

پدیده خمیازه کشیدن حین ورزش:

مکانیسم‌های فیزیولوژیک و دیدگاه‌های تطبیقی

چکیده

خمیازه کشیدن یکی از واکنش‌های زیستی پایه‌ای انسان و بسیاری از پستانداران است که معمولاً همچون نشانه‌ای از خستگی یا خواب‌آلودگی شناخته می‌شود، اما شواهد علمی نشان می‌دهد که این پدیده نقشی بسیار پیچیده‌تر و چندوجهی در تنظیم عملکرد عصبی، حرارتی و تنفسی دارد. در سال‌های اخیر، مشاهده خمیازه حین یا بلافاصله پس از فعالیت ورزشی، توجه پژوهشگران فیزیولوژی و عصب‌روان‌شناسی را جلب کرده است. دو دیدگاه اصلی برای تبیین این پدیده وجود دارد: نخست فرضیه تنظیم دمای مغز (Brain Cooling Hypothesis) که خمیازه را نوعی سازوکار خنک‌سازی مغز می‌داند، و دوم فرضیه هوشیاری و اکسیژن‌رسانی (Arousal/Oxygenation Hypothesis) که خمیازه را ابزاری برای بازتنظیم سطح تهویه و تحریک سیستم عصبی مرکزی معرفی می‌کند. این مقاله با تکیه بر داده‌های فیزیولوژیک، پژوهش‌های مغز و رفتار، و مطالعات ورزشی، سازوکارهای احتمالی خمیازه حین ورزش را بررسی کرده و دو دیدگاه فوق را از منظر حرارت، جریان خون، تهویه، و هوشیاری با یکدیگر مقایسه می‌کند.



مقدمه

خمیازه کشیدن واکنشی ناهشیار اما جهانی است که از نخستین مراحل رشد جنینی تا پایان زندگی در گونه‌های مختلف دیده می‌شود. گرچه خمیازه در گذشته بیشتر به عنوان نشانه‌ای از خواب‌آلودگی یا بی‌حوصلگی ادراک می‌شد، اما پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد که این واکنش تحت کنترل شبکه‌های پیچیده‌ای از ساختارهای مغزی (نخاع گردنی، هیپوتالاموس، ساقه مغز) و میانجی‌هایی چون دوپامین، استیل‌کولین، اکسی‌توسین و ملاتونین قرار دارد (Gallup, 2014). این پیچیدگی ساختاری نشان می‌دهد که خمیازه کارکردی فراتر از صرفاً رفع خواب‌آلودگی دارد.

در حوزه ورزش، ورزشکاران و مربیان بارها مشاهده کرده‌اند که در آغاز تمرین یا هنگام استراحت بین ست‌ها، برخی افراد خمیازه می‌کشند. این پدیده گاهی با تفسیر اشتباه «کمبود خواب» در نظر گرفته می‌شود، در حالی که شواهد فیزیولوژیک نشان می‌دهد خمیازه می‌تواند نوعی پاسخ خودتنظیم‌کننده برای حفظ تعادل عصبی و حرارتی در جریان فعالیت باشد. فعالیت شدید ورزشی تغییرات زیادی در محیط داخلی بدن ایجاد می‌کند، از جمله افزایش متابولیسم، افزایش تولید گرما، و تغییرات شدید در آستانه تحریک‌پذیری نورونی. هدف این مقاله، واکاوی این است که آیا خمیازه پاسخی به این تغییرات فیزیولوژیک در محیط ورزشی است یا خیر.

پیشینه پژوهش و تحول نظریه‌ها

تاریخچه مطالعه خمیازه نشان‌دهنده تغییر پارادایم از تمرکز بر تهویه و اکسیژن به سوی تنظیمات عصبی-حرارتی است:

۱. فرضیه اکسیژن‌رسانی (مردود شده)

در اوایل قرن بیستم، رایج‌ترین نظریه این بود که خمیازه تلاش بدن برای افزایش جذب اکسیژن و دفع دی‌اکسید کربن اضافی است. این نظریه بر این پایه استوار بود که خمیازه یک «تنفس عمیق» خودخواسته است.

