

اصول بیوشیمیایی عملکرد ورزشی

(ویرایش دوم)

نویسندگان

ران موگان و مایکل گلیسون

مترجمان

دکتر مریم اصفهانی

(Ph.D. بیوشیمی بالینی)

مصطفی بارانچی

(دانشجوی Ph.D. بیوشیمی و متابولیسم ورزشی دانشگاه تربیت مدرس)

با همکاری

دکتر محمد علی سمواتی شریف

(دانشیار فیزیولوژی ورزشی دانشگاه بوعلی سینا)

تحت نظارت و ویراستاری

پروفسور محمد تقی گودرزی

(استاد بیوشیمی بالینی دانشگاه علوم پزشکی همدان)

درک بیوشیمی ورزش، اساس مطالعه‌ی عواملی است که در عملکرد ورزشی دخیل‌اند. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی سلول‌ها و بافت‌ها، تعیین‌کننده پاسخ‌های فیزیولوژیکی به فعالیت ورزشی می‌باشد، اما هنوز آموزش بیوشیمی ورزشی در مقایسه با فیزیولوژی ورزشی به میزان اندکی توسعه یافته است.

از آنجا که آشنایی با مباحث مربوط به بیوشیمی ورزشی، غالباً درک موضوعاتی همچون ترمودینامیک، ساختارهای شیمیایی و مسیرهای متابولیک برای دانشجویان دله‌ره آور است، بسیاری از دانشجویان این موضوع را دشوار می‌دانند، هرچند نباید چنین باشد.

هدف این کتاب آشناسازی دانشجویان علوم ورزشی با فیزیولوژی ورزشی، با فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط با عملکرد ورزشی و سازگاری‌هایی است که در پاسخ به تمرین روی می‌دهند. تمرکز این کتاب بیشتر بر متابولیسم عضله اسکلتی و تأمین انرژی برای عضلات در حال فعالیت می‌باشد.

این روند دقیقاً شیمی فیزیولوژیکی است- یعنی مطالعه‌ی روندهای بیوشیمیایی یا متابولیکی که در کل ارگانیسم روی می‌دهد- بر خلاف چیزی است که در لوله آزمایش تحت شرایط غیرفیزیولوژیکی اتفاق می‌افتد. اگر چه عواملی که خستگی را در حین فعالیت ورزشی پدید می‌آورند، به خوبی شناخته نشده‌اند، به‌نظر می‌رسد که بیشتر منشأ بیوشیمیایی داشته باشند تا فیزیولوژیکی. دانشجویان تربیت بدنی و علوم ورزشی نیاز به فهم عمیق بیوشیمیایی ندارند، اما لازم است تا با مفاهیم پایه آشنایی داشته باشند. ما در این کتاب تلاش کرده‌ایم که اصول بیوشیمی ورزشی را با مفهومی درست، مناسب دانشجوی علوم ورزشی معرفی کنیم. این به معنای دوری از رویکرد متداول کار از طریق کلاس‌های بیومولکولی و مسیرهای متابولیکی اصلی می‌باشد. در عوض با در نظر گرفتن فرآیندهای بیوشیمیایی درگیر در تأمین انرژی برای رویدادهای مختلف ورزشی و روندی که در آن محدودیت‌های تأمین انرژی می‌تواند باعث خستگی و متعاقباً محدودیت در عملکرد شود، موضوع را مورد بررسی قرار داده‌ایم. بازگشت به حالت اولیه (ریکاوری) پس از فعالیت ورزشی برای ورزشکارانی که با دوره‌ی استراحتی محدود به تمرین و مسابقه می‌پردازند، مهم است. همچنین فرآیندهای بیوشیمیایی که ریکاوری و بازسازی ظرفیت عملکردی را تحت تأثیر قرار می‌دهند نیز در این کتاب بحث شده است.

این رویکرد برای موضوع مورد بحث مناسب به‌نظر می‌رسد. یک وزنه بردار تنها دغدغه‌ی تولید نیرو را دارد، اما دوندگی سرعت به حفظ برون‌ده توانی بالا، برای دوره‌های زمانی کوتاه نیاز دارد. ورزشکار استقامتی به تولید برون‌ده توانی متوسط، اما برای مدتی طولانی نیازمند است. فرآیندهای بیوشیمیایی که فعالیت‌های مختلف ورزشی را تغذیه (سوخت‌رسانی) می‌کنند، به همراه تغییراتی که با تمرین روی می‌دهد و نیز نقش رژیم غذایی در تأمین سوخت مورد نیاز، از مباحث مورد توجه در این کتاب می‌باشند. استعداد ورزشی هدیه‌ای بی‌نظیر است که از والدین به ورزشکار نخبه ارث می‌رسد، و توصیف مختصری از اصل وراثت را در بر دارد. نویسندگان این کتاب، درس‌های بیوشیمی، فیزیولوژی و تغذیه ورزشی را در مقطع لیسانس تدریس کرده‌اند و تجارب‌شان را از تدریس و تحقیق در این کتاب گردآورده‌اند. به امید آن‌که بتوانند دانشجویان علاقمند را برای پیگیری این موضوعات جذاب ترغیب نمایند.

به نظر می‌رسد که تنها زمان کمی از چاپ نخست این کتاب گذشته باشد. در حقیقت شش سال گذشته است. در این مدت، پیشرفت‌های عمده‌ای در رشته بیوشیمی ورزشی روی داده است، هرچند که پیشرفت‌های اندکی نیز وجود داشته است. بسیاری از این پیشرفت‌ها ناشی از تکنیک‌های نوین برای مطالعه‌ی مسائل قدیمی و پرورش متقابل ایده‌ها از حوزه‌های تخصصی مختلف می‌باشند.

بیولوژی مولکولی به سرعت در حال پیشرفت است و دیدگاه‌هایی را در زمینه مکانیسم‌های عمل‌کننده در سطح زیرسلولی فراهم می‌کند که زیربنای بسیاری از پاسخ‌ها و سازش‌ها به انواع مختلف استرس ورزشی می‌باشد. برای مثال، به تازگی تشخیص داده شده که سایتوکاین‌ها نقش گسترده‌ای در مسیرهای پیام‌رسانی درون سلولی دارند. در گذشته تصور می‌شد رادیکال‌های آزاد صرفاً برای سلول‌ها مضر هستند، درحالی‌که اکنون مشخص شده است در برخی از فرآیندهای سلولی نقش‌های مهمی ایفا می‌کنند. پیشرفت‌های سریع در ژن درمانی، همراه با سوءاستفاده آن در ورزش، دورنمایی از مهندسی بافت را فراهم می‌آورد که حتی چندین سال پیش غیرممکن به نظر می‌رسید.

در چاپ مجدد این کتاب، سعی بر آن شده تا اطلاعات جدید مورد توجه قرار گیرد و فصل‌های تازه‌ایی نیز بدان اضافه شده است. همزمان تلاش کرده‌ایم اهداف اصلی‌مان را از دست ندهیم که عبارت بود از آشنا کردن دانشجویان علوم ورزشی یا فیزیولوژی ورزشی با روندهای بیوشیمیایی که طی عملکرد ورزشی و سازگاری‌های حاصل از تمرین روی می‌دهند. همان‌طور که در مقدمه چاپ اول اشاره شد، تلاش ما حفظ تمرکز بر شیمی فیزیولوژیک بوده است - فرآیندهایی که به جای انجام در لوله‌ی آزمایش، در بدن موجود زنده تحت شرایط فیزیولوژیکی روی می‌دهند.

برای مطالعه‌ی بیشتر، منابع جدید متعددی در پایان هر فصل اضافه شده که نشان دهنده‌ی پیشرفت‌های اخیر در علم می‌باشد. هر چند ما بسیاری از منابع قدیمی‌تر را نگه داشته یا حتی اضافه کرده‌ایم. چرا که معتقدیم دانشجویان نباید بینش تکامل موضوع را از دست بدهند: بسیاری از منابع قدیمی‌تر به پیشرفت‌های عمده‌ای تأکید دارند که در گذشته رخ داده است و امروزه نیز مرتبط هستند.

