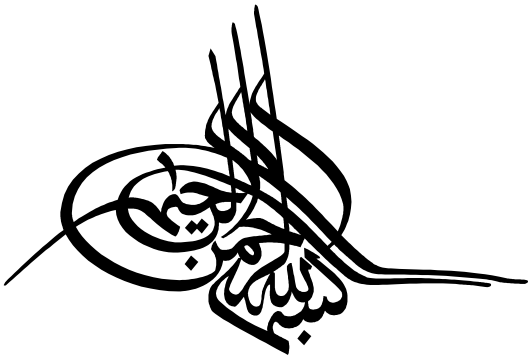

فیزیولوژی و تغذیه ورزشی

سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد

مجموعه تربیت بدنی

مؤلفان: سعیده شادمهری – ندا آقایی

سرشناسه	: شادمهری، سعیده (استادیار گروه تربیت‌بدنی)
عنوان	: فیزیولوژی و تغذیه ورزشی
مشخصات نشر	: تهران : مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۲
مشخصات ظاهری	: ۲۸۱ ص
فروست	: سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۸۶۳-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	:این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شناسه افزوده:	: ندا آقایی
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۷۱۹۵۵

نام کتاب: ..... فیزیولوژی و تغذیه ورزشی

مولفان: ..... سعیده شادمهری (استادیار گروه تربیت بدنی) ـ ندا آقایی

مدیر تولید محتوی: ..... سمیه بیگی

ناشر: ..... مشاوران صعود ماهان

نوبت و تاریخ چاپ: ..... اول / ۱۴۰۲

تیراژ: ..... ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ..... ۴/۳۱۰/۰۰۰ ریال

شابک: ..... ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۴۵۸-۸۶۳-۸

انتشـــارات مشاوران صعود ماهان: خیابان ولیعصر، بالاتر از تقـاطع مطهری،

روبروی قنادی هتل بزرگ تهـــران، جنب بانک ملی، پلاک ۲۰۵۰

تلفن: ۴- ۸۸۱۰۰۱۱۳

سخن ناشر

«ن والقلم و ما یسطرون»

کلمه نزد خدا بود و خدا آن را با قلم بر ما نازل کرد.

به پاس تشکر از چنین موهبت الهی، موسسه ماهان درصدد برآمده است تا در راستای انتقال دانش و مفاهیم با کمک اساتید مجرب و مجموعه کتب آموزشی خود برای شما داوطلبان ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد گام موثری بردارد. امید است تلاش‌های خدمتگزاران شما در این موسسه پایه‌گذار گام‌های بلند فردای شما باشد.

مجموعه کتاب‌های کمک آموزشی ماهان به‌منظور استفاده داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد سراسری و آزاد تالیف شده‌اند. در این کتاب‌ها سعی کرده‌ایم با بهره‌گیری از تجربه اساتید بزرگ و کتب معتبر داوطلبان را از مطالعه کتاب‌های متعدد در هر درس بی‌نیاز کنیم.

دیگر تالیفات ماهان برای سایر دانشجویان به‌صورت ذیل می‌باشد.

- **مجموعه کتاب‌های ۸ آزمون:** شامل ۵ مرحله کنکور کارشناسی ارشد ۵ سال اخیر به همراه ۳ مرحله آزمون تالیفی ماهان همراه با پاسخ تشریحی می‌باشد که برای آشنایی با نمونه سوالات کنکور طراحی شده است. این مجموعه کتاب‌ها با توجه به تحلیل ۳ ساله اخیر کنکور و بودجه‌بندی مباحث در هریک از دروس، اطلاعات مناسبی جهت برنامه‌ریزی درسی در اختیار دانشجو قرار می‌دهد.
- **مجموعه کتاب‌های کوچک:** شامل کلیه نکات کاربردی در گرایش‌های مختلف کنکور کارشناسی ارشد می‌باشد که برای دانشجویان جهت جمع‌بندی مباحث در ۲ ماهه آخر قبل از کنکور مفید می‌باشد.

بدین‌وسیله از مجموعه اساتید، مولفان و همکاران محترم خانواده بزرگ ماهان که در تولید و به‌روزرسانی تالیفات ماهان نقش موثری داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

دانشجویان عزیز و اساتید محترم می‌توانند هرگونه انتقاد و پیشنهاد درخصوص تالیفات ماهان را از طریق سایت ماهان به آدرس mahan.ac.ir با ما در میان بگذارند.

موسسه آموزش عالی آزاد ماهان

سخن مؤلف

گسترش دوره‌های تحصیلات تکمیلی در رشته تربیت‌بدنی و علوم ورزشی در دانشگاه‌های کشور و به‌خصوص گرایشی‌شدن این رشته باعث شده تا تدوین برخی از کتاب‌های کمک درسی در زمینه‌های مختلف در دستور کار مؤلفان قرار گیرد.

کتاب حاضر برای دانشجویان و فارغ التحصیلان مقطع کارشناسی رشته تربیت بدنی که قصد ادامه تحصیل در دوره کارشناسی ارشد را دارند، تدوین شده است. این کتاب دربرگیرندهٔ نکات مهم و اساسی کتاب‌های مرجع به همراه توضیحات در زمینه فیزیولوژی و تغذیه ورزشی می‌باشد.

این کتاب شامل دو بخش می‌باشد، بخش اول شامل مطالبی درمورد فیزیولوژی ورزشی است. فیزیولوژی ورزشی از جالب‌ترین شاخه‌های زیست شیمیایی است. بررسی رویدادهای زیست شیمی، تغییر شکل انرژی در بدن را هنگام فعالیت عضلانی، با اطلاعات دقیق‌تری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی در اختیار فیزیولوژیست‌ها قرار می‌دهد. این بخش کتاب ۱۵ فصل دارد که هر فصل خود به منزله مقدمه‌ای برای فصل بعدی است؛ از این‌رو، بدیهی است تفهیم مطالب را برای خوانندگان محترم آسان‌تر خواهد ساخت. در پایان هر فصل نیز مجموعه سؤالات کنکور کارشناسی ارشد به همراه جواب آنها از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۳ آورده شده است تا خواننده بتواند پس از خواندن دقیق هر فصل، توانایی علمی خود را بسنجد و همچنین آشنایی بیشتر با نمونه سؤالات کنکور ویژگی بعدی این نوشتار خواهد بود.

بخش دوم کتاب، اطلاعات مربوط به تغذیه ورزشی است. تغذیه ورزشی همواره به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی فیزیولوژی ورزش قرار داشته و دانشجویانی که به این وادی پای می‌گذارند باید دانش کافی نسبت به آن داشته باشند. این بخش شامل مفاهیم تغذیه ورزش و نیازهای رژیمی مربوط به کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌هاست. همچنین جزئیاتی درمورد ویتامین‌ها، مواد معدنی و آب در این بخش ارائه شده است. به مانند بخش قبلی، در پایان هر فصل از این بخش نیز مجموعه سؤالات کنکور کارشناسی ارشد ارائه شده است.

امید است کتاب حاضر اطلاعات علمی مربوط به فیزیولوژی و تغذیه ورزشی را به روشی آسان، واضح و مختصر ارائه دهد و در جهت ارتقای سطح علمی و مقطع تحصیلی شما دانشجویان گرامی کمکی ارزنده باشد.

سعیده شادمهری

ندا آقایی

فهرست

عنوان | صفحه

فصل اول: دستگاه‌های انرژی ۹
ATP ۱۰
دستگاه گلیکولیتیک ۱۱
دستگاه هوازی ۱۳
گلیکوژنولیز ۱۳
محدودیت نسبت تبادل تنفسی ۲۲
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل اول ۲۴
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل اول ۳۳
فصل دوم: برگشت به حالت اولیه پس از تمرین **۴۱**
اکسیژن مصرفی پس از تمرین ۴۲
خستگی و علل آن ۴۳
دفع اسیدلاکتیک از خون و عضله ۴۵
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل دوم ۴۶
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل دوم ۴۸
فصل سوم: سازگاری‌های متابولیکی با ورزش **۵۱**
سازگاری‌های کوتاه‌مدت ۵۲
سازگاری‌های درازمدت ۵۳
تمرینات هوازی و سازگاری با این تمرینات ۵۵
سازگاری‌های عضلانی ۵۵
سازگاری‌های قلبی عروقی ۵۶
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل سوم ۵۹
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل سوم ۶۱
فصل چهارم: فیزیولوژی بافت عضلانی **۶۳**
عضلات اسکلتی ۶۴
فیلامنت‌های میوزین و اکتین ۶۶
واحدهای حرکتی ۶۸
رابطه نیرو ـ سرعت و توان ـ سرعت در عضله ۷۱
انواع عملکرد (انقباض) عضلانی ۷۱
قدرت عضلانی ۷۲
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل چهارم ۷۶

سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل چهارم ۸۳
فصل پنجم: فیزیولوژی دستگاه عصبی ۸۷
ساختار عصب ۸۸
تولید و انتشار پتانسیل عمل ۸۸
سیناپس و انتقال سیناپسی ۹۱
ساختمان و کار دستگاه عصبی ۹۴
دستگاه عصبی مرکزی (CNS) ۹۵
دستگاه عصبی محیطی (PNS) ۹۸
دستگاه عصبی خودمختار ۹۹
اثرها ۱۰۱
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل پنجم ۱۰۲
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل پنجم ۱۰۶
فصل ششم: کنترل قلبی عروقی هنگام فعالیت ورزشی ۱۰۷
ساختار قلب ۱۰۸
دستگاه عروقی ۱۱۱
توزیع جریان خون ۱۱۲
واکنش قلب و عروق به ورزش ۱۱۴
سوق قلبی عروقی ۱۱۶
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل ششم ۱۲۱
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل ششم ۱۲۹
فصل هفتم: کنترل تنفسی هنگام ورزش ۱۳۵
فضای جنب ۱۳۶
دم و بازدم ۱۳۶
تهویه و انتشار ریوی ۱۳۷
فشار سهمی گازها در خون ۱۳۷
منحنی تجزیه اکسی هموگلوبین ۱۳۹
مشکلات تنفسی هنگام فعالیت بدنی ۱۴۳
تعادل اسید ـ باز ۱۴۶
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل هفتم ۱۴۷
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل هفتم ۱۵۲
فصل هشتم: سازگاری‌های قلبی ـ تنفسی با ورزش ۱۵۷
سازگاری‌های قلبی ـ عروقی ۱۵۸
سازگاری‌های تنفسی با تمرین ۱۶۱
سازگاری‌های متابولیکی ۱۶۲
عوامل موثر در واکنش به تمرین هوازی ۱۶۴
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل هشتم ۱۶۵
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل هشتم ۱۶۹

