

فیزیولوژی ظرفیت هوازی در زنان

دیوید مانترو باریل

مترجمان:

آمنه پوررحیم قورقچی

(دانشیار فیزیولوژی ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی)

رشید صادقلو

(کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی)

هستی قره‌باغی

(کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی)

ویراستار علمی:

آمنه پوررحیم قورقچی

(دانشیار فیزیولوژی ورزشی دانشگاه محقق اردبیلی)

۱۰	پیش‌گفتار
۱۶	نویسنده
۱۷	فصل ۱: سیستم تنفسی
۱۸	نواحی اتصال و نقاط محدود کننده جریان در سیستم‌های انتقال زیستی
۲۱	تفاوت‌های جنسیتی در سیستم تنفسی:
۲۱	آیا برای ظرفیت هوازی ورزشی اهمیت دارند؟
۲۴	نارسایی سیستم تنفسی در حین فعالیت:
۲۴	کاهش اکسیژن شریانی (هایپوکسمی) ناشی از ورزش (EIAH)
۲۷	ارتفاع و دسترسی به اکسیژن
۲۹	تنظیم و اهمیت فزاینده تهویه تنفسی در ارتفاعات
۳۱	آیا ظرفیت ورزشی زنان بیشتر تحت تأثیر ارتفاع قرار می‌گیرد؟
۳۳	فصل ۲: سیستم گردش خون
۳۴	اقدامی نوین در تاریخ پزشکی
۳۵	ارنست استارلینگ، سرآمد فیزیولوژیست‌های تجربی
۳۷	قانون قلب
۴۱	اندازه قلب: آنچه پریکارد اجازه می‌دهد
۴۸	یادداشتی برای ذهن ورزشکاران نخبه
۴۸	قلب زنان: چیزی فراتر از اندازه قلب و محدودیت‌های پریکاردی