ویرایش دوم از نظرات متعدد همکاران و دانشجویان بهره‌مند شده است. در حقیقت همه‌ی این موارد ما را در تدوین ویرایش دوم ترغیب کرده‌اند.

ران موگان و مایک گلیسون

دانشگاه Loughborough، 2010

آشنایی با مباحث مربوط به فیزیولوژی و بیوشیمی ورزش امروزه مورد توجه دانشجویان و اساتید رشته‌های علوم ورزشی قرار گرفته است. همچنین پژوهش در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیک ورزش مورد علاقه پژوهشگران این حوزه می‌باشد. با توجه به گسترش دوره‌های تحصیلات تکمیلی در رشته‌های علوم ورزشی، وجود منابع جدید و معتبر که مکانیسم‌های بیوشیمیایی و تغییرات متابولیک را در رشته‌های مختلف ورزشی و شرایط مختلف فیزیولوژیک توضیح دهد، ضروری است. همچنین دانشجویان تربیت بدنی و علوم ورزشی که بعضاً یکی از رشته‌های ورزشی را به‌طور حرفه‌ای دنبال می‌کنند، ضرورت آگاهی از مکانیسم‌های دقیق فرآیندهای متابولیک را بیشتر احساس می‌کنند.

کتاب «اصول بیوشیمیایی عملکرد ورزشی» حاوی مطالب بسیار علمی، جامع، بدیع و کاربردی می‌باشد. کتاب حاضر، به‌طور گسترده روندهای مهم ورزشی را مورد بحث قرار داده است. علاوه بر آن، مباحث مهمی چون استعدادیابی ورزشی، اصول ژنتیک قابلیت‌های ورزشی و سازوکارهای سازگاری با تمرین را توضیح داده است و به‌طور خاص متابولیسم را در طیف گسترده و اصلی ورزش‌ها نظیر وزنه‌برداری (به‌عنوان فعالیتی قدرتی)، فعالیت‌های سرعتی، نیمه استقامتی، استقامتی و رشته‌های ورزشی شرح می‌دهد، که به‌طور یقین می‌تواند جذابیت بیشتری برای دانشجویان و ورزشکاران این رشته‌ها داشته باشد و برای مربیان آن‌ها بسیار کاربردی و مفید باشد. کتاب مربوط به انتشارات دانشگاه آکسفورد (یکی از برترین دانشگاه‌های جهان) می‌باشد و نویسندگان آن از اساتید مجرب و صاحب‌نظر در حوزه بیوشیمی ورزش می‌باشند.

درخصوص علوم بین‌رشته‌ای نظیر علوم ورزشی - به‌طور ویژه بیوشیمی ورزش - گردآمدن تخصص‌های مختلف امری ضروری می‌باشد که موجب افزایش کیفیت کار، حفظ امانت علمی و برگردان تخصصی مطالب می‌شود. از این‌رو، در این کتاب مترجمان با تخصص‌های مختلف (فیزیولوژی ورزش و بیوشیمی بالینی) سعی نموده‌اند با حفظ امانت‌داری مطالب را ساده و روان به نگارش فارسی درآوردند. نبودن معادل دقیق علمی در زبان فارسی برای برخی از واژه‌ها، معمولاً محدودیت‌هایی را ایجاد می‌کند که بیان واژه لاتین در این موارد، می‌تواند کمک‌کننده باشد.

اهداف آموزشی در ابتدای هر فصل آورده شده است، لذا کتاب می‌تواند برای تدریس مباحث مختلف بیوشیمی ورزشی بسیار کاربردی باشد؛ به‌خصوص این‌که منابع فارسی در این زمینه محدود می‌باشند. دانشجویان مقاطع مختلف تحصیلی شامل کارشناسی، کارشناسی‌ارشد و دکتری تخصصی رشته تربیت بدنی و علوم ورزشی به‌ویژه رشته فیزیولوژی ورزش برای دروسی نظیر فیزیولوژی ورزشی، تغذیه ورزشی، فیزیولوژی کاربردی، بیوشیمی و متابولیسم ورزشی و نیز دانشجویان رشته‌های مرتبط نظیر تغذیه می‌توانند از آن بهره گیرند.

لذا مطالعه کتاب و بکارگیری آن در آموزش مباحث بیوشیمی ورزش را به همکاران محترم دانشگاهی و دانشجویان عزیز علوم ورزشی توصیه می‌کنم. دریافت نظرات و راهنمایی‌های این عزیزان در رابطه با متن ترجمه شده، در ارتقای کیفیت این کتاب در ویرایش‌های بعدی قابل تقدیر است.

۱. مقدمه: اصول بیوشیمیایی فعالیت بدنی

و ورزش ۱

اهداف آموزشی.....	۱
مقدمه.....	۲
چشم انداز تاریخی.....	۳
سیر تکامل رکوردها.....	۳
کاربرد علم.....	۹
سوء استفاده از علم.....	۱۰
نکات کلیدی.....	۱۱

۲. وزنه بردار ۱۳

اهداف آموزشی.....	۱۳
مقدمه.....	۱۴
ساختمان و عملکرد عضله.....	۱۴
فوق ساختار تار عضلانی.....	۱۶
مکانیسم انقباض.....	۱۹
پروتئین ها: ویژگی های ساختمانی.....	۳۴
انرژی برای انقباض عضله.....	۵۱
اثر تغذیه بر تمرین و عملکرد قدرتی.....	۵۵
نکات کلیدی.....	۵۹

۳. دوندگی سرعت ۶۳

اهداف آموزشی.....	۶۳
مقدمه.....	۶۴
متابولیسم بی هوازی.....	۶۴
پاسخ متابولیکی به فعالیت ورزشی.....	۷۱
از دست دادن نوکلئوتیدهای آدنینی.....	۷۶
شارژ انرژی سلولی و ذخیره آدنیلالات.....	۷۶
عوامل خستگی در فعالیت سرعتی.....	۷۷
ریکاوری پس از فعالیت ورزشی.....	۷۸
اثرات تغذیه بر عملکرد سرعتی.....	۸۰
نکات کلیدی.....	۸۱

۴. رویدادهای نیمه استقامتی ۸۳

اهداف آموزشی.....	۸۳
مقدمه.....	۸۴

هزینه انرژی و اکسیژن در دوهای

نیمه استقامتی.....	۸۴
گلیکولیز.....	۸۶
مسیر گلیکولیتیک.....	۸۸
متابولیسم اکسیداتیو کربوهیدرات.....	۹۴
مکانیسم های خستگی در رویدادهای	
نیمه استقامتی.....	۹۵
ریکاوری پس از فعالیت ورزشی.....	۹۷
اثرات تغذیه بر عملکرد ورزشکاران	
نیمه استقامتی.....	۱۰۰
نکات کلیدی.....	۱۰۴

۵. فعالیت های استقامتی ۱۰۵

اهداف آموزشی.....	۱۰۵
مقدمه.....	۱۰۶
تأمین انرژی.....	۱۰۷
توان هوازی.....	۱۰۷
استفاده نسبی از ظرفیت هوازی.....	۱۰۹
متابولیسم انرژی.....	۱۱۱
یکپارچگی و تنظیم استفاده از سوخت.....	۱۲۳
خستگی در فعالیت ورزشی طولانی.....	۱۳۴
نقش مغز در خستگی.....	۱۳۶
تغذیه و عملکرد ورزشی استقامتی.....	۱۳۸
نکات کلیدی.....	۱۴۲

۶. بازیکنان ورزشی ۱۴۵

اهداف آموزشی.....	۱۴۵
مقدمه.....	۱۴۶
الگوهای فعالیت و میزان کار در	
بازی های ورزشی.....	۱۴۶
پاسخ های متابولیکی به فعالیت ورزشی	
شدید متناوب.....	۱۴۸
خستگی در بازی های ورزشی با	
فعالیت های سرعتی چندگانه.....	۱۵۵
راهنما های تغذیه ای برای	
ورزشکاران بازی های تیمی.....	۱۵۹
نکات کلیدی.....	۱۶۴