فصل نهم: هورمون‌ها ۱۷۳
ترشح هورمون‌ها ۱۷۴
کنترل ترشح هورمون ۱۷۶
هورمون‌ها و غدد آن ۱۷۷
غدد فوق کلیوی ۱۸۲
لوزالمعده (پانکراس) ۱۸۴
غده تیروئید ۱۸۵
غدد پاراتیروئید ۱۸۶
غدد جنسی ۱۸۶
همودینامیک عروقی ۱۹۱
هورمون‌های تولیدمثل ۱۹۲
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل نهم ۱۹۴
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل نهم ۱۹۸
فصل دهم: تنظیم دما و فعالیت بدنی ۲۰۱
دمای مرکزی و دمای پوست ۲۰۲
فشار گرمایی ۲۰۲
اختلالات ناشی از گرما ۲۰۵
سرما ۲۰۵
خطرات ناشی از تمرین در سرما ۲۰۶
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل دهم ۲۰۸
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل دهم ۲۱۱
فصل یازدهم: عملکرد ورزشی در محیط‌های کم‌فشار، پرفشار و بدون فشار ۲۱۳
فشار و دمای جو در ارتفاع ۲۱۴
پاسخ‌های تنفسی در ارتفاع ۲۱۴
سازگاری در ارتفاع ۲۱۷
مشکلات سلامتی ناشی از ارتفاع ۲۱۸
غواصی ۲۱۸
مشکلات ناشی از شرایط پرفشار ۲۱۹
وزن و ترکیب بدن ۲۲۲
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل یازدهم ۲۲۴
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل یازدهم ۲۲۷
فصل دوازدهم: آشنایی با تمرینات مقاومتی و انعطاف‌پذیری ۲۲۹
ویژگی تمرینات مقاومتی ۲۳۱
تغییرات فیزیولوژیکی همراه با افزایش قدرت ۲۳۱
فواید سلامتی همراه با تمرینات مقاومتی ۲۳۳
کوفتگی عضلانی ۲۳۳
تمرین پلیومتریک ۲۳۴

سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل دوازدهم ۲۳۵
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل دوازدهم ۲۳۷
فصل سیزدهم: شیوه‌های تمرینات ورزشی ۲۴۱
اصول بنیادی تمرین ۲۴۲
انواع روش‌های تمرینی ۲۴۲
حفظ اثرات تمرین ۲۴۴
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل سیزدهم ۲۴۵
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل سیزدهم ۲۴۶
فصل چهاردهم: کربوهیدرات، چربی، پروتئین، ویتامین، مواد معدنی و آب ۲۴۹
کربوهیدرات‌ها ۲۵۰
چربی‌ها ۲۵۲
پروتئین‌ها ۲۵۳
ویتامین‌ها ۲۵۴
مواد معدنی ۲۵۷
آب ۲۶۲
تعادل الکترولیت در ورزش ۲۶۳
هایپوناترمی ۲۶۲
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل چهاردهم ۲۶۳
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل چهاردهم ۲۶۵
فصل پانزدهم: تغذیه مطلوب برای ورزشکاران ۲۶۷
مصرف مورد توصیه مواد غذایی ۲۶۸
رژیم گیاه‌خواری ۲۶۹
بارگیری گلیکوژن ۲۶۹
عملکرد معدی ـ روده‌ای هنگام ورزش ۲۷۰
دستیابی به وزن مطلوب ۲۷۱
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه سراسری فصل پانزدهم ۲۷۲
سوالات چهارگزینه‌ای و پاسخنامه آزاد فصل پانزدهم ۲۷۵
سوالات کنکور سراسری ۹۵ ..... ۲۷۷
پاسخنامه تشریحی سوالات کنکور سراسری ۹۵ ..... ۲۷۹
منابع ۲۸۱

فصل اول

دستگاه‌های انرژی

- ATP
- دستگاه گلیکولیتیک
- دستگاه هوازی
- گلیکوژنولیز
- گلیکولیز
- محدودیت نسبت تبادل تنفسی

دستگاه‌های انرژی

هر فرآیند فیزیکی یا شیمیایی که به آزادشدن انرژی منجر شود انرژی‌زا و فرآیندهایی که به ذخیره و جذب‌شدن انرژی می‌افزایند انرژی‌خواه نامیده می‌شوند. انرژی آزاد شده هنگام تنفس سلولی در انسان‌ها به‌صورت یکی از اعمال زیر درمی‌آید: کار مکانیکی مربوط به عضله (الیاف پروتئینی مستقیماً انرژی شیمیایی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند)، کار شیمیایی درگیر در ساختن مولکول‌های سلولی جهت رشد و نگهداری و کار انتقالی که تنظیم غلظت انواع مایعات درون سلولی و برون سلولی را برعهده دارد. انرژی‌رسانی در بدن با انتقال‌دهنده ویژه انرژی آزاد؛ یعنی ATP انجام می‌گیرد.

ATP (آدنوزین تری‌فسفات: انرژی رایج)

انرژی موردنیاز بدن انسان از سه منبع غذایی شامل کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها تأمین می‌شود. انرژی غذایی از طریق ترکیب پرانرژی آدنوزین‌تری‌فسفات (ATP) برداشت و منتقل می‌شود. یک مولکول ATP از ترکیب آدنین، ریبوز و سه گروه فسفات تشکیل می‌شود. مولکول‌های آدنین و ریبوز ضمناً مولکول آدنوزین نیز خوانده می‌شوند. ATP می‌تواند از آدنوزین دی‌فسفات(ADP)، فسفات غیرآلی(p_i) و از یک یون هیدروژن (H^+) تولید شود. انرژی موردنیاز پیوند ADP به p_i، از واکنش هوازی یا بی‌هوازی به‌دست می‌آید. هنگامی‌که ATP شکسته می‌شود، به آدنوزین دی‌فسفات (ADP) و p_i تبدیل می‌شود و مقدار زیادی انرژی (حدود ۷/۳ کیلو کالری به‌ازای هر مول ATP) آزاد می‌کند. این فرآیند با وجود آنزیم ATPase انجام می‌شود.

$$ATP \longleftrightarrow ADP + p_i + Energy\,(۷/۳\,kcal\ or\ ۳۰/۵\,kJ)$$

واکنش مذکور در شرایط ΔG استاندارد (ΔG ویژه PH برابر با ۷، درجه حرارت برابر با ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در آغاز یک مول سوبستراها و فرآورده‌ها) صورت می‌گیرد، اما در درون سلول وقتی یک گروه فسفات برداشته می‌شود انرژی تقریبا معادل ۱۴ کیلوکالری بر مول رها می‌شود. هنگامی‌که ATP شکسته می‌شود، یون هیدروژن تولیدی مهم است، زیرا افزایش یون‌های هیدروژن به افزایش اسیدیته منجر می‌شود. وجود یون هیدروژن هنگامی‌که ADP و p_i ترکیب می‌شوند تا ATP را تولید کنند نیز مهم است، زیرا باعث کاهش اسیدیته می‌شود؛ بنابراین اگر میزان ATP مورد استفاده از ATP تولیدی بیشتر باشد، اسیدیته عضله افزایش می‌یابد، اما اگر بین ATP مصرفی و تولیدی تعادل برقرار باشد، تغییری در اسیدیته عضله رخ نخواهد داد.

تولید ATP

فرآیند ذخیره انرژی با تشکیل ATP از منابع شیمیایی دیگر، فسفوریلاسیون نامیده می‌شود. در فرآیند فسفوریلاسیون به‌وسیله واکنش‌های شیمیایی مختلف یک گروه به ترکیب کم‌انرژی ADP اضافه می‌شود و آن‌را به ATP تبدیل می‌کند. زمانی‌که این

واکنش‌ها با کمک اکسیژن روی می‌دهد، کل فرآیند را متابولیسم هوازی و تبدیل هوازی ADP به ATP را فسفوریلاسیون اکسایشی می‌گویند. عضله اسکلتی می‌تواند ATP موردنیاز را از یک یا ترکیبی از سه مسیر متابولیکی زیر به‌دست آورد:

۱- انتقال فسفات از کراتین فسفات به ADP برای تشکیل ATP ← دستگاه فسفاژن (ATP-PCr) (ATP – PCr)

۲- از راه گلیکولیز ← دستگاه گلیکولیتیک

۳- از راه استفاده از اکسیژن در میتوکندری‌ها ← دستگاه هوازی

۴- تولید ATP از کراتین فسفات و گلیکولیز به اکسیژن نیازی ندارد؛ بنابراین به آن متابولیسم بی‌هوازی می‌گویند و تولید ATP از راه تنفس سلولی در میتوکندری‌ها که از اکسیژن استفاده می‌کنند، متابولیسم هوازی نامیده می‌شود.

دستگاه فسفاژن (ATP-PCr)

فسفوکراتین (PCr) مانند ATP در سلول عضلانی ذخیره شده است و هنگامی‌که گروه فسفات از آن جدا می‌گردد، مقدار زیادی انرژی آزاد می‌کند و این فرآیند با حضور آنزیم کراتین‌کیناز تسهیل می‌شود. انرژی آزاد شده می‌تواند برای ترکیب p_i با مولکول ADP و تشکیل ATP به مصرف برسد. این فرآیند دارای سرعت زیادی است و نیازی به اکسیژن ندارد؛ بنابراین دستگاه فسفاژن یک دستگاه بی‌هوازی است. به‌طور کلی بین ۵۷۰ تا ۶۹۰ میلی‌مول فسفاژن درمجموع وزن عضلات بدن ذخیره شده که این مقدار بین ۵/۷ تا ۶/۹ کیلوکالری انرژی ATP است و نشان می‌دهد مقدار انرژی ATP موجود از دستگاه فسفاژن محدود است؛ بنابراین این دستگاه می‌تواند نیازهای انرژی عضلات را تنها به مدت ۳ تا ۱۵ ثانیه در حرکات سرعتی و قدرتی تأمین کند. دستگاه فسفاژن نماینده سریع‌ترین و در دسترس‌ترین منبع ATP عضلانی است؛ زیرا ۱- وابسته به یک سلسله واکنش‌های طولانی نیست، ۲- وابسته به انتقال اکسیژن تنفسی به عضلات فعال نیست و ۳- هر دو ATP و PCr مستقیماً در پروتئین‌های انقباضی عضلات ذخیره شده‌اند.

