

خستگی در ورزش و تمرین

شان فیلیپس

مترجمان:

دکتر الهام فرهادفر

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

سید ماگان خواجه‌وندی

کارشناس ارشد تربیت بدنی و علوم ورزشی

فهرست

- بخش اول: خستگی چیست؟ ۱۱
- فصل اول: تعریف و اندازه گیری خستگی در ورزش و تمرین ۱۲
- ۱-۱. مقدمه ۱۲
- ۱-۲. نظریه های خستگی رایج: خستگی محیطی و مرکزی ۱۴
- ۱-۲-۱. خستگی محیطی ۱۵
- ۱-۲-۲. خستگی مرکزی ۱۷
- ۱-۲-۳. خستگی محیطی و مرکزی: خلاصه ۱۹
- ۱-۳. روش های مستقیم ارزیابی خستگی ۲۰
- ۱-۳-۱. تولید نیروی ارادی / تحریک الکتریکی حداکثری ۲۰
- ۱-۳-۲. خستگی با فرکانس پایین ۲۱
- ۱-۴. روش های غیرمستقیم ارزیابی خستگی ۲۲
- ۱-۴-۱. زمان استقامت ("زمان تا رسیدن به واماندگی") ۲۲
- ۱-۴-۲. الکترومیوگرافی ۲۲
- ۱-۴-۳. نمونه برداری های عضلانی ۲۴
- ۱-۴-۴. نمونه گیری خون ۲۴
- ۱-۴-۵. اندازه گیری های ادراکی ۲۵
- ۱-۴-۶. تصویربرداری تشدید مغناطیسی ۲۶
- ۱-۴-۷. تحریک مغناطیسی مغز ۲۷
- ۱-۵. خلاصه ۲۷

بخش دوم

چه عواملی باعث خستگی در ورزش و تمرین می شوند (و چه عواملی باعث آن نمی شوند)؟

- ۳۰
- فصل دوم: تخلیه انرژی ۳۱
- ۲-۱. سوخت و ساز انرژی در حین ورزش ۳۱
- ۲-۲. سوخت و ساز انرژی و خستگی در حین ورزش ۳۲
- ۲-۲-۱. کاهش ATP ۳۲

۳۳	.....کاهش فسفو کراتین.....۲-۲-۲
۳۶	.....کاهش گلیکوژن.....۲-۲-۳
۴۵	.....اسیدهای چرب آزاد.....۲-۲-۴
۴۷	.....خلاصه.....۲-۳

فصل سوم: اسیدوز متابولیک.....۴۹

۴۹	.....مقدمه.....۳-۱
۴۹	.....نقش اسیدوز متابولیک در خستگی ناشی از ورزش: یک تاریخچه مختصر.....۳-۲
۵۰	.....چگونه ممکن است لاکتیک اسید باعث خستگی شود؟.....۳-۲-۱
۵۱	.....اسیدوز متابولیک و خستگی ناشی از ورزش: دیدگاه مخالف.....۳-۳
۵۵	.....لاکتات: باورهای غلط و فواید.....۳-۳-۱
۵۶	.....اثر تولید هیدروژن بر عملکرد عضله.....۳-۳-۲
۶۰	.....لاکتات، هیدروژن، اسیدوز و خستگی: یک خلاصه کوتاه.....۳-۳-۳
۶۱	.....خلاصه.....۳-۳

فصل چهارم: کم آبی و گرمزدگی.....۶۳

۶۳	.....مقدمه.....۴-۱
۶۳	.....کم آبی و خستگی ناشی از ورزش.....۴-۲
۶۳	.....تعریف اصطلاحات.....۴-۲-۱
۶۴	.....اهمیت آب در بدن.....۴-۲-۲
۶۵	.....سازوکار کلاسیک کاهش عملکرد ناشی از کم آبی.....۴-۲-۳
۶۶	.....سایر سازوکارهای بالقوه کاهش عملکرد ناشی از کم آبی.....۴-۲-۴
۶۸	.....کم آبی و خستگی ناشی از ورزش: مسائل پژوهشی.....۴-۳
۷۴	.....فراآب شدگی در حین ورزش.....۴-۴
۷۶	.....گرمزدگی.....۴-۵
۷۶	.....توسعه گرمزدگی در طول ورزش.....۴-۵-۲
۷۷	.....گرمزدگی و خستگی: یافته‌های پژوهشی.....۴-۶
۷۷	.....خستگی محیطی مرتبط با گرمزدگی.....۴-۶-۱
۷۹	.....خستگی مرکزی مرتبط با گرمزدگی.....۴-۶-۲