۷. استعداد ورزشی:

اصول ژنتیکی قابلیت‌های ورزشی ◀ ۱۶۵

اهداف آموزشی.....	۱۶۵
مقدمه	۱۶۶
ماهیت ماده ژنتیکی.....	۱۶۷
اصول وراثت	۱۷۹
دوپینگ ژنی: چشم‌اندازی واقع بینانه.....	۱۸۳
نکات کلیدی.....	۱۸۵

۸. سازگاری‌های تمرین ◀ ۱۸۹

اهداف آموزشی.....	۱۸۹
مقدمه.....	۱۹۰
راهبردهای تمرین و سازگاری‌ها.....	۱۹۱
تمرین برای قدرت	۱۹۳
تمرین برای سرعت.....	۱۹۵
تمرین برای نیمه استقامت:	
افزایش ظرفیت بی‌هوازی.....	۱۹۷
تمرین برای استقامت:	
افزایش ظرفیت هوازی	۱۹۸
مکانیسم‌ها و محدودیت‌های سازگاری.....	۲۰۱
فراخستگی و بیش‌تمرینی.....	۲۱۱
تمرین ورزشی، عملکرد ایمنی و آمادگی ابتلا به عفونت	۲۱۳
اثرات بی‌تمرینی	۲۱۶

اثرات تغذیه بر سازگاری تمرین.....	۲۱۶
رادیکال‌های آزاد و آنتی‌اکسیدان‌ها.....	۲۲۰
نکات کلیدی.....	۲۳۳

ضمیمه ۱: مفاهیم کلیدی در شیمی بدن، شیمی آلی و شیمی بیولوژیک ◀ ۲۳۵

مقدمه.....	۲۳۵
ماده، انرژی و ساختمان اتمی.....	۲۳۵
پیوندهای شیمیایی، انرژی آزاد و ATP.....	۲۳۸
غلظت یون هیدروژن و بافرها	۲۴۰
ساختمان غشاء و انتقال	۲۴۱
سلول‌ها و اندامک‌ها.....	۲۴۲

ضمیمه ۲: فهرست لغات اختصاری و اصطلاحات بیوشیمیایی ◀ ۲۴۷

اختصارات.....	۲۴۷
واژگان بیوشیمیایی.....	۲۵۱

ضمیمه ۳: واحدهای معمول مورد استفاده در بیوشیمی و فیزیولوژی ◀ ۲۵۵

واحدهای سیستم بین‌المللی (واحدهای SI).....	۲۵۵
واحدهای مشتق از SI و غیر SI	۲۵۶
تقسیمات و مضرب‌های SI	۲۵۶



مقدمه: اصول بیوشیمیایی فعالیت بدنی و ورزش

۳	چشم انداز تاریخی
۳	سیر تکامل رکوردها
۹	کاربرد علم
۱۰	سوء استفاده از علم

اهداف آموزشی

پس از مطالعه‌ی این فصل، شما باید بتوانید ...

۱. علت اهمیت بیوشیمی، در درک عوامل تعیین کننده موفقیت ورزشی را درک کنید.
۲. برخی از عوامل مؤثر در ارتقاء رکوردهای جهانی در مسابقات ورزشی طی سده اخیر را شرح دهید.
۳. محدودیت‌های تعمیم تغییرات در رکوردهای جهانی گذشته را برای پیش‌بینی آهنگ پیشرفت‌های آتی، درک نمایید.
۴. برخی از عوامل محدود کننده در عملکرد ورزشی را شرح دهید و موفقیت در ورزش را تعریف کنید.
۵. مفهوم ناتوانی در تأمین ATP به عنوان دلیل بیوشیمیایی خستگی را شرح دهید.

مقدمه

سطح توانایی ذاتی و توانمندی پاسخ به تمرین همراه با بهبود عملکرد، کلیدهای موفقیت در ورزش هستند.

در تمامی فعالیت‌های ورزشی، فعالیت‌های عضلانی دخالت دارند و برای هر یک از ما، جهت انجام هر کاری که در آن تلاش عضلانی نیاز است، حد بالایی وجود دارد. زمانی که برای انجام کاری، بیشتر تلاش می‌کنیم، خستگی پدیدار می‌شود؛ این رویداد ما را وادار می‌سازد که سرعت کار را کاهش داده یا متوقف کنیم و مهارت و هماهنگی نیز افت می‌کند. این موضوع برای همه‌ی فعالیت‌های دربرگیرنده قدرت، سرعت، استقامت و مهارت کاربرد دارد. تفاوت‌های موجود در ظرفیت جسمانی افراد اساس رقابت‌های ورزشی را شکل می‌دهد و هر شرکت کننده در مسابقه برای غلبه بر این محدودیت‌ها تلاش می‌کند. محدودیت‌های مرتبط با عملکرد ورزشی، متعدد و متنوع هستند. البته رشته ورزشی یا سطح عملکرد ما مهم نیست، چراکه می‌توانیم با تمرین مناسب پیشرفت کنیم. اما دو عامل یعنی میزان توانایی ذاتی و فطری و توانمندی پاسخ به تمرین همراه با بهبود عملکرد، کلیدهای موفقیت در ورزش می‌باشند.

ماده ژنتیکی شکل‌گیری پروتئین‌ها را دیکته کرده و پروتئین‌ها نیز به نوبه‌ی خود متابولیسم را کنترل می‌کنند.

هر دو این عوامل اساساً به‌وسیله ساختار بیوشیمیایی بدن تعریف می‌شوند. ماده ژنتیکی ما، که از دزوکی ریبونوکلیک اسید (DNA) ساخته شده، شکل‌گیری پروتئین‌ها را دیکته کرده و پروتئین‌ها نیز به نوبه‌ی خود متابولیسم دیگر عناصر و ترکیبات شیمیایی سازنده‌ی سلول‌ها و بافت‌ها را کنترل می‌کنند. بدن انسان چیزی بیشتر از مجموعه‌ای از ترکیبات بیوشیمیایی نیست که برای ایجاد ساختار و عملکرد، با یکدیگر تعامل می‌کنند. ساختار مهم است؛ این عامل تعیین کننده قد، وزن، ظاهر بیرونی و دیگر خصوصیات فیزیکی ماست. عملکرد حتی از این هم مهم‌تر است، به‌طوری‌که قدرت، سرعت، استقامت و مهارت را تعیین می‌کند. ماهیت ذهن، فرآیندهای تفکر یا حتی ویژگی‌های مختص انسانی مانند حافظه به‌خوبی شناخته نشده‌اند، اما همه‌ی این پدیده‌ها نیز باید یک اساس بیوشیمیایی داشته باشند. فیزیولوژی و پزشکی چیزی فراتر از تظاهرات فیزیکی و ویژگی‌های بیوشیمیایی نیستند. برخی استدلال می‌کنند که روانشناسی هم در همین طبقه‌بندی قرار می‌گیرد.

درک پاسخ‌های بدن به فعالیت ورزشی برای ورزشکاری که به دنبال عملکرد بهتر است، اهمیت بسزایی دارد.

ورزش شکل‌های گوناگونی دارد و برای افرادی که صرفاً قصد شرکت در یک فعالیت تفریحی لذت بخش یا فعالیت اجتماعی را دارند و یا آن‌هایی که قصد رقابت در بالاترین سطح مسابقات را دارند، فرصت‌های زیادی را فراهم می‌کند. شرکت کننده فعالیت‌های تفریحی از پیشرفت‌های بلند مدت در بعد سلامت جسمی، ذهنی، افزایش ظرفیت عملکردی و نیز لذت آنی مشارکت بهره می‌برد. درک پاسخ‌های بدنی به فعالیت ورزشی، برای ورزشکاری که به دنبال عملکرد بهتر است، مهم می‌باشد، اما این موضوع در توسعه‌ی برنامه‌های فعالیت بدنی موفق که می‌تواند شیوع پیش‌رونده بیماری‌های همراه با سبک زندگی بی‌تحرک را متوقف سازد نیز عنصر کلیدی و اثرگذاری محسوب می‌شود. شناخت بیوشیمی - شیمی حیات - برای تمام این موارد اساسی می‌باشد و حتی مهم‌تر خواهد شد چراکه علم از توصیفات ساده و پدیده‌ها بر اساس مشاهده به درک جزئی سازوکارهایی که عملکرد بدن را کنترل می‌کنند، پیشرفت می‌کند.