در واکنشی مجزا اما جفتی، آنزیم کراتین‌کیناز، شکستن PCr را به p_i و کراتین تسهیل می‌کند و باعث پیوند p_i به ADP و درنهایت به تشکیل ATP منجر می‌شود.

$$CrP + ADP + H^+ \xleftrightarrow[\text{کراتین کیناز}]{} ATP + Cr$$

تنها روشی که توسط آن PCr می‌تواند از p_i و Cr دوباره‌سازی شود توسط انرژی آزادشده از تجزیه ATP خواهد بود. این عمل در دوره برگشت به حالت اولیه پس از تمرین حادث شده و منبع اصلی ATP از تجزیه مواد غذایی حاصل می‌شود.

در برخی تارهای عضلانی(تارهای تند انقباض) هنگام فعالیت شدید در حد بیشینه؛ ATP و PC درون عضلانی تقریبا ظرف ۴ ثانیه تخلیه می‌شوند.

ذخیره PCr در عضلات ۳ تا ۵ برابر بیشتر از ذخیره ATP است.

ظرفیت تولید ATP واکنش کراتین‌کیناز به میزان ذخیره کراتین‌فسفات بستگی دارد که تقریباً معادل ۲۴ میلی‌مول به‌ازای هر کیلوگرم عضله‌تر است.

واکنش آنزیمی کاتالیزی دیگری وجود دارد که ATP را بازسازی می‌کند. آنزیم درگیر در این واکنش آدنیلات‌کیناز است.

$$ADP + ADP \xleftrightarrow[\text{آدنیلات}]{} ATP + AMP$$

این واکنش آنزیم‌های فرآیند گلیکوژنولیز (تجزیه گلیکوژن) و گلیکولیز (تجزیه گلوکز) را فعال می‌کند.

دستگاه گلیکولیتیک (اسیدلاکتیک)

در این دستگاه از فرآیند گلیکولیز استفاده می‌شود. گلیکولیز تجزیه گلوکز توسط آنزیم‌های گلیکولیتیکی است. این مسیر برای عملکردش به اکسیژن نیازی ندارد به‌همین‌دلیل برخی آن را فرآیندی غیراکسایشی نیز می‌گویند؛ اما می‌تواند در صورت وجود مقادیر کافی اکسیژن در سلول, مولکولی به‌نام استیل کوآنزیم A تولید کند که می‌تواند وارد میتوکندری‌ها شود و در تنفس هوازی

شرکت کند. ATP تولیدی در این دستگاه از تجزیه ناقص گلوکز به اسیدلاکتیک حاصل می‌شود. اسیدلاکتیک یکی از تولیدات جنبی گلیکولیز بی‌هوازی بوده و وقتی به مقدار زیادی در عضلات و خون انباشته شود، سبب خستگی عضلانی می‌گردد.

گلوکز در کبد و عضلات در فرآیندی به‌نام گلیکوژنز به‌صورت گلیکوژن ذخیره می‌شود و هنگام نیاز بدن، گلیکوژن با فرآیند گلیکوژنولیز به گلوکز ۱- فسفات تبدیل می‌شود. برای تولید انرژی گلوکز ۱- فسفات باید به گلوکز ۶- فسفات تبدیل شود.

$$\text{گلیکوژن}_{n} + Pi \xrightarrow[\text{فسفوریلاز}]{} \text{گلوکز-۱- فسفات} + \text{گلیکوژن}_{n-1}$$

$$\text{گلوکز-۱- فسفات} \xleftrightarrow[\text{فسفوگلوکوموتاز}]{} \text{گلوکز-۶- فسفات}$$

گلیکولیز، تجزیه گلوکز در ۱۰ واکنش شیمیایی است که در سارکوپلاسم سلول‌های عضلانی رخ می‌دهد که پیامدش تولید ATP است. گلوکز از قندخون یا ذخایر گلیکوژن درون عضلانی به‌دست می‌آید. تنها یک تفاوت بین تولید ATP از گلوکز و گلیکوژن وجود دارد. اگر گلوکز استفاده شود، یک ATP در واکنشی ضروری است که یک فسفات را برای تولید گلوکز-۶-فسفات تامین کند. این مرحله فسوریلاسیون (فسفردارشدن) نامیده می‌شود. آنزیم هگزوکیناز به غشای خارجی میتوکندری یا جداره درون سارکولما متصل می‌شود و تبدیل گلوکز به گلوکز- ۶- فسفات جفت شده با دفسفوریلاسیون ATP را کاتالیز می‌کند.

$$\text{گلوکز} + ATP \xrightarrow[\text{هگزوکیناز}]{} \text{فسفات} - ۶ - \text{گلوکز} + ADP + Pi$$

پس از تشکیل گلوکز-۶- فسفات، سایر مراحل گلیکولیز- چه با گلوکز و چه با گلیکوژن شروع شده باشد- یکسان خواهد بود.

گلیکوژن توسط یک سلسله واکنش‌های شیمیایی به اسیدلاکتیک تبدیل می‌شود. در طول این تجزیه، انرژی تجزیه‌شده ازطریق واکنش‌های جفت‌شده[۱] جهت دوباره‌سازی ATP مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فرآیند گلیکولیز از هر مول گلیکوژن سه مول ATP و سه مول اسیدپیرویک یا اسیدلاکتیک تولید می‌کند، اما اگر گلوکز در نقش سوبسترا باشد، دو مول ATP تولید می‌شود، زیرا یک مول ATP برای تبدیل گلوکز به گلوکز ۶- فسفات مصرف می‌شود.

محدودیت اصلی گلیکولیز بی‌هوازی، تجمع اسیدلاکتیک در عضلات و مایعات بدن است. اسیدی‌شدن تارهای عضلانی و درپی آن اختلال در عملکرد آنزیم‌های گلیکولیتیک از تجزیه بیشتر گلیکوژن جلوگیری می‌کند. علاوه‌براین، حضور اسید ظرفیت پیوند کلسیمی تارهای عضلانی را کاهش می‌دهد و از انقباض عضلانی جلوگیری می‌کند.

هنگام تمرین، تولید ATP مفید از گلیکولیز بی‌هوازی کمتر از ۳ مول ATP (۱۰ تا ۱۲ کیلوکالری) است، زیرا هنگام تمرین در صورت مصرف تمامی گلیکوژن، ۱۸۰ گرم اسیدلاکتیک تشکیل می‌شود درحالی‌که عضلات و خون فقط تحمل تجمع حدود ۶۰ تا ۷۰ گرم اسیدلاکتیک را قبل از آغاز خستگی دارند. تمریناتی که با بیشینه سرعت بین ۱ تا ۳ دقیقه به‌طول می‌انجامد، جهت تأمین ATP از گلیکولیز بی‌هوازی استفاده می‌کنند. روی هم رفته دستگاه‌های فسفاژن و گلیکولیتیک سهم اصلی را در تأمین انرژی در جریان دقایق اولیه ورزش‌های بسیار شدید برعهده دارند.

اسیدلاکتیک فرآورده نهایی گلیکولیز بی‌هوازی است که به‌سرعت تجزیه شده و تبدیل به لاکتات می‌شود.

فرآیند گلیکولیز در سارکوپلاسم سلول عضلانی رخ می‌دهد.

در درون عضله اسکلتی؛ فرآیند گلیکولیز با ورود گلوکز به داخل تار عضله اسکلتی یا به‌دنبال تشکیل گلوکز-۶- فسفات حاصل از گلیکوژنولیز آغاز می‌شود.

ورود گلوکز از خون به درون تار عضله، با اتصال گلوکز به پروتئین‌های تخصص عمل یافته‌ای که وظیفه انتقال گلوکز را برعهده دارند و بر روی سارکولما مستقرند، به‌نام پروتئین‌های $GLUT_{۴}$ تسهیل می‌شود.

تعداد انتقال‌دهنده‌های $GLUT_{۴}$ می‌تواند در پاسخ به انسولین و فعالیت ورزشی افزایش یابد.

۱- واکنش‌های جفت‌شده واکنش‌هایی هستند که ضمن پیوند و جفت‌شدن با یکدیگر باعث آزادشدن انرژی از یک واکنش شده و آن انرژی باعث پیش راندن واکنش بعدی می‌شود.

دستگاه هوازی

فرآیندی که به‌وسیله آن بدن با کمک اکسیژن از سوخت‌های مختلف برای تولید انرژی استفاده می‌کند، تنفس سلولی نامیده می‌شود. تولید هوازی ATP در درون میتوکندری انجام می‌شود. دستگاه هوازی با تجزیه مواد سوختی (کربوهیدرات، چربی و پروتئین) در حضور اکسیژن سروکار دارد. این دستگاه انرژی بسیار زیادی تولید می‌کند؛ بنابراین در فعالیت‌های استقامتی، متابولیسم هوازی روش اصلی تولید انرژی است.

اکسیداسیون مواد غذایی

در حالت استراحت، نیازهای انرژی بدن، از تجزیه کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها تأمین می‌شود. پروتئین‌ها انرژی اندکی برای عملکرد سلولی فراهم می‌کنند. هنگام استراحت کربوهیدرات مصرفی به‌وسیله عضلات و کبد گرفته می‌شود و به گلیکوژن تبدیل می‌شود. گلیکوژن تا زمان به‌کارگیری توسط سلول‌ها برای تشکیل ATP، در سیتوپلاسم سلول ذخیره می‌شود. گلیکوژن ذخیره شده در کبد، در مواقع موردنیاز به گلوکز تبدیل می‌شود و به‌وسیله خون به بافت‌های فعال، جایی که عمل متابولیسم رخ می‌دهد، انتقال می‌یابد.

ذخایر انرژی بدن به‌شکل چربی بسیار بیشتر از کربوهیدرات‌هاست که به شکل تری‌گلیسیرید در بافت چربی و تارهای عضلانی ذخیره می‌شود. چربی‌ها برای شرکت در متابولیسم، ابتدا باید به گلیسرول و اسید چرب آزاد تبدیل شوند. این فرآیند لیپولیز نامیده می‌شود و توسط آنزیم لیپاز کاتالیز می‌شود. برای تشکیل ATP تنها اسیدهای چرب آزاد استفاده می‌شوند.

اکسیداسیون کربوهیدرات

واکنش‌های متعدد تولید ATP ازطریق اکسیداسیون کربوهیدرات به سه گروه اصلی تقسیم می‌شود: ۱- گلیکوژنولیز و گلیکولیز، ۲- چرخه کربس، ۳- زنجیره انتقال الکترونی.

گلیکوژنولیز

گلیکوژن عضله مولکول بزرگی است که از واحدهای گلوکزی ساخته شده است. کاتابولیسم گلیکوژن را گلیکوژنولیز می‌گویند. فسفوریلاز و فسفوگلوکوموتاز آنزیم‌های درگیر در این فرآیند هستند و مسئول رهایش واحدهای گلوکز از گلیکوژن می‌باشند که می‌توانند گلوکز ۶- فسفات را به‌سرعت تولید کنند. این سوبسترا (گلوکز ۶- فسفات) اولین ماده واسطه‌ای گلیکولیز است.

