

## اثرات فیزیولوژیک هیپوکسی بر عملکرد ورزشکاران استقامتی

هادی نوبری<sup>۱\*</sup>، فرهاد رحمانی نیا<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی کاربردی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه گیلان.

۲- استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه گیلان.

### چکیده

موفقیت‌های ورزشی اخیر در کشورهای واقع در مکان‌های مرتفع، نقش زندگی و تمرین در ارتفاع را بر اجرا روز افزون کرده است. هدف از تمرین در ارتفاع برای ورزشکاران استقامتی، افزایش توده سلولی قرمز (RCM) و توده هموگلوبین (Hb) است که سبب افزایش ظرفیت حمل اکسیژن شریانی و حداکثر اکسیژن مصرفی برای بهبود اجرا در هر دو سطح دریا و ارتفاع می‌شود. علاوه بر این گاهی اوقات رقابت‌های ورزشی نیز، در ارتفاع برگزار می‌شود. از این رو هدف این مطالعه، بررسی اثرات فیزیولوژیک هیپوکسی بر عملکرد ورزشکاران استقامتی می‌باشد. که به صورت توصیفی-کتابخانه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. راهبردهای تمرینی ویژه برای مسابقه دادن در ارتفاع مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتیجه گیری اینکه قرار گرفتن در معرض ارتفاع باعث بهبود ۵ عملکرد اساسی در بدن می‌شود: ۱- افزایش تهویه ریوی ۲- افزایش غلظت گلبول‌های قرمز خون و همگلوبین ۳- افزایش ظرفیت انتشاری ریه‌ها ۴- افزایش میزان عروق بافت‌ها ۵- افزایش مصرف اکسیژن سلول‌ها علی‌رغم  $PO_2$  پایین؛ که افزایش این عوامل به مداخله گره‌های زیادی از جمله سن، جنس، زمان قرارگیری در ارتفاع، ارتفاع محل، آهن موجود در بدن، عفونت موجود در بدن، بیماری‌ها بستگی دارد.

**کلمات کلیدی:** هیپوکسی، استقامتی، همگلوبین، عملکرد، حمل اکسیژن.

## مقدمه

اثرات زیان آور قرار گرفتن در ارتفاع بر روی انسان که از طریق کاهش فشار اکسیژن بوجود می‌آید، توسط برت<sup>۱</sup> در سال ۱۸۰۰ تشخیص داده شد (۵). پاول برت را پدر فیزیولوژی ارتفاع می‌شمارند. گرچه کتاب بزرگ او «فشارسنجی» تقریباً به مدت ۵۰ سال ناشناخته باقی مانده بود. برت سرانجام با استفاده از تجربیات جهانگردان و نتایج آزمایش‌هایی که در اتاق‌های کم فشار انجام گرفت، نشان داد که کاهش فشار در ارتفاعات زیاد عوارض جدی و فزاینده‌هایی به دنبال دارد. و دلیل آن این است که فشار سهمی<sup>۲</sup> (فشار هر گاز معین در هر مخلوط گازی چند گانه) اکسیژن در ارتفاع کم می‌باشد. متأسفانه به این نظر او، مسافران مشهور بالن زینت اعتنائی نکردند و وقتی بالن تقریباً به ارتفاع ده هزار متری رسید، دو نفر از آن‌ها مردند (۴). از نقطه نظر بحث حاضر، ارتفاع به معنی محلی است که بیش از ۱۵۰۰ متر (۴۹۲۱ فوت) بالایی داشته باشد؛ زیرا اثرات فیزیولوژیکی محدودی بر عملکرد ورزشی در ارتفاعات پایین تر آر این سطح گزارش شده است (۵).

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت توصیفی-کتابخانه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است.

## بحث

سازگاری با فشار اکسیژن (Po2) پایین: فردی که برای چندین روز یا هفته‌ها یا سال‌ها در ارتفاعات بالا اقامت نمایند بتدریج با فشار پایین اکسیژن بیشتر سازش می‌یابد و شخص را قادر می‌سازد که بدون اثرات هیپوکسی کار سخت‌تری انجام دهد یا به ارتفاعات بالاتری صعود کند. روش‌های عمده‌ای که بوسیله آن‌ها سازگاری برقرار می‌شود شامل: (۱) افزایش تهویه ریوی (۲) افزایش تعداد گلبول‌های قرمز خون (۳) افزایش ظرفیت انتشاری ریه‌ها (۴) افزایش عروق بافت‌های محیطی و (۵) افزایش توانایی سلول‌ها در مصرف اکسیژن علیرغم فشار پایین اکسیژن می‌باشد (۱).

