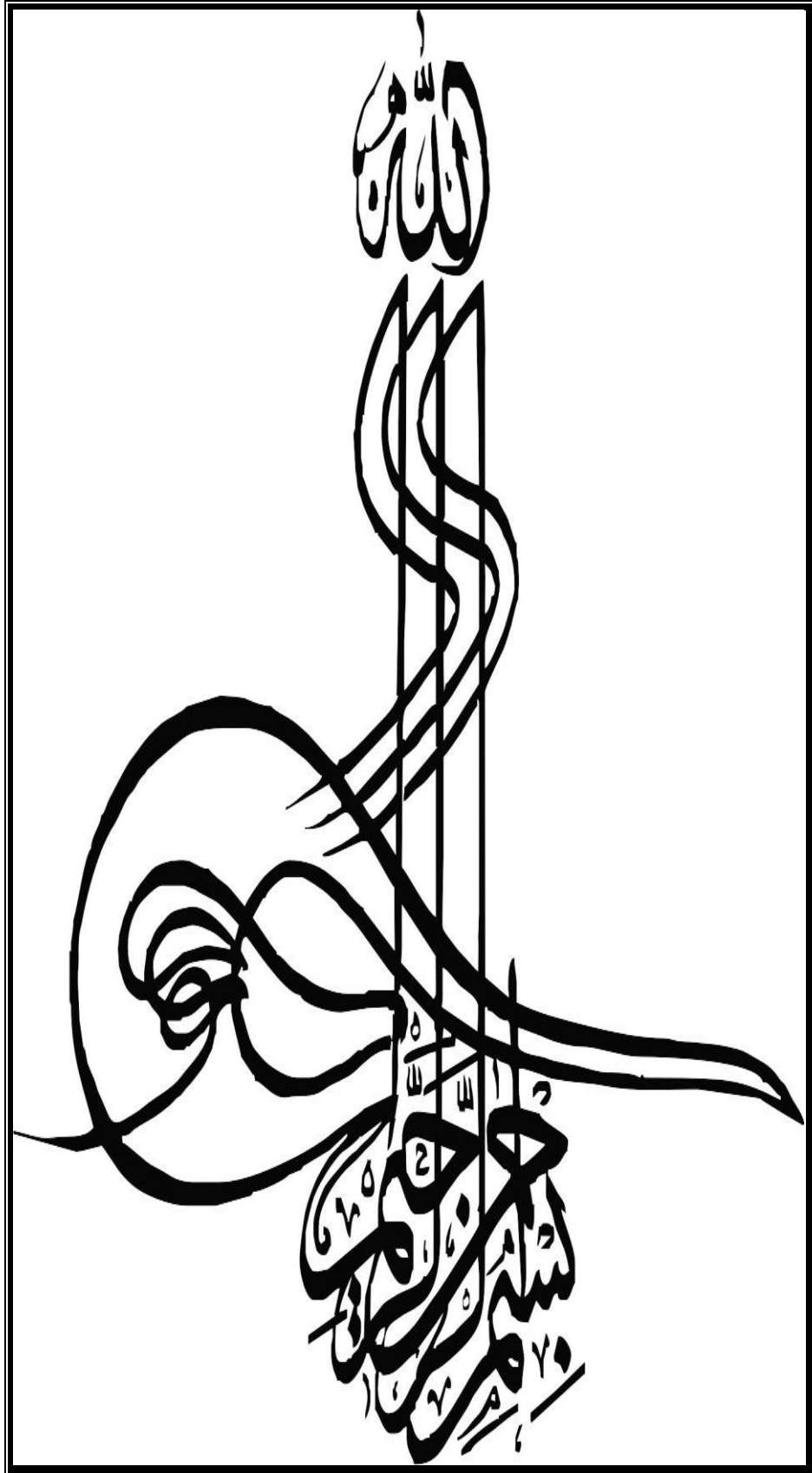




فیزیولوژی کوهنوردی

تابستان ۱۳۹۴

اهمیت فیزیولوژی کوهنوردی

موفقیت‌های ورزشی اخیر در کشورهای واقع در مکان‌های مرتفع، نقش زندگی و تمرین در ارتفاع را بر اجرا روز افزون کرده است. هدف اولیه از تمرین در ارتفاع برای ورزشکاران استقامتی، افزایش توده سلولی قرمز^۱ (RCM) و توده هموگلوبین (Hb) است. که سبب افزایش ظرفیت حمل اکسیژن شریانی و حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) برای بهبود اجرا در هر دو سطح دریا و ارتفاع می‌شود (۴). علاوه بر این گاهی اوقات رقابت‌های ورزشی نیز، در ارتفاع برگزار می‌شود که بعضی از این موارد شامل بازی‌های المپیک ۱۹۶۸ مکزیکوسیتی و متعاقب آن بازی‌های فوتبال جام جهانی در سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۶ بوده است. انجمن راگبی آمریکا که برای مسابقات جام جهانی ۱۹۹۵ آفریقای جنوبی آماده می‌شدند احتمال این که بعضی از مسابقات در ارتفاع برگزار می‌شود را مورد توجه قرار دادند و همچنین دوچرخه سوارانی که برای بازی‌های المپیک ۱۹۹۶ آتلانتا تلاش می‌کردند به منظور ارتقاء کیفیت تمرینی خود در ارتفاعات کلمبیا به تمرین پرداختند (۶). تمرین در ارتفاع به شیوه‌های مختلفی انجام می‌شود. زندگی و تمرین در ارتفاع زیاد^۲ (HiHi)، زندگی در ارتفاع زیاد و تمرین در ارتفاع کم^۳ (HiLo) و زندگی در ارتفاع کم و تمرین در ارتفاع زیاد^۴ (LoHi) و با گسترش هتل‌های هیپوکسیک^۵، چادرهای ارتفاع و دستگاه‌هایی که کسر اکسیژن دمی (FiO_2) را تغییر می‌دهند، امکان ایجاد شرایط کم فشار در سطح دریا فراهم شده است (فشار طبیعی هوا) (۴).

محیط‌های کم فشار: فعالیت بدنی در ارتفاع

اثرات زیان آور قرار گرفتن در ارتفاع بر روی انسان که از طریق کاهش فشار اکسیژن بوجود می‌آید، توسط برت^۷ در سال ۱۸۰۰ تشخیص داده شد (۵). پاول برت را پدر فیزیولوژی ارتفاع می‌شمارند. گر چه کتاب بزرگ او»

1.Red cell mass

2.Living high, training high

3. Living high, training low

4.living low, training high

5.hypoxic hotel

6.Normobaric

7.bert

فشارسنجی» تقریباً به مدت ۵۰ سال ناشناخته باقی مانده بود. برت سرانجام با استفاده از تجربیات جهانگردان و نتایج آزمایش‌هایی که در اتاق‌های کم‌فشار 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^۸ (فشار هر گاز معین در هر مخلوط گازی چند گانه) اکسیژن در ارتفاع کم می‌باشد. متأسفانه به این نظر او، مسافران مشهور بالن زنیط اعتنائی نکردند و وقتی بالن تقریباً به ارتفاع ده هزار متری رسید، دو نفر از آنها مردند (۷). 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 پایین‌تر از این سطح گزارش شده است (۵). بر همین اساس طبقه بندی ارتفاع با توجه به شکل زیر انجام می‌پذیرد (۹) :

Death Zone	> 7500m
Extreme Altitude	5000- 7500m
High Altitude	3000- 5000m
Moderate Altitude	2000- 3000m
Low Altitude	1000- 2000m
Sea Level	< 1000m

Data adapted from Pollard and Murdoch 1998.