فصل ۳: خون

۵۴

۵۵

اهمیت حجم خون برای ظرفیت ورزشی

۶۱

چه میزان از حجم خون برای قلب ورزشکاران نخبه بیش از حد تلقی می‌شود؟

۶۴

دوپینگ بارداری: زمانی که رویدادی شگفت‌انگیز ممکن است رایج شود

۶۷

خون بیشتر، اما نه در شرایط عدم جریان

۶۸

ورزشکاران با دوپینگ خون طبیعی و ظرفیت بهینه حمل اکسیژن

۷۲

بهبود ظرفیت حمل اکسیژن: خلق یک افسانه

۷۴

ناتوانی ذاتی زنان در ظرفیت حمل اکسیژن خون

۷۷

هم‌راستایی تفاوت‌های جنسی در انتقال اکسیژن و عملکرد استقامتی نخبگان

۸۱

فصل ۴: عضله اسکلتی

۸۲

انسان‌ها: موجوداتی عضلانی و چندمنظوره

۸۳

نوع تار عضله اسکلتی و ظرفیت ورزشی

۸۶

یادداشتی درباره محدوده‌ی انواع فیبرهای عضلانی اسکلتی

۸۷

رشد و دگرگونی عضله با تمرین ورزشی

تفاوت‌های جنسی در عضله اسکلتی: آیا همه‌چیز به سایز و اندازه مربوط است؟

۸۹

۹۱

تفاوت‌های فنوتیپی جنسی در محتوای عضله اسکلتی و عملکرد آن

۹۴

چرا زنان ظرفیت اکسیداتیو عضلانی بالاتری دارند؟

۹۵

نقش تکاملی احتمالی تفاوت‌های جنسی در ظرفیت اکسیداتیو عضله

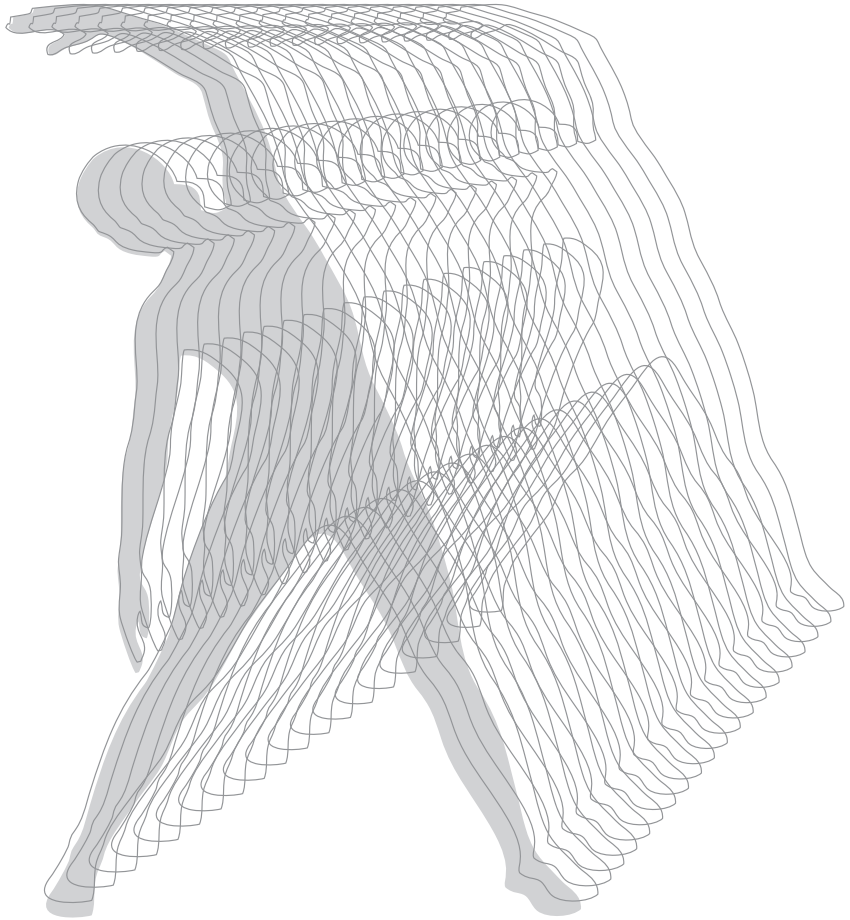
۹۷

آیا ظرفیت اکسیداتیو عضله تعیین‌کننده عملکرد استقامتی است؟

۹۸

آزمایش موردنیاز

۱۰۱	فصل ۵: استفاده از منابع انرژی و ترکیب بدنی
۱۰۲	موتور متابولیک انسان به‌طور خلاصه
۱۰۳	منابع انرژی برای انسان‌ها
۱۰۵	ذخیره کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها
۱۰۸	تفاوت‌های جنسیتی در استفاده از منابع انرژی
۱۰۹	پیامدهای عملکرد ورزشی
۱۱۲	ترکیب بدنی مبتنی بر جنسیت: بار ساختاری تحمیل شده در زنان
۱۱۵	استفاده از چربی و چربی بدن: دو روی یک سکه
۱۱۶	فصل ۶: سازگاری های تمرینی
۱۱۷	قابلیت تمرین‌پذیری انسان
۱۱۹	تفاوت‌های جنسی در قابلیت سازگاری:
۱۱۹	شواهد تجمیع‌شده در مورد سازگاری‌های هوازی و قلبی
۱۲۱	چرا سازگاری‌های بهینه قلبی به تمرینات استقامتی در زنان محدود است؟
۱۲۴	تمرین در دوران کودکی:
۱۲۴	یک فرصت بالقوه برای افزایش سازگاری قلبی
۱۲۶	افزایش ظرفیت حمل اکسیژن خون: مسیر فرار برای زنان؟
۱۲۹	هدف قرار دادن سیستم‌های محیطی برای افزایش ظرفیت قلبی زنان
۱۳۵	سخن پایانی



این کتاب محدودیت‌های ظرفیت‌های تمرین در زنان را با بحث در رابطه با فیزیولوژی بدن زنان از نظر خصوصیات تنفسی، گردش خون، اسکلتی، ترکیب بدنی و سازگاری‌های تمرینی را پرسش می‌کند. این کتاب با بیانی گیرا و متقاعدکننده، نه تنها به تفاوت‌های جنسیتی در فیزیولوژی ورزشی می‌پردازد، بلکه به پرسش‌هایی همچون دوپینگ و سازوکارهای نوین در نظریه و کاربردهای تمرینی نیز اشاره دارد. بر پایه تجربیات پژوهشی دست‌اول، این کتاب دیدگاه‌هایی نو و واقع‌بینانه، از جمله جنبه‌های مثبت و منفی ظرفیت زنان در انجام تمرینات ورزشی را ارائه می‌دهد. این موضوعات می‌تواند مورد توجه خوانندگان حوزه‌های حرکت‌شناسی، فیزیولوژی تلفیقی، علوم بالینی، علوم پایه و جامعه‌شناسی ورزش قرار گیرد.

ویژگی‌های کلیدی:

- یافته‌های به روز بر اساس پژوهش در رابطه با ظرفیت هوازی زنان.
- با بیانی قابل فهم و سرشار از نکات مبتنی بر شواهد علمی نوشته شده است.
- ارائه چشم‌اندازی فراگیر از رشته‌های مختلف علوم پزشکی ارائه می‌دهد که برای ارزیابی ظرفیت هوازی زنان ضروری هستند.