و استروئیدهای مرتبط با آن تعامل می‌کنند. هنگامی که مولکول استروئید به گیرنده‌ی روی غشای سلول اتصال می‌یابد، کمپلکس حاصل یک سری رویدادهای درون سلولی را آغاز می‌کند که با عمل بر هسته سلول، فرآیند نسخه‌برداری ژنی را آغاز می‌کند، به‌طور مثال، شروع به ساختن پروتئین‌های بیشتر می‌کند. مدولاتورهای انتخابی گیرنده آندروژن (SARMs)^۱ ترکیباتی غیراستروئیدی هستند که می‌توانند با گیرنده‌های استروئیدی خاص روی غشای سلول تعامل کنند؛ بدین ترتیب، می‌توانند حجم عضله و چگالی استخوان را افزایش دهند، درحالی‌که کاهش چربی‌ها را تسریع کرده و تمایل کمتری برای ایجاد اثرات جانبی ناخواسته نشان می‌دهند. هرچند از بیشتر داروها در ورزش، سوء استفاده می‌شود، اما کاربرد آن‌ها برای درمان بیماری‌هایی که پیش‌تر با استروئیدهای آنابولیک درمان می‌شدند، رو به افزایش است. ترکیباتی شبیه SARMs دورنمایی از درمان‌های اثربخش‌تر را برای بسیاری از بیماری‌ها ترسیم می‌کنند، همچنین می‌توانند به‌عنوان ابزارهای پژوهشی قدرتمند، جهت فراهم کردن دیدگاه‌های جدید در زمینه کنترل بیان ژن در بافت‌ها مورد استفاده قرار گیرند. این داروها هنوز در مراحل اولیه تکامل برای کاربرد بالینی هستند، اما به‌نظر می‌رسد که احتمالاً سوء استفاده از آن‌ها به‌وسیله‌ی ورزشکاران، حتی قبل از تکمیل آزمایش‌های سلامتی و ایمنی آن‌ها شروع شده است.

اقدام دارویی بسیاری توسط ورزشکاران استفاده می‌شود و مبالغه‌نگفتی برای شناسایی و کشف آن‌ها هزینه می‌شود. در اینجا، استفاده از آن‌ها به تفصیل شرح داده نخواهد شد، هرچند مطالعه‌ی عوامل دوپینگ می‌تواند جنبه‌های بسیاری از بیوشیمی ورزش را مشخص کند.

نکات کلیدی

۷. متابولیسم انرژی، عنصری حیاتی در موفقیت عملکرد به‌شمار می‌آید. در فعالیت ورزشی کربوهیدرات به‌عنوان سوختی مهم و ویژه محسوب می‌شود و بدن باید تا حدی که ممکن است با مصرف چربی‌ها به منزله‌ی سوختی برای تولید انرژی، منابع محدود این سوخت را ارزش را حفظ نماید. عضلات ورزشکاران استقامتی به خصوص در سوزاندن چربی‌ها برای تأمین انرژی مناسب بوده و تمرینات استقامتی این ظرفیت را بیشتر افزایش می‌دهند.

۸. فاکتورهای مانند قدرت، توان، استقامت و مهارت اساس فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دارند که بخشی از آن به‌وسیله ژنتیک تعیین می‌شود و بخش دیگر پیامد سازگاری حاصل از تمرین می‌باشد. هرچند عوامل متعدد دیگری نظیر ویژگی‌های روان‌شناختی، هوشیاری تاکتیکی و توانایی تحمل تمرینات طاقت‌فرسا و برنامه‌های زمان‌بندی مسابقات به دور از بیماری و آسیب، نیز دخیل هستند.

۹. فرآیندهای بیوشیمیایی بدن مسئول همه‌ی عوامل محدودکننده‌ی عملکرد هستند اما این فرآیندها نباید جداگانه در نظر گرفته شوند. اگرچه ناتوانی در تطابق بین عرضه و تقاضای ATP، ممکن است دلیل اصلی خستگی باشد، اما توانایی تولید ATP می‌تواند به‌وسیله سازوکارهای فیزیولوژیک مانند قابلیت سیستم قلبی-عروقی در تدارک

۱. بیوشیمی مطالعه‌ی رویدادهایی در سطح سلولی و مولکولی است.

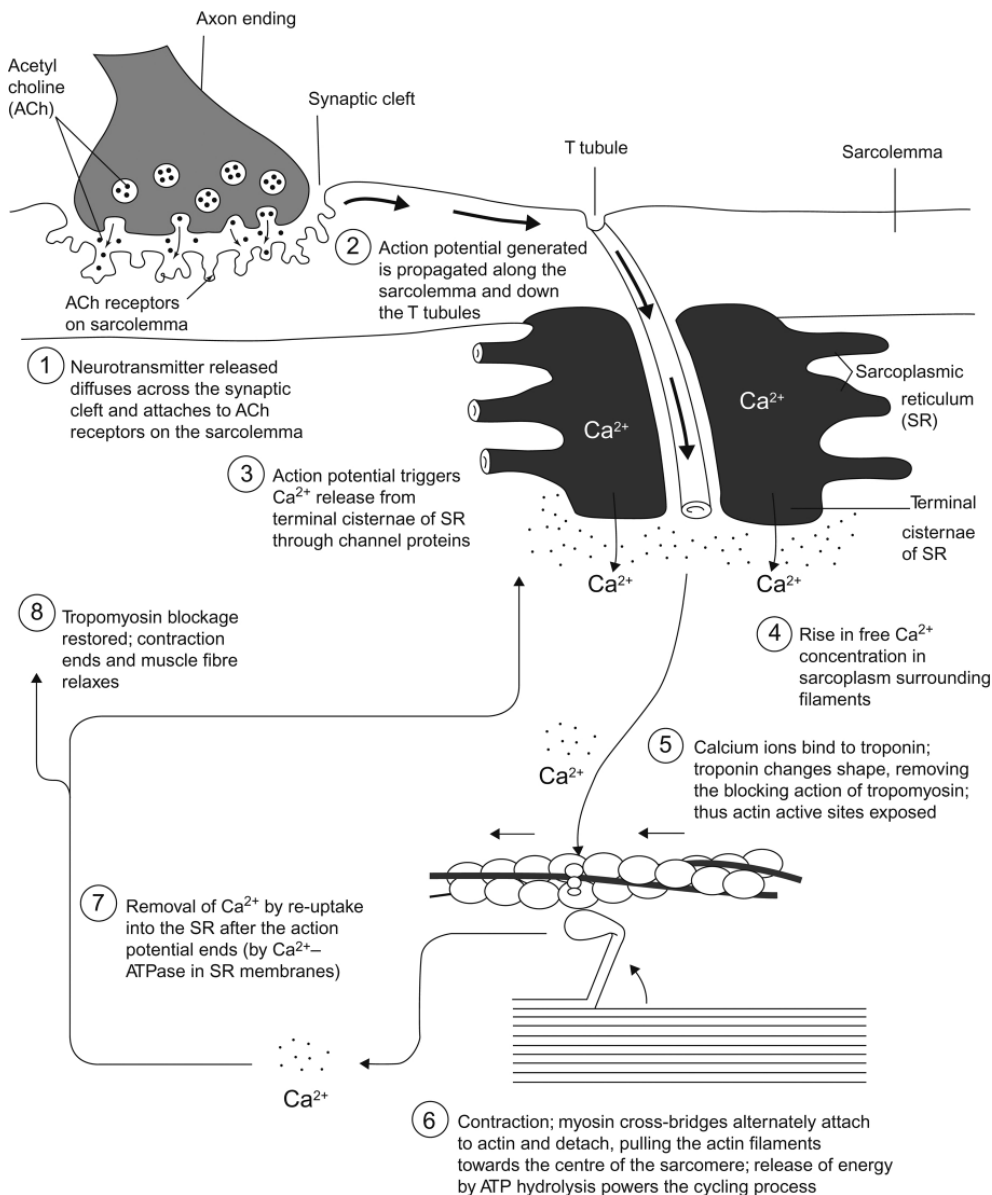
۲. سطح توانایی ذاتی و توانمندی پاسخ به تمرین همراه با بهبود عملکرد، کلیدهای موفقیت در ورزش هستند.