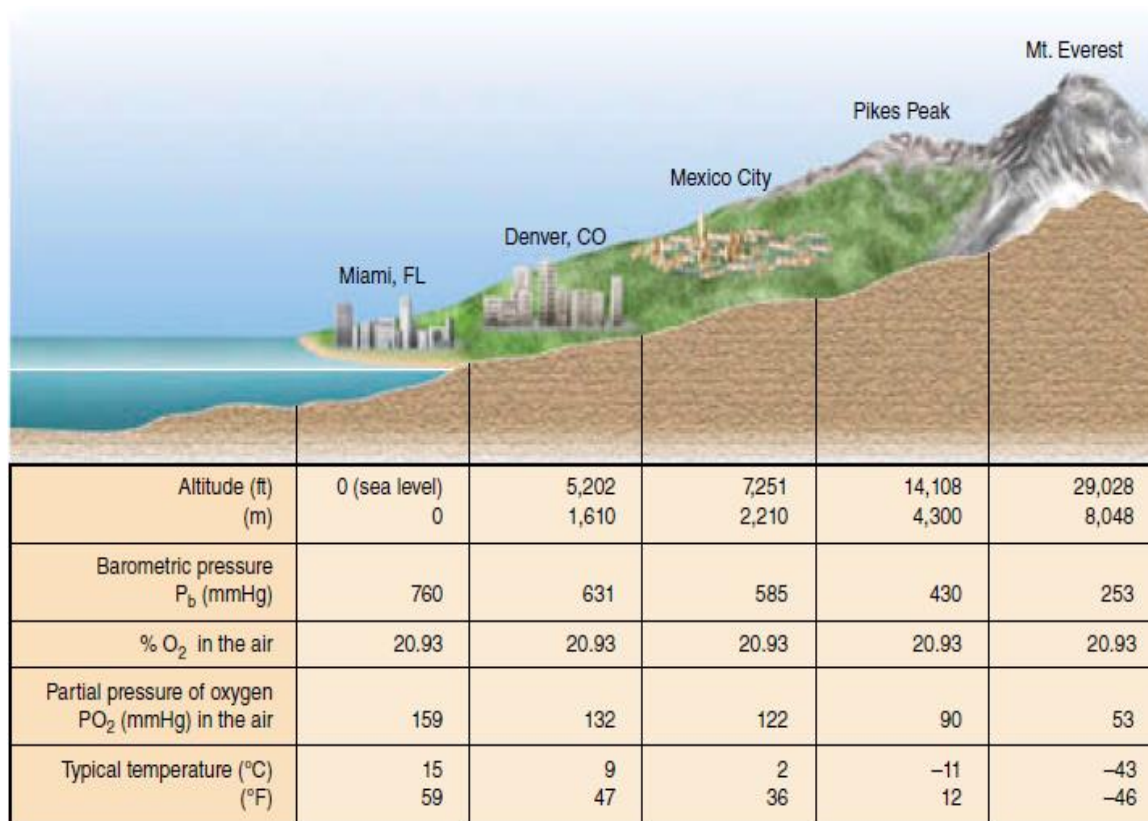
8. Partial pressure

فشار جو در ارتفاعات متفاوت

هوا وزن دارد. فشار هوا در هر نقطه از زمین مربوط به وزنی است که هوا در جو بالای آن نقطه قرار دارد. برای مثال در سطح دریا هوای بالای جو فشاری معادل ۷۶۰ میلی متر جیوه اعمال می‌کند و در قله کوه اورست، بالاترین نقطه روی زمین (۸۸۴۸ متر یا ۲۹۰۲۸ فوت) فشاری که توسط هوای بالای آن اعمال می‌شود فقط حدود ۲۵۰ میلی متر جیوه می‌باشد. این تفاوت‌ها (و سایر تفاوت‌ها) در جدول زیر نشان داده شده است (۵).

دمای هوا در ارتفاع

همان‌گونه که در شکل زیر نشان داده شده است، دمای هوا به ازای هر ۱۵۰ متر بالای (حدود ۴۹۰ فوت) حدود ۱ درجه سانتی گراد کاهش می‌یابد. دمای هوا در قله کوه اورست تقریباً در حدود ۴۰- درجه سانتی گراد برآورد شده است، در صورتی که در سطح دریا تقریباً ۱۵ درجه سانتی گراد است. ترکیب دمای کم و وزش بادهای زیاد در ارتفاع خطرات جدی در مورد اختلالات مربوط به سرما مانند هیپوترمی به همراه دارد (۵).



تعاریف سیستم های تولید انرژی در کوهنوردی

سیستم فسفاژن

در سیستم فسفاژن ATP از ترکیبی بنام کراتین فسفات (CP) ساخته می شود همین که ATP موجود به مصرف برسد باید با تغذیه اضافی و اکسیژن آن را جایگزین نمائید. در طول تمرینات بدنی شدید و کوتاه مدت مانند تمرین با وزنه یا دوی سرعت اکسیژن موجود بوسیله سلول های عضلانی به مصرف می رسد. در چنین مواقعی CP برای تولید انرژی در حد چند ثانیه فعالیت وارد عمل می شود CP می تواند در مواقع کاهش ATP به تولید آن نیز کمک کند. هر گونه فعالیت بدنی شدید که بیش از ۳ الی ۱۵ ثانیه بطول بیانجامد می تواند به سرعت موجب نقصان ATP و CP در عضله شود آن ها باید جایگزین شوند پر کردن دوباره ATP و CP وظیفه دیگر سیستم های انرژی در بدن می باشد (۱،۲).

بازسازی فسفاژن

به واسطه بازسازی، بدن ذخایر انرژی را به شرایط قبل از فعالیت ورزشی بازیافت و جایگزین می کند. بدن از طریق ابزارهای بیوشیمیایی مبادرت به باز گرداندن تعادل فیزیولوژیکی می نماید. این عمل زمانی اتفاق می افتد که بدن در آمادگی بالاتری کارایی قرار دارد. بازسازی فسفاژن به سرعت رخ می دهد در ۳۰ ثانیه اول ۷۰٪ و در ۳ الی ۵ دقیقه به طور کامل ذخیره سازی انجام می شود. (۱)

سیستم گلیکولیتیک

سیستم گلیکولیتیک تأمین کننده گلوکز برای عضلات است چه از طریق تجزیه کربوهیدرات های موجود در رژیم غذایی فرد و چه توسط تجزیه گلیکوژن موجود در سلول های عضله و کبد در فرایندی بنام گلیکولیز گلیکوژن مجدداً به گلوکز تبدیل می شود و طی واکنش های شیمیایی متعددی در نهایت به شکل ATP بیشتر در می -

آید. گلیکوزن ذخیره شده در عضلات می‌تواند انرژی لازم برای ۲ الی ۳ دقیقه فعالیت شدیدی بدنی را تأمین نماید اگر اکسیژن کافی برای سلول عضله فراهم باشد گلوکز می‌تواند به ATP زیادی تبدیل شود اگر اکسیژن وجود نداشته باشد یا به طور ناقص تأمین شود. عضلات گلوکز را به ماده‌ای به نام اسید لاکتیک تبدیل می‌کنند افزایش میزان اسید لاکتیک در عضله در حال فعالیت موجب احساس سوزش در عضله شده و سبب ضعف و خستگی شدید و قطع انقباض عضله خواهد شد هنگامی که برای جایگزینی ATP و CP مجدداً اکسیژن فراهم می‌شود اسید لاکتیک از عضله خارج می‌شود. با یک دوره کوتاه استراحت بدن مجدداً اکسیژن به سلول‌ها می‌رساند و شما می‌توانید به تمرینات خود ادامه دهید (۱).