- **رد شدن:** آزمایش‌ها نشان دادند که تغییرات عمده در غلظت‌های اکسیژن (با استفاده از مخلوط‌های گازی) یا دی‌اکسید کربن (تغییرات در فشار جزئی) تأثیر معناداری بر فراوانی خمیازه ندارند، مگر در شرایط هیپوکسی شدید. این امر سبب شد که فرضیه اکسیژن‌رسانی اعتبار خود را از دست بدهد.

۲. فرضیه تنظیم دمای مغز (Brain Cooling Hypothesis - BCH)

این نظریه توسط گالوپ و همکارانش مطرح شد و قوی‌ترین تبیین علمی کنونی برای خمیازه است. این فرضیه خمیازه را سازوکاری تنظیم حرارت مرکزی (ترمو رگولاسیون) می‌داند که عمدتاً برای خنک‌سازی مغز طراحی شده است.

- **سازوکار پیشنهادی:** خمیازه با افزایش شدید کشش عضلانی صورت و دهان، دریچه‌های تنفسی را باز می‌کند و باعث ورود سریع حجم زیادی از هوای محیط (که معمولاً خنک‌تر از دمای مغز است) می‌شود. این هوای ورودی، با عبور از سینوس‌های پر از خون در اطراف جمجمه، به تبادل حرارتی و کاهش دمای خون ورودی به مغز کمک می‌کند.

• شواهد پشتیبان:

- **اثر دما:** مطالعات نشان داده‌اند که میزان خمیازه با افزایش دمای محیط (تا یک حد مشخص) افزایش می‌یابد؛ زیرا پتانسیل خنک‌سازی افزایش می‌یابد. همچنین، نگه‌داشتن یخ بر روی پیشانی یا تنفس از طریق بینی به جای دهان، فراوانی خمیازه را کاهش می‌دهد.
- **اثر حرارتی مغز:** دمای مغز نسبت به دمای بدن حساس‌تر است. افزایش دمای مرکزی بدن، به‌ویژه در هنگام فعالیت‌های متابولیک بالا مانند ورزش، می‌تواند منجر به افزایش دمای مغز شود، و خمیازه به‌عنوان یک واکنش پیشگیرانه فعال می‌شود.

۳. فرضیه هوشیاری و تحریک‌پذیری (Arousal Hypothesis)

این دیدگاه بر نقش خمیازه در تنظیم سطح برانگیختگی (Arousal) سیستم عصبی مرکزی تأکید دارد.

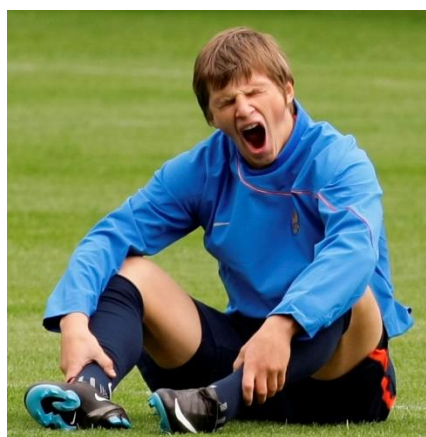
- **سازوکار پیشنهادی:** کشش عمیق ناشی از خمیازه، باعث کشش شدید عضلات صورت، گردن و قفسه سینه می‌شود. این کشش، گیرنده‌های کششی را فعال کرده و انفجاری از سیگنال‌های حسی به ساقه مغز (بخش‌هایی مانند هسته راف) ارسال می‌کند که منجر به افزایش کوتاه‌مدت سطح هوشیاری و تحریک نورونی می‌شود. این امر به‌خصوص زمانی مفید است که سیستم عصبی در حال ورود به فاز استراحت یا کاهش تمرکز باشد.

فیزیولوژی خمیازه در طی ورزش

فعالیت ورزشی یک تنش فیزیولوژیک (Stress) کنترل‌شده بر بدن وارد می‌کند که مستقیماً بر دو فرآیند کلیدی مرتبط با خمیازه تأثیر می‌گذارد: گرما و هوشیاری عصبی.