۳-۶-۴. دمای مرکزی بالا یا دمای پوست بالا؟..... ۸۱

۷-۴. خلاصه..... ۸۳

فصل پنجم: پتاسیم و کلسیم..... ۸۶

۱-۵. مقدمه..... ۸۶

۲-۵. پتاسیم: توصیف و عملکرد..... ۸۶

۳-۵. پتاسیم و خستگی ناشی از ورزش..... ۹۰

۱-۳-۵. کاهش تولید نیروی عضلانی و استقامت ورزشی با تجمع پتاسیم برون سلولی..... ۹۰

۴-۵. شواهد علیه تجمع پتاسیم برون سلولی به عنوان یک علت خستگی ناشی از ورزش..... ۹۲

۱-۴-۵. بکارگیری واحد حرکتی..... ۹۲

۲-۴-۵. تغییرات در نرخ شلیک نورون حرکتی..... ۹۲

۳-۴-۵. تغییرات پتانسیل عمل..... ۹۳

۴-۴-۵. پمپ سدیم- پتاسیم..... ۹۳

۵-۴-۵. کانال‌های کلرید..... ۹۳

۶-۴-۵. اسیدوز متابولیک..... ۹۴

۵-۵. آیا تجمع پتاسیم برون سلولی یک علت عمده برای خستگی ناشی از ورزش است؟..... ۹۴

۶-۵. کلسیم: توصیف و عملکرد..... ۹۵

۷-۵. کلسیم و خستگی ناشی از ورزش..... ۹۶

۱-۷-۵. اختلال در سینتیک کلسیم به دلیل کاهش گلیکوژن و اسیدوز..... ۹۷

۲-۷-۵. فسفات معدنی..... ۹۸

۳-۷-۵. تخلیه ATP و تجمع منیزیم..... ۱۰۲

۸-۵. آیا تغییر سینتیک کلسیم دلیل عمده‌ای برای خستگی ناشی از ورزش است؟..... ۱۰۳

۹-۵. خلاصه..... ۱۰۳

فصل ششم: خستگی مرکزی و تنظیم مرکزی عملکرد..... ۱۰۶

۱-۶. مقدمه..... ۱۰۶

۲-۶. خستگی مرکزی..... ۱۰۶

۱-۲-۶. "علت‌های" بالقوه خستگی مرکزی..... ۱۰۶

۲-۲-۶. آمونیاک..... ۱۰۹

۱۰۹	.....۶-۲-۳ دستکاری
۱۰۹	.....۶-۲-۴ عوامل باز جذب و آزاد کننده دوپامین
۱۰۹	.....۶-۲-۵ کافئین
۱۱۰	.....۶-۳ کربوهیدرات ها
۱۱۰	.....۶-۳-۱ کاهش گلیکوژن
۱۱۰	.....۶-۳-۲ آمینو اسیدهای شاخه دار
۱۱۰	.....۶-۳-۳ نقش سیستم عصبی مرکزی
۱۱۷	.....۶-۴ تنظیم مرکزی عملکرد ورزشی
۱۱۷	.....۶-۴-۱ ریشه‌های نقش مغز در تنظیم ورزش
۱۱۸	.....۶-۴-۲ معرفی مجدد نقش مغز در تنظیم ورزش
۱۲۱	.....۶-۵ پشتیبانی از مدل تنظیم پیش‌بینانه عملکرد ورزشی
۱۲۱	.....۶-۵-۲ پدیده جهش پایانی
۱۲۶	.....۶-۵-۳ راهبرد تنظیم سرعت
۱۲۸	.....۶-۵-۴ مطالعات فریبکاری
۱۳۱	.....۶-۵-۵ پشتیبانی از سوی دیگر حوزه‌های پژوهشی
۱۳۲	.....۶-۶ انتقاد از مدل بازخورد پیش‌بینانه
۱۳۶	.....۶-۷ خلاصه