بازسازی گلیکوزن

بسته به نوع تمرین و رژیم غذایی به زمان طولانی نیاز دارد در فعالیت‌های تناوبی نوعی از تمرین قدرتی یا اینتروال (۴۰ ثانیه کار و ۳ دقیقه استراحت) برای ذخیره ۴۰٪ گلیکوزن ۲ ساعت، برای ذخیره ۵۵٪ ان ۵ ساعت و برای بازسازی کامل به ۲۴ ساعت نیاز می‌باشد. اگر فعالیت تداومی باشد بازسازی گلیکوزن زمان طولانی‌تری می‌برد. برای ذخیره سازی ۶۰٪، ۱۰ ساعت و برای دست یافتن به بازسازی کامل به ۴۸ ساعت زمان نیاز است (۱).

سیستم هوازی

دستگاه هوازی برای تولید انرژی جهت سنتز مجدد از ATP از ADP+P به ۶۰ الی ۸۰ ثانیه زمان نیاز دارد. ضربان قلب و تعداد تنفس جهت انتقال اکسیژن مورد نیاز سلول‌های عضلانی و برای تجزیه گلیکوزن در حضور اکسیژن، باید به طور کارآمدی افزایش یابد. گلیکوزن، منبع انرژی مورد استفاده جهت سنتز مجدد ATP در هر دو سیستم اسید لاکتیک و هوازی است دستگاه هوازی گلیکوزن را در حضور اکسیژن بدون تولید اسید لاکتیک یا تولید ناچیز آن تجزیه می‌کند تا ورزشکار را برای ادامه تمرین توانمند سازد. دستگاه هوازی منبع عمومی

انرژی برای مسابقاتی هست که بین ۲ دقیقه و ۲ تا ۳ ساعت به طول می‌انجامد کار طولانی مدت بیش از ۲ تا ۳ ساعت ممکن است به تجزیه چربی‌ها و پروتئین‌ها برای جایگزینی ذخایر ATP منجر شود. در هر یک از این موارد یعنی تجزیه گلیکوژن چربی‌ها یا پروتئین‌ها محصولات فرعی دی اکسید کربن و آب می‌باشد. که هر دوی آن‌ها به واسطه تنفس و تعریق از بدن دفع می‌گردد. سرعت جایگزینی ATP در ورزشکاران توسط ظرفیت هوازی یا مقدار اکسیژن مصرفی بیشینه محدود می‌شود. سومین سیستم انرژی سیستم هوازی است این سیستم برای سوخت رسانی در هنگام فعالیت‌های ایروبیک و دیگر حرکات استقامتی به کمک بدن می‌آید.

اگر سیستم هوازی می‌تواند انرژی لازم برای تمرینات استقامتی را تامین نماید اما در هنگام چنین فعالیت‌هایی هر سه سیستم بدن به درجات مختلف در این تأمین انرژی دخیل می‌باشند در مواقعی که تمرینات قدرتی انجام می‌دهید سیستم انرژی فسفاژن و گلیکوژن نقش اصلی را به عهده دارند. اکسیژن یک منبع مستقیم انرژی برای تمرین ورزشی نمی‌باشد، این ماده برای تولید مقادیر زیاد ATP از دیگر منابع انرژی استفاده می‌کند (۱).

سیستم هوازی به شکل زیر عمل می‌کند :

شما با تنفس اکسیژن را وارد ریه هایتان می‌کنید و متعاقب آن خون اکسیژن را از ریه‌ها جذب می‌کند قلب شما خون سرشار از اکسیژن را به بافت‌های بدن از جمله عضلات پمپاژ می‌کند. هموگلوبین که یک پروتئین دارای آهن در خون است اکسیژن را به سلول‌ها حمل می‌کند تا آن‌ها را قادر به تولید انرژی نماید میوگلوبین شکل دیگر این پروتئین دارای آهن عمل رساندن اکسیژن به سلول‌های عضلانی را به عهده دارد درون سلول‌های عضله کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها طی مراحل مختلف واکنش‌های تولید انرژی به انرژی تبدیل می‌شوند. توانایی بدن برای تولید انرژی بوسیله هر یک از این سه سیستم می‌تواند با رژیم غذایی مناسب و برنامه تمرینات ورزشی بهبود پیدا کند نتیجه حاصله متابولیسمی است که چربی‌ها را سوزانده و موجب ساخت عضله می‌شود (۱،۷،۶).

پاسخ های فیزیولوژیکی در ارتفاع

تاثیر ارتفاع بر پاسخ تنفسی

با صعود شخص به بالاتر از سطح دریا، فشار هوا و فشار سهمی اکسیژن شریانی (PaO_2) کاهش می یابد. برای جبران این کاهش در ارتفاع، تعداد تنفس افزایش می یابد (تهویه افزایش می یابد). چون افزایش تهویه با افزایش اکسیژن مصرفی تناسب ندارد، به آن پرتهویه ای می گویند.

در ارتفاع ۴۳۰۰ متری، تهویه تقریباً ۳۰ درصد افزایش می یابد، با وجود این، با افزایش تعداد تنفس (پرتهویه ای) فشار سهمی دی اکسید کربن حبابچه ای (PaCO_2)، فشار دی اکسید کربن شریانی (PaCO_2) و بی کربنات خون (HCO_3) کاهش می یابد. این کاهش باعث افزایش PH خون می شود، شرایطی که آلکالوز تنفسی نامیده شده است و تقریباً ۲ روز ادامه دارد.

برای جبران افزایش PH خون، کلیه ها یون بی کربنات (HCO_3) زیادتری دفع می کنند تا نسبت HCO_3 به PCO_2 به حالت طبیعی برگردد. به نظر می رسد افزایش دفع بی کربنات از طریق کلیه ها، به کاهش ظرفیت بافری تامپونی بدن منجر می شود. پرتهویه ای به رغم این پیامدهای منفی مزایایی نیز دارد: زیرا، باعث می شود که فشار سهمی اکسیژن حبابچه ای (PAO_2) و فشار سهمی شریانی (PaO_2) از مقادیر محاسبه شده از طریق فشار هوا فراتر رود، در نتیجه ارتفاع مطلق را تا حد زیادی کمتر نشان می دهند. ارتباط بین تهویه و اشباع سرخرگی خطی است، در حالی که در تهویه و PO_2 این چنین نیست. هر چند این موضوع از فردی تا فرد دیگر فرق می کند. ولی به نظر نمی رسد زمانی که فردی به ارتفاع صعود می کند دچار افزایش تهویه شود، مگر آن که PO_2 دمی به تقریباً ۱۰۰ میلی متر جیوه برسد که معادل PO_2 معادل ۵۰ میلی متر جیوه در حبابچه ها است. این شرایط در ارتفاعی معادل ۳۰۰۰ متر رخ می دهد. در این ارتفاع اشباع اکسیژن با هموگلوبین از ۹۸ درصد مقادیر طبیعی دیده شده در سطح دریا به کمتر از ۹۲ درصد می رسد (نقطه ای که در آن PO_2 سرخرگی به

افزایش بارزی در تهویه منجر می‌شود با PO_2 که در آن منحنی تجزیه اکسیژن شروع به پیدا کردن شیب تندی می‌کند، مطابقت دارد).

در سطح دریا شیب فشاری بین PO_2 سرخرگی و PO_2 بافتی تقریباً ۶۴ میلی‌متر جیوه است. اختلاف بین PO_2 سرخرگی (معادل ۱۰۴ میلی‌متر جیوه) و PO_2 بافتی (معادل ۴۰ میلی‌متر جیوه) شیب فشاری به وجود می‌آورد تا باعث انتشار اکسیژن به درون بافت‌ها شود. با این وجود، کاهش PAO_2 در ارتفاع به کاهش شیب فشاری می‌انجامد که توانایی تزریق اکسیژن از ناحیه رگی به درون بافت را کاهش می‌دهد. برای مثال در ارتفاع ۲۵۰۰ متری PAO_2 تا حدود ۶۰ میلی‌متر جیوه کاهش می‌یابد در حالی که PO_2 بافت در حد ۴۰ میلی‌متر جیوه ثابت باقی می‌ماند. بنابراین، شیب فشاری تنها معادل ۲۰ میلی‌متر جیوه به وجود می‌آید. این کاهش ۷۰ درصدی (۶۴ تا ۲۰) در شیب فشار باعث می‌شود تا سرعت جابجایی حرکت اکسیژن بین مویرگ‌ها و بافت‌ها تا حد زیادی کاهش یابد. کاهش شیب فشاری بین ناحیه رگی و بافت‌ها تاثیر بارزتری بر کاهش عملکرد در ارتفاع می‌گذارد (۳).

