوازی
۳۵	سازگاری‌های قلبی‌عروقی در تمرینات استقامتی و مقاومتی
۳۸	تغییرات فشار خون و کنترل آن در حین ورزش
۴۱	مکانیزم‌های تنظیم دما و دفع گرما در فعالیت بدنی
۴۵	فصل سوم : سیستم عضلانی و عصبی در تمرین
۴۸	ساختار فیبرهای عضلانی و انواع آن (I، IIa، IIx)
۵۳	سازگاری‌های عصبی-عضلانی در تمرینات قدرتی و استقامتی
۵۶	مکانیسم‌های هیپرتروفی و افزایش قدرت عضلانی
۵۹	خستگی عضلانی و عوامل مؤثر بر آن
۶۲	نقش سیستم عصبی مرکزی در کنترل حرکت و هماهنگی
۶۶	پلاستیسیته عصبی و بهبود عملکرد حرکتی در اثر تمرین

فصل چهارم: پاسخ‌های هورمونی و متابولیکی به تمرین	۷۱
نقش هورمون‌های آدرنالین و نورآدرنالین در فعالیت بدنی	۷۴
تأثیر کورتیزول و انسولین در متابولیسم انرژی	۷۶
هورمون‌های آنابولیک: تستوسترون، هورمون رشد و IGF-۱	۷۸
تنظیم تعادل آب و الکترولیت توسط آلدوسترون و ADH	۸۰
تغییرات متابولیکی در تمرینات هوازی و بی‌هوازی	۸۲
اثرات تمرین بر حساسیت انسولینی و کنترل قند خون	۸۴
فصل پنجم: کاربردهای فیزیولوژی تمرین در ورزش و سلامت	۸۷
اصول تمرین‌نویسی بر اساس واکنش‌های فیزیولوژیکی	۸۹
فیزیولوژی تمرین در ورزشکاران حرفه‌ای و قهرمانی	۹۲
تأثیر تمرینات ورزشی بر سلامت عمومی و پیشگیری از بیماری‌ها	۹۵
تمرین و بازتوانی در بیماران قلبی و متابولیک	۹۸
تفاوت‌های فردی (سن، جنس، ژنتیک) در پاسخ به تمرین	۱۰۰
چشم‌اندازهای آینده فیزیولوژی تمرین و پژوهش‌های نوین	۱۰۳
نتیجه‌گیری	۱۰۵
منابع	۱۰۹