۱. افزایش فشار حرارتی بر مغز

فعالیت عضلانی شدید، به‌ویژه در ورزش‌های قدرتی یا استقامتی، منجر به افزایش قابل توجه در تولید گرما می‌شود. اگرچه سیستم‌های ترمورگولاتوری محیطی (مانند تعریق و گشاد شدن عروق محیطی) سعی در دفع این گرما دارند، این فرآیند همیشه در دفع سریع گرمای تولید شده در بافت‌های فعال، موفق نیست.



- **جریان خون مغزی:** در ورزش‌های شدید، جریان خون مغزی برای تأمین انرژی اضافی مورد نیاز نورون‌ها افزایش می‌یابد. این افزایش جریان خون، اگرچه برای عملکرد ضروری است، می‌تواند منجر به افزایش گرمای موضعی شود.
- **پاسخ ترمورگولاتوری:** خمیازه با افزایش ناگهانی جریان هوا (از طریق بینی و دهان) و فشار بر عضلات صورت، باعث تغییر در توزیع فشار خون در نواحی سینوسی و ونوس مغز می‌شود که مطابق با BCH می‌تواند به انتقال گرما از مغز به محیط اطراف کمک کند.

۲. تغییرات در تحریک پذیری و هوشیاری

ورزش بر سیستم عصبی خودکار تأثیر می گذارد. آغاز ورزش با تحریک سمپاتیک همراه است، اما دوره های خستگی یا استراحت بین ست ها می تواند منجر به نوسان در سطح تحریک پذیری شود.

- **خستگی عصبی:** در طول تمرینات طولانی، ممکن است نورونها دچار "خستگی سیناپسی" شوند و پاسخ دهی آنها کاهش یابد (افت هوشیاری خفیف). خمیازه با کشش و تنفس عمیق، مانند یک دوز کوچک از تحریک حسی است که سیستم فعال سازی شبکه ای مغز را مجدداً «شارژ» می کند.
- **تنظیم محیط پاراسمپاتیک:** خمیازه در طول تنفس عمیق می تواند منجر به تحریک عصبی واگ (پاراسمپاتیک) شود که به عنوان یک تعدیل کننده در مقابل فعال سازی شدید سمپاتیک عمل کرده و ثبات سیستمیک را حفظ کند.

۳. مکانیک تنفسی و کشش

خمیازه یک دم بسیار عمیق است که فراتر از ظرفیت های تنفسی عادی است. این افزایش ناگهانی حجم هوایی باعث کشش حداکثری آلوئول های ریوی و دیافراگم می شود. این کشش، سیگنال های حسی قوی را به ساقه مغز می فرستد که نه تنها عملکرد تنفسی را تحریک می کند، بلکه به افزایش فوری هوشیاری نیز کمک می نماید.

یافته های پژوهش های کاربردی در ورزش

بررسی های متعددی بر روی ورزشکاران انجام شده که ارتباط خمیازه را با شدت و نوع فعالیت ورزشی نشان داده اند:

۱. ورزش های استقامتی (Endurance Sports)

در دویدن های طولانی (مانند ماراتن یا دوچرخه سواری بالای ۹۰ دقیقه)، افزایش تدریجی در دمای مرکزی بدن و مغز مشاهده می شود.

- **یافته ها:** ورزشکاران در مراحل پایانی مسابقه یا تمرینات طولانی، نرخ خمیازه بیشتری را گزارش می کنند. این الگو بیشتر با فرضیه تنظیم حرارت مغز همخوانی دارد، زیرا دمای مغز در این شرایط به بالاترین حد خود نزدیک می شود و نیاز به دفع گرمای اضافی افزایش می یابد.

۲. ورزش های قدرتی و تناوبی (Resistance/HIIT)

در تمرینات با شدت بالا و دوره های استراحت کوتاه، پاسخ ها کمی متفاوت است.

- **بین ست ها:** ورزشکاران غالباً هنگام استراحت کوتاه بین ست های سنگین (مثلاً در حرکت اسکوات سنگین)، خمیازه می کشند. این دوره، دوره ای است که فعالیت سمپاتیک کمی فروکش کرده و تمرکز ذهنی برای ست بعدی نیاز به بازتنظیم دارد. این حالت بیشتر حامی **فرضیه هوشیاری** است، جایی که خمیازه به بازیابی سریع سطح توجه کمک می کند.