تاثیر ارتفاع بر پاسخ قلبی و عروقی

هیپوکسی شدید کوتاه مدت به افزایش برون ده قلبی استراحتی و ورزشی هر دو می‌انجامد. بدیهی است این افزایش می‌خواهد کاهش اکسیژن در دسترسی را که بر اثر PO_2 کمتر بوجود آمده، جبران کند. به نظر می‌رسد سازوکار اصلی‌ای که باعث افزایش برون ده قلبی می‌شود، افزایش تواتر قلبی است. نشان داده شده است که تواتر قلبی بدون هیچ تغییری در حجم ضربه‌ای بین ۵۰ تا ۴۰ درصد در زمان استراحت افزایش می‌یابد. حتی هنگام فعالیت ورزشی به نظر می‌رسد که افزایش برون ده قلبی در درجه اول به دلیل افزایش تواتر قلبی می‌باشد (بر خلاف آن چیزی که معمولاً هنگام فعالیت ورزشی در سطح دریا دیده می‌شود) حجم ضربه‌ای هنگام فعالیت ورزشی در ارتفاع کاهش می‌یابد. کاهشی که در حجم ضربه‌ای به وجود می‌آید، ناشی از کاهش حجم پلاسمایی است که به فاصله کوتاهی پس از ورود به ارتفاع مشاهده شده است. در اوایل قرار گیری در معرض

ارتفاع در ارتفاعات ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متری، مشاهده شده حجم پلاسما کاهش می‌یابد که نتیجه دفع حجم بسیار زیاد و غیر معمول ادرار و دفع سدیم زیاد از راه ادرار باشد. دفع ادرار زیاد می‌تواند با کاهش گرمای تبخیری زیادی که بر اثر تهویه هوای خشک دمی در ارتفاع به وجود می‌آید. افزایش دفع سدیم دفعی از راه ادرار نتیجه تحریک عصبی کلیه‌ها باشد تا باز جذب سدیم ناشی از محرک هیپوکسی، حتی هنگام قرار گرفتن طولانی مدت در معرض ارتفاع حجم پلاسما هنوز زیر مقادیر طبیعی باقی می‌ماند و نتایج مطالعات انجام شده بر روی افراد ساکن در ارتفاع، گزارش کرده‌اند در مقایسه با ساکنین سطح دریا، حجم پلاسمای آنها کمتر بوده است. پس سازگاری با ارتفاع می‌تواند تاثیر بارزی بر بازگشت حجم خون به مقادیر پیش از قرار گرفتن در معرض ارتفاع داشته باشد. علاوه بر این، هنگام هیپوکسی سلول‌های قرمز خون باعث افزایش تولید $\Delta\text{VO}_2\text{a}$ دی فسفو گلیسرات ($\text{BPG}_{3\text{و}2}$) می‌شوند. افزایش غلظت تام $\Delta\text{VO}_2\text{a}$ دی فسفو گلیسرات خون، منحنی تجزیه اکسی هموگلوبین را به سمت چپ می‌برد و رهایش اکسیژن در سطح بافت را افزایش می‌دهد. هنگام قرار گرفتن در معرض ارتفاع متوسط تا زیاد، کاهش غلظت اکسیژن خون شریانی (CaO_2) باعث کاهش شیب موثر انتشار اکسیژن در بافت‌ها می‌شود و با وجود افزایش $\Delta\text{VO}_2\text{a}$ دی فسفو گلیسرات، تفاوت اکسیژن خون سرخرگی-سیاهرگی ($\Delta\text{VO}_2\text{a}$) کاهش می‌یابد. برای حفظ اکسیژن مصرفی در حد معین، ضربان قلب افزایش می‌یابد. در ارتفاعات زیاد، حجم ضربه‌ای قلب هنگام پاسخ به افزایش مقاومت عروقی و افزایش کاتکولامین‌ها گردش خون کاهش می‌یابد. این امر به نوبه خود باعث افزایش ضربان قلب استراحتی می‌شود. بر طبق اصل معادله فیک، حتی اگر حجم ضربه‌ای کاهش یابد، اما افزایش ضربان در شرایط هیپوکسی، باعث افزایش برون ده قلبی استراحتی در ارتفاع می‌شود (۳).

سازگاری با فشار اکسیژن (Po_2) 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 (PCO_2) 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

هیپوکسی محرک اصلی افزایش تولید گلبول 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

همو گلوبین نیز از مقدار طبیعی ۱۵g/dl به حدود ۲۰g/dl خواهد رسید. علاوه بر این، حجم خون نیز افزایش یافته، اغلب حدود ۲۰-۳۰ درصد و کل هموگلوبین ۵۰ درصد یا بیشتر افزایش می‌یابد (۱).

۳- افزایش ظرفیت انتشاری ریه ها بعد از انطباق

ظرفیت انتشار طبیعی اکسیژن از غشای روی حدود 21 ml/mmHg/min می‌باشد و این ظرفیت انتشار می‌تواند در طی ورزش تا ۳ برابر مقدار طبیعی افزایش یابد. 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، به‌طوری 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 آنژیوژنز 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 توام 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، این‌گونه 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

به‌خوبی روشن شده است که زندگی در ارتفاع زیاد (HiHi) 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^۱) اجرا کرد. برای غلبه بر این مشکل روش‌هایی ارائه شده‌اند که عبارتند از: ۱- استفاده از افزایش غلظت اکسیژن در هوای دمی حین فعالیت در ارتفاع طبیعی^۲- کاهش هیپوکسی در فشار طبیعی (FiO₂)^۳ 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^۳ برای کسب برخی فواید فیزیولوژیکی استفاده می‌کنند. روش اصلی که ورزشکاران در برنامه تمرینی HiLo استفاده می‌کنند، زندگی و تمرین در سطح دریا و

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

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 می کند (۴، ۱۳، 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 می دهد، سپس ۷ روز طول می کشد تا به مقادیر قبل از قرار گرفتن در معرض ارتفاع کاهش می یابد (۲). هنگام تمرین HiLo، غلظت اریتروپویتین صبحگاهی در مقایسه با HiHi، پس از ۲ تا ۵ روز، افزایش بیشتری می یابد. با وجود این، در این مدت به دلیل نیمه عمر پایین اریتروپویتین متعاقب تمرینات HiLo، غلظت اریتروپویتین از مقادیر صبحگاهی کمتر می شود. برخی مطالعات، افزایش حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2MAX}) و بهبود اجرای استقامتی در سطح دریا را، متعاقب تمرینات HiLo، گزارش کردند. لوین و استری گاندرسون^۱ (۱۹۷۷)، بهبود در حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2MAX})، آستانه تهویه ای 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 تفاوت های فردی قابل توجهی را در پاسخ به تمرین در ارتفاع گزارش کردند (۴، ۶).