فسفوریلاز، آنزیم اصلی درگیر در فرآیند گلیکوژنولیز می‌باشد و فعالیت آن زمانی‌که یک p_i به آنزیم متصل شود یا غلظت درون سلولی کلسیم افزایش یابد، زیاد می‌شود.

اتصال فسفات به فسفوریلاز زمانی رخ می‌دهد که غلظت پیک درون‌سلولی آدنوزین منوفسفات حلقوی (cAMP) افزایش می‌یابد.

گلیکولیز

فرآیند گلیکولیز به‌دنبال تشکیل گلوکز ۶- فسفات (G6P) حاصل از گلیکوژنولیز آغاز می‌شود. ورود گلوکز از خون به درون تار عضلانی با اتصال گلوکز به پروتئین‌های GLUT تسهیل می‌شود. $GLUT_4$ انتقال‌دهنده اصلی گلوکز در عضله اسکلتی است و تعداد انتقال‌دهنده‌های $GLUT_4$ می‌تواند در پاسخ به انسولین و فعالیت ورزشی افزایش یابد.

فرآورده‌های مهم گلیکولیز عبارتند از: پیروات، ATP و NADH. فرآیند گلیکولیز در هر دو حالت بود یا نبود اکسیژن یکسان است. حضور اکسیژن تنها از انباشته‌شدن اسیدلاکتیک جلوگیری می‌کند و سرنوشت اسیدپیرویک را تعیین می‌کند. اسیدپیرویک

در حضور اکسیژن به استیل کوآنزیم A (استیل COA) تبدیل می‌شود. در فرآیند گلیکولیز فقط ۲ مول ATP از هر مول گلوکز تولید می‌شود.

آنزیم هگزوکیناز تبدیل گلوکز به G6P را با دفسفوریلاسیون ATP کاتالیز می‌کند.

اگر گلوکز شروع‌کننده گلیکولیز باشد، دو مولکول ATP و اگر گلیکوژن شروع‌کننده واکنش باشد، سه مولکول ATP به‌دست می‌آید.

تولید لاکتات و چرخه کربس

تولید لاکتات پیروات تحت‌تاثیر آنزیم لاکتات دهیدروژناز (LDH) به لاکتات احیا می‌شود.

$$\text{پیروات} + NADH + H + \longleftrightarrow + NAD^{+} + \text{لاکتات}$$

لاکتات تولیدی کمک می‌کند تا نسبت بین +NAD و NADH (که به پتانسیل ردوکس سیتوزولی موسوم است) حفظ شود و گلیکولیز تداوم یابد و بازسازی ATP به هنگام تکرار انقباض‌های شدید عضلانی حمایت شود. در واقع، تشکیل اسیدلاکتیک باعث می‌شود NAD از NADH باز تولید گردد و به‌این‌ترتیب موجب می‌شود که واکنش پنجم در گلیکولیز ادامه داشته باشد. چنانچه شدت فعالیت ورزشی پایین باشد، NAD توسط فرایند اکسیداتیو در میتوکندری می‌تواند از NADH باز تولید شود؛ بنابراین تولید اسیدلاکتیک رخ نخواهد داد. اگرچه مدارک نشان می‌دهند که لاکتات در مواقع کمبود یا فقدان اکسیژن تولید می‌شود، اما تولید لاکتات در حضور اکسیژن کافی نیز رخ داده است. از این‌رو، لاکتات تولیدی را نباید نشانه فقدان اکسیژن دانست. زمانی‌که میزان پیروات تولیدی از میزان پیروات ورودی به درون میتوکندری‌ها فراتر می‌رود، پیروات به لاکتات تبدیل خواهد شد. این وضعیت را اثر عمل جرم می‌گویند. لاکتات و پیروات می‌توانند از عضله خارج و برای متابولیسم در بافت‌های دیگر استفاده شوند. ۹۹ درصد اسیدلاکتیک، در شکل‌های تجزیه‌شده آن وجود دارد. آنزیم مسئول جهت تبدیل پیروات به لاکتات، آنزیم لاکتات دهیدروژناز(LDH) می‌باشد و این آنزیم در ۵ ایزوفرم وجود دارد: LDH1, LDH2, LDH3, LDH4, LDH5. LDH1 تحت‌عنوان H-LDH (LDH مخصوص قلب) و LDH5 تحت‌عنوان M-LDH(LDH مخصوص عضله) شناخته می‌شوند.

سرنوشت‌های متفاوتی برای لاکتات وجود دارد که شامل اکسیداسیون پیروات ازطریق استیل کوآنزیم A و چرخه TCA، تبدیل لاکتات به گلوکز ازطریق فرآیند معکوس گلیکولیز (این وضعیت در کبد اتفاق می‌افتد نه در عضله) یا تبدیل لاکتات به گلیکوژن ازطریق فرآیند معکوس گلیکولیز (این وضعیت در کبد و عضله رخ می‌دهد) می‌باشد.

تولید لاکتات با رهایی H^{+} مرتبط است که عاملی بالقوه در کاهش PH به‌شمار می‌رود. کاهش PH (اسیدوز) با مقادیر فراوان لاکتات تولیدی همراه است که برای آنزیم‌های گوناگون متابولیسم انرژی و انقباض عضلانی زیان‌بار است. مشکلی که با تولید لاکتات همراه است، وجود اسیدوز است، نه خود مولکول لاکتات.

اسیدلاکتیک از اسیدپیرویک تولید می‌گردد، اما در دستگاه‌های فیزیولوژیکی طبیعی (ازجمله در یک سلول)، اسیدلاکتیک به یک یون لاکتات و یک یون هیدروژن تجزیه می‌شود؛ بنابراین لاکتات، آنیون تشکیل‌یافته از تجزیه اسیدلاکتیک می‌باشد.

چرخه کربس (TCA). هنگام ورود پیروات به درون میتوکندری‌ها، پیروات به‌وسیله یک‌سری آنزیم‌های به‌هم‌پیوسته که درمجموع به پیروات دهیدروژناز معروفند، به استیل کوآ تبدیل می‌شود. استیل COA پس از تشکیل وارد چرخه کربس می‌شود. در این چرخه دو پدیده شیمیایی حادث می‌شود: ۱- آزاد شدن Co_2 از ریه‌ها، ۲- اکسیداسیون که به‌معنی خارج‌شدن یون‌های هیدروژن و الکترون‌ها به دستگاه انتقال الکترونی است. فرآورده‌های چرخه TCA عبارتند از: دو مولکول دی‌اکسیدکربن، یک مولکول ATP، سه $NADH + H^{+}$، یک $FADH_2$. در پایان این چرخه ۲ مول ATP تشکیل می‌شود. هر NADH به تولید سه مولکول ATP ازطریق فسفوریلاسیون اکسیداتیو منجر می‌شود، درحالی‌که اکسیداسیون FADH ازطریق فسفوریلاسیون اکسیداتیو، تولید دو ATP می‌کند.

زنجیره انتقال الکترونی

چرخه کربس با سلسله واکنش‌های شیمیایی پیچیده‌ای با عنوان زنجیره انتقال الکترون (ETC) جفت می‌شود. استفاده بیوشیمیایی از اکسیژن در ETC رخ می‌دهد. در زنجیره انتقال الکترون، پروتون‌ها و الکترون‌های حاصل از NADH و FADH استفاده می‌شوند تا الکترون‌ها را به اتم‌های اکسیژن و هیدروژن منتقل کنند و به‌این‌ترتیب آب تولید می‌شود و انرژی آزاد لازم برای انتقال یک فسفات به ADP و تولید ATP فراهم می‌آید. تولید آب و ATP را در ETC اصطلاحاً فسفریلاسیون هوازی می‌نامند. برای هر جفت الکترون‌های منتقل‌شده ۳ مول ATP تولید می‌شود.

پیتر میشل در نظریه شیمی اسموتیک، اظهار می‌دارد که همچنان که الکترون‌ها از NADH و یا FADH به کمپلکس‌ها داده می‌شود، یون‌های H^+ به درون فضای بین‌غشایی میتوکندری پمپ می‌گردند. اثر خالص، آن است که یون‌های H^+ این مکان را در مقایسه با فضای داخلی میتوکندری، مثبت‌تر می‌سازند؛ درنتیجه این اختلاف بار یونی، یون‌های H^+ ازطریق یک مولکول ATP سنتتاز که بر روی غشای داخلی میتوکندری وجود دارد به ماتریکس انتشار می‌یابند. این فرآیند باعث تبدیل ADP به ATP می‌شود.

انرژی حاصل از اکسیداسیون کربوهیدرات‌ها ۳۹ مول ATP از هر مول گلیکوژن (گلیکوژنولیز) و ۳۸ مول ATP از هر مول گلوکز (گلیکولیز) خواهد بود.

برای دوباره‌سازی هر مول ATP از تجزیه گلیکوژن، ۳/۴۵ لیتر اکسیژن لازم است.

شاتل غشای میتوکندری

NADH حاصل از گلیکولیز به‌عنوان دهنده الکترون و پروتون در ETC، باید به‌وسیله ابزارهایی به‌درون میتوکندری منتقل شود. علاوه‌بر این، باید ابزاری هم برای انتقال ADP از سیتوزول به درون میتوکندری‌ها و ATP تولیدی در میتوکندری‌ها به درون سیتوزول وجود داشته باشد.

NADH سیتوزولی نمی‌تواند وارد میتوکندری شود. در عوض، الکترون‌ها و پروتون‌های NADH به مولکول‌هایی اضافه می‌شوند که می‌توانند به داخل میتوکندری انتقال یابند. این مولکول‌ها اکسیده می‌شوند تا الکترون‌ها و پروتون‌ها را به NAD^+ میتوکندریایی تحویل دهند.

دو روش اصلی انتقال الکترون و پروتون از سیتوزول به میتوکندری عبارتند از: شاتل گلیسرول-۳- فسفات که به تشکیل $FADH + H^+$ میتوکندریایی منجر می‌شود و شاتل مالات-آسپارتات که به تشکیل $NADH + H^+$ میتوکندریایی می‌انجامد.

غشای داخلی میتوکندری یک آنزیم ATPase و یک ساز و کار حامل برای انتقال فسفات انتهایی از ATP میتوکندریایی به ADP سیتوزولی دارد که پیامد آن بازسازی ATP در سیتوزول است. به‌علاوه، کراتین کیناز متصل به غشای داخلی میتوکندریایی، یک فسفات انتهایی را از ATP میتوکندریایی به کراتین سیتوزولی منتقل و کراتین فسفات را بازسازی می‌کند.