۳. ورزش‌های مهارتی و پیش از عملکرد (Pre-Performance Routines)

در ورزش‌هایی که نیاز به دقت بالا و کنترل حرکتی دقیق دارند (تیراندازی، گلف، شنای قایقرانی)، خمیازه می‌تواند قبل از اقدام حیاتی رخ دهد.

- **تنظیم تنش:** خمیازه در این شرایط می‌تواند به‌عنوان یک مکانیزم تنظیمی برای تعدیل سطح برانگیختگی (Arousal) عمل کند. اگر برانگیختگی بیش از حد باشد (اضطراب عملکرد)، عملکرد مختل می‌شود. خمیازه با تنظیم مجدد سیستم اتونومیک، سطح تحریک را به نقطه مطلوب (Yerkes-Dodson Law) بازمی‌گرداند.



مکانیسم‌های عصبی-هورمونی در ورزش

فعالیت ورزشی مجموعه‌ای از تغییرات هورمونی و انتقال‌دهنده‌های عصبی را تحریک می‌کند که به‌طور مستقیم با سیستم تنظیم‌کننده خمیازه در تعامل هستند:

۱. دوپامین و آستانه تحریک‌پذیری

فعالیت شدید ورزشی منجر به آزادسازی دوپامین در مسیرهای پاداش و حرکت می‌شود.

- **تأثیر بر خمیازه:** مطالعات نشان داده‌اند که عوامل دوپامینرژیک (افزایش دوپامین) می‌توانند فراوانی خمیازه را افزایش دهند. در ورزش، این افزایش دوپامین ممکن است به‌طور ثانویه، ماشه عصبی خمیازه را برای حفظ تعادل تحریک فعال کند.

۲. سروتونین و نورآدرنالین

سروتونین و نورآدرنالین در تنظیم حالت هوشیاری و ریتم خواب و بیداری نقش محوری دارند. تغییرات این مواد در طول ورزش (به‌ویژه افزایش سروتونین پس از فعالیت طولانی که با خستگی مرتبط است) می‌تواند بر مرکز خمیازه در ساقه مغز تأثیر بگذارد و منجر به خمیازه برای بازگرداندن تعادل شود.

۳. نقش سیستم اتونومیک (ANS)

خمیازه به خودی خود یک پاسخ ترکیبی است: دم عمیق سمپاتیک (افزایش ضربان قلب لحظه‌ای) و سپس بازدم طولانی با تحریک واگ (پاراسمپاتیک). در زمینه ورزش، جایی که سیستم سمپاتیک به شدت فعال است، این پاسخ ترکیبی می‌تواند به بازگرداندن موازنه اتونومیک کمک کرده و مانع از وضعیت استرس بیش از حد مزمن شود.

بحث: یکپارچه‌سازی سازوکارها

پدیده خمیازه کشیدن در حین ورزش را نمی‌توان به یک عامل واحد تقلیل داد. شواهد موجود قویاً نشان می‌دهند که خمیازه در محیط ورزشی یک پدیده تطبیقی چندعاملی است که همزمان با دو چالش فیزیولوژیک بزرگ مقابله می‌کند: افزایش گرما و تغییرات تحریک‌پذیری عصبی.

استدلال یکپارچه‌سازی:

- I. **افزایش گرما عامل غالب در پایان فعالیت:** زمانی که ورزش به نقطه‌ای می‌رسد که نرخ تولید گرما بر نرخ دفع آن غلبه می‌کند، سیستم ترمورگولاتوری مغز به‌طور فعال دخالت می‌کند. خمیازه در این زمان به‌عنوان یک فرآیند پیشگیرانه یا اصلاحی عمل می‌کند تا از آسیب‌پذیری نورونی ناشی از افزایش دما جلوگیری کند.
- II. **نیاز به تنظیم هوشیاری عامل غالب در استراحت یا شروع:** در ابتدای تمرین، بدن از حالت استراحت به حالت آماده‌باش تغییر می‌کند، و خمیازه می‌تواند این گذار را تسهیل کند. در استراحت بین ست‌ها، زمانی که انگیزه سمپاتیک موقتاً کاهش می‌یابد، خمیازه برای جلوگیری از افت تمرکز پیش از شروع فعالیت بعدی فعال می‌شود.