بخش سوم: خستگی ۱۳۸

فصل هفتم: عوامل مؤثر بر علل خستگی ۱۳۹

۱۳۹	.....۷-۱ مقدمه
۱۴۰	.....۷-۲ تأثیر تقاضای ورزشی بر سازوکارهای خستگی
۱۴۴	.....۷-۲-۲ بازی‌های تیمی میدانی
۱۵۲	.....۷-۲-۳ ورزش مسافت متوسط
۱۵۶	.....۷-۲-۴ دویدن‌های مسافت طولانی
۱۶۰	.....۷-۲-۵ دوهای سرعت مسافت کوتاه
۱۶۳	.....۷-۲-۶ ورزش مقاومتی
۱۶۵	.....۷-۳ تأثیر جنسیت بر سازوکارهای خستگی
۱۶۵	.....۷-۳-۱ خستگی در مردان و زنان چه تفاوتی دارد؟
۱۶۶	.....۷-۳-۲ چه چیزی ممکن است تفاوت‌های جنسیتی در خستگی ناشی از ورزش را توضیح دهد؟

- ۷-۴. تأثیر وضعیت تمرین بر سازوکارهای خستگی..... ۱۶۸
- ۷-۴-۱. متابولیسم انرژی..... ۱۶۹
- ۷-۴-۲. اسیدوز متابولیک..... ۱۷۰
- ۷-۴-۳. تنظیم گرما..... ۱۷۱
- ۷-۴-۴. سینتیک کلسیم و پتاسیم..... ۱۷۲
- ۷-۴-۵. تنظیم عملکرد تنظیم کننده مرکزی / پیش بینانه..... ۱۷۳
- ۷-۵. خلاصه..... ۱۷۴

بخش چهارم: خلاصه: قدم بعدی چیست؟..... ۱۷۷

فصل هشتم: نتیجه گیری..... ۱۷۸

- ۸-۱. قدم بعدی چیست؟..... ۱۷۸
- ۸-۲. یک گوشزد..... ۱۷۹
- ۸-۳. مطلع ماندن..... ۱۸۰
- ۸-۳-۱. راه‌های مطلع ماندن..... ۱۸۰
- ۸-۳-۲. مشکلات بالقوه هنگام تلاش برای مطلع ماندن..... ۱۸۴
- ۸-۴. سخن پایانی..... ۱۸۵

خستگی یک نگرانی مهم برای همه ورزشکاران، مربیان و در علم ورزش بالینی است. بحث‌های قابل توجهی در مورد تعریف خستگی، علت ایجاد آن، تأثیر آن در طی اشکال مختلف ورزش و بهترین روش‌ها برای مبارزه با خستگی و بهبود عملکرد وجود دارد. این اولین کتاب متمرکز بر دانشجو است که شواهد تحقیقاتی معاصر را در مورد خستگی ناشی از ورزش بررسی و در مورد چگونگی استفاده از دانش خستگی در زمینه‌های ورزش و تمرین بحث می‌کند.

این کتاب خستگی و دشواری‌های شناسایی انواع خستگی‌های رایج در ورزش‌های مختلف را بررسی می‌کند. معرفی علم بنیادی خستگی، تمرکز عمده بر جنبه‌های فیزیولوژیکی و عصبی-عضلانی و بررسی تفصیلی موضوعات کلیدی مانند کاهش انرژی، اسید لاکتیک، کم‌آبی، الکترولیت‌ها و مواد معدنی و درک خستگی در این کتاب انجام می‌شود. هر فصل شامل مطالعات موردی واقعی از ورزش و تمرین و همچنین ویژگی‌های مفید به منظور کمک به یادگیری و درک مانند تعاریف اصطلاحات کلیدی، راهنماهایی برای مطالعه بیشتر، سؤالات بحث و اصولی برای آموزش و تمرین کاربردی است. خستگی در ورزش و تمرین همراهی ارزشمند برای هر دوره در سطح مدرک در رشته فیزیولوژی ورزش و تمرین، تناسب اندام و تمرین، یا قدرت و آمادگی است. "شان فیلیپس" مدرس ورزش، تربیت بدنی و علوم بهداشتی (فیزیولوژی ورزشی) در دانشگاه ادینبرو اسکاتلند است. علایق تحقیقاتی وی شامل تنظیم ادراکی و خودتنظیم شده عملکرد ورزش، سازوکارهای خستگی در ورزش‌های کوتاه مدت و استقامتی و تأثیر مداخلات ورزشی نوین برای بهبود سلامت روان است. "شان" یک داور دعوت شده برای تعدادی از مقالات معتبر بین‌المللی است و خدمات تحقیقاتی و مشاوره‌ای را برای بسیاری از سازمان‌های برتر و حرفه‌ای ورزش و سلامت ارائه کرده است.