این کتاب حاوی اطلاعاتی است که از منابع مؤثق و بسیار معتبر

گردآوری شده‌اند. با وجود انجام تمامی تلاش‌های خردمندانانه برای انتشار داده‌ها و اطلاعات قابل اعتماد، نه نویسندگان و نه ناشر مسئولیت قانونی یا حقوقی ناشی از هرگونه اشتباه یا کاستی احتمالی را نمی‌پذیرند. ناشران مایلند تصریح کنند که هر دیدگاه یا نظری که در این کتاب توسط ویراستاران، نویسندگان یا مشارکت‌کنندگان ابراز شده است، شخصی بوده و لزوماً بازتاب‌دهنده دیدگاه یا نظر ناشران نیست. اطلاعات یا راهنمایی‌های مندرج در این کتاب برای استفاده متخصصان پزشکی، علمی یا مراقبت‌های بهداشتی در نظر گرفته شده و به‌طور صرف به‌عنوان مکمل برای قضاوت حرفه‌ای آن‌ها، آگاهی آن‌ها از سابقه پزشکی بیمار، دستورالعمل‌های تولیدکننده و راهنمای بهترین شیوه‌های عملی ارائه می‌شود. به دلیل پیشرفت‌های سریع در علوم پزشکی، هرگونه اطلاعات یا توصیه درباره دوزها، روش‌ها یا تشخیص‌ها باید به‌صورت مستقل تأیید شود. از خواننده به شدت خواسته می‌شود قبل از تجویز یا استفاده از هر دارو، وسیله یا ماده ذکرشده در این کتاب، نخست به نسخه‌نامه دارویی مربوطه و دستورالعمل‌های چاپی شرکت‌های دارویی و سازندگان دستگاه‌ها یا مواد و وبسایت‌های آن‌ها مراجعه نماید. این کتاب مشخص نمی‌کند که آیا یک درمان ویژه برای فرد یا موقعیت معینی مناسب است یا خیر. در نهایت، مسئولیت نهایی برعهده متخصص پزشکی است تا با اتکاء بر قضاوت حرفه‌ای خویش، بیماران را به‌درستی راهنمایی و درمان کند. نویسندگان و ناشران نیز تلاش کرده‌اند مالکان حق نشر (کپی‌رایت) تمامی مطالب بازتولیدشده در این اثر را شناسایی کنند و در صورت عدم اخذ مجوز انتشار به این شیوه، از صاحبان حقوق نشر پوزش می‌طلبند. در صورتی که هر گونه مطلب دارای حق نشر بدون ذکر منبع منتشر شده

باشد، لطفاً مراتب را به ما اطلاع دهید تا در چاپ‌های بعدی اصلاح کنیم. به جز مواردی که تحت قوانین حق‌تألیف ایالات متحده آمریکا مجاز دانسته شده‌اند، هیچ بخشی از این کتاب را نمی‌توان در هیچ قالبی، اعم از الکترونیکی، مکانیکی یا سایر روش‌های موجود یا آتی، از جمله فتوکپی، میکروفیلم‌برداری، ضبط صوتی یا تصویری، یا در هر سیستم ذخیره‌سازی یا بازیابی اطلاعات، بدون کسب اجازه کتبی از ناشر، بازچاپ، بازتولید، انتقال یا استفاده کرد. برای دریافت مجوز فتوکپی یا استفاده الکترونیکی از مطالب این اثر، به وبسایت www.copyright.com مراجعه کنید یا با مرکز «Copyright Clearance Center, Inc.» (CCC) واقع در ۲۲۲ Rosewood Drive, Danvers, MA ۰۱۹۲۳، با شماره تلفن ۹۷۸-۷۵۰-۸۴۰۰ تماس بگیرید. برای آثاری که در پایگاه CCC موجود نیستند، لطفاً با نشانی ایمیل mpkbookspermissions@tandf.co.uk مکاتبه کنید.

اعلام علائم تجاری: نام محصولات یا شرکت‌ها ممکن است علائم تجاری یا علائم تجاری ثبت‌شده باشند و استفاده از آن‌ها صرفاً برای شناسایی و توضیح است و هیچ قصدی برای نقض حقوق وجود ندارد.