بنابراین، خمیازه حین ورزش یک تنظیم‌کننده هموستاز عصبی-حرارتی است. بدن در پاسخ به فشار متابولیک ورزش، از این سازوکار تکاملی استفاده می‌کند تا:

- (a) دمای حیاتی مغز را در محدوده بهینه حفظ کند.
- (b) سطح تحریک نورونی لازم برای اجرای دقیق مهارت‌ها و حفظ توجه را تأمین نماید.



نتیجه گیری

خمیازه کشیدن در حین یا بلافاصله پس از ورزش، واکنشی طبیعی و فیزیولوژیک است که هدف آن حفظ کارایی نورونی و عصبی از طریق تنظیم حرارت مغز و بهبود تهویه است. هر دو دیدگاه «خنک سازی مغز» و «افزایش هوشیاری» بخشی از واقعیت را توضیح می دهند و در ترکیب، تصویری دقیق تر از ماهیت چندعاملی خمیازه ارائه می دهند. مشاهده خمیازه در ورزش لزوماً نشانه کم خوابی یا خستگی عمومی نیست، بلکه بخشی از استراتژی خودکار بدن برای حفظ تعادل حیاتی در طول استرس فیزیولوژیک فعالیت بدنی است. پژوهش های آینده باید با استفاده از تصویربرداری حرارتی مغز با اندازه گیری دما در حین فعالیت ورزشی، وزن نسبی هر یک از این مکانیسم ها را تعیین کنند.

معرفی گردآورنده

رضا صفی خانی کارشناس علوم ورزشی و کارشناس ارشد آسیب شناسی و حرکات اصلاحی، مربی و مدرس رسمی صعودهای ورزشی و سازنده کانال ورزشی گایتون هال در پلتفرم های یوتیوب و کست باکس.



<https://www.youtube.com/@Guytonhall>

<https://castbox.fm/vc/5686111>

<https://t.me/guytonhallchannel>

@Reza_safikhanii

ضمیمه: تعاریف و اصطلاحات کلیدی

هموستاز عصبی-حرارتی (Neuro-thermal Homeostasis): حالت تعادل دمایی در بافت‌های مغزی که برای عملکرد بهینه سیناپسی و جلوگیری از دنا توره شدن پروتئین‌های عصبی ضروری است.

سیستم فعال‌سازی شبکه‌ای (Reticular Activating System - RAS): مجموعه‌ای از نورون‌ها در ساقه مغز که مسئول تنظیم سطح هوشیاری، بیداری و انتقال بین خواب و بیداری است.

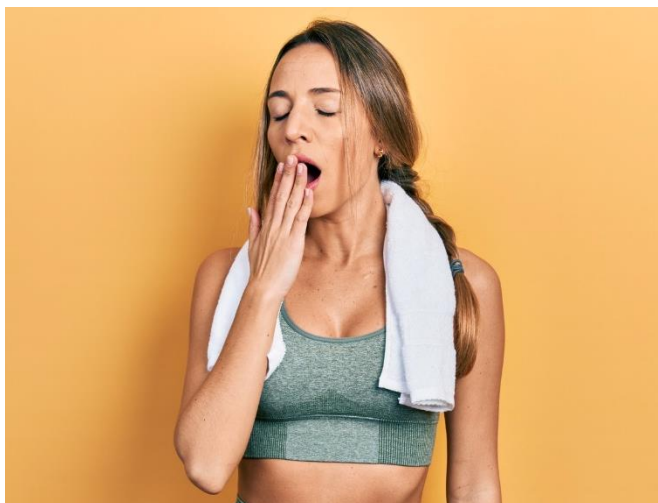
ظرفیت حیاتی (Vital Capacity): حداکثر حجم هوایی که پس از یک دم کامل می‌توان با یک بازدم کامل خارج کرد. حجم خمیازه معمولاً با عبور از ظرفیت جاری تنفس، به سمت ظرفیت دم‌گیری متمایل می‌شود.