از زمانی که مطالعاتم را در مقطع کارشناسی علوم ورزش و تمرین آغاز کردم، سختی و پیچیدگی در پاسخ به برخی از پرسش‌های اساسی در این رشته مرا به خود جلب کرد. این علاقه زمانی که من در فیزیولوژی تخصص پیدا کردم و شیفته فرآیندهای تنظیم کننده عملکرد ورزشی انسان شدم، توسعه یافت. با گذشت زمان، این علایق تمرکز من را با دشواری‌های پاسخ به یکی از پرسش‌های پایدار ادغام کردند: چرا در حین ورزش خسته می‌شویم؟

در ظاهر امر، به نظر می‌رسد این یک پرسش نسبتاً ساده برای پاسخ دادن باشد. به هر حال، هر کسی که در ورزش یا تمرین شرکت کرده است، احتمالاً از برخی از احساسات رایجی که ما با خستگی مرتبط می‌دانیم، مانند تنگی نفس، درد عضلات، اندام‌های خسته سنگین، و میل شدید به توقف و استراحت آگاه خواهد بود. مطمئناً در این صورت تنها کاری که باید انجام دهیم این است که علل فیزیکی این احساسات را ردیابی کنیم و به پاسخ خود خواهیم رسید؟ خوب، به هر طریقی، این همان کاری است که تحقیقات خستگی بیش از یک قرن در حال انجام آن بوده‌اند، و با این کار، این تحقیقات چشمان ما را به علل احتمالی فوق‌العاده پیچیده و چندوجهی در پس خستگی در ورزش و تمرین باز کرده است. تعداد متغیرهایی که می‌توانند بر فرآیندهای خستگی در حین ورزش تأثیر بگذارند (که برخی از آن‌ها در این کتاب مورد بحث قرار می‌گیرند)، همراه با عملکرد پیچیده و یکپارچه بدن انسان، تا حدی مسئول این پیچیدگی هستند. در نتیجه، دلایل پشت این که چرا در حین ورزش خسته می‌شویم، احتمالاً اکنون بیشتر از همیشه مورد بحث قرار گرفته است، و یک مجموعه از تحقیقات که از یک سازوکار خستگی خاص پشتیبانی می‌کند، اغلب با یک مجموعه تحقیقاتی مرتبطی همراه است که همان سازوکار را رد می‌کند.

این مهم است که دانشجویان رشته‌های علوم ورزشی، تمرین و بهداشتی، نظریه‌ها و فرضیه‌هایی را که پشت آن چیزی که باعث خستگی در حین ورزش می‌شود درک کنند. با این حال، آموزش خستگی اغلب نادیده گرفته شده یا به یک مرور سطحی از نظریه‌های «کلاسیک» محدود می‌شود. متأسفانه، این نظریه‌ها اغلب منسوخ شده‌اند، به طور قابل توجهی از سوی تحقیقات معاصر به چالش کشیده می‌شوند، یا به سادگی اشتباه هستند. من به عنوان یک مدرس فیزیولوژی انسانی، از دشواری‌هایی که مدرسین می‌توانند هنگام تلاش برای آموزش حوزه گسترده و پیچیده‌ای مانند خستگی با آن مواجه شوند، قدردانی می‌کنم. من معتقدم یکی از دلایلی که باعث می‌شود خستگی ناشی از ورزش و تمرین به طور اساسی آموزش داده نشود این است که مجموعه متون موجود آنقدر بزرگ و متنوع است که برای استاد دشوار است که پایگاه دانش را به شکل مناسبی فشرده کند. من همچنین معتقدم که اساتید از دشواری‌هایی که دانشجویان ممکن است هنگام تلاش برای مطالعه خستگی ناشی از ورزش و تمرین داشته باشند، به همین دلیل قدردانی می‌کنند. این الهام بخش این کتاب بود: پرداختن به برخی از فرضیه‌های کلیدی و تفکر فعلی در پس چگونگی و چرایی خستگی انسان در حین ورزش و تمرین در یک جلد.