پیش‌گفتار

چرا زنان معمولاً ظرفیت تمرینی پایین‌تری را نسبت به مردان به نمایش می‌گذارند؟ آیا این موضوع ناشی از ویژگی‌های زیستی ذاتی است؟ با وجود مجموعه دستورات عمل‌های کلی که همه ما در کد ژنتیکی خود حمل می‌کنیم، آیا زنان می‌توانند چنان سازگار شوند که به عملکرد مردان دست یابند یا حتی از آن پیشی بگیرند؟ بسیاری دست‌کم پاسخ‌هایی شهودی به این پرسش‌ها دارند. اقلیتی از دانشگامیان با اطمینان می‌گویند که پاسخ‌ها را می‌دانند. اما واقعاً چقدر می‌دانیم؟ نباید هرگز از پرسیدن منظم این سؤال و سؤالات دیگر دست برداریم. پرسش‌ها، به‌ویژه پرسش‌های درست، ما را به پیش می‌رانند. پاسخ‌ها، چه درست و چه نادرست، به خود خشنودی منجر می‌شوند. هرگاه پرسش مطرح شده تا حدی قابل انتظار باشد، یعنی از مسیر جریان غالب پیروی کند، پاسخ‌های نادرست فراوان خواهند بود. حرکت واقعی به سوی دانش اصیل‌تر غالباً از دل پرسش‌هایی برمی‌خیزد که یا هرگز مطرح نشده‌اند، و حتی بیش از حد صریح به نظر می‌رسند، یا پاسخ‌شان از دهه‌ها یا قرن‌ها پیش، مسلم انگاشته شده است. این کتاب به تدریج در نتیجه‌ی شمار بی‌شماری از پرسش‌های ((به جلوبرنده)) درباره‌ی چگونگی عملکرد بدن انسان، همراه با برخی پاسخ‌ها به این سؤالات، شکل گرفت. جای تعجب نیست که صرفاً به پرسش‌گرفتن وضع موجود علمیِ زمانه‌ی ما مستلزم مبارزه و استقامت بوده است. از همه مهم‌تر، این کار نیازمند این بود که شخصی این ریسک بنیادین را بپذیرد که عملاً می‌تواند منجر به پایان یافتن آینده شغلی آکادمیک فرد شود. این اراده و خواسته برای جست‌وجو و ارائه اصیل‌ترین یافته‌ها در واقع خصلتی

خودکشانه است که در میان پژوهشگران آکادمیک و به ویژه تازه‌کاران این راه یافت می‌شود. با این حال، آیا هیچ تلاشی ارزشمند وجود دارد که مستلزم نوعی آرمان‌گرایی خیالی نباشد؟ حتی یافتن تصادفی کشفیات ارزشمند نیز به اراده و خواسته‌ای برای ابهام و گشتن و ضمناً ایمان به ابهام و جست و جو نیاز دارد. بیایید سختی این راه را با نتیجه آن اشتباه نگیریم. اهمیت هر کار علمی باید فارغ از شرایط بیرونی که در آن شکل گرفته است سنجیده شود. در زمینه علمی، همواره باید قضاوت‌های احساسی خود را تحت کنترل نگه داریم. در واقع، روش علمی وسیله‌ای است برای جلوگیری از آنکه بیش از حد انسانی باشیم. هرچه روش‌شناسی به معنای گسترده‌تر و دقیق‌تر تعریف شود، اهمیت نتایج پژوهش بیشتر خواهد بود، صرف‌نظر از ویژگی‌های شخصی و خلوص علمی محققان. بر این اساس، کشفیات کلیدی بیشتر احتمال دارند که در حوزه‌های علمی بالغ رخ دهند که دسترسی به روش‌های پیشرفته را دارند، روش‌هایی که در پی پیشرفت اجتناب‌ناپذیر فناوری در تاریخ بشر پدید آمده‌اند. در این زمینه می‌توان

خردمندی و بینش عمیق نسبت به روش‌های قدیمی موجود را ستود، اما نمی‌توان ارتباط و کارآمدی نوشته‌های فیزیولوژیکی ارسطو را با الزامات و روش‌های مدرن فیزیولوژی ورزشی برابر دانست. صرف‌نظر از تأکید و شدت بیان، تمام واقعیت‌ها، تفسیرها، فرضیه‌ها و نتیجه‌گیری‌هایی که در این کتاب ارائه شده‌اند باید بدون استثنا مطابق با کیفیت روش‌های زیربنایی آن‌ها سنجیده شوند. این تلاشی است که نویسنده انجام داده، هرچند پیچیدگی‌های آن به‌ندرت به دلیل ماهیت افشاگرانه‌ی این اثر، آشکار شده‌اند.