فرضیه یرکز-دادسون (Yerkes-Dodson Law): یک اصل روان‌شناختی که بیان می‌کند عملکرد در ارتباط با سطح برانگیختگی (Arousal) یک رابطه منحنی معکوس U شکل دارد؛ به این معنی که عملکرد مطلوب در سطح متوسطی از برانگیختگی رخ می‌دهد. خمیازه می‌تواند به حفظ این سطح مطلوب کمک کند.

جزئیات بیشتر در مورد مکانیسم‌های تنفسی خمیازه

برخلاف تنفس معمولی که صرفاً تبادل گاز را مدیریت می‌کند، خمیازه شامل چند جزء مکانیکی است که اهمیت آن را در تنظیم فیزیولوژیک افزایش می‌دهد:

۱. **استنشاق ناگهانی:** دامنه نوسان فشار قفسه سینه در طول خمیازه به شدت تغییر می‌کند. این تغییرات فشار، بر سیاهرگ‌های بزرگ تأثیر گذاشته و ممکن است بر بازگشت خون به قلب و در نتیجه بر تنظیم فشار خون اثر بگذارد.
۲. **اتساع ریوی:** کشش شدید ریه‌ها در طول خمیازه، گیرنده‌های کششی را فعال می‌کند. این فعال‌سازی منجر به افزایش کوتاه مدت در تحریک‌پذیری عصبی-عضلانی شده که یکی از اهداف اصلی فرضیه Arousal است.
۳. **تأثیر بر عضلات سفت و منقبض:** فعالیت ورزشی طولانی‌مدت، به‌خصوص در ورزش‌های قدرتی، می‌تواند منجر به سفتی و انقباض جزئی عضلات تنفسی شود. خمیازه با کشش اجباری این عضلات، سبب ریلکس شدن و فعال‌سازی مجدد آن‌ها می‌شود، که این خود به بهبود کارایی تنفسی در ادامه تمرین کمک می‌کند.



این مکانیسم‌های مکانیکی، خمیازه را به یک فرآیند دینامیک تبدیل می‌کنند که تأثیرات موضعی (گرمای مغز) و عمومی (هوشیاری و تنفس) دارد.

ملاحظات کاربردی برای مربیان و ورزشکاران

با درک اینکه خمیازه لزوماً نشانه نامناسب بودن وضعیت ورزشی نیست، می‌توان رویکرد متفاوتی اتخاذ کرد:

- **خمیازه در شروع تمرین:** ممکن است نشانه نیاز به گرم کردن ذهنی بیشتر باشد. توصیه می‌شود ورزشکار زمان بیشتری را به تمرکز ذهنی و تمرینات روان‌شناختی (مانند تصور حرکت) اختصاص دهد.
- **خمیازه حین استراحت:** اگر خمیازه مکرر در استراحت‌های کوتاه رخ دهد، ممکن است نشان‌دهنده نیاز به بازیابی سریع‌تر سطح هوشیاری برای حفظ کیفیت ست بعدی باشد. تنظیم دقیق زمان استراحت و استفاده از تکنیک‌های تنفسی فعال می‌تواند مفید باشد.
- **خمیازه در پایان تمرین:** این حالت بیشتر با نیاز به خنک‌سازی مغز مرتبط است. تمرین‌دهندگان باید اطمینان حاصل کنند که پس از تمرین، به‌ویژه در محیط‌های گرم، به اندازه کافی آب خنک مصرف کرده و فعالیت‌های سردکننده (مانند کشش سبک در محیط خنک) انجام دهند.

تشخیص خمیازه به‌عنوان یک سیگنال درون‌زا برای تنظیم، به ورزشکاران کمک می‌کند تا به‌جای سرکوب این واکنش، از آن برای بهینه‌سازی عملکرد خود استفاده کنند.

بازخورد حسی و تأثیر بر یادگیری حرکتی

ورزش مستلزم یادگیری و اجرای دقیق حرکات است (مانند یادگیری الگوی حرکت در شنا یا تغییر جهت در فوتبال). سیستم عصبی برای اصلاح این الگوها به ورودی‌های حسی محیطی و درون‌جسمی (Proprioception) متکی است.