اکسیداسیون چربی‌ها

کاتابولیسم چربی با تجزیه تری‌گلیسریدها آغاز می‌شود که به آن لیپولیز می‌گویند و در آن تری‌گلیسیریدها به گلیسرول و اسیدهای چرب تجزیه می‌شوند. آنزیم HSL (لیپاز حساس به هورمون) با آدنوزین منوفسفات حلقوی (cAMP) فعال می‌شود و پی‌درپی مولکول‌های اسید چرب آزاد (FFA) را از اسکلت تری‌گلیسریدها آزاد می‌کند. FFA با ورود به تار عضلانی به‌وسیله آنزیم‌ها و با استفاده از انرژی حاصل از ATP فعال شده و برای تجزیه در درون میتوکندری‌ها آماده می‌شوند و باقی‌مانده مولکول گلیسرول به طرف کبد به حرکت درمی‌آید. فرآیند لیپولیز در سلول‌های چربی (آدیپوسیت) و همچنین در عضلات رخ می‌دهد. لیپولیز، در طول تمرینات ورزشی و همچنین چند ساعت پس از غذا خوردن (حدود ۶ ساعت یا بیشتر) رخ می‌دهد چرا که در چنین شرایطی اسیدهای چرب به‌عنوان منبع انرژی برای بافت‌های گوناگون موردنیاز می‌باشند. لیپولیز تا چند ساعت پس از غذا خوردن (حدود ۱ تا ۲ ساعت) به‌خصوص اگر غذا سرشار از کربوهیدرات باشد، رخ نمی‌دهد.

بعد از لیپولیز درون عضلانی، اسیدهای چرب آزاد باید با اضافه‌شدن به یک کوآنزیم آ تغییر یابند تا بتوانند به کارنیتین متصل و به درون میتوکندری راه یابند. تجزیه آنزیمی چربی‌ها به‌وسیله میتوکندری، بتا اکسیداسیون نامیده می‌شود. در این فرآیند، زنجیره کربن اسید چرب به اسیدلاکتیک تجزیه می‌شود و اسیدلاکتیک سرانجام به استیل COA تبدیل می‌شود؛ پس از بتا اکسیداسیون، متابولیسم چربی مسیری یکسان با متابولیسم کربوهیدرات را دنبال می‌کند. به‌همین‌دلیل، چرخه کربس و دستگاه انتقال الکترونی به‌عنوان مسیر مشترک نهایی جهت سوخت‌وساز هوازی خوانده می‌شود. همانند اکسیداسیون کربوهیدرات، ATP، آب و CO_2 فرآورده نهایی اکسیداسیون اسیدهای چرب آزاد است. یک مول اسید پالمیتیک مقدار انرژی ۱۲۹ مول ATP آزاد می‌کند که بسیار بیشتر از یک مول گلیکوژن است.

اگرچه یک گرم چربی انرژی بیشتری نسبت به یک گرم کربوهیدرات تولید می‌کند، اما سوختن کامل یک مول اسید چرب آزاد نیاز به اکسیژن بیشتری دارد، دارای کربن بیشتری نسبت به گلوکز می‌باشد.

برای دوباره‌سازی هر مول ATP از تجزیه چربی، ۳/۹۶ لیتر اکسیژن لازم است.

مولکول‌های آلبومین، پروتئین‌هایی هستند که اسیدهای چرب را در خون حمل می‌کنند.

میزان اسیدهای چرب ارسال‌شده از بافت چربی به عضلات، به جریان خون عبوری از بافت چربی و تعداد مولکول‌های آلبومین موجود در خون بستگی دارد.

اکسیداسیون پروتئین

پروتئین‌ها به چند روش متفاوت انرژی تولید می‌کنند. بسیاری از اسیدهای آمینه به گلوکز تبدیل می‌شوند. این روند را گلوکونئوژنیک می‌نامند؛ سپس گلوکز برای تولید انرژی استفاده می‌شود. برخی اسیدهای آمینه ازجمله آلانین، لوسین و ایزولوسین می‌توانند به میانجی‌های متابولیکی و یا مولکول‌هایی که در برخی نقاط می‌توانند وارد فرآیندهای انرژی زیستی شوند، تبدیل شوند. قبل از آنکه هر اسیدآمینه وارد فرآیند انرژی‌زایی زیستی شود، ابتدا باید دآمینه شود (یعنی گروه نیتروژن از آن جدا شود) زیرا نیتروژن نمی‌تواند اکسیده شود. گروه نیتروژن به آمونیاک (NH_3) تبدیل می‌شود. آمونیاک یک سوبسترای پایه است و می‌تواند تعادل اسیدی بدن را برهم‌زند. برای پیشگیری از این حالت، کبد با ترکیب دو مولکول آمونیاک و یک CO_2، اوره (N_2H_4CO) و یک مولکول آب را تشکیل می‌دهد. این اوره وارد جریان خون می‌شود و از راه ادرار دفع می‌شود. تبدیل نیتروژن به اوره نیاز به مصرف ATP دارد. در مسیر دیگری از انرژی‌زاهای زیستی، اسیدهای آمینه به پیروات تبدیل می‌شوند و می‌توانند در متابولیسم هوازی شرکت کنند. برخی اسیدآمینه‌ها نیز می‌توانند به استیل‌کوآ تبدیل و سپس متابولیزه شوند. بعضی دیگر نیز می‌توانند مستقیم وارد چرخه کربس شده و متابولیزه شوند. هر سوبسترای متابولیکی که به پیروات تبدیل شود، می‌تواند در متابولیسم استفاده شود یا برای تولید گلوکز استفاده شود. به اسیدهای آمینه‌ای که به پیروات تبدیل می‌شوند و می‌توانند برای تولید گلوکز استفاده شوند، اسیدهای آمینه گلوکوژنیک گفته می‌شود. پروتئین در تولید انرژی سهم کمتری دارد؛ بنابراین متابولیسم آن اغلب نادیده گرفته می‌شود.

دستگاه‌های هوازی و بی‌هوازی هنگام استراحت و تمرین

در شرایط استراحتی، تقریبا ۳۳٪ ATP موردنیاز از متابولیسم کربوهیدرات و ۶۶ درصد دیگر از متابولیسم چربی یا تری‌گلیسیرید تامین می‌شود. در فرآیند تولید انرژی، با افزایش شدت فعالیت ورزشی، کربوهیدرات به تدریج جایگزین تری‌گلیسیرید می‌شود. دست کم به لحاظ تئوری، تا زمانی‌که فعالیت ورزشی به حداکثر شدت خود می‌رسد؛ یعنی هنگامی‌که ۱۰۰٪ انرژی لازم برای عضلات فعال از متابولیسم کربوهیدرات به دست می‌آید، این جایگزینی ادامه خواهد داشت. برای تامین انرژی در فعالیت‌های ورزشی با شدت بیشینه، استفاده زیاد از کربوهیدرات تا حدودی به‌دلیل آن است که منابع بی‌هوازی، در حال تامین بخش زیادی از ATP می‌باشد (توجه داشته باشید که تری‌گلیسیریدها و پروتئین‌ها نمی‌توانند در گلیکولیز استفاده شوند). میزان انرژی تولیدی

از متابولیسم چربی یا کربوهیدرات می‌تواند توجیه‌کننده تغییر سوبسترا با افزایش شدت فعالیت ورزشی باشد. میزان انرژی تولیدی از هر گرم چربی ($۹/۴ kcal g^{-۱}$) نسبت به هر گرم کربوهیدرات ($۴/۱ kcal g^{-۱}$) یا هر گرم پروتئین ($۴/۱ kcal g^{-۱}$) بیشتر است. با این حال، به‌ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی در متابولیسم هوازی، کربوهیدرات ($۵ kcaLo_۲ g^{-۱}$) نسبت به چربی ($۴/۷ kcaLo_۲ g^{-۱}$) یا پروتئین ($۴/۵ kcaLo_۲ g^{-۱}$) انرژی بیشتری تولید می‌کند. حداکثر ظرفیت یک عضله برای استفاده از اکسیژن، ظرفیت اکسایشی ($QO_۲$) نامیده می‌شود. ظرفیت اکسایشی عضلات بستگی به‌میزان آنزیم‌های اکسایشی، ترکیب نوع تارها و فراهمی اکسیژن آنها دارد. هر قدر فعالیت آنزیم‌های اکسایشی عضلات (مانند سوکسینات دِهیدروژناز و سیترات سنتاز) بیشتر باشد، ظرفیت اکسایشی عضله بیشتر است. وجود تارهای ST بیشتر در عضلات نیز، به‌معنای ظرفیت اکسایشی بیشتر عضلات است. همچنین، ظرفیت اکسایشی عضله با فراهمی اکسیژن رابطه مستقیم دارد. شاید بتوان مهم‌ترین عامل را در افزایش شدت فعالیت ورزشی، فراخوانی بیشتر تارهای عضلانی نوع II یا تند انقباض دانست. فراخوانی بیشتر تارهای عضلانی نوع II، باعث افزایش متابولیسم کربوهیدرات برای تولید ATP می‌شود، زیرا در فرآیند گلیکولیز، تری‌گلیسیرید نمی‌تواند استفاده شود.

هنگام استراحت حدود دوسوم مواد غذایی سوختی توسط چربی تأمین شده و یک‌سوم باقی‌مانده توسط کربوهیدرات (گلیکوژن یا گلوکز) تأمین می‌شود. دستگاه هوازی تأمین‌کننده همه ATP موردنیاز در حالت استراحت است، زیرا دستگاه انتقال اکسیژن (قلب و ریه) قادر است که هر سلول را با اکسیژن کافی و با ATP مناسب جهت برآورد نیازهای انرژی آنها در حالت استراحت تأمین نماید.

در هنگام تمرین هر دو دستگاه‌های هوازی و بی‌هوازی در تأمین ATP سهیم هستند. هنگام فعالیت‌های بیشینه و کوتاه‌مدت مسیر بی‌هوازی مسیر اصلی را تشکیل می‌دهد. دو دلیل اساسی محدودیت مسیر هوازی در تأمین ATP کافی هنگام تمرینات بیشینه وجود دارد: ۱- هریک از انسان‌ها دارای حدی از توان هوازی یا درجه بیشینه‌ای از مصرف اکسیژن بوده و ۲- حداقل ۲ تا ۳ دقیقه زمان لازم است تا اکسیژن مصرفی به سطح بالاتری ارتقاء یابد. مدت زمانی که در آن سطح اکسیژن مصرفی کمتر از حدی باشد که بتواند همه ATP موردنیاز را در تمرین معینی برآورده سازد به نام کسر اکسیژن معروف است. در همین دوره بیشتر ATP موردنیاز تمرین توسط دستگاه فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی تأمین می‌شود. افراد تمرین‌کرده، کسر اکسیژن کمتری نسبت به افراد تمرین‌نکرده در یک فعالیت مشابه دارند.