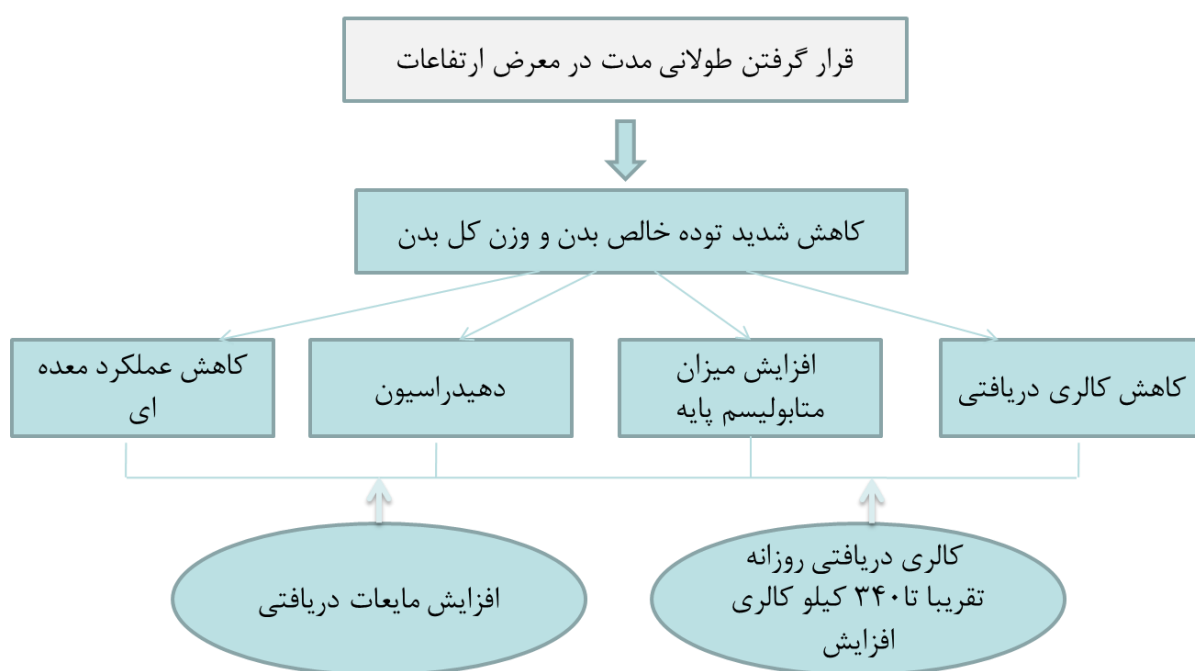
حداکثر اکسیژن مصرفی:

1. Levine & Stray Gundersen

پژوهش های اولیه سالتین^۱ و همکارانش و هورستن و همکارانش نشان دادند که پس از ۱۴ روز قرار گرفتن در ارتفاع ۴۳۰۰ متری، VO_{2MAX} ، ۱۰ درصد افزایش داشت (۲،۳،۶).

ترکیب بدن:

قرار گرفتن طولانی مدت در معرض ارتفاعات متوسط تا بسیار زیاد با کاهش شدید توده خالص بدن و وزن کل بدن همراه است. این پاسخ تا حدی با کاهش کالری دریافتی، افزایش میزان متابولیسم پایه، دهیدراسیون و کاهش عملکرد معده ای (جذب ضعیف مواد مغذی) توجیه می شود، در این شرایط باید کالری دریافتی روزانه تقریباً تا ۳۴۰ کیلو کالری افزایش می یابد. بدیهی است که وقتی فردی در معرض ارتفاع زیاد قرار می گیرد، غذا و مایعات دریافتی وی باید افزایش یابد، به طور ساده تر می توان با شکل زیر مطرح کرد (۲) :



سوخت و ساز انرژی:

¹. saltin

سازگاری با ارتفاع متوسط تا بسیار زیاد در مقایسه با قرار گرفتن در معرض ارتفاع به مدت کوتاه باعث کاهش تجزیه گلیکوژن عضله به ازای یک شدت ورزشی زیر بیشینه معین می‌شود و گلوکز مصرفی خون را افزایش می‌دهد. عجیب این که هنگام فعالیت ورزشی با شدت متوسط تا زیاد در ارتفاع و آن هم پس از سازگاری با آن ارتفاع، لاکتات خون با وجود هیپوکسی و افزایش اتکا به کربوهیدرات کاهش می‌یابد. این موضوع ابتدا یک یافته غیر منتظره بود و پارادوکس لاکتات^۱ نامیده شد، به معنای کاهش حداکثر لاکتات تولیدی بوسیله عضله اسکلتی فعال پس از قرار گرفتن در معرض ارتفاع به مدت طولانی است (۲، ۱۵).

سازگاری با ارتفاع و عملکرد بی‌هوازی

کاهش مقاومت هوا در ارتفاع، سرعت بیشینه دوندگان را افزایش می‌دهد. بنابراین، اثر منفی کاهش شدت تمرین در فعالیت استقامتی در شرایط هایپوکسی که سبب کاهش بار عصبی - عضلانی تمرین و در نتیجه بی‌تمرینی می‌شود، در ورزش‌های سرعتی و توانی تأثیری نخواهد داشت.

استقامت بی‌هوازی که ممکن است هنگام حضور در شرایط هایپوکسی تحت تأثیر قرار گیرد، با دفع بی‌کربنات و کاهش حجم پلاسما همراه است. با وجود این، هایپوکسی کوتاه مدت (حاد) اجرای بیشینه کوتاه مدت (کمتر از یک دقیقه) را مختل نمی‌کند. اگر چه ممکن است هنگام اجرا حداکثر اکسیژن مصرفی کاهش یابد و لاکتات و گلیکوژن پس از تمرین به ترتیب افزایش و کاهش یابند.

نوملا و روسکو^۲ (۲۰۰۰) بهبود زمان دوی ۴۰۰ متر را در دوندگان سرعتی زنده و کاهش غلظت لاکتات خون را در حین دو زیر بیشینه بر روی نوارگردان پس از ۲ هفته با ۱۴ تا ۱۸ ساعت حضور در شرایط کم فشار، گزارش کردند (۱۵.۸ درصد هایپوکسی در فشار طبیعی). شواهد محدودی نشان می‌دهند HiLo و HiHi با نوعی تمرین سرعتی، ممکن است اجرای بی‌هوازی متعاقب را در سطح دریا بهبود دهد (۳، ۴).

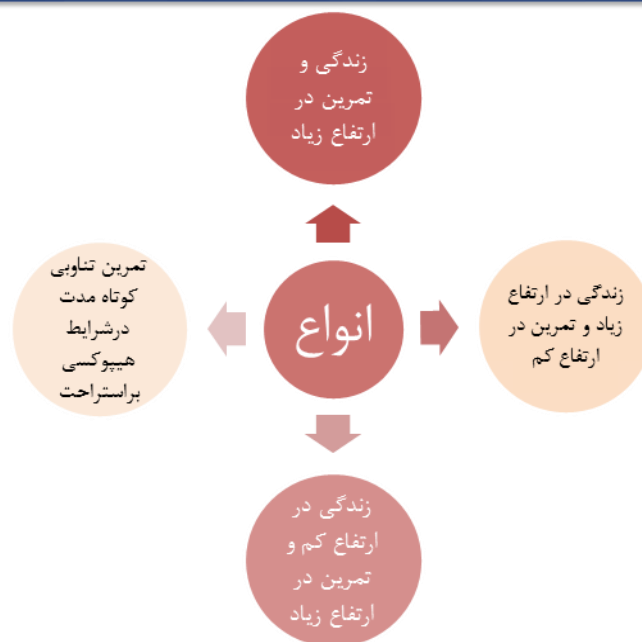
1. lactate paradox
2. Nummela & Rusko

خواب در شرایط هیپوکسی با فشار طبیعی هوا

موضوع نگران کننده در سال های اخیر، اثر هیپوکسی بر کیفیت خواب است. نگرانی اصلی، اثر اختلال خواب است که هنگام استراحت و اجرا در ارتفاع مشاهده می شود. در یک مطالعه جدید پدلار و همکاران^(۲۰۰۵)، خواب در چادر هیپوکسی با فشار طبیعی هوا (۲۵۰۰ متر) را در ۸ ورزشکار تفریحی مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان داد که هیپوکسی با فشار هوای طبیعی سبب اختلالات جدی در خواب می شوند (۴، ۶).