مقدمه

فیزیولوژی تمرین به‌عنوان یکی از شاخه‌های اصلی علوم ورزشی، به مطالعه دقیق واکنش‌ها و سازگاری‌های بدن انسان در برابر فعالیت‌های بدنی و تمرینات ورزشی می‌پردازد. این حوزه علمی با بررسی تغییرات فیزیولوژیکی در سطح سلولی، بافتی و اندامی، به دنبال آن است که چگونگی پاسخ سیستم‌های مختلف بدن به محرک‌های ناشی از ورزش را توضیح دهد. هنگامی که فردی درگیر فعالیت ورزشی می‌شود، مجموعه‌ای از واکنش‌های هماهنگ در سیستم‌های قلبی-عروقی، تنفسی، عضلانی، عصبی و هورمونی رخ می‌دهد تا نیازهای انرژی و اکسیژن عضلات فعال تأمین گردد. درک این فرآیندها به مربیان، ورزشکاران و پژوهشگران امکان می‌دهد تا برنامه‌های تمرینی بهینه‌ای طراحی کنند و از بروز آسیب‌های ناشی از تمرینات نادرست پیشگیری نمایند. بدن انسان دارای ظرفیت‌های بیولوژیکی خارق‌العاده‌ای برای سازگاری با استرس‌های فیزیولوژیکی است. زمانی که فرد در معرض فعالیت بدنی قرار می‌گیرد، ابتدا واکنش‌های حاد و کوتاه‌مدت ایجاد می‌شود که به افزایش ضربان قلب، بالا رفتن برون‌ده قلبی، افزایش تهویه ریوی و بسیج منابع انرژی منجر می‌گردد. این واکنش‌ها با هدف پاسخ سریع به نیازهای متغیر محیط ورزشی طراحی شده‌اند. در صورتی که تمرینات به‌طور منظم و مستمر ادامه یابند، تغییرات مزمن و سازگاری‌های پایدار در بدن شکل می‌گیرد. این تغییرات شامل بهبود کارایی سیستم قلبی-عروقی، افزایش حجم ضربه‌ای قلب، تقویت ظرفیت میتوکندریایی عضلات، افزایش ذخایر گلیکوژن و چربی و بهبود کارایی هورمونی و عصبی است. مطالعه واکنش‌های بدن در حین و پس از تمرین نشان می‌دهد که ورزش یک استرس کنترل‌شده برای سیستم‌های بدن محسوب می‌شود. بدن با فعال‌سازی محورهای مختلف هموستاتیک می‌کوشد تعادل داخلی خود را حفظ کند. به‌عنوان نمونه، در تمرینات هوازی طولانی‌مدت، مکانیسم‌های تنظیم دما فعال می‌شوند تا دمای بدن در محدوده‌ای ثابت بماند و همزمان تعریق برای دفع گرما افزایش می‌یابد. در تمرینات بی‌هوازی شدید نیز تجمع لاکتات در خون رخ می‌دهد که بدن با افزایش تهویه و بافرهای خونی تلاش می‌کند اسیددیده محیط داخلی را کاهش دهد. (Powers, S. K., & Howley, E. T., 2020). چنین واکنش‌هایی نه‌تنها بیانگر انعطاف‌پذیری بدن هستند، بلکه نشان می‌دهند که تمرینات ورزشی به‌مثابه یک عامل قوی در شکل‌دهی سازگاری‌های مثبت عمل می‌کنند. از سوی دیگر، فیزیولوژی تمرین نشان می‌دهد که شدت، مدت و نوع فعالیت ورزشی نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت و کمیت واکنش‌های بدن دارد. برای مثال، تمرینات استقامتی منجر به افزایش تراکم مویرگی در عضلات و بهبود انتقال اکسیژن می‌شوند، در حالی که تمرینات مقاومتی باعث افزایش سطح مقطع فیبرهای عضلانی و قدرت تولید نیرو می‌گردند. همچنین ترکیب تمرینات هوازی و بی‌هوازی می‌تواند اثرات هم‌افزایی ایجاد کند و منجر به ارتقای چندبعدی ظرفیت‌های فیزیولوژیکی شود. شناخت این تفاوت‌ها به مربیان و ورزشکاران کمک می‌کند که بر اساس اهداف خاص خود، برنامه‌های تمرینی متناسب طراحی نمایند. سیستم عصبی مرکزی و محیطی نیز در پاسخ به تمرینات ورزشی تغییرات چشمگیری را تجربه می‌کنند. افزایش هماهنگی عصبی-عضلانی، بهبود زمان واکنش، و افزایش