۳. ماده ژنتیکی شکل‌گیری پروتئین‌ها را دیکته کرده و پروتئین‌ها نیز به نوبه‌ی خود متابولیسم را کنترل می‌کنند.

۴. در مسابقات دوی سرعت، پیشرفت در عملکرد می‌تواند ناشی از سریع‌تر شدن زمان عکس‌العمل، توانایی تولید توان بالاتر در عضلات فعال، بهبود مقاومت در برابر خستگی یا ترکیبی از این موارد باشد.

۵. در اکثر مسابقات دو، از زمانی که رکوردها به ثبت رسیده، پیشرفت یکنواختی در عملکردها وجود داشته است و هیچ نشانه آشکاری مبنی بر آهسته شدن سرعت پیشرفت وجود نداشته است. به هر حال، برای عملکرد ورزشی می‌بایست حد و مرزی قائل شد و در آینده در برخی زمینه‌ها، پیشرفت بیشتری رخ نخواهد داد.

۶. با افزایش حضور زنانی که توانایی شرکت در مسابقات را دارند و با برداشته‌شدن موانع اجتماعی برای تمرینات سخت توسط زنان، عملکردها به سرعت بهبود یافته چراکه بخش بزرگ‌تری از ذخیره کل ژنی در دسترس می‌باشد.



شکل ۲-۸

توالی رویدادها در جفت شدن تحریک- انقباض: (۱) نروترنسمیتر آزاد شده در عرض شکاف سیناپسی منتشر می‌شود و به گیرنده‌های استیل کولین واقع بر سارکولما متصل می‌شود؛ (۲) پتانسیل عمل تولید شده در طول سارکولما منتشر می‌شود و لوله‌های T را طی می‌کند. (۳) پتانسیل عمل سبب رهاسازی یون‌های کلسیم از سیستم‌های انتهایی شبکه سارکوپلاسمی می‌شود، این کار از طریق پروتئین‌های کانال انجام می‌شود؛ (۴) افزایش غلظت Ca^{2+} آزاد در سارکوپلاسم احاطه کننده فیلامنت‌ها؛ (۵) یون‌های کلسیم به تروپونین متصل می‌شوند؛ تروپونین تغییر شکل می‌دهد و عمل مهارتی تروپومیزین را حذف می‌کند، به این ترتیب جایگاه‌های فعال اکتین در معرض قرار می‌گیرند؛ (۶) انقباض؛ پل‌های عرضی میوزین به‌طور متناوب به اکتین متصل و جدا می‌شوند، رشته‌های اکتین را به سمت مرکز سارکومر می‌کشند؛ رهاسازی انرژی از طریق هیدرولیز ATP، انرژی لازم برای فرایند چرخه را تامین می‌کند؛ (۷) حذف Ca^{2+} توسط بازجذب به شبکه سارکوپلاسمی پس از خاتمه پتانسیل عمل (توسط Ca^{2+} -ATPase در غشاهای شبکه سارکوپلاسمی)؛ (۸) عمل مهارتی تروپومیزین مجدداً برقرار می‌شود؛ انقباض خاتمه می‌یابد و تار عضله شل می‌شود (ریلکس می‌شود).

از اکسیژن و مواد مغذی را فراهم می‌کنند. این تارها دارای فعالیت نسبتاً بالای آنزیم‌های اکسیداتیو هستند (جدول ۲-۲) و از این‌رو ظرفیت بالایی برای متابولیسم اکسیداتیو دارند. تارهای نوع I فوق‌العاده به خستگی مقاوم هستند و برای انجام انقباض‌های قوی مکرر طی دوره‌های طولانی تخصص یافته‌اند.

تارهای نوع-II سلول‌های کم‌رنگی هستند که نسبتاً سریع منقبض می‌شوند و دارای ظرفیت گلیکولیتیک بالایی هستند.

تارهای IIX بسیار کم‌رنگ‌تر از نوع-I هستند، زیرا میوگلوبین کمتری دارند؛ در افرادی که تمرین قدرتی داشته‌اند این تارها قطر بیشتری نسبت به تارهای نوع-I دارند، هرچند این گونه تفاوت‌ها در اندازه تار به میزان زیادی وابسته به الگوی فعالیت معمول فرد است. این تارها دارای ATPase میوزین سریع‌العمل هستند، بنابراین زمان انقباض (و شل شدن) آن‌ها نسبتاً سریع است و در نتیجه نسبت به تارهای نوع-I حدود سه برابر برون‌ده توان ماکزیمم بیشتری دارند. این تارها دارای میتوکندری و مویرگ‌های کمتری هستند اما در مقایسه با تارهای نوع-I ذخایر گلیکوژن و فسفوکراتین بیشتری دارند. فعالیت نسبتاً بالای آنزیم‌های گلیکوژنولیتیک و گلیکولیتیک (جدول ۲-۲) به تارهای IIX ظرفیت بالایی برای تولید سریع (اما نسبتاً کوتاه مدت) ATP را در غیاب اکسیژن می‌دهد (ظرفیت بی‌هوازی). به این ترتیب این تارها برای انجام انقباض‌های قدرتمند سریع با دوره‌های کوتاه مدت تعبیه شده‌اند اما مشخص شده به سرعت خسته می‌شوند.

تارهای IIa سلول‌های قرمزی هستند که خصوصیات متابولیک و فیزیولوژیک آن‌ها حدواسط دو نوع تار دیگر است. آن‌ها دارای ATPase میوزین سریع‌العمل شبیه تارهای نوع-IIX هستند، اما دارای ظرفیت اکسیداتیو خیلی نزدیک به تارهای نوع I می‌باشند.

جدول ۲-۲

فعالیت برخی آنزیم‌های گلیکولیتیک و اکسیداتیو در انواع مختلف تارهای عضله اسکلتی انسان ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{gww}$).

آنزیم	نوع-I	نوع-IIa	نوع-IIX
فسفریلاز	۲,۸	۵,۸	۸,۸
فسفوفروکتوکیناز	۷,۵	۱۳,۷	۱۷,۵
سوکسینات دهیدروژناز	۷,۱	۴,۸	۲,۵
سیتрат سنتاز	۱۰,۸	۸,۶	۶,۵

به نظر می‌رسد طی بیشتر فرم‌های حرکت، سلسه مراتب ترتیبی فراخوانی واحد حرکتی از نوع-I به نوع-IIa و IIX باشد.

علاوه بر تفاوت‌هایی که در سرعت انقباض و پروفایل متابولیک انواع تارهای مختلف وجود دارد، در نورون‌های حرکتی که تارها را عصب‌دهی می‌کنند نیز تفاوت‌هایی وجود دارد: تارهای نوع-I با نورون‌هایی عصب‌دهی می‌شوند که قطر کوچکی داشته و سرعت هدایت کند و آستانه پایین فعال‌سازی را دارند، درحالی‌که تارهای نوع-II با نورون‌هایی عصب‌دهی می‌شوند که قطر بزرگی داشته، سرعت هدایت تند و آستانه فعال‌سازی نسبتاً بالایی دارند. تفاوت‌هایی که در آستانه فعال‌سازی نورون‌های حرکتی انواع تارهای مختلف وجود دارد، تعیین‌کننده ترتیب فراخوانی تارها طی فعالیت ورزشی است و این به نوبه خود تعیین‌کننده پاسخ متابولیک به فعالیت ورزشی است. طی بیشتر انواع حرکت‌ها، به نظر می‌رسد سلسه مراتب ترتیبی از فراخوانی واحد حرکتی بر اساس اندازه باشد که تقریباً مطابق با پیشرفت از نوع I به

مقدمه

در رویدادهای نیمه استقامتی، مقدار نهایی کار انجام شده، بسیار فراتر از ذخایر فسفاژن در دسترس می‌باشد.