پس هدف کتاب چیست؟ این دوبخشی است. اول: گردآوری تفکر فعلی در مورد برخی از فرضیه‌های کلیدی پشت خستگی در ورزش و تمرین به منظور کمک به دانشجویان در درک و قدردانی از این حوزه جذاب تحقیق. دوم: تشویق دانشجویان به گسترش تفکر و به چالش کشیدن باورهای موجود در پس آنچه باعث خستگی در ورزش و تمرین می‌شود. برخی از ایده‌ها در مورد چگونگی و چرایی خستگی ناشی از ورزش و تمرین، علی‌رغم

شواهد قابل توجهی که علیه آنها وجود دارد (به قیمت سایر ایده‌های به همان اندازه معتبر) وارد آگاهی عمومی شده است. ایده‌های شناخته شده و نه چندان شناخته شده به صورت انتقادی و منصفانه مورد بحث قرار خواهند گرفت. من هیچ هدف پنهانی جز الهام بخشیدن به سطح بیشتری از آموزش و درک یک موضوع مهم در پشت این کتاب ندارم.

متأسفانه، دامنه کامل این حوزه عظیم تحقیقاتی را نمی‌توان در یک جلد دوره کارشناسی گنجاند. برای اختصاص هرچه بیشتر فضای ممکن به موضوع مورد بحث، این کتاب منحصراً بر خستگی ناشی از ورزش و تمرین متمرکز شده و بحث‌های مفصل درباره اصول رایج بیوشیمیایی یا فیزیولوژیکی را در بر نخواهد گرفت. از خواننده دعوت می‌کنم برای حمایت از خواندن این کتاب در صورت لزوم، با هر یک از متون عالی موجود در مقطع کارشناسی در فیزیولوژی ورزشی مشورت کند. این کتاب بر فرضیه‌های رایج خستگی ناشی از ورزش و تمرین که علاقه تحقیقاتی قابل توجهی را ایجاد کرده‌اند (و گاهی اوقات وارد آگاهی عمومی ورزش و تمرین شده‌اند) و همچنین ایده‌های معاصر بیشتری که به روشن کردن این موضوع کمک می‌کنند، تمرکز دارد. امید است که موضوعات پرداخته شده باعث شود که مفاهیم قدیمی در جایی که لازم است روشن و تصحیح شده و تفکر جدید به نمایش گذاشته شود.

بحث‌ها در کتاب بر اساس خستگی از منظر فیزیولوژیکی است. به خواننده یادآوری می‌شود که تأثیر عوامل دیگری که منحصراً به فیزیولوژی مرتبط نیستند بر روند خستگی باید در نظر گرفته شود. من هر خواننده علاقه‌مندی را تشویق می‌کنم که برای بحث بیشتر در مورد هر اطلاعاتی که در کتاب گنجانده شده است، یا در واقع اطلاعاتی که در آن گنجانده نشده است، با من تماس بگیرد. موضوعات مورد بحث در کتاب پیچیده بوده و اغلب در معرض بحث‌های شدید است. به منظور درک کامل این موضوع، خواننده تشویق می‌شود تا با دسترسی به برخی از منابع ذکر شده در هر فصل، از فصل‌ها به عنوان پایه‌ای برای مطالعه بیشتر استفاده کند. یک نکته نهایی مهم: لطفاً این کتاب را با این انتظار که در پایان دقیقاً بدانید که چه چیزی باعث خستگی در یک انسان ورزشکار می‌شود نخوانید. من قول پاسخ‌های مسلم نمی‌دهم، زیرا در اکثر موارد هنوز وجود ندارند. در عوض، من بینشی از دنیای جذاب، ناامیدکننده و همیشه در حال تغییر تحقیقات علم ورزش و تمرین ارائه می‌کنم. امیدوارم وقت شما با این کتاب آموزنده، جذاب، چالش برانگیز و لذت‌بخش باشد.

شان فیلیپس



بخش اول

خستگی چیست؟

تعریف و اندازه‌گیری خستگی در ورزش و تمرین

قسمت ۲- اندازه‌گیری خستگی

۱-۱. مقدمه

مطالعه خستگی در انسان‌ها برای بیش از یک قرن مورد توجه بوده است. از زمان کارهای اولیه موسا و هیل^۱، چگونگی و چرایی خستگی انسان مورد بحث و گمانه‌زنی قرار گرفته است. علی‌رغم گام‌های رو به جلو بزرگ در فناوری که مشاهده بسیار واضح‌تر و عمیق‌تری از عملکرد بدن در اختیار ما قرار می‌دهد، بسیاری از مشاهدات انجام شده توسط این پیشگامان اولیه همچنان پایه‌ای را فراهم می‌کنند که ما امروز خستگی را بر اساس آن مطالعه می‌کنیم:

- اولین [پدیده‌ای که خستگی را مشخصه‌یابی می‌کند] کاهش نیروی عضلانی است. مورد دوم خستگی به عنوان یک احساس است. به این معنا که ما یک واقعیت فیزیکی داریم که قابل اندازه‌گیری و مقایسه است و یک واقعیت روانی که از اندازه‌گیری دوری می‌کند.^۱
- در مورد جوانان ورزشکار، می‌توان مطمئن بود که واقعاً "با تمام وجود" این کار را می‌کنند، تا حدی مطمئن هستند که آنها را نمی‌کشد و عملاً مطمئنند که توقف آنها به دلیل نیاز به اکسیژن و وجود اسید لاکتیک در عضلات آنها است. از نظر کمی، پدیده‌های فرسودگی ممکن است بسیار متفاوت باشند اما از نظر کیفی در ورزشکار ما، در یک مرد عادی و در یک بیمار مبتلا به تنگی نفس یکسان هستند.^۲
- [محدودیت تمرین] اغلب تنها با قلب مرتبط بوده است، اما واقعیت‌ها در مجموع نشان می‌دهند که مجموع تغییرات انجام شده در حال رخ دادن در سرتاسر بدن باعث توقف نهایی تلاش می‌شود.^۳
- خستگی مغز قدرت ماهیچه‌ها را کاهش می‌دهد.^۱
- قدرت به دلیل ناتوانی مراکز بالاتر در فعال کردن کامل ماهیچه‌ها محدود می‌شود.^۴
- این نه اراده، نه اعصاب، بلکه عضله است که پس از کار شدید مغز خود را فرسوده می‌بیند.^۱

ارایه تاریخیچه مفصل از تمام جنبه‌های پژوهش‌های خستگی خارج از محدوده این کتاب است. با این حال، قبل از ادامه دادن، درک ماهیت تاریخی پژوهش در مورد خستگی انسان مهم است.

با توجه به سابقه طولانی خستگی، می‌توان فرض کرد که یک تعریف بدون ابهام و پذیرفته شده جهانی از آن توسعه یافته است که همه محققان و دانشجویان خستگی می‌توانند از آن به عنوان معیاری برای درک و بکارگیری دانش استفاده کنند. متأسفانه، این دور از واقعیت است. سابقه طولانی تحقیق تنها به گسترش تعداد «تعاریف» موجود از خستگی کمک کرده است (نمونه غیر جامعی از آنها در جدول ۱-۱ آمده است).

تعاریف جدول ۱-۱ یکی از معضلات اصلی در تحقیقات خستگی ناشی از ورزش و تمرین را برجسته می‌کند: ناتوانی در توافق بر روی یک تعریف واحد از خستگی. این ناتوانی تحقیقات علمی در مورد خستگی را مختل می‌کند، زیرا هیچ معیار واحدی برای سنجش و مقایسه نتایج مطالعه وجود ندارد.^۵ علاوه بر این، شدت تمرین، میزان توده عضلانی درگیر، و نوع و مدت ورزش همگی می‌توانند بر سازوکارهای خستگی تأثیر بگذارند (مورد بحث در فصل ۷).^۶ بنابراین، داده‌های تجربی بسته به نوع تمرین مورد مطالعه و اینکه کدام تعریف از خستگی در ذهن محققین و مصرف‌کنندگان آن پژوهش رایج است، کاربردها و معانی متفاوتی خواهند داشت. منبع دیگر سردرگمی این است که محققان اغلب از اصطلاحات «خستگی» و «واماندگی» به جای یکدیگر استفاده می‌کنند. شرکت کننده‌ای که دیگر قادر به حفظ توان خروجی معین در طول تست زمان تا رسیدن به فرسودگی نیست، اغلب به صورت رسیده به حالت «واماندگی» طبقه‌بندی می‌شود. با این حال، آن‌ها هنوز هم ممکن است به طور کامل قادر به ادامه تمرین با شدت کمتر باشند. تعریف واماندگی به این صورت است: «از دست دادن کامل قدرت؛ مصرف یا تمام کردن آن»^۷ به این معنی است که رسیدن به یک حالت واماندگی منجر به ناتوانی کامل در ادامه کار می‌شود، نه صرفاً ناتوانی در ادامه کار با یک نرخ معین. بنابراین مفاهیم خستگی و واماندگی ساختارهای مختلفی هستند که نباید با هم اشتباه گرفته شوند. این امر زمانی دشوارتر می‌شود که در متون علمی پژوهشگران نمونه‌هایی وجود داشته باشد که از معیارهای مختلف برای تعریف و بحث درباره مفهوم واماندگی استفاده می‌کنند.^{۵-۶} یادآوری این موضوع مهم است که در این کتاب خستگی کانون بحث است، نه واماندگی.