کارایی در فراخوانی واحدهای حرکتی از جمله سازگاری‌هایی هستند که در اثر تمرین ایجاد می‌شوند. این تغییرات موجب می‌گردند تا ورزشکار بتواند با کارآمدی بیشتر و مصرف انرژی کمتر، حرکات پیچیده و دقیق را انجام دهد. در کنار این سازگاری‌ها، تغییرات هورمونی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. ترشح هورمون‌هایی نظیر آدرنالین، نورآدرنالین، کورتیزول، تستوسترون و هورمون رشد در جریان تمرین و پس از آن تغییر می‌کند و این امر نقش مهمی در متابولیسم انرژی، سازگاری عضلات و بهبود عملکرد ورزشی دارد (McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L., 2015). یکی از جنبه‌های مهم فیزیولوژی تمرین، بررسی تأثیر ورزش بر سلامت عمومی بدن است. تحقیقات گسترده نشان داده‌اند که فعالیت بدنی منظم می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت نوع دو، فشار خون بالا، چاقی و اختلالات روانی را کاهش دهد. واکنش‌های مثبت بدن به تمرین شامل کاهش سطح کلسترول مضر، افزایش HDL، بهبود حساسیت به انسولین، کاهش التهاب سیستمیک و بهبود کارایی دستگاه ایمنی است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که ورزش نه تنها برای ورزشکاران حرفه‌ای بلکه برای تمام افراد جامعه یک ضرورت حیاتی محسوب می‌شود. در سطح سلولی، تمرینات ورزشی منجر به فعال‌سازی مسیرهای مولکولی گوناگونی می‌شوند. افزایش بیان ژن‌های مرتبط با بیوژنز میتوکندری، فعال‌سازی پروتئین‌های تنظیم‌کننده متابولیسم، و افزایش سنتز پروتئین‌های عضلانی نمونه‌هایی از این تغییرات هستند. این فرآیندها به سازگاری طولانی‌مدت بدن با شرایط تمرین کمک می‌کنند و ظرفیت عملکردی فرد را ارتقا می‌دهند. در واقع، تمرینات ورزشی مانند یک محرک محیطی عمل می‌کنند که بدن را وادار به بازسازی و بهینه‌سازی عملکرد خود می‌سازند. فیزیولوژی تمرین همچنین به بررسی تفاوت‌های فردی در پاسخ به تمرین می‌پردازد. عواملی همچون سن، جنس، ژنتیک، سطح آمادگی جسمانی و وضعیت تغذیه می‌توانند میزان واکنش‌ها و سازگاری‌های بدن را تحت تأثیر قرار دهند. برای نمونه، افراد جوان‌تر دارای ظرفیت بالاتری برای هیپرتروفی عضلانی هستند، در حالی که در سنین بالاتر تمرکز بیشتر بر حفظ توده عضلانی و پیشگیری از تحلیل عضلانی قرار می‌گیرد. همچنین تفاوت‌های هورمونی بین زنان و مردان باعث ایجاد الگوهای متفاوتی در پاسخ‌های تمرینی می‌شود. درک عمیق از واکنش‌های بدن در پاسخ به تمرینات ورزشی، زمینه‌ساز توسعه روش‌های نوین در حوزه تمرین و بازتوانی است. امروزه از اصول فیزیولوژی تمرین در بازتوانی بیماران قلبی، توانبخشی پس از آسیب‌های اسکلتی-عضلانی، کنترل وزن و حتی بهبود عملکرد شناختی استفاده می‌شود. این گستره کاربرد نشان می‌دهد که فیزیولوژی تمرین نه تنها یک علم ورزشی بلکه یک علم سلامت‌محور و بین‌رشته‌ای است که نقش بسزایی در ارتقای کیفیت زندگی ایفا می‌کند. تمرینات ورزشی همچنین واکنش‌های روان‌شناختی قابل توجهی را برمی‌انگیزند.

فصل اول:

مبانی فیزیولوژی تمرین

فیزیولوژی تمرین به عنوان یکی از شاخه‌های بنیادین علوم ورزشی، دانشی است که به بررسی علمی واکنش‌ها و سازگاری‌های بدن انسان در برابر فعالیت‌های بدنی می‌پردازد. این رشته علمی تلاش می‌کند فرایندهای زیستی و شیمیایی بدن را در حین فعالیت و پس از آن توضیح دهد و نشان دهد که چگونه سیستم‌های مختلف بدن در هماهنگی با یکدیگر، امکان ادامه فعالیت‌های بدنی و تمرینی را فراهم می‌سازند. اساس فیزیولوژی تمرین بر این ایده استوار است که بدن انسان یک سیستم پویا و سازگارپذیر است که می‌تواند در برابر محرک‌های بیرونی مانند ورزش، تغییرات ساختاری و عملکردی ایجاد کند و از این طریق توانایی خود را برای فعالیت‌های بدنی افزایش دهد. تمرینات ورزشی به منزله نوعی استرس بیولوژیکی عمل می‌کنند که بدن را از حالت تعادل اولیه خارج می‌سازند. این خروج از تعادل باعث فعال شدن مکانیسم‌های مختلف تنظیمی در بدن می‌شود که هدف آن بازگرداندن هموستاز یا تعادل داخلی است. وقتی این استرس به صورت مداوم و برنامه‌ریزی شده تکرار می‌شود، سازگاری‌های پایدار در سطح سلولی، بافتی و اندامی رخ می‌دهد. این سازگاری‌ها همان چیزی هستند که به بهبود عملکرد ورزشی، افزایش قدرت، استقامت و ارتقای سلامت عمومی منجر می‌شوند. بنابراین، فیزیولوژی تمرین نه تنها برای ورزشکاران حرفه‌ای اهمیت دارد، بلکه برای همه افراد جامعه که به دنبال سلامت جسمانی هستند نیز کاربردی است (Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. ۲۰۱۸).