در بسیاری از ورزش‌ها فعالیت شدیدی در مدت زمان چند دقیقه انجام می‌شود، که مثال‌هایی از آن‌ها در جدول ۱-۴ ارائه شده است. علاوه بر این موارد، در بیشتر رشته‌های رزمی مانند بوکس، کشتی و جودو فرد مبارز باید بتواند زمان‌های متعدد ۳ تا ۵ دقیقه‌ای، با دوره‌های استراحت کوتاه مدت بین هر دوره را اجرا کند. در همه‌ی این رویدادها بایستی برون‌ده توانی بالا برای کل زمان مسابقه حفظ شود و مقدار نهایی کار انجام شده، بسیار فراتر از ذخایر فسفاژن در دسترس می‌باشد (فرآیندهای بی‌هوازی آلاکتیک (بدون لاکتیک) که در فصل ۲ شرح داده شد). اگر کراتین فسفات (PCr) تنها سوخت در دسترس باشد، ورزشکار نمی‌تواند مسافتی بیش از حدود ۳۰۰-۲۰۰ متر را قبل از وقوع خستگی پوشش دهد، و امکان ذخیره کافی PCr در عضلات، طولانی‌تر از این مدت وجود ندارد. به هنگام فعالیت‌هایی ورزشی که بیش از ۲-۱ دقیقه طول می‌کشد، سهم اصلی تولید انرژی بر عهده متابولیسم اکسیداتیو است، اما حداقل در شدت‌های فعالیت ورزشی که کمتر از ۱۰ دقیقه تداوم دارند، میزان انرژی که باید برای عضلات در حال فعالیت تأمین شود، فراتر از حداکثر میزان فرآیندهای اکسیداتیو است. در این فصل برای توصیف فرآیندهای متابولیک و علل خستگی و محدودیت‌های بالقوه برای عملکردی که در این مقیاس زمانی رخ می‌دهد، از دونه نیمه استقامتی به عنوان مثال استفاده می‌شود. پاسخ‌های متابولیک رابطه‌ی نزدیکی با مدت زمان رویداد ورزشی دارند. با در نظر گرفتن مسابقه‌ی ۱۵۰۰ متر، که حدود ۳/۵ و ۴ دقیقه به ترتیب برای دوندگان نخبه‌ی مرد و زن زمان می‌برد، بحث را آغاز می‌کنیم.

هزینه‌ی انرژی و اکسیژن دوی نیمه استقامتی

هنگامی که منبع اصلی انرژی کربوهیدرات است، به ازای هر لیتر اکسیژن مصرف شده حدود ۲۱ کیلوژول (۵ کیلوکالری) انرژی مصرف شده است.

هزینه انرژی دویدن با سرعت‌های مختلف روی تردمیل قابل اندازه‌گیری می‌باشد. برای فهم بهتر، اگر کل نیازهای انرژی به وسیله‌ی متابولیسم اکسیداتیو تأمین شود، هزینه‌ی انرژی به‌طور طبیعی بر حسب مقدار اکسیژن مصرفی بیان می‌شود. می‌دانیم هنگامی که منبع اصلی انرژی کربوهیدرات است، به ازای هر لیتر اکسیژن مصرف شده حدود ۲۱

جدول ۱-۴:

رکوردهای جهانی (در اول مارس ۲۰۱۰) در مسابقاتی که مشارکت بالای گلیکولیز بی‌هوازی مورد نیاز است

رویداد	مردان	زنان
دوچرخه‌سواری پیست (۴۰۰۰ متر تعقیبی انفرادی)	۴:۱۱,۱۱۴	-
دوچرخه‌سواری پیست (۴۰۰۰ متر تعقیبی تیمی)	۳:۵۷,۲۸۰	-
روئینگ	۶:۳۳,۳۵	۷:۰۷,۷۱
۲۰۰۰ متر یک نفره دو پارویی	۶:۱۴,۳۷	۶:۵۳,۸۰
۲۰۰۰ متر دو نفره تک پارویی	۱:۴۱,۱۱	۱:۵۳,۲۸
دویدن	۳:۲۶,۰۰	۳:۵۰,۴۶
۸۰۰ متر	۱۲:۳۷,۳۵	۱۴:۱۱,۱۵
۱۵۰۰ متر	۳:۴۰,۰۷	۳:۵۹,۱۵
۴۰۰ متر شای آزاد	۴:۰۳,۸۴	۴:۲۹,۴۵
۴۰۰ متر مختلط انفرادی		

لاکتات خون و عضله پس از فعالیت ورزشی با حداکثر تلاش به مقادیر استراحتی یکسان می‌باشد، که نشان می‌دهد حداکثر تلاش طی این زمان نمی‌تواند تکرار شود.



انجام مقداری فعالیت، فرآیند ریکاوری را تسریع می‌کند.

اگر ورزشکار به‌جای سکون و بی‌حرکت ماندن در کنار پیست، ریکاوری فعال انجام دهد یعنی قدم بزند یا به آرامی بدود، فرآیند ریکاوری می‌تواند تسریع شود. این امر سرنوشت لاکتات را تغییر می‌دهد. به‌جای برداشت و استفاده توسط کبد، لاکتات به‌عنوان سوختی جهت تولید انرژی از طریق متابولیسم اکسیداتیو در عضلاتی که فعال هستند (به‌ویژه تارهای نوع-I) استفاده می‌شود. این واکنش‌ها در فصل بعدی توضیح داده خواهند شد. حتی دودیدن نسبتاً شدید، به‌ویژه در عضلات تمرین کرده دوندگان، در افزایش میزان اکسیداسیون لاکتات مؤثر است. اگرچه این کار مزیت افزایش حذف لاکتات از سیستم را دارد، اما سبب کاهش مقدار لاکتات برای بخش مهم دیگری از فرآیند ریکاوری می‌شود، فرآیندی که تجدید ذخایر گلیکوژن عضله نامیده می‌شود.



احتمالاً بازگشت گلیکوژن عضلانی استفاده شده طی فعالیت ورزشی، حداقل ۲۴ ساعت زمان می‌برد.

جایگزینی ذخایر گلیکوژن عضله بخشی از فرآیند ریکاوری است که بیشترین زمان را می‌گیرد. گلیکوژن ذخیره شده در عضله می‌تواند به سرعت تجزیه شود: طی مسابقه‌ی بالای ۸۰۰ متر یا ۱۵۰۰ متر، بیش از ۱۰۰ گرم گلیکوژن می‌تواند به لاکتات تبدیل شود و این نشان‌دهنده‌ی ۲۵٪ از کل ذخیره کربوهیدرات بدن است. جایگزینی ذخیره گلیکوژن عضله نیاز به تأمین گلوکز از خون دارد: مقداری از گلوکز خون از کبد تأمین می‌شود، که فعالانه لاکتات را به گلوکز تبدیل می‌کند، اما بیشتر گلوکز خون از رژیم غذایی تأمین می‌شود و اگر غذاهای حاوی کربوهیدرات در این زمان استفاده شود، ریکاوری تسریع می‌شود. حتی در این صورت نیز، حداقل ۲۴ ساعت زمان لازم است تا سطح گلیکوژن عضلانی به حد طبیعی برگردد.

کندی واکنش‌های دخیل در فرآیند ریکاوری، نشان‌گر علت طولانی بودن دوره ریکاوری پس از دوی نیمه استقامت است. اگر برنامه زمان‌بندی، شامل چندین دور رقابت در یک روز باشد، غیرمحتمل است که ورزشکار بتواند در هر مسابقه، بهترین عملکرد خود را ارائه نماید. ورزشکاری که مسابقه پایانی را برنده می‌شود، ممکن است همان فردی نباشد که برنده یک مسابقه تک مرحله‌ای است یا شاید همان فردی باشد که مسابقات آسان‌تر را در دوره‌های اولیه برده است. در شرایطی که مسابقه دیگری پیش‌رو باشد، موضوع بالا اهمیت وجود مراحل را نشان می‌دهد که اطمینان دهنده‌ی ریکاوری سریع و کامل (تا حد امکان) باشد.