می‌توان کسر اکسیژن ایجاد شده هنگام فعالیت ورزشی را به‌عنوان شاخصی از ظرفیت منابع بی‌هوازی بازسازی ATP برای یک جلسه فعالیت شدید استفاده کرد (یا ظرفیت بی‌هوازی). پس از یک دوره فعالیت ورزشی، میزان متابولیسم و اکسیژن مصرفی در حد زیاد باقی می‌ماند. اصطلاح وام اکسیژن۱، برای توصیف وضعیتی استفاده می‌شود که در آن مقدار اکسیژن مصرفی پس از فعالیت ورزشی نسبت به زمان استراحت بیشتر است. حالت یکنواخت۲ اکسیژن مصرفی به شرایطی اشاره دارد که در آن همه انرژی موردنیاز از راه متابولیسم هوازی تامین می‌شود. فعالیت ورزشی بلندمدت با شدت زیربیشینه معین، فقط باعث افزایشی مختصر در اکسیژن مصرفی می‌شود که این افزایش ناچیز به انحراف اکسیژن معروف است. هنگام دویدن روی سراشیبی در مقایسه با سطح صاف و بدون شیب، با یک شدت مشابه، انحراف اکسیژن بیشتر است. افزایش دمای عضله و هورمون‌های کاتکولامینی در انحراف اکسیژن هنگام دویدن روی سطح صاف مؤثرند. افزایش انحراف از اکسیژن هنگام دویدن در سراشیبی ناشی از آسیب عضلانی نیست، بلکه علت آن افزایش بارز دمای عضله هنگام کار منفی است.

در هنگام تمرینات زیربیشینه و طولانی‌مدت مواد غذایی اصلی شامل کربوهیدرات و چربی است. در شروع چنین تمریناتی ماده غذایی اصلی را گلیکوژن تشکیل می‌دهد، درحالی‌که در پایان تمرین، چربی سهم عمده را دارد. منبع اصلی ATP در این نوع تمرینات، توسط مسیر هوازی تأمین می‌شود. دستگاه‌های فسفاژن و گلیکولیتیک فقط در آغاز تمرین سهیم هستند. زمانی‌که کسر اکسیژن برطرف شود، همه انرژی موردنیاز ازطریق هوازی میسر می‌شود.

بسیاری از فعالیت‌های ورزشی نیاز به ترکیبی از هر دو نوع سوخت و ساز بی‌هوازی و هوازی دارند. برای مثال، در دوی ۱۵۰۰ متر، دستگاه‌های بی‌هوازی بخش عمده تولید ATP را در آغاز و پایان مسابقه که ورزشکار با سرعت بیشتری می‌دود تأمین کرده، درحالی‌که دستگاه اکسیژن در اواسط مسابقه یا حالت تعادل، دستگاه غالب را تشکیل می‌دهد. برای تخلیه ذخایر گلیکوژن تا

نقطه‌ای که باعث کاهش متابولیسم کربوهیدرات شود، باید ۶۰ دقیقه فعالیت ورزشی مداوم انجام داد. در این نقطه، متابولیسم تری‌گلیسیرید افزایش می‌یابد تا انرژی لازم برای ادامه فعالیت ورزشی تامین شود.

در فعالیت با شدت بالا (۷۰ تا ۸۰٪ Vo_2 max) جابه‌جایی قابل‌توجهی از چربی‌ها به‌عنوان منبع انرژی به‌سوی CHO اتفاق می‌افتد. نظریه‌های متعددی برای این جابه‌جایی ایجاد شده به‌وسیله فعالیت ورزشی از چربی به‌سوی کربوهیدرات ارائه شده است.

۱- افزایش گلیکوژنولیز و گلیکولیز که هنگام فعالیت ورزشی استقامتی شدید مشاهده می‌شود، تشکیل لاکتات را هم افزایش می‌دهد. از طرفی، لاکتات سبب کاهش لیپولیز می‌شود. برایند آنها کاهش غلظت اسید چرب پلاسما و نیز کاهش اسید چرب در دسترس برای سلول‌های عضله خواهد بود؛ درنتیجه افزایش اکسیداسیون کربوهیدرات به احتمال زیاد کاهش اکسیداسیون اسید چرب را جبران خواهد کرد.

۲- تولید پایین‌تر میزان ATP از چربی‌ها در مقایسه با کربوهیدرات‌ها و این واقعیت که در مقایسه با CHO، برای تولید مقدار معینی ATP از چربی، اکسیژن بیشتری موردنیاز است.

۳- محدودیت در انتقال اسید چرب از خون به میتوکندری

حداکثر اکسیژن مصرفی

حداکثر میزان اکسیژنی است که بدن می‌تواند هنگام فعالیت ورزشی مصرف کند که با Vo_2 max نشان می‌دهند. Vo_2 max زمانی به‌دست می‌آید که حجم اکسیژن مصرفی با وجود افزایش بیشتر شدت فعالیت ورزشی به فلات برسد. نسبت تبادل تنفسی از ۱/۱ فراتر رود و ضربان قلب بیشینه ای در دامنه ۱۰± ضربه در دقیقه (سن-۲۲۰) برآورده شده باشد. اگر دو ملاک اصلی رسیدن به Vo_2 max (فلات و نسبت تبادل تنفسی بیشتر از ۱/۱) محقق نشوند، دراین‌صورت باید از واژه " اکسیژن مصرفی اوج"۳ استفاده شود.

مقادیر Vo_2 max را می‌توان به‌صورت حجم مطلق اکسیژن به‌ازای هر واحد زمان (لیتر در دقیقه) یا نسبت وزن بدن (میلی لیتر به‌ازای هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه) بیان کرد. بهترین بیان نسبی Vo_2 max با توجه به وزن بدن به توان ۰/۷۵ است تا توده بدنی مطلق. عواملی که باعث می‌شود افراد Vo_2 max های متفاوتی داشته باشند عبارتند از: نسبت زیاد واحدهای حرکتی کند انقباض، ظرفیت بالای قلبی عروقی محیطی و مرکزی و کیفیت و مدت تمرین. برخورداری بیشتر از تارهای عضلانی کند انقباض، ظرفیت هوازی عضله را افزایش می‌دهد.

ازآنجا که وزن خالص بدن۱ (LBM) زنان در مقایسه با مردان (با توده بدنی مطلق برابر) کمتر است؛ بنابراین برای مقایسه ارزش‌های حداکثر اکسیژن مصرفی بین دو جنس و بیان نسبی حداکثر اکسیژن مصرفی، باید از وزن خالص بدن به‌ازای هر کیلوگرم استفاده کرد تا وزن بدن (برحسب کیلوگرم). ارزش‌های Vo_2 max زنان به‌طور عمومی به مقدار ۱۵ تا ۳۰٪ پایین‌تر از مردان است. مردان به‌دلیل داشتن توده عضلانی بیشتر و چربی کمتر از زنان، قادر به تولید کل انرژی هوازی بیشتری هستند. همچنین غلظت هموگلوبین مردان ۱۰ تا ۱۴٪ بیشتر از زنان است. این تفاوت در ظرفیت حمل اکسیژن خون، مردان را قادر می‌سازد تا اکسیژن بیشتری را هنگام تمرین به گردش درآورند.

بیشترین Vo_2 max به نوع فعالیت ورزشی تمرین شده بستگی دارد. در کل، بیشترین مقدار Vo_2 max هنگام دویدن و بالا رفتن از پله، و کمترین مقدار آن هنگام کارسنجی دستی حاصل می‌آید. ارتباط بین افزایش Vo_2 max و اندازه توده عضلانی درگیر در فعالیت، به شکل ارتباط U وارونه است. هرگاه بارکاری که با بالاتنه انجام می‌شود، خیلی بیشتر از فعالیتی باشد که با پایین تنه انجام می‌پذیرد، Vo_2 max به یکباره کاهش می‌یابد که دلیل آن محدودیت‌های قلبی عروقی است.

مقدار افزایش Vo_2 max به مقدار اولیه Vo_2 max قبل از تمرین بستگی دارد. در افرادی که مقادیر Vo_2 max زیادی دارند، افزایش Vo_2 max ناشی از تمرین استقامتی طولانی مدت کمتر از ۵ درصد است.

- افرادی که به‌احتمال زیاد به اکسیژن مصرفی اوج دست‌می‌یابند تا Vo_2 max عبارتند از: نوجوانان نابالغ، افراد غیرفعال (ازجمله افراد مسن)، افراد مبتلا به بیماری‌های حاد و مزمن

- انگیزش سطح بالا و بازده بی‌هوازی نسبتاً بالایی لازم است تا بتوان در طول آزمون Vo_2 max به یک فلات در اکسیژن مصرفی دست یافت.
- پس از ۲۵ سالگی Vo_2 max به‌طور ثابت در حدود ۱ درصد در سال کاهش می‌یابد.
- از روی ضربان قلب نیز می‌توان میزان Vo_2 max را برآورد کرد، اما Vo_2 max برآورد شده ازطریق ضربان قلب زیربیشینه معمولاً ۱۰ تا ۲۰٪ مقدار واقعی فرد خواهد بود.

