

## عوامل تعیین کننده ظرفیت جسمانی در هنگام فعالیت

نگارش: دکتر خسرو ابراهیم

استادیار دانشگاه گیلان (گروه تربیت بدنی)

براساس شواهد، توانایی یا ظرفیت جسمانی انسان در انجام دادن فعالیت‌های بدنی، اگر نامحدود نباشد، قابل ملاحظه است. انجام مسابقات ورزشی مختلف از جمله مسابقه سه گانه<sup>۱</sup> با رکورد کمتر از یازده ساعت برای خانمها و کمتر از نه ساعت برای آقایان در ایالت هاوایی، تنها یکی از چندین رویداد ورزشی خارق‌العاده در زمان خود بوده که طی آن توانایی و استقامت بدنی قابل تحسین و شگفت‌انگیز انسانها به نمایش گذاشته می‌شود.

هرچند به نظر می‌رسد توانایی افراد در انجام فعالیت‌های بدنی نامحدود است، اما ثابت شده است که غیر از عوامل روانی و ارتوپد عوامل دیگری نیز در این فعالیتها نقش تعیین کننده یا محدود کننده‌ای دارند. بدون شک، وراثت، تغذیه و روشهای آماده سازی بدن، از جمله عواملی هستند که

1. Triathlon

در تعیین ظرفیت جسمانی افراد بسیار مهمند. شاید بتوان گفت که مهمترین عامل ظهور ورزشکاران پرتوان طی ۱۰ - ۲۰ سال گذشته، پیشرفت علوم ورزش بوده است.

با توجه به مطالعات انجام شده، نوع و مقدار ذخایر انرژی در بدن از عواملی است که نقشی تعیین کننده در توان ورزشی دارد. مطالبی که مطالعه خواهید کرد شامل بررسی این عوامل در چندین بخش است.

## الف) سوختهای درون سلول

### ۱- فسفاتهای پر انرژی CP - ATP

از سوختهای اصلی درون سلول که انرژی مورد نیاز انقباض را تأمین می کنند، فسفاتهای پرانرژی را می توان نام برد. تخمین زده اند که در هر کیلوگرم عضله تازه، ۱۵ میلی مول CP و ۴/۵ میلی مول ATP وجود دارد. که این مقدار تنها برای چند ثانیه فعالیت با شدت حداکثر، کافی خواهد بود و معمولاً زمانی که مدت فعالیت از ۳۰ ثانیه تجاوز کند، اهمیت نسبی CP - ATP به سرعت کاهش می یابد. اگر چه همواره از رژیم غذایی به عنوان یک عامل مهم یاد می شود، ولی برنامه غذایی و تمرین در مقدار ذخیره فسفات تأثیر ندارد. کارلسون و همکاران (۱۹۷۱) و اریکسون و همکاران (۱۹۷۳) نیز در زمینه تأثیر تمرین بر مقدار ذخیره فسفات، چیز قابل توجهی را گزارش نکردند. هاریش (۱۹۷۶) نشان داد که ذخیره CP در هنگام فعالیت شدید و کوتاه مدت کاملاً تخلیه نمی شود. در تأیید این موضوع، سالتین و همکاران مشاهده کردند که میزان اسیدلاکتیک عضله، در لحظات اولیه فعالیت (۱۰ ثانیه) افزایش می یابد. این امر بیانگر اهمیت عمل گلیکولایز برای تهیه ATP در لحظات اولیه فعالیت است. همچنین، نتیجه بیوپسی عضله، تخلیه کامل ذخایر CP را در تارهای تند تنش FT نشان می داد که در هنگام فعالیتهای کوتاه و انفجاری عامل محدود کننده ای بود. با توجه به این شواهد به نظر نمی رسد ذخایر CP برای انجام فعالیتهای طولانی عامل محدود کننده ای به شمار آیند. فسفاژنها به دلیل وزن ملکولی بالا و انرژی ذخیره ناچیز در هر واحد وزن، بظاهر برای ذخیره کردن انرژی از اهمیت زیادی برخوردار نیستند.