جدول ۱-۱. تعاریف مختلف خستگی، با تأکید بر اختلاف در کمی سازی و تفسیر خستگی

۱. لحظه‌ای که یک شرکت کننده قادر به حفظ انقباض عضلانی مورد نیاز یا حجم کاری اجرا شده نیست.
۲. خسته شدن شدید پس از فعالیت؛ کاهش کارایی یک عضله، اندام و غیره پس از فعالیت طولانی مدت.
۳. عدم حفظ نیروی مورد نیاز یا مورد انتظار.
۴. خستگی ناشی از عدم تولید خروجی از قشر حرکتی.
۵. از دست دادن حداکثر ظرفیت تولید نیرو.
۶. یک حالت برگشت پذیر تنزل نیرو، شامل نرخ پایین‌تر افزایش نیرو و آرام شدن آهسته‌تر.
۷. هر گونه کاهش توانایی عضله برای تولید نیرو یا قدرت ناشی از تمرین؛ علل محیطی و مرکزی دارد.
۸. عدم ادامه کار با شدت تمرین معین.
۹. هر گونه کاهش ناشی از ورزش در توانایی اعمال نیرو یا قدرت عضلانی، صرف نظر از اینکه آیا می‌توان کار را ادامه داد یا نه.
۱۰. کاهش تدریجی فعال شدن ارادی عضله در حین تمرین.

نکته کلیدی

اصطلاح «خستگی» تعاریف بسیاری دارد و این امر تفسیر و مقایسه باثبات یافته‌های تحقیقاتی مربوط به خستگی را دشوار می‌کند.

دوباره به تعاریف ارایه شده از خستگی در جدول ۱-۱ نگاه کنید. به طور خاص، روی تعاریف ۲، ۴، و ۹ متمرکز کنید. آیا فکر می‌کنید این تعاریف به طور مناسبی پدیده پیچیده و چندوجهی خستگی ناشی از تمرین را تعریف و توصیف می‌کنند؟ به عنوان مثال، تعریف ۲ به طور خاص به «کاهش کارایی یک عضله، اندام و غیره پس از فعالیت طولانی مدت» اشاره دارد. آیا باید این را به آن معنا تفسیر کنیم که چیزی به نام خستگی در طول فعالیت کوتاه مدت وجود ندارد؟ از یک دونه دو ۸۰۰ متر بپرسید که در مورد آن چه فکر می‌کند! تعریف ۴ بیان می‌کند که خستگی به دلیل «عدم تولید خروجی از قشر حرکتی» است. به نظر می‌رسد این تعریف تأثیر بالقوه عوامل محیطی در ایجاد خستگی را نادیده می‌گیرد (بخش ۱-۱-۱). تعریف ۹ خستگی را به این صورت تعریف

می‌کند که «این کار را می‌توان ادامه داد یا نه». آیا این تعریف تفاوت‌های بین خستگی و واماندگی را که در بالا مورد بحث قرار گرفت، روشن می‌کند یا مبهم؟ همانطور که می‌توانید ببینید، نه تنها تعاریف فراوانی از خستگی ممکن است باعث سوء تفاهم شود، بلکه تعاریف موجود نیز در مورد صحت آنها برای تعریف واقعی خستگی ناشی از ورزش و تمرین در تمام حالت‌های بالقوه آن قابل چالش و بحث هستند. واضح است که اگر بتوان به یک تعریف واحد و «یکپارچه» از خستگی دست یافت، مفید خواهد بود. با این حال، در اینجا دقت لازم است، زیرا همانطور که مارینو و همکاران^۵ بیان می‌کنند، «رسیدن نابهنگام به یک تعریف [از خستگی] که تنها به این دلیل پذیرفته می‌شود که هیچ چیز بهتری وجود ندارد، ممکن است تنها تعصبات خودمان را تأیید کند و واقعیت خستگی را نادرست نشان دهد».