یکی از مفاهیم بنیادی در فیزیولوژی تمرین، اصل بارگذاری یا اضافه‌بار است. این اصل بیان می‌کند که برای ایجاد سازگاری در بدن، باید شدت، مدت یا تعداد جلسات تمرینی فراتر از سطح عادی فعالیت فرد باشد. وقتی بدن در معرض بار تمرینی بالاتر قرار می‌گیرد، ابتدا واکنش‌های حاد رخ می‌دهند، مانند افزایش ضربان قلب، تهویه بیشتر و مصرف سریع‌تر انرژی. سپس در صورت تداوم تمرین، تغییرات مزمن ایجاد می‌شوند که ظرفیت بدن را برای فعالیت‌های مشابه در آینده افزایش می‌دهند. این روند بیانگر قابلیت انطباق شگفت‌انگیز بدن انسان است که اساس بسیاری از پیشرفت‌های ورزشی محسوب می‌شود. درک متابولیسم انرژی یکی از سنگ‌بنای

فیزیولوژی تمرین است. بدن انسان برای تأمین انرژی موردنیاز فعالیت‌ها، از سه سیستم اصلی استفاده می‌کند: سیستم فسفاژن، سیستم گلیکولیتیک بی‌هوازی و سیستم هوازی اکسیداتیو. هر یک از این سیستم‌ها بسته به نوع، شدت و مدت فعالیت وارد عمل می‌شوند. سیستم فسفاژن انرژی فوری و کوتاه‌مدت برای فعالیت‌های انفجاری فراهم می‌کند. سیستم بی‌هوازی گلیکولیتیک امکان تولید انرژی بدون نیاز به اکسیژن را برای فعالیت‌های پرشدت اما کوتاه‌مدت فراهم می‌سازد. سیستم هوازی نیز برای فعالیت‌های طولانی‌مدت و استقامتی به کار می‌رود و از چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها برای تولید ATP استفاده می‌کند. شناخت این مسیرهای انرژی به مربیان و ورزشکاران کمک می‌کند تا برنامه‌های تمرینی را به گونه‌ای طراحی کنند که متناسب با نیاز انرژی ورزش مربوطه باشد. یکی دیگر از موضوعات کلیدی در مبانی فیزیولوژی تمرین، مفهوم پاسخ‌های حاد و سازگاری‌های مزمن است. واکنش‌های حاد به تغییرات سریع و گذرای اشاره دارند که در طول یک جلسه تمرین رخ می‌دهند. این واکنش‌ها شامل افزایش دمای بدن، افزایش ضربان قلب، تغییر در فشار خون، افزایش لاکتات خون و تهویه بیشتر هستند. در مقابل، سازگاری‌های مزمن به تغییرات پایدار و بلندمدتی اشاره دارند که پس از هفته‌ها و ماه‌ها تمرین منظم ایجاد می‌شوند. از جمله این سازگاری‌ها می‌توان به افزایش حجم ضربه‌ای قلب، افزایش تراکم مویرگی در عضلات، افزایش ظرفیت میتوکندریایی، بهبود کارایی سیستم بافبری و افزایش قدرت عضلانی اشاره کرد. تمرین ورزشی بر سیستم‌های مختلف بدن تأثیر می‌گذارد. در سیستم قلبی‌عروقی، تمرینات استقامتی منجر به افزایش حجم قلب، کاهش ضربان قلب استراحتی و افزایش توانایی بدن در حمل و انتقال اکسیژن می‌شوند. در سیستم تنفسی، تمرین موجب افزایش ظرفیت حیاتی ریه و بهبود کارایی تهویه می‌شود. در سیستم عضلانی، تمرینات مقاومتی باعث هیپرتروفی فیبرهای عضلانی و افزایش قدرت تولید نیرو می‌شوند. همچنین در سطح عصبی، تمرین باعث بهبود هماهنگی بین عضلات و افزایش کارایی در به‌کارگیری واحدهای حرکتی می‌گردد.