### ۱- افزایش تهویه ریوی - نقش گیرنده‌های شیمیایی شریانی

بلافاصله بعد از قرار گرفتن در معرض فشار اکسیژن خیلی پایین به علت تحریک کمورسپتورها توسط هیپوکسی تهویه حبابچه‌ای را حداکثر تا حدود ۶۵ درصد بالاتر از محدوده نورمال افزایش می‌دهد. این افزایش یک جبران فوری در مقابل ارتفاع زیاد است و به تنهایی به فرد اجازه می‌دهد که قادر باشد هزاران پا بالاتر از زمانی که تهویه ریوی افزایش نمی‌یافت صعود کند. سپس اگر شخص برای چندین روز در ارتفاع خیلی بالا باقی بماند تهویه ریوی او به تدریج در حدود پنج برابر حالت نرمال (۴۰۰ درصد بالاتر از حالت طبیعی) افزایش می‌یابد (۱). علت اصلی به شرح زیر است:

افزایش ناگهانی تهویه ریوی به میزان ۶۵ درصد هنگام صعود به ارتفاعات باعث دفع مقدار زیادی از دی‌اکسید کربن می‌شود و باعث کاهش فشار دی‌اکسید کربن (PCO2) و افزایش PH مایعات بدن می‌شود. این دو تغییر مرکز تنفس ساقه مغز را مهار نموده و بدین طریق با اثر کاهش فشار اکسیژن در تحریک تنفس از طریق گیرنده‌های شیمیایی شریان‌های محیطی واقع در کاروتید و اجسام آئورتی مقابله می‌نمایند. اما در طی ۲ تا ۵ روز بعد، این اثر مهار از بین رفته و به مرکز تنفس اجازه می‌دهد تا با تمام نیرو به تحریک گیرنده‌های شیمیایی محیطی ناشی از هیپوکسی پاسخ دهد و تهویه را تا حدود ۵ برابر حالت طبیعی افزایش دهد (۱).

۲- افزایش گلبول‌های قرمز و غلظت هموگلوبین خون در طی انطباق

1. bert  
2. Partial pressure

هیپوکسی محرک اصلی افزایش تولید گلوبول قرمز می‌باشد. به طور معمول اگر فردی به مدت چند هفته در معرض اکسیژن کم قرار بگیرد، به تدریج هماتوکریت از مقدار طبیعی ۴۵-۴۰ به حدود ۶۰ می‌رسد و غلظت هموگلوبین نیز از مقدار طبیعی ۱۵g/dl به حدود ۲۰g/dl خواهد رسید. علاوه بر این، حجم خون نیز افزایش یافته، اغلب حدود ۳۰-۲۰ درصد، و کل هموگلوبین ۵۰ درصد یا بیشتر افزایش می‌یابد (۱).

### ۳- افزایش ظرفیت انتشاری ریه‌ها بعد از انطباق

ظرفیت انتشار طبیعی اکسیژن از غشای روی حدود ۲۱ml/mmHg/min می‌باشد و این ظرفیت انتشار می‌تواند در طی ورزش تا ۳ برابر مقدار طبیعی افزایش یافت. افزایش مشابهی در ظرفیت انتشار در ارتفاعات بالا اتفاق می‌افتد. قسمتی از این افزایش ناشی از افزایش حجم خون مویرگ ریوی است که مویرگ‌ها را متسع نموده و سطح تماس جهت انتشار اکسیژن را فراموش می‌دهد. بخش دیگر ناشی از افزایش حجم هوای ریه است که سطح تماس آلوئولی-مویرگی را باز هم بیشتر افزایش دهد. و بالاخره قسمت نهایی ناشی از افزایش فشار خون شریان ریوی است؛ این فشار خون بالا، نسبت به حالت طبیعی، خون را به تعداد بیشتری از مویرگ‌های آلوئولی رسانده مخصوصاً مویرگ‌های قسمت‌های فوقانی ریه‌ها که در شرایط عادی خون‌رسانی کمی دارند (۱).