پیشگامان این عرصه

آرچی‌بالد ویویان هیل Archibald Vivian Hill (که شهرت جهانی او AV Hill می‌باشد) در سال ۱۸۸۶ متولد شد و در دانشگاه کمبریج در رشته‌ی ریاضیات تحصیل کرد. او به فیزیولوژی تغییر رشته داد و شروع به تحقیق روی ماهیت انقباض عضله کرد. تحقیقات فلچر و هاپکینز در زمینه اسیدلاکتیک در عضله، به‌ویژه نقش اکسیژن در حذف اسیدلاکتیک عضلانی، توجه وی را جلب کرد. این مسئله، وی را به مطالعه وابستگی تولید گرما به طول تار عضلانی هدایت کرد. در سال ۱۹۱۹ همکاری دراز مدت خود را با اتومبرهوف آغاز کرد. سپس هیل (که از دونده ورزشی در ۸۰۰ متر بهتر بود) نتایج بدست آمده از تحقیق بر عضلات ایزوله شده را برای مطالعه‌ی اثرات فعالیت ورزشی در مردان بکار گرفت. وی پس از طی دوره کار طولانی و برجسته در سال ۱۹۷۷ درگذشت.

غلظت گلوکز خون است. طی بیشتر فعالیت‌های ورزشی، غلظت گلوکز خون کاهش نمی‌یابد، اما طی فعالیت‌های طولانی‌مدت، زمانی که ذخایر گلیکوژن کبد تخلیه می‌شود، افت غلظت گلوکز خون می‌تواند رخ دهد (هیپوگلیسمی).

کاتکولامین‌ها تجزیه گلیکوژن کبدی و لیپولیز بافت چربی را تسریع می‌کنند.

کاتکولامین‌های آدرنالین و نورآدرنالین از بخش مرکزی فوق کلیه (مدولای آدرنال) آزاد می‌شوند. نورآدرنالین از قسمت‌های انتهایی اعصاب سمپاتیک نیز رها می‌شود و به‌نظر می‌رسد نشت از چنین سیناپس‌هایی منبع اساسی نورآدرنالین موجود در پلاسمای خون باشد. کاتکولامین‌ها اثرات سیستمیک زیادی در سراسر بدن دارند که شامل: تحریک ضربان و انقباض پذیری قلب و تغییر قطر عروق خونی. این ترکیبات بر دسترسی به سوسترا نیز اثر دارند، و اثرات آدرنالین مهم‌تر می‌باشد. آدرنالین، شبیه گلوکاگن، گلیکوژنولیز در کبد و عضله را افزایش می‌دهد. همچنین لیپولیز در بافت چربی و دسترسی به FFA پلاسما را افزایش داده و ترشح انسولین را مهار می‌کند. محرک اصلی ترشح کاتکولامین‌ها، فعال‌سازی سیستم اعصاب سمپاتیک توسط استرس‌هایی نظیر فعالیت ورزشی، هیپوتانسیون (افت فشارخون) و هیپوگلیسمی است. افزایش عمده‌ی غلظت کاتکولامین پلاسمایی طی ثانیه‌های آغازین فعالیت شدید رخ می‌دهد. البته شدت فعالیت ورزشی نسبی باید بالاتر از VO_{2max} ۵۰٪ باشد تا به‌طور بارزی غلظت کاتکولامین پلاسما را بالا ببرد.

هورمون رشد و کورتیزول نیز در کنترل دسترسی به سوخت دخیل می‌باشند.

هورمون رشد از غده هیپوفیز قدامی ترشح می‌شود و سبب تحریک آزادسازی FFA از بافت چربی می‌شود. افزایش غلظت پلاسمایی هورمون رشد با شدت فعالیت ورزشی مرتبط است. طی فعالیت ورزشی شدید و طولانی‌مدت، ترشح کورتیزول از کورتکس آدرنال (بخش قشری فوق کلیه) افزایش می‌یابد. کورتیزول هورمون استروئیدی است که اثرات کاتکولامین‌ها در بافت‌های مختلف را افزایش می‌دهد (نظیر افزایش بیشتر لیپولیز در بافت چربی). هرچند اثرات مهم آن تسریع تجزیه پروتئین و رهاسازی اسید آمینه از عضله و تحریک گلوکونئوژنز در کبد است. محرک اولیه ترشح کورتیزول، رهاسازی ناشی از استرس هورمون آدرنو کورتیکوتروپیک (ACTH) از غده هیپوفیز قدامی است.

نقش احتمالی سیتوکین‌ها در آزادسازی سوخت

مطالعات جدید نشان می‌دهند طی فعالیت ورزشی طولانی‌مدت، عضلات فعال برخی سیتوکین‌ها نظیر اینترلوکین-۶ (IL-6) را آزاد می‌نمایند. سیتوکین‌ها ملکول‌های پیام‌رسان پروتئینی هستند که به شیوه شبه‌هورمونی عمل می‌نمایند، البته تا چندی پیش تصور می‌شد که تقریباً تنها توسط سلول‌های سیستم ایمنی تولید می‌شوند. سیتوکین از کلمه یونانی «cyto» به معنی سلول و «kine» به معنی حرکت گرفته شده است. سیتوکین‌ها پپتید یا پروتئین‌هایی هستند که این‌گونه تعریف می‌شوند: ملکول‌هایی که توسط سلول‌های سیستم ایمنی تولید و رها می‌شوند و در ایجاد پاسخ‌های ایمنی نقش دارند. اما این تعریف تمام داستان را بیان نمی‌کند. دقیق‌تر این است که بگوئیم «سیتوکین‌ها» ملکول‌های مترشح‌های هستند که اثرات خاصی را بر سلول‌های ترشح‌کننده خود (اثرات اتوکراین) و دیگر سلول‌ها (اثرات پاراکراین) دارند. تفاوت مهم بین این تعاریف آن است که هر چند سیتوکین‌ها اساساً به‌عنوان ملکول‌های آزاد شده توسط سیستم ایمنی معرفی می‌شوند، اما منشأ و اثرات آن‌ها فراتر از سیستم ایمنی است. در واقع، ثابت شده

نکات کلیدی (ادامه)

۲۷. به نظر می‌رسد IL-6 به شیوه شبه-هورمون عمل می‌کند، و طی فعالیت ورزشی طولانی مدت در افزایش آزادسازی سوبسترا (آزادسازی گلوکز از کبد و اسیدهای چرب از بافت چربی) دخالت دارد. همچنین IL-6، ترشح کورتیزول، IL-10، IL-1ra و CRP را القا کرده و به طور کلی اثرات ضدالتهابی دارد.

۲۸. دریافت CHO طی ساعت‌ها پیش از فعالیت ورزشی، این اطمینان را می‌دهد که ذخایر CHO کبدی بهینه می‌باشند. دلیلی برای این باور وجود ندارد که چنین روشی در نتیجه‌ای اثر واکنشی انسولین، به عملکرد ورزشی آسیب می‌رساند. به طور کلی امروزه پذیرفته شده است که دریافت CHO پیش از فعالیت ورزشی طولانی مدت، عملکرد را بهبود می‌بخشد.

۲۹. دریافت CHO طی فعالیت ورزشی طولانی مدت منجر به کاهش استفاده از گلیکوژن عضلانی و کاهش آزادسازی چربی و اکسیداسیون می‌شود، و از سوی دیگر میزان اکسیداسیون CHO و ظرفیت استقامتی را افزایش می‌دهد. بنابراین واضح است که سهم آن در تولید کل انرژی تحت این شرایط، باید بیشتر از میزانی باشد که به طور طبیعی از اکسیداسیون چربی بدست می‌آید. شواهد نشان می‌دهند که دریافت CHO طی فعالیت ورزشی طولانی مدت، اثرات متابولیکی و عملکردی عمده خود را بر تارهای عضلانی نوع-I اعمال می‌کند. همچنین دریافت CHO با به تأخیر انداختن تخلیه گلیکوژن کبدی و تأخیر در ایجاد هیپوگلیسمی طی فعالیت ورزشی، خستگی را به تعویق می‌اندازد.