از ویژگی‌های مهم فیزیولوژی تمرین، بررسی اصل ویژگی‌مندی است. این اصل تأکید می‌کند که سازگاری‌های بدن بستگی به نوع تمرین دارند. به عبارت دیگر، تمریناتی که بر اساس حرکات خاص یا سیستم‌های انرژی مشخص طراحی شوند، منجر به بهبود همان ظرفیت‌ها خواهند شد. برای مثال، تمرینات هوازی منظم باعث بهبود استقامت قلبی‌عروقی می‌شوند، در حالی که تمرینات مقاومتی به افزایش قدرت و حجم عضلات منجر می‌گردند. بنابراین، انتخاب نوع تمرین باید بر اساس اهداف ورزشی یا سلامتی فرد صورت گیرد.

اصل بازگشت‌پذیری نیز از اصول بنیادی فیزیولوژی تمرین به شمار می‌رود. اگر تمرینات ورزشی متوقف شوند یا کاهش یابند، بسیاری از سازگاری‌های ایجاد شده از بین خواهند رفت. این پدیده که به دترینینگ معروف است، نشان می‌دهد که برای حفظ سطح بالای عملکرد ورزشی یا سلامت جسمانی، استمرار در فعالیت بدنی ضروری است. کاهش ظرفیت هوازی، افت قدرت عضلانی و کاهش تراکم مویرگی نمونه‌هایی از اثرات بازگشت‌پذیری هستند (Powers, S. K., & Howley, E. T). (۲۰۲۰).

یک اصول مهم، اصل فردیت است. افراد مختلف با توجه به تفاوت‌های ژنتیکی، سن، جنس، سطح آمادگی جسمانی و شرایط محیطی، پاسخ‌های متفاوتی به تمرین نشان می‌دهند. برخی افراد ممکن است با مقدار کمی تمرین به سرعت پیشرفت کنند، در حالی که دیگران برای دستیابی به نتایج مشابه به تمرینات بیشتری نیاز داشته باشند. درک این اصل به مربیان کمک می‌کند برنامه‌های تمرینی شخصی‌سازی شده برای هر ورزشکار طراحی کنند. در کنار این اصول، اصل تدریج نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. افزایش بار تمرینی باید به صورت تدریجی صورت گیرد تا بدن فرصت سازگاری داشته باشد. افزایش ناگهانی شدت یا حجم تمرین می‌تواند منجر به آسیب، خستگی بیش‌ازحد یا سندرم تمرین‌زدگی شود. تدریج در تمرین به بدن امکان می‌دهد سازگاری‌های مثبت ایجاد کند و خطرات احتمالی کاهش یابند. مبانی فیزیولوژی تمرین همچنین به بررسی تفاوت‌های پاسخ بدن در شرایط مختلف محیطی می‌پردازد. تمرین در شرایط گرما، سرما یا ارتفاع بالا هر کدام واکنش‌های فیزیولوژیکی خاصی را برمی‌انگیزند. برای مثال، تمرین در گرما باعث افزایش تعریق و تغییر در حجم پلاسما می‌شود، در حالی که تمرین در ارتفاع بالا منجر به افزایش تولید هموگلوبین و گلبول‌های قرمز برای جبران کاهش فشار اکسیژن می‌گردد. این واکنش‌ها بیانگر توانایی شگفت‌انگیز بدن برای سازگاری با شرایط گوناگون است. (Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L). (۲۰۱۹).

اصول اساسی هموستاز و سازگاری‌های فیزیولوژیکی

فیزیولوژی تمرین دانشی است که به مطالعه علمی واکنش‌ها، سازگاری‌ها و تغییرات بدن انسان در برابر فعالیت‌های بدنی می‌پردازد و تلاش می‌کند با بررسی دقیق عملکرد سیستم‌های مختلف بدن، از قلب و عروق گرفته تا عضلات، اعصاب و غدد درون‌ریز، روشن سازد که بدن چگونه در مواجهه با تمرینات ورزشی عمل می‌کند و چگونه می‌تواند در برابر فشارهای تمرینی،

سازگاری‌های مثبت ایجاد نماید. این علم بر پایه اصول فیزیولوژی عمومی استوار است، اما تمرکز ویژه آن بر واکنش‌های اختصاصی ناشی از فعالیت بدنی و تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدتی است که در بدن رخ می‌دهد. هنگامی که از تعریف فیزیولوژی تمرین سخن به میان می‌آید، در واقع با دانشی مواجه هستیم که در پی توضیح این موضوع است که چگونه تمرینات ورزشی می‌توانند ظرفیت عملکردی انسان را ارتقا دهند و چه مکانیسم‌هایی در سطح سلول، بافت و اندام برای تحقق این سازگاری‌ها فعال می‌شوند.