هرچند ممکن است خلاف انتظار به نظر برسد، پژوهش درباره‌ی عملکردهای درونی بدن ما تا حدی شامل ذهن‌گرایی و بی‌معنایی است. پژوهشگران باید پرسش پژوهش را تعیین کنند، روش‌های پرداختن به آن را انتخاب کنند (یعنی روش‌شناسی، که اغلب شامل نیروی کاری از دانشجویانی است که آمادگی لازم را ندارند)، و همچنین نحوه‌ی ارائه و تفسیر نتایج را مشخص نمایند. در هر مرحله انتخاب‌های متعددی صورت می‌گیرد، بدون آنکه معمولاً دستورالعمل یا توصیه‌ی مشخص و تثبیت شده‌ای برای پیروی وجود داشته باشد. تغییری به ظاهر جزئی در انتخاب روش‌ها، مثلاً در میان ابزارهای اندازه‌گیری یا آزمون‌های آماری، ممکن است به نتایجی کاملاً متفاوت یا حتی متضاد منجر شود. علاوه بر این، پژوهش‌هایی که از انسان به‌عنوان نمونه آزمایشی استفاده می‌کنند با محدودیت‌های فراوانی روبه‌رو هستند، که عمدتاً ماهیتی اخلاقی دارند و عمدتاً با درجه‌های متفاوت از توجیه منطقی یا بهتر بگوییم، بر پایه‌ی نادیده گرفتن کامل هستند.

امکان استفاده از حیوانات برای پژوهش، که به طور معمول چونندگان هستند، نیز محدود است، زیرا فیزیولوژی چهارپای آن‌ها در بسیاری از پرسش‌های یکپارچه آن‌قدر متفاوت است که تعمیم دقیق نتایج به انسان را دشوار می‌سازد. برای روشن‌سازی بی‌چون و چرای فیزیولوژی ظرفیت ورزشی و ویژگی‌های خاص جنسیتی آن، نیاز به انجام آزمایش بر روی زنان و مردان داریم. انسان‌ها از طیفی گسترده از ظرفیت‌های ورزشی برخوردارند که تا حدی مستقل از یکدیگر هستند. بلند کردن وزنه‌های سنگین در چند ثانیه، انفجارهای مکرر قدرت در چند دقیقه، تلاش‌های استقامتی که ساعت‌ها ادامه دارند، و هر چیزی که میان این‌هاست، نیازمند مشارکت غالب متفاوتی از مسیرهای متابولیک خاص و میزان درگیری متغیر سیستم‌های عصبی-عضلانی و قلبی-عروقی است. بدن ما نمی‌تواند به‌طور هم‌زمان دارای توانایی ورزشی فراگیر و برتر در همه‌ی زمینه‌ها باشد. این موضوع دو دلیل دارد. نخست، برای اینکه انسان بتواند در یک نوع عملکرد ورزشی خاص برتری پیدا کند، به دست‌کم چند ماه و اغلب چند سال تمرین نیاز است که به‌طور دقیق سیستم‌های فیزیولوژیکی درگیر در آن عملکرد را هدف قرار دهد و به چالش بکشد. این محرک‌های تمرینی به‌تدریج باعث ایجاد سازگاری‌هایی می‌شوند که ظرفیت ورزشی متناظر را بهبود می‌بخشند، اما لزوماً سایر ظرفیت‌ها را نه. دوم، برخی از این سازگاری‌های تمرینی مکمل هم هستند، اما برخی دیگر متضاد. برای مثال، افزایش قابل توجه در توده عضلانی ناشی از تمرین مقاومتی، قدرت را بهبود می‌دهد اما توانایی اجرای ورزش‌های طولانی‌مدت با تحمل وزن مانند دویدن مسافت طولانی یا دوچرخه‌سواری در سربالایی را کاهش می‌دهد، به‌شرط آنکه پیش از شروع برنامه تمرینی، توده عضلانی

آن قدر پایین نباشد که عملکرد استقامتی را محدود کند. از سوی دیگر، سازگاری‌های عصبی-عضلانی ناشی از تمرینات استقامتی، در حالی که به بهبود به‌کارگیری فیبرهای عضلانی مقاوم به خستگی کمک می‌کند، باعث محدود شدن قدرت و توان عضلانی می‌شود. در مجموع، اصطلاح ((ظرفیت ورزشی)) اصطلاحی بسیار کلی است. برای پاسخ‌گویی دقیق به پرسش‌های آغازین، باید یک نوع مشخص از ظرفیت ورزشی را انتخاب کنیم. یا می‌توانیم بر یک متغیر فیزیولوژیکی تمرکز کنیم که پایه و اساس طیف گسترده‌ای از ظرفیت‌های ورزشی باشد.