۳۰. کافئین یک کمک ارگوژنیک مؤثر است و مکانیسم‌های احتمالی متعددی برای اثرات بهبوددهنده عملکردی آن ارائه شده است. برخی مطالعات حیوانی نشان می‌دهند که مکمل‌سازی رژیم غذایی با کارنتین، اکسیداسیون چربی طی فعالیت ورزشی را افزایش می‌دهد و عملکرد استقامتی را نیز بهبود می‌بخشد، اما بیشتر مطالعات انسانی اثر مفید آن بر متابولیسم یا عملکرد را گزارش نداده‌اند، که علت این امر را به ناتوانی مکمل‌سازی رژیم غذایی با کارنتین در افزایش محتوای عضلانی آن در انسان نسبت داده‌اند.

استقامتی را بهبود خواهد داد. هرچند، حداکثر میزان اکسیداسیون چربی در تأمین میزان بازسازی ATP مورد نیاز طی فعالیت طولانی مدت در بیش از VO_{2max} ۶۰٪ کافی نیست، بنابراین معمولاً انتظار می‌رود در این شرایط عملکرد مختل شود.

۲۳. در حال حاضر، مکانیسم بیوشیمیایی دقیقی که توسط آن تخلیه گلیکوژن عضلانی سبب خستگی می‌شود، مبهم است. هرچند احتمالاً ناتوانی عضله در حفظ میزان فسفریلاسیون مجدد ADP در شرایط تخلیه گلیکوژن، سبب تجمع Pi و ADP شده که به دنبال آن خستگی روی می‌دهد.

۲۴. عوامل مختلفی بر نوع سوبسترای مورد استفاده به عنوان سوخت کار عضلانی اثر می‌گذارد. این عوامل شامل: فراهمی سوبسترا، رژیم غذایی، شدت و مدت فعالیت ورزشی، وضعیت تمرین، هورمون‌ها، سیتوکین‌ها، فعالیت قبلی و شرایط محیطی است.

۲۵. برخی از هورمون‌ها در یکپارچگی و کنترل متابولیسم انرژی دخالت دارند، به‌ویژه انسولین که ذخیره کربوهیدرات و چربی را افزایش می‌دهد، و هورمون دیگر گلوکاگن است که به طور کلی آنتاگونیست عملکرد انسولین است. آدرنالین و نورآدرنالین لیپولیز و نیز آزادسازی و متابولیسم کربوهیدرات را در هنگام استرس تحریک می‌کنند. IL-6 که طی فعالیت ورزشی طولانی مدت به مقدار زیاد از عضله رها می‌شود نیز می‌تواند لیپولیز را تحریک کند.

۲۶. فعالیت ورزشی سبب افزایش مقادیر خونی و بافتی سیتوکین‌های متعدد می‌شود. به نظر می‌رسد منبع اصلی افزایش غلظت پلاسمایی IL-6 طی فعالیت ورزشی، آزادسازی آن از عضله در حال انقباض می‌باشد. مغز نیز IL-6 را طی فعالیت ورزشی آزاد می‌کند، درحالی که برداشت خالص IL-6 خون توسط کبد وجود دارد. آسیب عضلانی، مسئول اصلی افزایش غلظت پلاسمایی سیتوکین‌ها طی فعالیت ورزشی نمی‌باشد، البته زمانی که محتوای گلیکوژن عضلانی تخلیه شده است تولید و یا آزادسازی برخی سیتوکین‌ها (به‌ویژه IL-6) افزایش می‌یابد.

فعالیت ورزشی با شدت کم*	فعالیت ورزشی بیشینه†	استراحت	مسافت (متر)
کاهش ضربان قلب	کاهش ضربان قلب	کاهش ضربان قلب	کاهش ضربان قلب
افزایش حجم ضربه ای	افزایش حجم ضربه ای	افزایش حجم ضربه ای	افزایش حجم ضربه ای
بدون تغییر برون ده قلب	بدون تغییر برون ده قلب	بدون تغییر برون ده قلب	بدون تغییر برون ده قلب
بدون تغییر رهایش اکسیژن (Oxygen extraction)	بدون تغییر رهایش اکسیژن (Oxygen extraction)	بدون تغییر رهایش اکسیژن (Oxygen extraction)	بدون تغییر رهایش اکسیژن (Oxygen extraction)
افزایش برداشت اکسیژن	افزایش برداشت اکسیژن	بدون تغییر برداشت اکسیژن	بدون تغییر برداشت اکسیژن
بدون تغییر جریان خون عضله	بدون تغییر جریان خون عضله	بدون تغییر جریان خون عضله	بدون تغییر جریان خون عضله

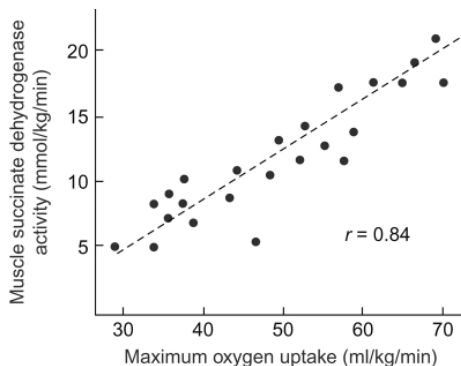
* برای فعالیت ورزشی در میزان یکسان کار خالص

† فعالیت ورزشی در شدت معادل با ۱۰۰٪ حداکثر اکسیژن مصرفی VO_{2max}

‡ به دلیل اندکی اتکای بیشتر روی اکسیداسیون چربی، که نسبت به اکسیداسیون کربوهیدرات ۱۰٪ به اکسیژن بیشتری نیاز دارد.

شکل ۸-۴

رابطه بین فعالیت سوکسینات دهیدروژناز، یکی از آنزیم های چرخه TCA، و حداکثر برداشت اکسیژن در گروه ناهمگنی از افراد شامل افراد بی تحرک و ورزشکارانی که خوب تمرین کرده اند.



سازگاری عضلات با تمرین استقامتی، افزایش تعداد و اندازه میتوکندری است.

سازگاری های بیوشیمیایی با یک دوره تمرین استقامتی بر افزایش ظرفیت ساخت مجدد ATP توسط اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات متمرکز است. این کار با افزایش پروتئین میتوکندریایی و به طور اختصاصی تر با افزایش فعالیت آنزیم ها و کوفاکتورهای متابولیسم اکسیداتیو حاصل می شود. اینکه کدام یک از تغییرات در سازگاری های مرکزی (قلبی - عروقی) یا سازگاری های محیطی (بیوشیمیایی) مهم ترند و در اینکه کدام یک حد بالایی از سرعت متابولیسم اکسیداتیو را ایجاد می کنند، بحث های زیادی وجود دارد. اکنون شواهد کاملاً متقاعدکننده نشان می دهد که حداکثر برداشت اکسیژن توسط ابعاد قلب که برون ده آن را تعیین می کند، ایجاد می شود. اهمیت افزایش ظرفیت اکسیداتیو عضله اسکلتی در پاسخ به تمرین استقامتی، در تأثیر آن بر انتخاب سوخت می باشد.

سازگاری های مهمی که در پاسخ به تمرین استقامتی در عضلات روی می دهند عبارتند از:

- افزایش چگالی مویرگی؛
- افزایش محتوای میوگلوبین (۴)؛
- افزایش فعالیت آنزیم های اکسیداتیو.

نمونه های بیوپسی گرفته شده از ورزشکارانی که تمرین استقامتی داشته اند، نشان می دهد هر تار عضلانی در این افراد نسبت به تار عضلانی افراد بی تحرک مویرگ بیشتری دارد. مطالعات تمرینی طولانی مدت نیز نشان دهنده