ریشه‌های تاریخی فیزیولوژی تمرین را می‌توان در دوران باستان جستجو کرد؛ زمانی که پزشکان و فیلسوفان یونانی همچون بقراط و جالینوس به اهمیت فعالیت بدنی در سلامت بدن اشاره کرده بودند. بقراط ورزش را دارویی طبیعی می‌دانست و توصیه می‌کرد که هر فرد متناسب با شرایط جسمی خود، فعالیت بدنی داشته باشد. جالینوس نیز بر این باور بود که ورزش تعادل اخلاط بدن را حفظ می‌کند و در پیشگیری از بیماری‌ها مؤثر است. در دوران باستان، ورزش بخشی جدایی‌ناپذیر از زندگی اجتماعی و فرهنگی بود و ارتباط تنگاتنگی میان تربیت بدنی و سلامت برقرار بود، هرچند این درک بیشتر شهودی و تجربی بود تا مبتنی بر روش‌های علمی.

با گذر زمان و به‌ویژه در قرون وسطی، توجه به ورزش و فعالیت بدنی کاهش یافت، چرا که اولویت‌های فکری و فرهنگی تغییر کرده بود. اما در دوران رنسانس، دوباره علاقه به بدن و حرکت زنده شد و دانشمندان و پزشکان اروپایی شروع به بررسی علمی تر نقش ورزش در سلامت کردند. در قرن هفدهم و هجدهم، با پیشرفت دانش آناتومی و فیزیولوژی، بسترهای اولیه برای مطالعه علمی ورزش فراهم شد. در همین دوران نخستین تلاش‌ها برای سنجش تغییرات ضربان قلب، تنفس و دمای بدن در اثر فعالیت‌های جسمانی آغاز شد. قرن نوزدهم را می‌توان نقطه عطفی در شکل‌گیری فیزیولوژی تمرین به‌عنوان یک حوزه علمی مستقل دانست. در این قرن، آزمایشگاه‌های فیزیولوژی در اروپا و آمریکا به‌وجود آمدند و دانشمندان شروع به بررسی دقیق‌تر واکنش‌های بدن به فعالیت بدنی کردند. برای مثال، افرادی مانند آگوست کروگ، که بعدها برنده جایزه نوبل شد، نقش مهمی در مطالعه سازگاری‌های قلبی-عروقی به تمرین داشتند. همچنین در همین دوران، نخستین مطالعات علمی در مورد مصرف اکسیژن در طول فعالیت بدنی انجام شد و مفاهیمی مانند حداکثر اکسیژن مصرفی یا VO_2max شکل گرفت که بعدها به یکی از

شاخص‌های کلیدی در سنجش ظرفیت هوازی افراد تبدیل شد (Powers, S. K., & Howley, E. T). (۲۰۲۰).

در قرن بیستم، فیزیولوژی تمرین به سرعت رشد کرد و به یکی از مهم‌ترین شاخه‌های علوم ورزشی تبدیل شد. توسعه ابزارهای آزمایشگاهی، مانند اسپرومتر برای سنجش تهویه ریوی، الکتروکاردیوگرافی برای ثبت فعالیت قلب و بعدها فناوری‌های تصویربرداری پیشرفته، امکان مطالعه دقیق‌تر پاسخ‌های بدن به تمرینات ورزشی را فراهم کرد. در نیمه نخست قرن بیستم، دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی در اروپا و آمریکا شروع به راه‌اندازی مراکز تخصصی فیزیولوژی ورزش کردند و اولین کتاب‌های مرجع در این حوزه نوشته شد. در همین دوره، جنگ‌های جهانی و نیاز به آماده‌سازی جسمانی سربازان موجب شد تا پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه فیزیولوژی تمرین صورت گیرد. مطالعات درباره تأثیر تمرین بر استقامت، قدرت، سرعت و سازگاری‌های بدن در شرایط سخت محیطی گسترش یافت و نتایج این پژوهش‌ها بعدها در ورزش قهرمانی و تربیت بدنی عمومی نیز به کار گرفته شد. در نیمه دوم قرن بیستم، فیزیولوژی تمرین به‌عنوان رشته‌ای دانشگاهی شناخته شد و در بسیاری از کشورها وارد برنامه‌های آموزشی علوم ورزشی و پزشکی گردید. اهمیت فیزیولوژی تمرین را می‌توان در چند بعد اصلی بررسی کرد. نخست، این علم به ما کمک می‌کند تا واکنش‌های بدن در برابر تمرین را بشناسیم و بر اساس این شناخت، برنامه‌های تمرینی علمی و ایمن طراحی کنیم. بدون درک دقیق از فیزیولوژی تمرین، هر برنامه ورزشی ممکن است ناکارآمد یا حتی مضر باشد. به‌عنوان مثال، آگاهی از سیستم‌های تولید انرژی و چگونگی استفاده آن‌ها در فعالیت‌های مختلف، به مربیان اجازه می‌دهد تا تمرینات را به گونه‌ای تنظیم کنند که بیشترین اثر را بر ظرفیت‌های هدف داشته باشند.