آستانه لاکتات

مقدار ناچیز ولی همیشگی (حدود ۱۰ میلی‌گرم برای هر ۱۰۰ میلی‌لیتر خون) اسیدلاکتیک در خون موجود است. آستانه لاکتات نقطه‌ای است که لاکتات خون در جریان فعالیت‌های فزآینده شروع به تجمع فراتر از سطوح استراحتی خود می‌کند. در جریان فعالیت‌های سبک تا متوسط، لاکتات خون تنها افزایش اندکی نسبت به سطوح استراحتی از خود نشان می‌دهد. با افزایش شدت فعالیت، لاکتات به‌سرعت تجمع پیدا می‌کند. افزایش ناگهانی لاکتات خون درنتیجه افزایش شدت فعالیت را آستانه بی‌هوازی نیز نامیده‌اند. شروع تجمع لاکتات خون (OBLA) مقدار استانداردی برابر ۲ تا ۴ میلی‌مول لاکتات به‌ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی است که به‌عنوان نقطه مرجع مشترکی استفاده می‌شود. آستانه لاکتات معمولاً بر پایه درصدی از Vo_2 max بیان می‌شود که تجمع لاکتات در آن درصد رخ می‌دهد. در افراد تمرین نکرده آستانه لاکتات در ۵۰ تا ۶۰٪ Vo_2 max آنها به‌دست می‌آید. در حالی‌که ورزشکاران استقامتی زبده ممکن است در ۷۰ تا ۸۰٪ Vo_2 max خود نیز به آستانه لاکتات نرسند. این موضوع به ورزشکاران اجازه می‌دهد تا بدون افزایش غلظت اسیدلاکتیک خون، در فعالیت‌هایی خیلی شدید به فعالیت ورزشی خود ادامه دهند. این نکته برای عملکرد استقامتی بسیار مهم است، زیرا آستانه لاکتات در فعالیت‌های ورزشی شدیدتر رخ می‌دهد و درنتیجه ورزشکار می‌تواند در یک فعالیت ورزشی شدید، سرعت خود را برای مدتی طولانی حفظ کند. سریع‌ترین و بیشترین میزان تجمع اسیدلاکتیک در فعالیت‌هایی است که برای ۶۰ تا ۱۸۰ ثانیه ادامه می‌یابد. آستانه لاکتات و بی‌هوازی بین دو جنس زن و مرد تفاوتی ندارد و یا این اختلاف کم است.

- آستانه لاکتات، یعنی شدت معینی از فعالیت ورزشی که در آن غلظت اسیدلاکتیک خون در مقایسه با شرایط استراحتی، رو به افزایش می‌گذارد، اما منظور از OBLA، شدتی از فعالیت ورزشی است که غلظت خاصی از اسیدلاکتیک (۴/۰mM) در خون انباشته می‌شود.
- سطح اسیدلاکتیک خون از نشانه‌های مهمِ تعیین‌کننده دستگاه انرژی غالب در تمرینات است. اسیدلاکتیک سطح بالا نشانه آن است که انرژی عمده توسط گلیکولیز بی‌هوازی و اسیدلاکتیک سطح پایین نشانه آن است که انرژی اصلی توسط دستگاه هوازی تأمین شده است.
- هنگام فعالیت ورزشی فزاینده اگر لاکتات عضله اندازه‌گیری شود، آن را آستانه لاکتات عضله می نامند.

عواملی که سبب پیدایش آستانه لاکتات عضله و خون می‌شود عبارتند از:

- کاهش دفع لاکتات از گردش خون
- افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی تند انقباض گلیکولیتیک
- متعادل نبودن میزان گلیکولیز و تنفس میتوکندریایی
- کاهش پتانسیل اکسیداسیون و احیا (افزایش NADH نسبت به +NAD)
- هیپوکسی عضلانی
- ایسکمی (کاهش سیر جریان خون به‌سمت عضله اسکلتی)

مصرف انرژی هنگام استراحت و ورزش

مقدار انرژی که بدن به‌مصرف می‌رساند، میزان متابولیسم نامیده می‌شود. یکی از اندازه‌های استاندارد درمورد انرژی مصرفی حالت استراحت، میزان متابولیسم پایه (BMR) است. میزان متابولیسم پایه، مقدار انرژی مصرفی حالت استراحت هر فرد در وضعیت درازکش است که بلافاصله پس از ۸ ساعت خواب و ۱۲ ساعت گرسنگی اندازه‌گیری می‌شود. از سوی دیگر، میزان متابولیسم استراحتی (RMR) میزان متابولیسمی است که تقریبا ۴ ساعت پس از یک وعده غذایی سبک و ۳۰ تا ۶۰ دقیقه بعد از استراحت کامل به‌دست می‌آید. BMR بازتابی از کمترین مقدار انرژی مورد نیاز برای انجام اعمال فیزیولوژیکی ضروری بدن است. میزان متابولیسم پایه، ارتباط مستقیمی با توده بدون چربی بدن دارد و به‌صورت کیلوکالری به‌ازای هر کیلوگرم از توده بدون چربی در دقیقه بیان می‌شود. چون زنان توده چربی بیشتری نسبت به مردان دارند، میزان متابولیسم پایه پایین‌تری نسبت به مردان هم وزن خود دارند. عواملی که میزان متابولیسم پایه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد عبارتند از:

سن: میزان متابولیسم پایه با افزایش سن کاهش می‌یابد.

درجه حرارت: با افزایش درجه حرارت بدن BMR افزایش می‌یابد.

فشار روانی: فشار روانی BMR را ازطریق افزایش فعالیت دستگاه عصبی سمپاتیک افزایش می‌دهد.

هورمون‌ها: تیروکسین غده تیروئید و اپی‌نفرین قشر کلیوی، BMR را افزایش می‌دهند.

سطح رویه بدن: برخورداری از سطح رویه بزرگ‌تر، باعث از دست دادن بیشتر گرمای بدن به‌وسیله پوست و درنتیجه افزایش BMR می‌شود.

میزان متابولیسم با افزایش شدت تمرین افزایش می‌یابد، اما اکسیژن مصرفی محدود است. اوج مصرف اکسیژن، حداکثر اکسیژن مصرفی (Vo_2 max) نامیده می‌شود که عوامل بسیاری در آن دخیل‌اند: ۱- شیوه تمرین: بالاترین مقدار Vo_2 max در تمرین‌های نوارگردان و تست پله به‌دست آمده است، زیرا توده عضلانی درگیر در فعالیت بیشتر از سایر تمرین‌هاست. در فعالیت رکاب‌زدن با دست، مقدار Vo_2 max، ۷۰٪ عملکرد فرد روی نوارگردان است. در شناگران ماهر، مقدار Vo_2 max هنگام شنا، ۲۰٪ کمتر از مقدار حاصله روی نوارگردان است. ۲- وراثت. ۳- جنسیت: زنان بزرگسال به‌طور قابل‌توجهی Vo_2 max پایین‌تری نسبت به مردان هم‌سن خود دارند، زیرا زنان توده بدون چربی کمتری دارند و همچنین محتوای هموگلوبین خون زنان کمتر از مردان است؛ بنابراین ظرفیت حمل اکسیژن آنها پایین‌تر است. ۴- اندازه و ترکیب بدن که رابطه مستقیم با مقدار Vo_2 max دارد. ۵- سن؛ Vo_2 max در طول سال‌های رشد به‌سرعت افزایش می‌یابد و از سن ۲۵ سالگی مقدار Vo_2 max به‌طور ثابت در حدود ۱٪ در سال کاهش می‌یابد.

مقایسه دستگاه‌های انرژی بین زنان و مردان

دستگاه فسفاژن. تراکم عضلانی ATP و PCr به‌ازای هر کیلوگرم عضله در زنان و مردان مشابه است. اما به دلیل وجود کل توده عضله کمتر در زنان، مجموع فسفاژن موجود کمتری هنگام تمرین مورد استفاده قرار می‌گیرد. توان بی‌هوازی بیشینه مردان کمی بیشتر از زنان است که این اختلاف مربوط به اندازه کوچک‌تر بودن بدن زنان می‌باشد. بهترین رشته‌های دو برای زنان در مقایسه با مردان عبارت است از ۱۰۰ متر و ۲۰۰ متر سرعت.

دستگاه اسیدلاکتیک. زنان در مقایسه با مردان پس از تمرینات ورزشی بیشینه گرایش به داشتن سطوح اسیدلاکتیک کمتری هستند که نشانگر آن است که ظرفیت دستگاه اسیدلاکتیک نیز در زنان پایین‌تر است. ازجمله دلایل ظرفیت اسیدلاکتیک کمتر در زنان عبارت از کوچک‌تر بودن کل توده عضله است. مردان ممکن است هنگام رقابت در رشته‌هایی که تا حد زیادی متضمن دستگاه اسیدلاکتیک باشد (مانند ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر درمورد دو و ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر درمورد شنا) نسبت به زنان برتری اندکی داشته باشند.

دستگاه اکسیژن (هوازی). توان هوازی بیشینه زنان در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد کمتر از مردان است، زیرا در اغلب تمرینات و فعالیت‌های ورزشی، حرکت کل بدن ورزشکار در برگیرنده بخش اعظم بارکار به‌حساب می‌آید؛ بنابراین زنان برحسب Vo_2 max

نسبت به مردان در سطح غیربرتری قرار دارند. زنان به‌طور میانگین حداکثر اکسیژن مصرفی خود را در سنین بین ۱۳ تا ۱۵ سالگی به‌دست می‌آورند، اما مردان به‌طور میانگین این اوج را تا سنین ۱۸ تا ۲۲ سالگی به‌دست نمی‌آورند. مقدار میانگین حداکثر اکسیژن مصرفی زنان، تنها ۷۰ تا ۷۵٪ مقدار میانگین مردان است.

اندازه‌گیری مستقیم انرژی

رایج‌ترین واحد سنجش میزان متابولیسم، کیلوکالری(kcal) است که گاهی به‌صورت کالری(Cal) نیز نشان داده می‌شود. یک کیلوکالری، هزارکالری است (ژول ۴/۱۸ = ۱ کیلوکالری). یکی از روش‌های تخمین میزان تولید انرژی، اندازه‌گیری میزان تولید گرما در بدن است که اندازه‌گیری مستقیم انرژی (کالری‌سنجی مستقیم) نامیده می‌شود. بنابر قانون اول ترمودینامیک، هنگامی‌که انرژی مکانیکی تبدیل به انرژی حرارتی یا انرژی حرارتی تبدیل به انرژی مکانیکی می‌شود نسبت این دو انرژی مقداری ثابت است. براین‌اساس، مقدار ثابت انرژی ازدست‌رفته همیشه با حاصل همان مقدار حرارت، برابر است. گرمای تولید شده با استفاده از کالریمتر اندازه‌گیری می‌شود. اگرچه کالریمتر توانایی اندازه‌گیری دقیق کل انرژی مصرفی بدن را دارد، اما نمی‌تواند تغییرات سریع در آزادشدن انرژی را دنبال کند. به‌همین‌دلیل، نمی‌توان در جریان فعالیت‌های شدید متابولیسم انرژی را با استفاده از کالریمتر اندازه‌گیری کرد.

اندازه‌گیری غیرمستقیم انرژی

چنانچه می‌دانیم، متابولیسم چربی و کربوهیدرات به تأمین اکسیژن و تولید دی‌اکسید کربن و آب بستگی دارد. مقادیر اکسیژن و دی‌اکسیدکربن مبادله‌شده در شش‌ها به‌طور طبیعی با مقادیر آزادشده و مورد استفاده در بافت‌ها برابر است؛ بنابراین با اندازه‌گیری گازهای تنفسی، می‌توان انرژی مصرف‌شده را برآورد کرد. به این روش، اندازه‌گیری غیرمستقیم انرژی (کالری‌سنجی غیرمستقیم) گفته می‌شود که ازطریق دستگاه‌ها و امکانات متنوع و گوناگون قابل اندازه‌گیری می‌باشد.