## ۲- کربوهیدراتها - گلیکوژن

غیر از برنامه غذایی که مقدار گلیکوژن عضله را تغییر می دهد، گولیک و همکاران (۱۹۷۳) از تأثیر تمرین در افزایش غلظت گلیکوژن عضله یاد کردند. همچنین، کارلسون و همکاران (۱۹۷۱) به میزان مصرف گلیکوژن و ارتباط نزدیک آن با شدت نسبی فعالیت اشاره کردند. در هنگام فعالیتهای سنگین دینامیکی، افزایش اسیدلاکتیک خون و عضله با مصرف شدید گلیکوژن همراه است. در هنگام فعالیتهای طولانی با شدت زیر حداکثر، گلیکوژن را می توان عامل محدودکننده دانست که بیشتر با تخلیه تارهای کندتنش (ST) همراه است، در حالی که در هنگام انقباضات پی در پی دینامیکی با شدت زیاد، تارهای تندتنش (FT) قبل از بقیه تخلیه می شوند.

## ۳- چربیها - تری گلیسیرید

براساس آزمایشهای انجام شده، ذخیره چربی عضله اسکلتی ناچیز و به صورت تری گلیسیرید است که اغلب در تارها کندتنش (ST) یافت می شود. ظاهراً بیشترین غلظت در تارهایی یافت می شود که دارای خاصیت اکسیداتیو بیشتری هستند (ایسن ۱۹۷۷). برنامه غذایی، بیش از فعالیت در مقدار تری گلیسیرید نقش دارد و حتی به نظر می رسد که فعالیت هیچ تأثیری ندارد. گولیک و همکاران (۱۹۸۱) کاهش میزان تری گلیسیرید عضله را در هنگام فعالیت گزارش کردند. تری گلیسیرید عامل محدودکننده هیچ یک از انواع فعالیتهای معرفی نشده است و بخصوص در هنگام کار شدید، کربوهیدرات نقش مهمی دارد.

## ب) مواد انرژی زای خارج سلول

### ۱- گلوکز

گلوکز خون و مایع خارج سلول، تنها منبع اصلی کربوهیدرات عضله اسکلتی است. در تمام حجم خون، مقدار گلوکز بین ۵ تا ۶ گرم است. در بین سیستمهای بدن، سیستم عصبی مصرف کننده اصلی گلوکز است و به همین لحاظ، مقرون به صرفه نخواهد بود که عضلات فعال تمامی احتیاجات متابولیکی خود را از گلوکز موجود در خون برداشت کنند. بنابراین با توجه به اینکه هنگام فعالیت،

از گلوکز خون استفاده می شود، می توان کمبود گلوکز را به عنوان یک عامل محدودکننده معرفی کرد.

هنگام فعالیت شدید به سبب آزاد شدن مقدار مشخصی گلوکز از عضله، مصرف گلوکز خون به عنوان یک عامل محدودکننده مطرح نیست، و بعکس هنگام فعالیت طولانی به دلیل اینکه گلوکز به طور مداوم از خون جدا می شود، می توان آن را به عنوان یک عامل محدودکننده مطرح کرد. در طول فعالیتهای طولانی، انتقال گلوکز به عضله و به فراهم بودن آن در خون، می تواند عامل محدودکننده باشد. می توان چنین نتیجه گرفت که فراهم بودن گلوکز عامل محدودکننده نیست، بلکه شدت برداشت آن توسط عضله است که عامل محدودکننده محسوب می شود. هنگام کارهای طولانی، ناتوانی عضله در برداشت گلوکز از خون و تخلیه کامل ذخایر گلیکوژن خارج سلول را می توان از عوامل محدودکننده قلمداد کرد.

## ۲- چربیهای پلاسما

اسید چرب آزاد (FFA) منبع اصلی چربی مورد استفاده عضله است. به نظر نمی رسد که هنگام فعالیت شدید و کوتاه مدت، FFA نقش مهمی به عهده داشته باشد. در مقابل، هنگام فعالیت طولانی (زیر حداکثر) مصرف و اکسیداسیون FFA بسیار مهم است. اصولاً میزان بهره دهی FFA پلاسما هنگام فعالیت، ارتباط معکوس با شدت فعالیت دارد. غلظت FFA در خون عامل مهمی در بهره دهی FFA، در مجموع متابولیسم است. در شروع فعالیت معمولاً کاهش FFA پلاسما مشاهده می شود که این به ناهماهنگی بین مصرف اولیه FFA توسط عضلات و شروع لیپولیز و آزاد شدن FFA از بافت چربی نسبت داده می شود. با ادامه فعالیت، شدت لیپولیز افزایش می یابد و به همین علت غلظت FFA در پلاسما به میزان چهار برابر میزان آن در هنگام استراحت افزایش می یابد.