### ۴- تغییرات سیستم گردش خون محیطی در طی انطباق افزایش مویرگ‌های بافتی

بلافاصله بعد از صعود فرد به ارتفاعات، برون ده قلبی تا ۳۰ برابر افزایش می‌یابد اما در طی هفته‌ها با افزایش هماتوکریت به حد طبیعی باز می‌گردد، به طوری که مقدار اکسیژنی که بافت‌های محیطی منتقل می‌گردد ثابت می‌ماند. سازگاری‌های دیگر گردش خون، افزایش تعداد مویرگ‌های گردش خون سیستمیک در بافت‌های غیر از ریه است که به آن آنتی‌پورنر یا افزایش مویرگ‌های بافتی می‌گویند. این پدیده به خصوص در حیواناتی روی می‌دهد که در ارتفاعات زیاد به دنیا می‌آیند و رشد می‌کنند و در حیواناتی که در مراحل بعدی زندگی در ارتفاعات بالا قرار می‌گیرند کمتر می‌باشد. در بافت‌های فعالی که به طور مزمن در معرض هیپوکسی می‌باشند، افزایش مویرگ‌ها برجسته‌تر است. برای مثال، بخاطر اثرات توأم هیپوکسی و اضافه کار بطن راست ناشی از افزایش فشار خون ریوی در ارتفاعات، تراکم مویرگی در عضله بطن راست به شدت افزایش می‌یابد (۱).

### ۵- افزایش توانایی سلول‌های بافت‌ها در استفاده از اکسیژن علی‌رغم PO2 پایین

در حیوانات بومی ارتفاعات ۱۳۰۰۰ تا ۱۷۰۰۰ پایی، تعداد میتوکندری سلول‌ها و سیستم‌های آنزیمی اکسیداتیو سلولی، در مقایسه با ساکنان مناطق سطح دریا، اندکی بیشتر است. بنابراین، این گونه فرض می‌شود که سلول‌های بافتی انسان‌های تطابق یافته با ارتفاعات، نسبت به ساکنان مقیم سطح دریا، بهتر می‌توانند از اکسیژن استفاده کنند (۱).

### سازگاری با ارتفاع و عملکرد استقامتی

به خوبی روشن شده است که زندگی در ارتفاع زیاد اجرا را در ارتفاع متوسط (کمتر از ۱۵۰۰ متر) بهبود می‌دهد. در مقابل، نقش زندگی در ارتفاع زیاد در بهبود اجرا در سطح دریا، مشخص نیست. به دلیل وجود اثرات زیان بار ناشی از سکونت بلند مدت، دانشمندان نقش دوره‌های ترکیبی قرارگیری در شرایط هیپوکسی و تمرین در فشار طبیعی را در HiLo مورد بررسی قرار دادند. پیشرفت در HiLo امکان حفظ محرک‌های تمرینی در فشار طبیعی اکسیژن را همراه با فواید سازگاری با ارتفاع فراهم می‌کند. تنها شمار کمی از مکان‌های تمرینی وجود دارد که بتوان برنامه‌های تمرینی HiLo را در سطحی با ارتفاع طبیعی (هیپوکسی

هایپوباریک<sup>۱</sup>) اجرا کرد. برای غلبه بر این مشکل روش‌هایی ارائه شده‌اند که عبارت‌اند از: ۱- استفاده از افزایش غلظت اکسیژن در هوای دمی حین فعالیت در ارتفاع طبیعی ۲- کاهش هیپوکسی در فشار طبیعی  $FiO_2$  به وسیله رقیق سازی نیتروژن که اغلب در هتل‌ها، خانه‌ها و چادرهای ارتفاع استفاده می‌شود. با وجود شواهد اندک از کارایی تمرین HiLo، جوامع ورزشی از هیپوکسی شبانه<sup>۳</sup> برای کسب برخی فواید فیزیولوژیکی استفاده می‌کنند. روش اصلی که ورزشکاران در برنامه تمرینی HiLo استفاده می‌کنند، زندگی و تمرین در سطح دریا و استراحت در محیطی با هیپوکسی با فشار هوای طبیعی است که به طور مصنوعی ارتفاع تقریباً ۲۵۰۰ متری را به مدت ۱۲ تا ۲۰ ساعت شبیه سازی می‌کند (۴، ۶).