ظرفیت هوازی به حداکثر مقدار اکسیژنی (O_2) گفته می‌شود که یک فرد می‌تواند در واحد زمان مصرف کند (VO_{2max}). این شاخص، حداکثر مقدار مصرف انرژی از طریق متابولیسم هوازی را منعکس می‌کند، فرایندی که در حالت استراحت در انسان‌ها، به مراتب اصلی‌ترین منبع تأمین انرژی است (بیش از ۹۰٪). به همین ترتیب، متابولیسم هوازی منبع اصلی انرژی در اکثریت قریب به اتفاق فعالیت‌های ورزشی قابل انجام توسط انسان است، از این رو، زندگی انسان به شدت و به‌طور کامل به اکسیژن وابسته است. تنها در فعالیت‌هایی که با بیشترین شدت ممکن و در مدت زمانی کمتر از حدود ۲ دقیقه انجام می‌شوند، سهم متابولیسم هوازی در تولید انرژی غالب نیست. زمانی که این تلاش‌های شدید و کوتاه‌مدت (کمتر از ۲ دقیقه) تکرار شوند (یعنی با دوره‌هایی از شدت کمتر یا استراحت همراه باشند)، متابولیسم هوازی نقش اساسی در بازیابی نسبی ذخایر انرژی دارد و در نتیجه باعث کاهش افت تولید انرژی در تلاش‌های شدید بعدی می‌شود. VO_{2max} به شدت تعیین‌کننده آن دسته از ظرفیت‌های ورزشی است که نیاز مداوم به متابولیسم هوازی بالا (بیشتر از ۷۰ درصد VO_{2max}) برای

مدت طولانی (بیشتر از ۱۰ دقیقه) دارند، مانند توانایی‌هایی که عملکرد استقامتی در ورزش‌هایی نظیر دویدن مسافت طولانی، دوچرخه‌سواری، اسکی کراس کانتری و غیره را ممکن می‌سازند، که همگی در مجموع تحت عنوان «ظرفیت هوازی ورزشی» شناخته می‌شوند. فراتر از نقش آن در تعیین عملکرد استقامتی، VO_{2max} یکی از قوی‌ترین شاخص‌های پیش‌بینی‌کننده بیماری، مرگ‌ومیر و امید به زندگی است. در واقع، ورزشکاران استقامتی که محرک‌های تمرینی آن‌ها طی سال‌ها به بالاترین VO_{2max} در میان انسان‌ها منجر می‌شود، می‌توانند به‌عنوان «سالم‌ترین» نمونه‌های گونه انسانی در نظر گرفته شوند. جای تعجب نیست که دانش ما درباره VO_{2max} از مجموع تمام متغیرهای فیزیولوژیکی دیگر مرتبط با ظرفیت‌های ورزشی بیشتر است. از این‌رو، این کتاب بر VO_{2max} و عوامل فیزیولوژیکی تعیین‌کننده آن تمرکز دارد.

نویسنده

دیوید مانتر و باریل به طور مشترک در دپارتمان پزشکی، دانشکده پزشکی بالینی، و دانشکده بهداشت عمومی دانشگاه هنگ کنگ مشغول به فعالیت است. پس از انجام پروژه دکترای خود که توسط انجمن پزشکی عروقی فرانسه تأمین مالی شد، آموزش پس‌دکتری خود را در مؤسسه تحقیقات قلب و عروق ماستریخت (هلند)، مرکز فیزیولوژی یکپارچه انسانی زوریخ و دپارتمان قلب و عروق بیمارستان دانشگاهی زوریخ (سوئیس) گذراند. پروفیسور مانتر و از پرسش‌های چالش‌برانگیز استقبال می‌کند، به‌ویژه آن‌هایی که توانایی برانگیختن انگیزه درونی لازم برای غرق شدن مشتاقانه در آن‌ها را داشته باشند. پرسش‌های پژوهشی کنونی او بر سازوکارهای اساسی تمرکز دارند که ظرفیت قلبی-عروقی برای رساندن اکسیژن به بافت‌ها را پشتیبانی می‌کنند، ظرفیتی که یکی از قوی‌ترین شاخص‌های عملکرد (استقامت) و وضعیت بالینی (مرگ و میر کلی) محسوب می‌شود. با اتخاذ رویکردهای یکپارچه، آزمایشگاه او بر دست‌کاری کنترل‌شده و ثبت دقیق تعامل بین سیستم‌های قلبی-عروقی، خونی، عصبی و متابولیک در شرایط فیزیولوژیکی مرتبط تمرکز دارد. در این میان، ورزش به‌عنوان ابزاری برای بزرگ‌نمایی و در نتیجه تسهیل درک سازوکارهای کلیدی درهم‌تنیده بدن انسان در سلامت و بیماری به‌کار گرفته می‌شود.