عقیده براین است که کیفیت استراحت و بازیافت ورزشکاران در بین وهله های تمرینی، بخش مهمی از فرایند سازگاری هستند. بنابر این، بازیافت ناکافی ممکن است سبب بروز نشانه های بیش تمرینی و افت اجرا شود (۴، ۶).

بهبود عملکرد در سطح دریا با تمرین در ارتفاع



تمرین در ارتفاع برای گسترش عملکرد در سطح دریا

سازگاری‌های فیزیولوژیکی‌ای که بر اثر سازگار شدن با ارتفاع به وجود می‌آید، باعث شده تا بسیاری از دانشمندان فرض کنند، زندگی یا تمرین در ارتفاع یا ترکیب این دو به افزایش عملکرد استقامتی در سطح دریا منجر خواهد شد. حضور دو هفته‌ای ورزشکاران در ارتفاعات ۲۳۰۰ تا ۳۰۰۰ متری بالای سطح دریا، باعث افزایش VO_{2MAX} ، هنگام بازگشت به سطح دریا و بهتر شدن عملکرد ورزشی مسابقات ۱۵۰۰ متر و یک مایل شده است. برعکس، مطالعاتی نشان می‌دهند که ورزشکاران پس از ۲۰ تا ۶۳ روز اقامت در ارتفاعات ۴۰۰۰ و ۳۱۰۰ متری، زمان دوی کندتری در سطح دریا داشته‌اند و مقادیر VO_{2MAX} ، آنها کاهش یافته یا تغییر نکرده‌اند (۲،۳،۶،۱۵).

۱- زندگی و تمرین در ارتفاع زیاد

سازگاری‌های فیزیولوژیکی‌ای که به عنوان بخشی از فرایند سازگار شدن با ارتفاع بوجود می‌آیند، به گسترش عملکرد ورزشی در ارتفاع می‌انجامد. این سازگاری‌ها عبارتند از: افزایش تهویه، افزایش غلظت هموگلوبین، افزایش چگالی مویرگی و افزایش غلظت میوگلوبین بافت. این سازگاری‌ها در بهتر شدن عملکرد استقامتی بسیار سودمند هستند (۴،۳). گزارش‌های فردی متعددی از اردوهای آماده‌سازی در ارتفاع برای ورزشکاران کلاس جهانی گزارش شده است، اما مطالعات کنترل شده خیلی اندکی آثار راهبرد زندگی در ارتفاع-تمرین در ارتفاع^۱ (HiHi) را بر عملکرد سطح دریا مورد بررسی قرار داده‌اند. در یکی از این مطالعات توسط لوین و استرای گاندرسن^۲، ۳۹ دونده دانشگاهی به طور تصادفی در گروه زندگی در ارتفاع ۲۵۰۰ متر و تمرین در ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۲۷۰۰ متر (HiHi)، زندگی و تمرین در سطح دریا (گروه کنترل)، یا زندگی در ارتفاع ۲۵۰۰ متر و تمرین در ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ متر (زندگی در ارتفاع و تمرین در ارتفاع پایین^۳ [HiLo]) تقسیم شدند. پس از دوره‌های تمرینی متفاوت، VO_{2max} در گروه HiHi و گروه HiLo افزایش یافت و عملکرد دوی ۵۰۰۰ متر تنها در گروه HiLo افزایش نشان داد. نویسندگان نتیجه گرفتند که عملکرد دویدن به همراه راهبرد تمرینی HiHi افزایش نمی‌یابد، زیرا سرعت دویدن در ارتفاع به دلیل کاهش در VO_{2max} نمی‌تواند حفظ شود (۱۱).

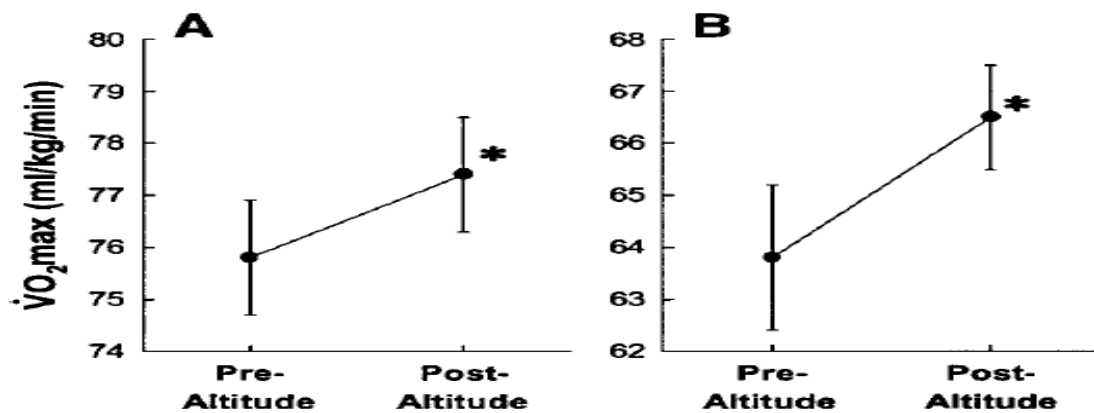
1. live high—train high

2. Levine and Stray-Gundersen

3. live high—train low

۲- زندگی در ارتفاع زیاد و تمرین در ارتفاع کم

زندگی در ارتفاعات زیاد با کاهش ظرفیت و عملکرد ریوی، کاهش ظرفیت‌های قلبی و عروقی، از دست دادن ظرفیت‌های آنزیمی عضله و کاهش توده خالص بدن همراه است. برای دستیابی به فایده‌های ناشی از بهبود کیفیت تمرین در ارتفاعات پایین‌تر با حفظ محرک‌های هیپوکسی نسبتاً دراز مدت زندگی در ارتفاعات متوسط، ورزشکاران هم‌زمان، باید در ارتفاعات متوسط زندگی و در ارتفاعات پایین تمرین کنند، (زندگی در ارتفاع و تمرین در ارتفاع پایین‌تر) (۲،۳،۶)؛ استرای گاندرسن و همکاران، نشان دادند که HiLo هم برای زنان و هم برای مردان نخبه موثر بوده است. در این مطالعه، آزمودنی‌ها بلافاصله پس از رقابت‌های ملی در اردوی تمرینی شرکت کردند و بنابراین انتظار می‌رفت که در اوج آمادگی جسمانی قرار داشته باشند. نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌کند که HiLo ممکن است در بهبود عملکرد سطح دریا در ورزشکاران نخبه حتی با وجود محدودیت برای کسب سازگاری تمرینی موثر باشد (۱۲).



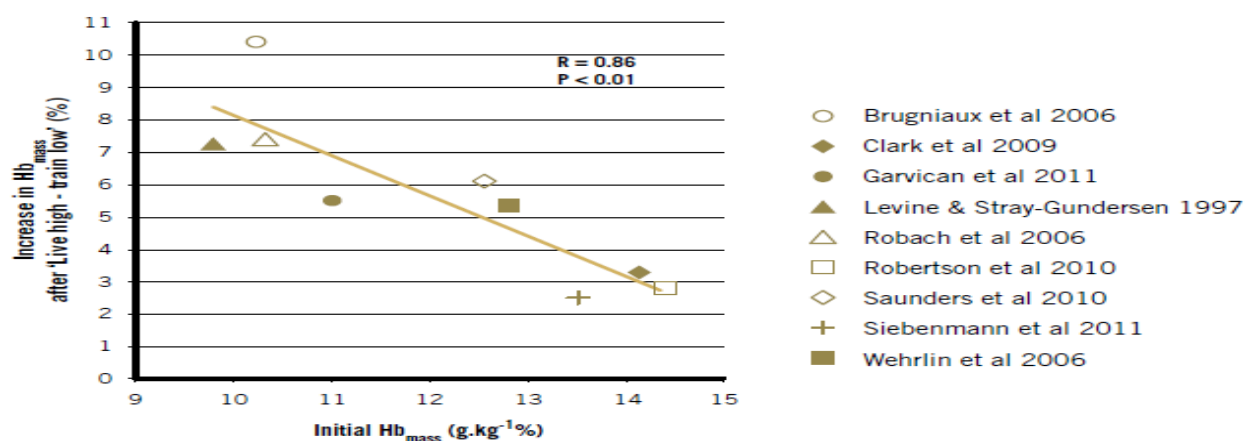
Change in maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) in elite male (A) runners and elite female (B) runners to a 4-wk living high-training low-altitude sojourn. * $P < 0.05$ compared with prealtitude.