هدف اصلی از حضور در شرایط هیپوکسی، افزایش توده سلولی قرمز (RCM) و یا توده هموگلوبین با افزایش اریتروپویتین است (۴، ۶). اوج غلظت اریتروپویتین، پس از ۲ روز قرار گرفتن در معرض مداوم و دراز مدت در معرض ارتفاع ۴۳۰۰ متری (نوک قله) رخ می‌دهد، سپس ۷ روز طول می‌کشد تا به مقادیر قبل از قرار گرفتن در معرض ارتفاع کاهش می‌یابد (۲). هنگام تمرین HiLo، غلظت اریتروپویتین صبحگاهی در مقایسه با HiHi، پس از ۲ تا ۵ روز، افزایش بیشتری می‌یابد. با وجود این، در این مدت به دلیل نیمه عمر پایین اریتروپویتین متعاقب تمرینات HiLo، غلظت اریتروپویتین از مقادیر صبحگاهی کمتر می‌شود. برخی مطالعات، افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی و بهبود اجرای استقامتی در سطح دریا را، متعاقب تمرینات HiLo، گزارش کردند. لوین و استری گاندرسون، بهبود در حداکثر اکسیژن مصرفی، آستانه تهویه‌ای و اجرای ۵۰۰۰ متر دویدن را در سطح دریا متعاقب HiLo، گزارش کردند. این موارد در پی تمرینات HiHi و LoLo، مشاهده نشد. به زعم پژوهشگران، حفظ سرعت بالای تمرین، برون ده قلبی و شدت فعالیت هنگام تمرینات تناوبی، عامل اصلی کسب دستاوردهای مشاهده شده در اجرا، متعاقب HiLo بوده است (۴). با وجود این، کمترین مدت برای اثر سازگاری در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر، بیش از ۱۲ ساعت در روز و حداقل ۳ هفته است. صرف نظر از نتیجه، همه مطالعات تفاوت‌های فردی قابل توجهی را در پاسخ به تمرین در ارتفاع گزارش کردند (۴، ۶).

### چه کسانی نباید به ارتفاع بروند؟

موارد منع اصلی: (۱) بیماری ریوی مزمن و جدی (۲) بیماری‌های ناشی از ارتفاع در قلب (۳) داسی شکل بودن ارثی گلوبول‌های قرمز (کم خونی ارثی) (۴) بیماری‌های عود کننده در ارتباط با لخته شدن خونموارد منع فرعی: (۱) هفته‌های اول و آخر بارداری (۲) بیماری قلبی که خوب کنترل شده است. (۳) آمینیزیم یا آسم مزمن و جدی. (۴) جوان یا مسن بودن بیش از حد. (۵) بیماری‌های عود کننده حتی در ارتفاع کم. (۶) چاقی بسیار زیاد. (۶) بیماری قندشدید.

### نتیجه گیری

با توجه به مطالب اشاره شده به این نتیجه می‌رسیم که قرار گرفتن در معرض ارتفاع باعث بهبود ۵ عملکرد اساسی در بدن می‌شود. ۱- افزایش تهویه ریوی ۲- افزایش غلظت گلوبول‌های قرمز خون وهمگلوبین ۳- افزایش ظرفیت انتشاری ریه‌ها ۴- افزایش میزان عروق بافت‌ها ۵- افزایش مصرف اکسیژن سلول‌ها علی‌رغم  $PO_2$  پایین؛ که افزایش این عوامل به مداخله‌گرهای زیادی از جمله سن، جنس، زمان قرارگیری در ارتفاع، ارتفاع محل، آهن موجود در بدن، عفونت موجود در بدن، بیماری‌ها و... بستگی دارد. هدف اصلی از حضور در شرایط هیپوکسی، افزایش توده سلولی قرمز است، که اوج غلظت اریتروپویتین پس از ۲ روز قرار گرفتن

---

1.hypobaric hypoxia  
2.hypoxic normobaric  
3.Nocturnal hypoxia

در معرض مداوم ارتفاع به وقوع می‌پیوندد. کمترین مدت برای اثر سازگاری در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر، بیش از ۱۲ ساعت در روز و حداقل ۳ هفته می‌باشد.

### منابع

- ۱- گایتون و هال، ترجمه: بابایی. پروین و همکاران. فیزیولوژی پزشکی. جلد دوم. انتشارات ارجمند. ۱۳۹۱
  - ۲- رابرا آ. رابرا گز، اسکات آ. رابرتس، ترجمه: گائینی. عباسعلی، فیزیولوژی ورزش ۲. انتشارات سمت. ۱۳۸۹
  - ۳- پرنو. عبدالحسین و همکاران. فیزیولوژی و تغذیه ورزشی. انتشارات حتمی. ۱۳۸۹
  - ۴- وایت. گریگوری، ترجمه: اراضی. حمید و همکاران، فیزیولوژی تمرین، چاپ اول، انتشارات دانشگاه گیلان.
  - ۵- ویلمور. جک اچ، کاستیل. دیوید آل، ترجمه: معینی. ضیاء و همکاران. فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی جلد دوم، انتشارات مبتکران. ۱۳۸۸
- 6-Hamlin, M. J., Draper, N., & Hellemans, J. (2013). Real and Simulated Altitude Training and Performance.