بهره دهی FFA پلاسما به کل متابولیسم در هنگام فعالیت، در وضعیتهای گوناگون می تواند متفاوت باشد. چندین عامل مانند مدت، شدت، رژیم غذایی و شرایط فعالیت در بهره گیری از FFA مؤثرند. عوامل موضعی نیز در بهره گیری از FFA بی تأثیر نیستند. برای مثال در حالی که غلظت گلیکوژن در هر دو اندام تحتانی مساوی نیست، اندام تحتانی در هنگام فعالیت با گلیکوژن کمتر، FFA بیشتری را برای کل متابولیسم مصرف می کند. میزان اکسیداسیون چربی در اندام دارای

گلیکوژن در حد طبیعی، ۳۳٪ گزارش شده، در حالی که میزان اکسیداسیون چربی در اندام دارای گلیکوژن کمتر ۵۵٪ گزارش شده است.

در مجموع، به نظر نمی‌رسد که در بیشتر فعالیتها، اکسیداسیون چربی تنها فراهم کننده انرژی برای عضله اسکلتی باشد؛ بنابراین چربی بیشتر عامل کم مصرف شدن ذخایر گلیکوژن خارج سلول است. بدون شک فراهم نبودن چربی به مقدار کافی در عضله، نداشتن مکانیزمهای اکسیداسیون چربی توسط عضله و انتقال آرام FFA از پلاسما به عضله، عواملی هستند که در هنگام فعالیت مانع استفاده از چربی به عنوان سوخت در عضله می‌شوند.

با توجه به محاسبات مشابه برای گلوکز، مشاهده می‌شود که FFA ی پلاسما بیش از مقداری که برای کل متابولیسم در شرایط زیر حداکثر، چربی لازم است، فراهم هست و به نظر می‌رسد فقط بخش کمی از FFA که وارد عضله می‌گردد، مصرف می‌شود. بنابراین چربی نمی‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده نقشی داشته باشد.

### ج) پتانسیل متابولیکی عضله اسکلتی

بین بافتهای بدن، از نظر افزایش میزان متابولیک، عضله بیشترین پتانسیل را داراست. افزایش اکسیژن مصرفی از ۴ میلی لیتر برای هر کیلوگرم در دقیقه در شرایط استراحت به بیش از ۷۰۰ میلی لیتر - زمانی که فقط یک اندام تحتانی در حد حداکثر فعالیت می‌کند - نشانگر ۱۷۵ برابر افزایش اکسیژن است، آن هم بدون در نظر گرفتن کمک FFA تولید شده از سیستم غیر هوازی. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که در مجموع پتانسیل عضله برای تولید انرژی در زمان فعالیت، نزدیک به ۲۰۰ برابر بیشتر از زمان استراحت است. با توجه به اینکه تولید FFA در نهایت توسط مسیرهای متابولیکی - که قدرت انقباض عضلانی را در هنگام فعالیت تأمین می‌کند - انجام می‌شود، ممکن است که سؤال شود آیا این اعمال را می‌توان عوامل محدود کننده دانست؟ پاسخ سؤال را می‌توان از دو جهت مورد بحث قرار داد: ۱- آیا فعالیت آنزیمهای حساس در یک مسیر متابولیکی معین برای تولید FFA برای اجرای دشوارترین نوع فعالیت کافی هستند؟ ۲- آیا تغییرات در محیط داخل سلول می‌توانند موجب بازداشتن یا تسریع فعالیتهای سیستمهای تولید انرژی شوند؟ در این بخش سؤالات فوق در نظر گرفته خواهد شد، با فرض اینکه محدودیتی در تحویل مواد اولیه انرژی، از

جمله اکسیژن وجود ندارد.