ورزشکاران حرفه‌ای و المپیکی به ارتفاعات متوسط می‌روند تا با تمرین در ارتفاع بتوانند عملکرد ورزشی خود را در سطح دریا بهبود بخشند. همچنین، ورزشکاران هنگام خواب خود را آگاهانه در معرض مخلوط‌های گازی هیپوکسی با فشار طبیعی قرار می‌دهند. این کار باعث شده است که رکوردهای جهانی و شخصی بهتری به

دست آورند. تمرین در ارتفاع برای بهبود عملکرد ورزشی در ارتفاع، نوعی برتری قطعی برای استقامت قلبی- تنفسی به ارمغان می‌آورد (۲،۳،۶).

توصیه ویژه تمرین در ارتفاع برای انجام مسابقه در سطح دریا

پاسخ اریتروپویتین به ارتفاع، به میزان ارتفاع بالاتر از سطح دریا بستگی دارد. در ورزشکارانی که در ارتفاع معینی میزان غلظت اریتروپویتین شان افزایش نمی‌یابد، باید به ارتفاع بالاتری صعود کنند. اقامت در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر، برای افزایش حجم سلول‌های قرمز خون ضروری می‌باشد. در صورت امکان باید تمرین در ارتفاعی نزدیک به ارتفاع سطح دریا انجام شود. بدین ترتیب کاهش در سرعت تمرین‌ها و اکسیژن در دسترس به حداقل می‌رسد. در حالی که ضرورت اقامت در ارتفاع بالاتر اجتناب ناپذیر است. به دوره زمانی دو مرحله ای اریتروپویتین توجه کنید: افزایش اولیه در ۴۸ تا ۲۴ ساعت نخست و بازگشت به مقادیر پیش از ارتفاع در ۴ تا ۳ هفته، بنابر این تصور می‌شود، اقامت ۴ تا ۳ هفته‌ای در ارتفاع برای به حداکثر رساندن فواید بالقوه عملکرد کافی می‌باشد (۳). در این نمودار تحقیقات متعددی که باعث افزایش در توده هموگلوبین با زندگی در ارتفاع زیاد و تمرین در ارتفاع کم شده است را نشان می‌دهد (۱۲) :



۳-تمرین در ارتفاع زیاد و زندگی در ارتفاع کم تر از محل تمرین

هدف از تمرین LoHi زندگی در ارتفاع کم و تمرین در ارتفاع زیاد، کاهش سازگاری‌های ویژه عضلانی هنگام حضور در ارتفاع و پیشگیری از اثرات زیان بار سکونت بلند مدت یا اختلال خواب ناشی از استقرار در شرایط هیپوکسی با فشار هوای طبیعی شبانه است. پژوهش جدیدی نقش تمرین LoHi را در تسریع سازگاری و بازتوان آسیب، مورد آزمایش قرار داد. بیشتر مطالعاتی که از LoHi استفاده کرده بودند، با وجود مشاهده افزایش EPO، نتوانستند اثر مثبت آن را بر اجرا نشان دهند. با وجود این، نشان داده شده است تمرین LoHi، ظرفیت کار ورزشکاران را در هیپوکسی افزایش می‌دهد (۴،۶).

۴- اثر تمرین تناوبی کوتاه مدت در شرایط هیپوکسی بر استراحت (IHT)

زمانی که هیپوکسی تناوبی به عنوان یک روش خاص برای سازگاری به کار گرفته شود از اصطلاح IHT استفاده می‌شود (۸). IHT^۱ کوتاه مدت، در اتحاد جماهیر شوروی سابق رواج یافت و به صورت تنفس هوای هیپوکسی (۹ تا ۱۲ درصد) با ماسک یا قطعه دهانی برای دوره‌های مکرر ۵ تا ۷ دقیقه‌ای با دوره‌های برابر بازیافت در شرایط اکسیژن طبیعی بود. در مجموع مدت آن ۱ تا ۳ ساعت و برای یک تا دو جلسه در روز بود (۴،۸).

برخی از مطالعات، فواید IHT کوتاه مدت (۳ تا ۵ ساعت روزانه به مدت ۲ تا ۴ هفته) را شامل بهبود سازگاری با ارتفاع و افزایش اجراء، غلظت هموگلوبین، هماتوکریت و سلول‌های شبکه‌ای گزارش کردند. با وجود این به دلیل نداشتن گروه کنترل، باید در تفسیر این نتایج دقت بسیاری داشت (۴،۱۵).

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 گلبول‌های 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) آمینزیم یا آسم مزمن و جدی.

1. Intermittent hypoxic training

۴) جوان یا مسن بودن بیش از حد. ۵) بیماری‌های عود کننده حتی در ارتفاع کم. ۶) چاقی بسیار زیاد. ۶) بیماری قندشدید (۷).

افراد سازگار ناپذیر نسبت به تمرین در ارتفاع

تمرین در ارتفاع تاثیرات متنوعی بر روی اجرا در سطح دریا می‌گذارد. برای افزایش تعداد گلبول قرمز خون در نتیجه افزایش تولید اریتروپویتین، ذخایر آهن ورزشکاران باید کافی باشد. افزایش تعداد گلبول قرمز خون جهت هرگونه پیشرفت در VO_{2MAX} ، در نتیجه تمرینات در ارتفاع ضروری است. ورزشکاران زن ممکن است به دلیل خونریزی در دوره قاعدگی، سطح فریتین بدنشان کم باشد و در نتیجه قادر به تامین پیش نیازهای فیزیولوژیکی برای تولید گلبول قرمز خون نباشد. ورزشکارانی که ذخایر آهن بدنشان پایین است باید ۳ هفته یا حتی بیشتر مانده به عزیمت به ارتفاع رژیم غذایی آنها کنترل و مصرف مکمل‌های آهن برای آنها تجویز شود (۶).

بیماری به عنوان یک عامل همراه با اردوهای تمرین در ارتفاع است. افزایش آزاد شدن سیتوکین‌ها که با عفونت‌های ویروسی همراه است از تولید اریتروپویتین جلوگیری می‌کند زیرا مغز استخوان تحت تاثیر افزایش گلبول‌های سفید خون قرار می‌گیرد. افراد دارای عفونت قادر به استفاده از تحریکات ناشی از هیپوکسی ارتفاع نیستند.

علاوه بر این ورزشکاران، آسیب دیده به دلیل واکنش‌های مهارکنندگی ناشی از سیتوکین‌ها قادر به تحریک اریتروپویتین نیستند (۶).