دوم، فیزیولوژی تمرین نقشی کلیدی در ارتقای سلامت عمومی جامعه دارد. امروزه بیماری‌های غیرواگیر مانند دیابت، فشار خون بالا، بیماری‌های قلبی-عروقی و چاقی به تهدیدهای جدی برای سلامت بشر تبدیل شده‌اند. تحقیقات علمی نشان داده است که تمرینات ورزشی منظم می‌تواند خطر ابتلا به این بیماری‌ها را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. فیزیولوژی تمرین توضیح می‌دهد که چگونه فعالیت بدنی باعث بهبود حساسیت به انسولین، کاهش سطح چربی‌های مضر خون، تقویت سیستم ایمنی و کاهش التهاب می‌شود. بنابراین، این دانش زیربنای بسیاری از توصیه‌های بهداشتی و سیاست‌های سلامت عمومی در جهان است. سوم، اهمیت فیزیولوژی تمرین در ورزش

قهرمانی و حرفه‌ای انکارناپذیر است. ورزشکاران نخبه برای دستیابی به عملکردهای استثنایی نیازمند برنامه‌های تمرینی دقیق و مبتنی بر علم هستند. فیزیولوژی تمرین به مربیان کمک می‌کند تا شدت و حجم تمرین را به گونه‌ای تنظیم کنند که ضمن ایجاد بیشترین سازگاری مثبت، از تمرین زدگی و آسیب جلوگیری شود. همچنین این علم نقش مهمی در پایش وضعیت ورزشکاران، ارزیابی آمادگی جسمانی و تعیین زمان اوج عملکرد ایفا می‌کند. چهارم، فیزیولوژی تمرین در توانبخشی و پزشکی ورزشی جایگاه ویژه‌ای دارد. بسیاری از بیماران قلبی، ریوی، متابولیک و عضلانی-اسکلتی با استفاده از برنامه‌های تمرینی طراحی شده بر اساس اصول فیزیولوژی تمرین، بهبود قابل توجهی در کیفیت زندگی خود تجربه می‌کنند. این دانش توضیح می‌دهد که چگونه تمرینات سبک و تدریجی می‌توانند به بازگرداندن توانایی‌های جسمانی بیماران کمک کنند و از بازگشت مجدد بیماری پیشگیری نمایند (Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L., ۲۰۱۹).

پنجم، اهمیت فیزیولوژی تمرین در درک سازگاری‌های ویژه بدن با شرایط محیطی نیز قابل توجه است. ورزش در شرایط گرما، سرما یا ارتفاع بالا نیازمند دانش عمیق از واکنش‌های فیزیولوژیکی است. برای مثال، آگاهی از نحوه تنظیم دما در بدن، نقش تعریق و تغییرات حجم پلاسما در گرما، یا سازگاری‌های خونی در ارتفاع، همگی از طریق مطالعات فیزیولوژی تمرین به دست آمده‌اند. این اطلاعات نه تنها برای ورزشکاران بلکه برای افراد نظامی، کوهنوردان و کسانی که در محیط‌های خاص فعالیت می‌کنند حیاتی است. در عصر حاضر، با پیشرفت فناوری‌های نوین مانند تصویربرداری مغزی، آزمون‌های ژنتیکی و ابزارهای پوشیدنی پایش فعالیت، فرصت‌های جدیدی برای توسعه فیزیولوژی تمرین فراهم شده است. پژوهشگران اکنون قادرند تغییرات مولکولی ناشی از تمرین را بررسی کنند و حتی پاسخ‌های فردی افراد به برنامه‌های تمرینی را پیش‌بینی نمایند. این امر اهمیت شخصی‌سازی تمرینات را بیش از پیش نمایان ساخته است. آینده فیزیولوژی تمرین بی‌شک در گرو تلفیق علوم داده، هوش مصنوعی و روش‌های نوین پایش زیستی خواهد بود که امکان طراحی برنامه‌های تمرینی دقیق‌تر و کارآمدتر را فراهم خواهد کرد.