فصل ۱

سیستم تنفسی

واژگان کوتاه شده:

- O_2 : اکسیژن
- CO_2 : دی‌اکسید کربن
- VO_{2max} : حداکثر اکسیژن مصرفی
- EIAH : هایپوکسی شریانی ناشی از ورزش



« نواحی اتصال و نقاط محدود کننده جریان در سیستم های انتقال زیستی

سیستم تنفسی شامل مجرای هوایی ای است که محیط خارجی را به سیستم گردش خون داخلی ما متصل می کند. از نظر آناتومیکی، این مجرا از بیرون به درون شامل: بینی، حفره بینی، حلق، حنجره، نای، نایژه ها، نایژک ها و آلوئول های موجود در ریه ها است. اکسیژن (O_2) این مسیر را طی می کند تا در نهایت در خون، که حامل سیال گاز اکسیژن برای انتقال به بافت ها است، پخش شود. در هر فرایند خطی که شامل مراحل گام به گام است، برای نمونه خطوط مونتاژ معمول در صنعت خودروسازی، باید یک مرحله محدود کننده سرعت وجود داشته باشد، یعنی کندترین مرحله. حداکثر سرعت خط مونتاژ فقط به اندازه سرعت کندترین مرحله می تواند باشد. این مرحله می تواند نصب موتور، رنگ آمیزی، خشک کردن و غیره باشد. یک عامل تنها که آهنگ کلی را تعیین خواهد کرد. از نظر تئوری، همه مراحل می توانند دقیقاً با یک سرعت پیش بروند و در نتیجه، حلقه ضعیفی وجود نداشته باشد. اما در عمل، چنین هماهنگی کاملی در فرایند تولید صنعتی بسیار بعید است. در زیست شناسی، یک فرایند خطی بدون حلقه ضعیف حتی دور از انتظارتر است، زیرا ناهماهنگی و تنوع ذاتی، قاعده ای همیشگی است. به طور خاص، اجزای متوالی زنجیره انتقال اکسیژن از جو تا میتوکندری های فیبرهای عضلات اسکلتی، جایی که بیشترین مصرف اکسیژن در طول ورزش رخ می دهد هیچ گاه کاملاً با یکدیگر هماهنگ نیستند. به عبارت دیگر، ظرفیت انتقال اکسیژن از سیستم تنفسی به سیستم گردش خون بسیار سریع تر از انتقال آن از قلب به میتوکندری های عضلات اسکلتی است. به بیان ساده تر، زنجیره انتقال اکسیژن نامتقارن است، همه



مراحل سرعت انتقال یکسانی ندارند و در نتیجه، در محدود کردن حداکثر مصرف اکسیژن (VO_{2max}) نیز نقش برابری ایفا نمی‌کنند.^۱ در عرض یک دقیقه، سیستم تنفسی یک مرد سالم و کم‌تحرک می‌تواند تا حدود ۱۵۰ لیتر هوا، یعنی حدود ۳۱ لیتر اکسیژن را به صورت ارادی جابه‌جا کند.^۲ این مقدار، حجم کلی اکسیژنی را نشان می‌دهد که وارد مجرای هوایی می‌شود، که باید بیشتر از میزان اکسیژنی باشد که به آلوئول‌ها می‌رسد، جایی که اکسیژن به درون گردش خون نفوذ می‌کند. بخشی از هوای دم کشیده شده در نواحی از مجرای تنفسی باقی می‌ماند که نقشی در تبادل گازها ندارند (از بینی تا نایژه‌ها)، که به آن‌ها فضای مرده آناتومیکی گفته می‌شود. تقریباً یک‌سوم گاز وارد شده در هر دم، هرگز به ناحیه تبادل گاز نمی‌رسد.

همین امر در مورد بازدم نیز صادق است: یک‌سوم محتوای آن، شامل گازهای بی‌اثر، بخار آب، اکسیژن جذب‌نشده، و نیز بخشی از دی‌اکسید کربن (CO_2) منتشر شده از گردش خون، از مجرای هوایی خارج نمی‌شود. در این میان، دی‌اکسید کربن تولید شده در فرایندهای متابولیسمی بدن که به آلوئول‌ها نفوذ می‌کند، به بخار آبی افزوده می‌شود که مجرای هوایی را کاملاً اشباع می‌کند، هر دوی این‌ها CO_2 و بخار آب باعث کاهش فضای در دسترس برای سایر گازها از جمله O_2 می‌شوند. با در نظر گرفتن فضای مرده آناتومیکی و مقدار معمول دی‌اکسید کربن و بخار آب در حبابچه‌ها (که از طریق فشار جزئی‌شان، همان‌طور که توضیح داده خواهد شد، مشخص می‌شود)، تنها حدود ۱۹ لیتر اکسیژن می‌تواند در تهویه ارادی حداکثری، به ناحیه تبادل گاز در بدن فرد کم‌تحرک ما برسد. در تضادی چشمگیر، همین فرد ممکن است در حداکثر تلاش خود تنها حدود ۳/۵ لیتر اکسیژن را از طریق سیستم گردش خون به بافت‌ها منتقل کند. بنابراین،