#### ۱- متابولیسم غیر هوازی

آنچه مسلم است، تعدادی آنزیم را می‌توان به عنوان عوامل مهم و کلیدی در مطرح شدن متابولیسم غیرهوازی معرفی کرد. از بین این آنزیمها فسفوریلازو فسفوکراکتوکینیس معمولاً عوامل محدود کننده این سیستم در نظر گرفته شده‌اند. در عضله اسکلتی انسان، فعالیت فسفو فراکتوکینیس در تجزیه ماده اولیه انرژی برای هر گرم از عضله تازه، در دقیقه است به میزان ۲۵ و ۵۰ میلی مول برای تارهای آهسته و تارهای سریع (ایسن و همکاران ۱۹۷۵). با توجه به جریان متابولیسم توسط مسیر گلیکولیتیک، این امر می‌تواند برای ۵۰ و ۱۰۰ (M Moles / g - Min) اسیدلاکتیک برای هر دو نوع تارهای کند تنش و تند تنش عضلانی منظور گردد که خیلی بیش از مقدار پیش است. بنابراین زمانی که حداکثر فعالیت در نظر گرفته شود ( $Vo_2 \text{ max}$ ) به نظر نمی‌رسد که آنزیمهای مسیر غیر هوازی بتوانند به عنوان عوامل محدود کننده منظور شوند، حتی اگر فعالیت آنزیمها نصف حداکثر ( $Vo_2 \text{ max}$ ) باشد، باز هم مقدار آنها بیش از مقدار مورد نیاز برای تولید انرژی از طریق غیرهوازی است.

#### ۲- متابولیسم هوازی

مشابه محاسبات قبل را می‌توان برای فعالیت آنزیمها بخصوص در چرخه اسیدسیتریک انجام داد. در اینجا آنزیمهای محدود کننده احتمالاً میزان سیترات سنتتاز - ایزوسیترات دی هیدروژناز و  $x$  کیتوگلو تارات دی هیدروژناز هستند، اگر چه آنزیمی که بیش از همه احتمالاً مطالعه شده است، سوکسینات دی هیدروژناز (SDH) است که به طور کوالانس به غشا متصل است و فعالیتش بازتابی از مجموع غلظت میتوکندری است. با توجه به اینکه تمام آنزیمهای چرخه اسیدسیتریک با وجه مشترکی ظاهر نمی‌شوند از فعالیت SDH می‌توان به عنوان تخمینی از مجموع پتانسیل متابولیکی استفاده کرد. فعالیت این آنزیم برای تارهای تند تنش و کند تنش عضلات اسکلتی انسان در حدود ۸ و ۱۱/۵ (M Moles) از سوکسینات اکسیداز ۱- ( $gx \text{ Min}$ ) برای تارها است. چنین فعالیتهایی می‌تواند به جریان ماده اولیه خیلی بیش از زمان تمرینات شدید کمک کند. بنابراین به نظر نمی‌رسد غلظت

موضوعی آنزیمها برای فعالیت محدود باشد. و در هنگام فعالیت طولانی با شدت زیر حداکثر، این غلظت به هیچ وجه محدودیت ایجاد نمی‌کند.

### عوامل تنظیم کننده

وقتی از پتانسیل متابولیکی بافت بحث می‌شود، علاوه بر فعالیتهای آنزیمی خود بخودی باید تعدادی عوامل دیگر را نیز در نظر گرفت. یک عامل این است که همراه با فعالیت، دمای عضله و بدن افزایش می‌یابد (سالتین ۱۹۶۶). با فعالیت سنگین، دمای بیش از ۳۹ درجه سانتیگراد در عضله گزارش شده است (گولنیک ۱۹۷۲). چنین افزایشی در دما، موجب ۲۵ درصد افزایش در فعالیت آنزیمهای چرخه اسیدسیتریک می‌شود. اکثر فعالیتهای آنزیمی در ۲۵ یا ۳۰ درجه سانتیگراد صورت می‌گیرد و در بررسی یافته‌ها باید این مطلب را در نظر گرفت. در چنین وضعیتی پتانسیل متابولیکی عضله اغلب کمتر از آنچه که باید، در نظر گرفته می‌شود.

دومین عامل نوع آنزیم حاضر در بافت است. شناخته‌ترین نوع، لاکتیدکتیک‌دی هیدروژناز است که دارای دو ایزوزیم در قلب و عضله اسکلتی با ظرفیت اکسیداتیو بالا است: ایزوزیم LDH<sub>۱</sub> و ایزوزیم نوع ۵ LDH که در عضلات با ظرفیت گلیکولیتیک یافت می‌شود. باور بر این است که LDH توسط غلظت زیاد پیرووات<sup>۱</sup> مهار می‌گردد و بنابراین هنگام فعالیت شدید در تولید لاکتات مؤثر نخواهد بود، اگرچه وسل و پول (۱۹۶۶) نشان داده‌اند که وضعیتی که در بافت غلظت آنزیم وجود داشته، در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد پیرووات ۱ LDH را مهار نکرده است. این اطلاعات ضرورت در نظر گرفتن فعالیتهای آنزیم را بیان می‌کند با هم در زمانی که این حالت در داخل بدن اتفاق می‌افتد و هم زمانی که دما و غلظت آنزیم موجب تغییر در نقش واقعی آن می‌شود.