انرژی و متابولیسم در فعالیت‌های ورزشی

انرژی و متابولیسم در فعالیت‌های ورزشی یکی از بنیادی‌ترین مباحث فیزیولوژی تمرین است که به درک سازوکارهای تولید و مصرف انرژی در بدن انسان هنگام فعالیت بدنی می‌پردازد. برای

انجام هر گونه حرکت، بدن نیازمند انرژی است و این انرژی به شکل مولکول ATP تأمین می‌شود. ATP یا آدنوزین‌تری‌فسفات، واحد اصلی انرژی در سلول‌هاست که در زمان شکستن پیوندهای پرانرژی خود، انرژی آزاد کرده و برای انقباض عضلانی به کار گرفته می‌شود. اما ذخایر ATP در عضله بسیار محدود است و تنها برای چند ثانیه فعالیت شدید کفایت می‌کند. به همین دلیل بدن باید همواره راهکارهایی برای بازسازی ATP در اختیار داشته باشد. سیستم‌های انرژی در بدن انسان به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند که شامل سیستم فسفاژن (ATP-PCr)، سیستم گلیکولیتیک (بی‌هوازی) و سیستم اکسیداتیو (هوازی) هستند. هر یک از این سیستم‌ها بر حسب شدت و مدت فعالیت نقش ویژه‌ای در تأمین انرژی دارند. در فعالیت‌های بسیار شدید و کوتاه‌مدت مانند دو سرعت یا وزنه‌برداری، سیستم فسفاژن اولین منبع تأمین انرژی است. این سیستم از تجزیه کراتین فسفات برای بازسازی سریع ATP استفاده می‌کند. ذخایر کراتین فسفات نیز مانند ATP محدود است و تنها برای چند ثانیه فعالیت با شدت بالا انرژی لازم را فراهم می‌کند. پس از کاهش این ذخایر، بدن به سراغ سیستم گلیکولیتیک می‌رود. سیستم گلیکولیتیک یا بی‌هوازی قادر است با تجزیه گلوکز یا گلیکوژن بدون نیاز به اکسیژن، ATP تولید کند. این سیستم برای فعالیت‌هایی در بازه زمانی ۳۰ ثانیه تا ۲ دقیقه مؤثر است. محصول جانبی این مسیر، اسیدلاکتیک است که تجمع آن در عضلات می‌تواند باعث خستگی و کاهش عملکرد شود. با این حال، این سیستم به دلیل سرعت بالای تولید ATP، در فعالیت‌های شدید همچون دوی ۴۰۰ متر نقش کلیدی ایفا می‌کند (McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L). (۲۰۱۵).

سیستم اکسیداتیو یا هوازی سومین مسیر تولید انرژی است که برای فعالیت‌های طولانی‌مدت و با شدت متوسط به کار گرفته می‌شود. این سیستم به کمک اکسیژن، کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و در شرایط خاص پروتئین‌ها را می‌سوزاند و ATP تولید می‌کند. مزیت اصلی این مسیر، ظرفیت بسیار بالای آن برای تولید انرژی است، هرچند سرعت آن نسبت به دو سیستم دیگر کمتر است. در ورزش‌های استقامتی مانند دوی ماراتن یا دوچرخه‌سواری طولانی‌مدت، سیستم هوازی غالب است. در این مسیر، چرخه کربس و زنجیره انتقال الکترون نقش حیاتی در تولید ATP دارند. همچنین سوخت‌های مورد استفاده در این سیستم بر اساس شدت فعالیت تغییر می‌کنند؛ به گونه‌ای که در فعالیت‌های متوسط کربوهیدرات‌ها و در فعالیت‌های طولانی‌مدت با شدت پایین‌تر،