بیماری حاد کوهستان

با صعود به ارتفاع مردم زیادی نشانه‌های گوناگونی را تجربه می‌کنند که در بیماری حاد کوهستان (AMS) مشاهده می‌شود. این نشانه‌ها عبارتند از: سردرد، حالت تهوع، استفراغ، خستگی یا ضعف جلوی چشم، سیاهی رفتن یا تار دیدن، تنگی نفس، بی‌خوابی، دشواری در خوابیدن. این نشانه‌ها نوعاً بین ۶ تا ۹۶ ساعت پس از ورود

به ارتفاع پدیدار می‌شوند. نشانه‌ها به تدریج شروع می‌شوند و معمولاً در روز دوم یا سوم قرارگیری در معرض ارتفاع به اوج خود می‌رسند، در روزهای چهارم یا پنجم نشانه‌ها معمولاً از بین می‌روند و مجدداً در ارتفاع رخ نخواهند داد. AMS اگر گسترش نیابد به نظر نمی‌رسد که بیماری‌ای باشد که زندگی را به خطر اندازد. شیوع AMS، به چندین عامل بستگی دارد که مهم‌ترین آنها با سرعت صعود کردن و رسیدن به ارتفاع است به نظر می‌رسد، کم‌ترین ارتفاعی که در آنها نشانه‌ها پدیدار می‌شود، ارتفاع ۲۵۰۰ متری باشد. ارتفاعی که توسط برخی اسکی‌بازان و کوهنوردان تفریحی نیز ممکن است تجربه شود. سرعت شیوع متفاوت است. اگر مدت اقامت در ارتفاع آنها تنها ۱ تا ۲ ساعت باشد، نشانه‌های AMS قابل صرف نظرند. سازوکار مسئول AMS با اختلالاتی که در تعادل مایعات و الکترولیت‌ها به وجود می‌آید و علت آن شرایط هیپوکسی ناشی از فشار کم است در ارتباط باشد. هیپوکسی باعث می‌شود تا PO_2 افزایش و PCO_2 کاهش یابد که پیامد آن گشاد شدن عروق خونی و ریوی است. این موضوع هم‌چنین می‌تواند نفوذپذیری رگ‌های موئین این ناحیه را افزایش دهد که پیامد آن بیشتر شدن نشت مایعات است. افزایش CO_2 در بافت‌ها و تغییری که در حجم مایعات بوجود می‌آید، باعث جابه‌جایی مایعات از بخش درون سلولی به بخش برون سلولی می‌شود که مسئول نشانه‌های وابسته باشند. به علاوه افزایش مایعات درون سلولی می‌تواند به پیشرفت سریع AMS بیانجامد که پیامد بعدی آن خیز مغزی ناشی از ارتفاع زیاد (HACE) یا خیز ریوی ناشی از ارتفاع زیاد (HAPE) می‌باشد. نشانه‌های HACE همان نشانه‌های AMS می‌باشند. در عین حال آتاکسی، تلو تلو خوردن، برانگیختگی، توهم، دید تاری و از دست دادن هوشیاری می‌توانند نشانه HACE پیشرفته و کشنده باشند. نشانه‌های HAPE نیز مثل علائم دیده شده در AMS است، ولی در اختلال تنفس طبیعی می‌تواند در اثر خیز ریوی بوجود آید. به موازات آن کبود شدن لب‌ها و ناخن‌ها، سردرگمی ذهنی و از دست دادن هوشیاری نیز دیده می‌شوند (۳).

برای به حداقل رساندن خطر AMS توصیه می‌شود تا صعود به آهستگی انجام شود. به علاوه در ارتفاعات بالاتر از ۳۰۰۰ متر، میزان صعود روزانه فقط باید ۳۰۰ متر باشد (۲، ۱۴).

استازولامید و دگزامتازون، داروهایی برای پیشگیری از این بیماری هستند تا از علائم جلوگیری کنند و در زمان آشکار شدن علائم، آنها را درمان کنند (۳،۲). استازولامید دارویی است که عمل انیدرازکربنیک را در کلیه‌ها مهار می‌کند و به افزایش دفع ادراری سدیم، پتاسیم، بی‌کربنات و کاهش دفع منجر می‌شود. این فرآیند به افزایش تولید ادرار (دفع آب بدن) منجر می‌شود که پیامد آن کاهش PH خون است (۲).

راهبردهای تمرینی ویژه برای مسابقه دادن در ارتفاع

۱- بهتر است ورزشکار ۲۴ ساعت مانده به مسابقه، وارد محل مسابقه شود؛ هر چند این ورود زود هنگام، فرصت کافی برای سازگار شدن با ارتفاع به ارمغان نمی‌آورد، ولی به ممانعت از وقوع بیماری ارتفاع هنگام مسابقه کمک می‌کند. نشانه‌های بیماری حاد کوهستان در ۲۴ ساعت نخست قرارگیری در مجاورت ارتفاع به طور کامل پدیدار نمی‌شود (۵،۳،۱۳).

۲- ورزشکار دست کم ۲ هفته قبل از مسابقه وارد محل مسابقه شود تا با ارتفاع سازگار شود. با این وجود، اگر زمان اجازه دهد، وارد شدن به محل ۴ تا ۶ هفته قبل از مسابقه امکان سازگاری کامل‌تری را میسر می‌سازد (۵،۳).

۳- تمرین‌ها باید در ارتفاعات ۱۵۰۰ متری تا ۳۰۰۰ متری انجام شوند. کرانه پایینی یعنی ۱۵۰۰ متری ارتفاعی است که به نظر می‌رسد کم‌ترین ارتفاعی باشد که در آن امکان سازگار شدن با ارتفاع به وجود می‌آید، کرانه بالایی یعنی ارتفاع ۳۰۰۰ متری ارتفاعی است که تصور می‌شود، بالاترین مقدار بهره‌برداری را از یک جلسه تمرینی ثمر بخش میسر سازد (۳،۱۳).

۴- شدت تمرین باید به ۷۰ تا ۶۰ درصد شدت سطح دریا کاهش یابد و ظرف ۱۴ تا ۱۰ روز تدریجاً افزایش یابد (۱۳،۱۵،۳).

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 گلبول های قرمز خون و همگلوبین ۳- افزایش ظرفیت انتشاری ریه ها ۴- افزایش میزان عروق بافت ها ۵- افزایش مصرف اکسیژن سلول ها علی رغم PO_2 پایین؛ که افزایش این عوامل به مداخله گرهای زیادی از جمله سن، جنس، زمان قرارگیری در ارتفاع، ارتفاع محل، آهن موجود در بدن، عفونت موجود در بدن، بیماری ها و... بستگی دارد. هدف اصلی از حضور در شرایط هیپوکسی، افزایش توده سلولی قرمز است، که اوج غلظت اریتروپویتین پس از ۲ روز قرارگرفتن 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. 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 ال، ترجمه: معینی. ضیاء و همکاران. فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی جلد دوم، انتشارات مبتکران. ۱۳۸۸.
- ۶- ریلی. توماس، واترهاوس. جیم، ترجمه: محسن آوندی و همکاران، فعالیت بدنی و فیزیولوژی محیط، چاپ اول، انتشارات نشر علم و حرکت، ۱۳۸۸.
- ۷- هاوستون، چارلز اس. بدن انسان در ارتفاع. ترجمه، مصلحی میلانی، ایرج. انتشارات مبتکران، ۱۳۷۶.
- ۸- فریدون فرا و همکاران. اثر هیپوکسی تناوبی بر شاخص های عملکرد ریوی کوهنوردان. فصل نامه تحقیقات علوم ورزشی، سال اول، شماره ۴، پاییز ۱۳۹۰.

9-Hamlin, M. J., Draper, N., & Hellemans, J. (2013). Real and Simulated Altitude Training and Performance.

10-Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F., & Levine, B. D. (2001). "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. Journal of applied physiology.

11- Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. J Appl Physiol. 1997;83:102-112

- 12-Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol.* 2001;91:1113 –1120.
- 13-Reeves JT, Groves BM, Sutton JR, et al. Operation Everest II: preservation of cardiac function at extreme altitude. *J Appl Physiol.* 1987;63:531–539.
- 14-Grover RF, Lufschanowski R, Alexander JK. Alterations in the coronary circulation of man following ascent to 3,100 m altitude. *J Appl Physiol.* 1976;41:832–838.
- 15- Fulco CS, Rock PB, Cymerman A. Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med.* 1998;69:794– 801.