گلوگاه یا ضعیف‌ترین حلقه نمی‌تواند در سیستم تنفسی باشد. نفوذ اکسیژن، همانند سایر گازها، میان حبابچه‌ها و مویرگ‌های ریوی، یعنی محل تلاقی سیستم تنفسی و گردش خون، فرایندی غیرفعال است. در سطح مولکولی، انرژی برای حرکت دادن اکسیژن به سمت جریان خون مصرف نمی‌شود. این فرایند از طریق شیب غلظت انجام می‌شود. هنگامی که صحبت از گازها می‌شود، اصطلاح رایج برای بیان غلظت، فشار جزئی است، که به فشاری اطلاق می‌شود که یک گاز خاص در ترکیبی از گازها وارد می‌کند. غلظت یک گاز، تحت شرایط پایدار، مستقیماً با فشار جزئی آن متناسب است. بنابراین، فشار جزئی اکسیژن در آلوئول‌ها باید بالاتر از فشار آن در خون مویرگی ریه باشد تا اکسیژن بتواند به گردش خون نفوذ کند. چنین شیب غلظتی همیشه تا حدی وجود دارد، چرا که اکسیژن خون به‌طور مداوم مصرف می‌شود و در بدن انسان زنده تولید نمی‌گردد. از این رو، اکسیژن به‌طور پیوسته وارد جریان خون می‌شود، جایی که با محدودیت‌های بیشتری در انتقال مواجه خواهد شد، همان‌طور که در فصل‌های بعدی به آن خواهیم پرداخت.

در این مرحله، این پرسش مطرح می‌شود که آیا سیستم تنفسی نقشی در تفاوت‌های جنسیتی در ظرفیت هوازی ورزشی دارد یا خیر. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، از آنجا که افراد سالم می‌توانند تا پنج برابر مورد نیاز، اکسیژن را از محیط خارجی به حامل داخلی (یعنی سیستم گردش خون) منتقل کنند، به نظر می‌رسد هیچ محدودیت بالقوه‌ای در VO_{2max} نتوان به سیستم تنفسی نسبت داد. با این حال، تفاوت‌های جنسیتی در کارایی تنفسی و همچنین شرایط بیرونی ممکن است تأثیر قابل توجهی داشته باشند.

« تفاوت‌های جنسیتی در سیستم تنفسی:

آیا برای ظرفیت هوازی ورزشی اهمیت دارند؟

تفاوت‌های مربوط به اندازه، معمولاً محور اصلی بحث تفاوت‌های جنسیتی هستند. اندازه‌ی بدنی معمولاً کوچک‌تر در زنان، ناگزیر در ساختارهای اصلی سیستم تنفسی نیز بازتاب می‌یابد (شکل ۱.۱). به عنوان نمونه، قفسه‌ی سینه و شکل ریه‌ها به‌طور مداوم بین دو جنس متفاوت است، به‌طوری که زنان در مقایسه با مردان، پایه و اندازه کلی ریه‌های کوچک‌تری دارند^۲. با این حال، سیستم تنفسی زنان حتی زمانی که تفاوت‌های آنترپومتریک (اندازه‌های بدنی) نیز در نظر گرفته شود، همچنان کوچک‌تر از مردان است. حتی در حالتی که اندازه ریه‌ها برابر در نظر گرفته شود، سطح مقطع مجاری هوایی بزرگ (نای و نایژه‌ها) در زنان تا یک‌سوم کمتر از مردان است، که این امر پیامدهای عملکردی قابل توجهی دارد^۳. طبق قانون فیزیکی جریان لایه‌ای (laminar flow) که در فصل بعد در مبحث سیستم گردش خون به تفصیل شرح داده می‌شود، مقاومت در برابر جریان، به‌طور معکوس متناسب با شعاع مقطع مجرا به توان چهارم است. بنابراین، کار متابولیکی تنفس به‌طور ذاتی در زنان بیشتر است. در شرایط استراحت، تفاوت‌های جنسیتی در سیستم تنفسی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد تنفسی ندارند. اما زمانی که نیاز به اکسیژن و تهویه افزایش می‌یابد، مانند هنگام ورزش، شدت اثر تفاوت‌های جنسیتی آشکار می‌شود. در این راستا، در هر سطحی از تهویه‌ی ریوی که بالاتر از ۵۵ لیتر در دقیقه باشد (که در تمرینات با شدت متوسط تا زیاد مورد نیاز است).