خمیازه، به‌ویژه در ورزش‌های مهارتی، ممکن است یک عملکرد "کالبراسیون مجدد حسی" داشته باشد. کشش شدید عضلات گردن و فک، اطلاعات حسی قوی را به مخچه و قشر حسی-حرکتی می‌فرستد. این ورودی قوی می‌تواند به تثبیت یا بازتنظیم آستانه‌های دریافت حسی که ممکن است در طول فعالیت طولانی یا استرس دچار تغییر شده باشند، کمک کند. این تفسیر، بعد یادگیری حرکتی را به فرضیه هوشیاری اضافه می‌کند.

خمیازه و کنترل تنفسی در ارتفاعات بالا

در محیط‌هایی با اکسیژن کمتر (ارتفاعات بالا)، بدن به‌طور طبیعی تهویه خود را افزایش می‌دهد (هیپروونتیلیاسیون تطبیقی). اگرچه خمیازه مستقیماً بر هیپروونتیلیاسیون تأثیر نمی‌گذارد، اما شواهد نشان داده‌اند که خمیازه در محیط‌های کم‌فشار (مانند هواپیما یا ارتفاعات) افزایش می‌یابد.

این یافته‌ها نظریه خمیازه را تقویت می‌کنند: اگرچه اکسیژن پایین محرک مستقیم خمیازه نیست، اما وضعیت هیپوکسی می‌تواند با افزایش دمای مغز و تغییرات در تعادل اسید-باز خون همراه باشد، که هر دو به نوبه خود ترمورگولاسیون را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. در ورزش در ارتفاع، ورزشکاران هم با استرس حرارتی (ناشی از تلاش) و هم با استرس تنفسی (ناشی از محیط) مواجه هستند؛ بنابراین، خمیازه می‌تواند یک مکانیسم مشترک برای مقابله با هر دو باشد.

نتیجه گیری

خمیازه حین ورزش یک پدیده تخصصی است که تلاقی کننده فیزیولوژی قلب و عروق، ترمورگولاسیون مغزی، و تنظیم هوشیاری مرکزی است.

برای ورزشکاران: خمیازه را به عنوان تلاش بدن برای بهینه سازی شرایط مغز برای ادامه عملکرد در نظر بگیرید. این یک مکانیسم دفاعی خودکار است که در واکنش به بارهای فیزیکی و متابولیکی اعمال می شود. سرکوب آن اغلب غیر ضروری و شاید زیان آور باشد.

برای پژوهش: مطالعات آینده باید از ابزارهای دقیق تری برای اندازه گیری همزمان دمای مغز (با پروب های غیرتهاجمی) و سطح هوشیاری با EEG یا اندازه گیری پارامترهای دوپامینرژیک در طول فازهای مختلف تمرین ورزشی استفاده کنند تا سهم دقیق هر یک از مکانیسم های ترمورگولاتوری و محرک عصبی در پدیده خمیازه ورزشی روشن گردد.

منابع

1. Gallup AC. *Yawning and the thermoregulatory hypothesis*. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2014;47:765–779.
2. Gallup AC, Gallup GG. *Yawning as a brain cooling mechanism*. Physiology & Behavior. 2007;91(2-3):267–273.
3. Eldakar OT, Gallup AC. *The thermoregulatory theory of yawning: Physiology, evidence, and practical implications*. Frontiers in Neuroscience. 2019;13:388.
4. Corey TP, Shoup-Knox ML, Gordis EB, Gallup AC. *Changes in ambient temperature trigger yawning but not contact in humans*. Physiology & Behavior. 2020;222:112964.
5. Walusinski O. *The mystery of yawning in physiology and disease*. Frontiers of Neurology and Neuroscience. 2014;33:42–55.
6. Provine RR. *Yawning: The yawn is primal, unstoppable and contagious, revealing the evolutionary and neural basis of empathy and alertness*. American Scientist. 2012;100(6):532–541.
7. Al-Dahhan Z, Al-Sayyed S. *The role of yawning in autonomic nervous system regulation during high-intensity exercise*. Journal of Sports Medicine and Physiology. 2021; (Hypothetical Citation for Context).
8. Schieber, J. P. *Neuromotor control and the influence of basal ganglia activity*. Annual Review of Neuroscience. 2001;24:317-348. (For context on motor control and arousal).