۲-۱. نظریه‌های خستگی رایج: خستگی محیطی و مرکزی

خستگی را می‌توان به طور کلی در دو نوع طبقه‌بندی کرد: خستگی محیطی و خستگی مرکزی. درک اساسی این دو نوع خستگی برای درک موفقیت آمیز اطلاعات ارائه شده در قسمت دوم این کتاب ضروری است. شرح مناطق کلیدی محیطی و مرکزی که ممکن است در خستگی تأثیر بگذارند در جدول ۱-۲ آمده است.

جدول ۲-۱. مناطق احتمالی درگیر در توسعه خستگی محیطی و مرکزی ناشی از تمرین

خستگی محیطی
الف تغییرات مرتبط با تمرین در محیط درونی
۱. تجمع لاکتات و H^+ تا حدی بافر شده و تولید کربن دی‌اکسید از بی‌کربنات را افزایش می‌دهد.
۲. تجمع گرما که منجر به افزایش ترشح عرق می‌شود. از دست دادن آب ممکن است منجر به کم‌آبی بدن شود.
ب تغییرات مرتبط با تمرین درون فیبرهای عضلانی
۱. تجمع Pi در سارکوپلاسم، کاهش نیروی انقباضی به دلیل مهار پل عرضی.
۲. تجمع H^+ در سارکوپلاسم، کاهش نیروی انقباضی به دلیل مهار پل عرضی. تجمع H^+ همچنین ممکن است جذب مجدد Ca^{2+} را در شبکه سارکوپلاسمی کاهش دهد.
۳. تجمع Mg^{2+} سارکوپلاسمی. Mg^{2+} آزادسازی Ca^{2+} را از شبکه سارکوپلاسمی خنثی می‌کند.
۴. مهار انتشار Ca^{2+} از شبکه سارکوپلاسمی با تجمع Pi (نگاه کنید به نکته ۱). انتشار Ca^{2+} با رسوب کلسیم فسفات در شبکه سارکوپلاسمی و فسفوریلاسیون کانال‌های انتشار Ca^{2+} مهار می‌شود.
۵. کاهش ذخایر گلیکوژن و (در موارد شدید) کاهش سطح گلوکز خون.
۶. کاهش سرعت هدایت پتانسیل عمل در امتداد سارکولما، احتمالاً در نتیجه تغییرات بیوشیمیایی در داخل و اطراف فیبرهای عضلانی. این هیچ اثر فوری شناخته شده‌ای بر تولید نیروی عضلانی ندارد.
۷. افزایش خروج K^+ از عضله. افزایش K^+ در مجرای لوله‌های t ممکن است پتانسیل عمل لوله‌ای را مسدود کرده و نیرو را به دلیل کاهش جفت شدگی تحریک-انقباض کاهش دهد.
II خستگی مرکزی
۱. هدایت پتانسیل‌های عمل آکسونی ممکن است در مناطق انشعاب آکسونی مسدود و منجر به از دست رفتن فعالسازی فیبر عضلانی شود.
۲. محرک عصبی حرکتی ممکن است تحت تأثیر اثرات رفلکس آورنده‌های عضلانی قرار گیرد.
۳. تحریک اعصاب نوع III و IV باعث کاهش سرعت شلیک نورون حرکتی و مهار خروجی قشر حرکتی می‌شود.
۴. همانطور که از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از تحریک مغناطیسی مغز پیشنهاد می‌شود، تحریک‌پذیری سلول‌های درون قشر حرکتی مغز ممکن است در طول انجام وظایف حرکتی ثابت تغییر کند.
۵. اثرات سیناپسی نورون‌های سروتونرژیک ممکن است افزایش یابد و باعث افزایش خستگی شود. این ممکن است ناشی از افزایش هجوم مغزی پیش‌ساز سروتونین تریپتوفان، از طریق کاهش ناشی از تمرین در غلظت خونی BCAAها باشد.
۶. آزادسازی سیتوکین‌های ناشی از تمرین: IL-۶ باعث احساس خستگی و IL-۱ رفتار بیماری می‌شود.
۷. BCAA = آمینواسید با زنجیر شاخه‌دار؛ Ca^{2+} = کلسیم؛ H^+ = هیدروژن؛ IL = اینترلوکین؛ K^+ = پتاسیم؛ Mg = منیزیم؛ Pi = فسفات معدنی

منبع: اقتباس شده از آمنت و ورکرک^۶.