عامل دیگری که باید در هنگام فعالیت سنگین به آن توجه کرد، کاهش PH به دلیل تولید زیاد اسیدلاکتیک است. این عمل می‌تواند از فعالیتهای آنزیمهایی که در تولید ATP نقش دارند و همچنین آنزیمها که در مراحل انقباضی درگیرند، بکاهد. هرمانس (۱۹۷۹) از کاهش حداکثر تولید فشار، توسط عضله اسکلتی انسان در واکنش به اسیدوز خبر داده است. بی‌تردید در این زمینه به تحقیقات وسیعتری نیاز هست. نمونه برخی از مشاهدات در این زمینه، کار وسل و پول در سال

1. Pyruvate

۱۹۷۶ است که در آن وجود غلظت بسیار زیاد اسیدلاکتیک، فعالیت LDH متوقف نشده است. به طوری که اشاره شد، دشوار به نظر می‌رسد که بتوان تنها یک عامل را محدودکننده دانست. اگر ناگزیر از معرفی یکی از عوامل باشیم، می‌توان از حضور نداشتن ماده اولیه (پیش نیاز) یاد کرد. این مسأله بخصوص هنگام فعالیت طولانی استقامتی و زمانی که خستگی با تخلیه ذخایر گلیکوژن در بدن رابطه نزدیکی دارد، صدق می‌کند. به طور واضح، کمبود ماده اولیه، هنگام فعالیت کوتاه مدت با شدت حداکثر عامل محدودکننده‌ای نیست بی‌تردید، در حالت ناتوانی در تحویل دادن ATP به اجزای انقباضی، عامل محدودکننده‌ای است. و در مجموع به نظر نمی‌رسد که ظرفیت سیستم‌های انرژی در هیچ نوع از انواع فعالیت‌های عامل محدودکننده‌ای باشد.



مقاله علمی-تخصصی در زمینه فیزیولوژی ورزشی و تمرینات ورزشی، به بررسی عوامل محدودکننده انرژی در فعالیت‌های ورزشی می‌پردازد. در این مقاله، به بررسی نقش اسیدلاکتیک و فعالیت LDH در تولید انرژی و همچنین به بررسی نقش ذخایر گلیکوژن در بدن در طول فعالیت‌های ورزشی پرداخته شده است. همچنین به بررسی عوامل دیگر مانند کمبود ماده اولیه و ناتوانی در تحویل دادن ATP به اجزای انقباضی، عامل محدودکننده‌ای است. و در مجموع به نظر نمی‌رسد که ظرفیت سیستم‌های انرژی در هیچ نوع از انواع فعالیت‌های عامل محدودکننده‌ای باشد.



- Eriksson, B. Ö., Gollnick, P.D., and Saltin, B. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol. Scand.* 87: 485-497, 1973.
- Essén, B., Jansson, E., Henriksson, J., Taylor, A. W., and Saltin, B. Metabolic characteristics of fibre types in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 95: 153-165, 1975.
- Essén, B. Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301: 30-44. 1977.
- Gollnick, P. D., and Ianuzzo, C.D. Hormonal deficiencies and the metabolic adaptations of rats to training. *Am. J. Physiol.* 223: 278 - 282, 1972.
- Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert, C.W., IV., Sembrowich, W.L., Shepherd, R.E., and Saltin, B. Glycogen depletion patterns in human skeletal muscle fibers during prolonged work. *Pfluegers Arch.* 344: 1 - 12, 1973b.
- Collnick, P.D., Pernow, B., Essén, B., Jansson, E., and Saltin, B. Availability of glycogen and plasma FFA for substrate utilization in leg muscle of man during exercise. *Clin. Physiol.* 1: 27-42, 1981.
- Harris, R.C., Hultman, E., Kaijser, L., and Nordesjö, L. O. The effect of circulatory occlusion on isometric exercise capacity and energy metabolism of the quadriceps muscle in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 35: 87 - 95, 1975.
- Hermansen, L. Effect of acidosis on skeletal muscle performance during maximal exercise in man. *Bull. Europ. de Physiopathol. Resp.* 15: 229 - 238, 1979.
- Karlsson, J., Diamant, B., and Saltin, B. Muscle metabolites during submaximal and maximal exercise in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 26: 358 - 394, 1971.