نسبت تبادل تنفسی

میزان نسبی کربوهیدرات و چربی مصرفی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم ازطریق تبادلات تنفسی و محاسبه ارزش R یا نسبت تبادل تنفسی (RER) ارزیابی شود. RER، نسبت حجم دی‌اکسیدکربن تولیدی به حجم اکسیژن مصرفی به‌وسیله شش‌ها در هر واحد زمان می‌باشد. ازآنجاکه پروتئین نقش کمتری به‌عنوان سوبسترا، در مدت فعالیت بدنی دارد؛ بنابراین میزان R فعالیت بدنی به‌منزله R غیرپروتئینی نامیده می‌شود. اگر این نسبت برای نشان دادن تنفس سلولی به‌کار رود بهره تنفسی نامیده می‌شود (RQ). نسبت تبادل تنفسی یا RER زمانی استفاده می‌شود که VO_2 و VCO_2 حاصل از هوای بازدمی ناشی از تنفس خارجی در ریه‌ها اندازه‌گیری شوند.

مقدار اکسیژن موردنیاز برای اکسیداسیون کامل یک مول چربی یا کربوهیدرات متناسب با مقدار کربن موجود در آن سوخت است. هنگامی‌که یک مول چربی (مثل اسید پالمیتیک) اکسیده می‌شود، اکسیژن با کربن و H ترکیب شده و CO_2 و آب تولید می‌کند:

اکسیداسیون $C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 \longrightarrow 16CO_2 + 16H_2O + 129ATP$

$R = CO_2 \div 230_2 = 0/7$

و هنگامی‌که یک مول کربوهیدرات (مثل گلوکز) می‌سوزد:

اکسیداسیون $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$

$R = 6CO_2 \div 602 = 1$

اگرچه چربی‌ها نسبت به کربوهیدرات‌ها، انرژی بیشتری تولید می‌کنند، اما برای اکسیداسیون چربی‌ها، اکسیژن بیشتری موردنیاز است. این نشان‌دهنده پایین‌تر بودن مقادیر RER برای چربی‌ها نسبت به کربوهیدرات‌هاست.

انرژی حاصل از اکسیداسیون چربی ۴/۶۹، کربوهیدرات ۵/۰۵ و پروتئین ۴/۴۶ کیلوکالری به‌ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی است. بعید به‌نظر می‌رسد که در فعالیت‌های زیر بیشینه، چربی‌ها یا کربوهیدرات‌ها به تنهایی به‌عنوان سوبسترای انرژی مورد استفاده قرار گیرند؛ بنابراین R تمرین بین ۱ و ۰/۷ قرار دارد. جدول زیر دامنه‌ای از مقادیر R و درصد سوخت‌وساز چربی یا کربوهیدرات‌ها را نشان می‌دهد.

RER	درصد کیلوکالری	
	چربی	کربوهیدرات
۰/۷	۱۰۰	۰
۰/۷۵	۸۳	۱۷
۰/۸۰	۶۷	۳۳
۰/۸۵	۵۰	۵۰
۰/۹۰	۳۳	۶۷
۰/۹۵	۱۷	۸۳
۱/۰۰	۰	۱۰۰

نکته: R غیر پروتئینی ۰/۸۵ معرف وضعیتی است که چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها به‌طور برابر در سوبسترای انرژی سهیم هستند. مقدار RER در حالت استراحت ۰/۷۸ تا ۰/۸ است.

محدودیت‌های نسبت تبادل تنفسی

مطالب علمی حاکی از آن است که باوجود تناسب میان اکسیژن مصرفی توسط سلول‌ها و اکسیژن دریافتی، حتی هنگام تمرین‌های شدید، تبادل دی‌اکسیدکربن به ندرت ثابت باقی می‌ماند و می‌تواند با تنفس عمیق یا اجرای تمرینات بسیار شدید، تغییر کند. در این موارد، مقدار دی‌اکسیدکربن آزادشده در شش‌ها نمی‌تواند نشان‌دهندهٔ مقدار دی‌اکسیدکربن تولیدی در بافت‌ها باشد. از این‌رو، محاسبه مقدار کربوهیدرات و چربی مصرفی با توجه به‌اندازه‌گیری گازها، فقط هنگام استراحت یا تمرینات یکنواخت اعتبار دارد. در موارد ویژه‌ای، مقدار RER تحت تأثیر عواملی به غیر از اکسیداسیون مواد غذایی قرار می‌گیرد که عبارت است از:

الف) هنگام پر تهویه‌ای که دی‌اکسیدکربن دفعی افزایش می‌یابد؛ درنتیجهٔ این بیش تنفسی، میزان طبیعی دی‌اکسیدکربن در خون کاهش می‌یابد. این افزایش در دی اکسیدکربن دفعی، افزایش برابری را در مصرف اکسیژن به‌همراه ندارد؛ بنابراین افزایش نامتناسبی در نسبت تبادل تنفسی روی می‌دهد که نمی‌توان آن را مربوط به اکسایش مواد غذایی دانست. در چنین مواردی RER معمولاً به بالاتر از یک افزایش می‌یابد.

ب) در دقایق نخست تمرین‌های زیر بیشینه، اثر تحریکات ظاهری عمل پر تهویه‌ای را به‌حدی افزایش می‌دهد که میزان دی‌اکسیدکربن بازدمی فرد را نسبت به اکسیژن دمی افزایش می‌دهد؛ درنتیجه مقدار RER به واحد نزدیک شده یا از آن فراتر می‌رود که پس از گذشت چند دقیقه دوباره به محدوده طبیعی خود برمی‌گردد.

ج) نسبت تبادل تنفسی فردی که چربی بدنی زیادی دارد و درعین‌حال از تغذیه پرکربوهیدرات استفاده می‌کند نیز از یک فراتر می‌رود.

د) امکان به‌دست آمدن مقادیر RER کمتر از مقدار طبیعی نیز وجود دارد. برای مثال، پس از تمرین بی‌هوازی خیلی سنگین، دی‌اکسیدکربن در یاخته‌ها و مایعات بدن باقی می‌ماند تا بتواند بی‌کربنات‌های مصرفی در عمل تامپونی اسید لاکتیک را دوباره‌سازی کند. این عمل، دی‌اکسیدکربن بازدمی را کاهش و می‌تواند نسبت تبادل تنفسی را به کمتر از ۰/۷ تقلیل دهد.

ه) تولید گلوکز درنتیجه تجزیه اسیدهای آمینه و چربی‌ها در کبد، موجب پایین آمدن نسبت تبادل تنفسی تا ۰/۷می‌شود.

علاوه‌بر عوامل مذکور، فعالیت در گرما سبب افزایش نسبت تبادل تنفسی می‌شود. هر درجه افزایش دما (فارنهایت)، به ۷٪ افزایش در نسبت تبادل تنفسی منجر می‌شود. همچنین، با افزایش چربی کل بدن که معمولاً با افزایش سن رخ می‌دهد، نسبت تبادل تنفسی کاهش می‌یابد.

باوجود همهٔ محدودیت‌ها و کاستی‌های اندازه‌گیری غیر مستقیم انرژی، هنوز هم این روش بهترین شیوهٔ برآورد انرژی مصرفی است و می‌تواند برای محاسبه دقیق اکسیداسیون چربی و کربوهیدرات استفاده شود.

محاسبه هزینه انرژی تمرین

تعیین هزینه انرژی (اکسیژن) تمرینات بی‌هوازی متضمن محاسبه اکسیژن مصرفی در مدت استراحت، تمرین و برگشت به حالت اولیه (وام اکسیژن) خواهد بود. کل اکسیژن مصرفی در تمرین و برگشت به حالت اولیه، منهای اکسیژن مصرفی زمان استراحت به‌نام هزینه خالص اکسیژن تمرین خوانده می‌شود. هنگام تمرینات هوازی، تنها محاسبه اکسیژن مصرفی زمان استراحت و حالت تعادل موردنیاز است. در این مورد، هزینه خالص اکسیژن برابر است با اکسیژن مصرفی منهای اکسیژن مصرفی زمان استراحت.

هزینه خالص اکسیژن هنگامی‌که به دقیقه بیان می‌شود اندازه‌گیری توان را نشان می‌دهد و هنگامی‌که درمورد کل دوره تمرین بیان می‌گردد، اندازه‌گیری کار را نشان می‌دهد.

اکسیژن مصرفی بیشینه براساس دقیقه اندازه‌گیری می‌شود.

واحد دیگری که جهت بیان انرژی یا هزینه اکسیژن مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌نام MET خوانده می‌شود. یک MET معادل متابولیکی از میزان متابولیسم استراحتی (RMR) یک فرد می‌باشد که برای تعیین انرژی هزینه‌ای یک فعالیت ورزشی استفاده می‌شود و به‌عنوان مقدار اکسیژن لازم در دقیقه تحت شرایط استراحت تعریف شده و برابر است با ۳/۵ میلی‌لیتر اکسیژن مصرفی در هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه. درست مثل RMR افراد، مت نیز به عوامل مختلفی ازجمله سن، وزن و ترکیب بدنی بستگی دارد. اگر فردی با شدت معادل ۹ مت در حال فعالیت است؛ درحقیقت با شدتی معادل ۹ برابر میزان متابولیسم استراحتی در حال فعالیت ورزشی می‌باشد. فعالیتی که ۳ تا ۶ مت را بسوزاند، شدت متوسطی دارد و فعالیتی که بیش از ۶ مت بسوزاند، شدت زیادی دارد؛ بنابراین در ۹ مت، فرد در حال انجام یک فعالیت ورزشی شدید می‌باشد.

کارایی

کارایی به‌عنوان نسبت بازده کار به انرژی مصرفی تعریف می‌شود. کارایی در بدن انسان بستگی به جثه، سطح آمادگی فرد، مهارت و سرعت وی دارد. هرقدر هزینه خالص اکسیژن بالاتر باشد کارایی کمتر است. به‌طور متوسط دوندگان ماراتن دارای ۵ تا ۱۰٪ کارایی بیشتر نسبت به دوندگان نیمه استقامت می‌باشند. کارایی فعالیت‌های مربوط به عضلات بزرگ مثل راه‌رفتن، دویدن و دوچرخه‌سواری بین ۲۰ تا ۲۵٪ است. در شنا به‌علت وجود مقاومت آب کارایی خیلی پایین و بین ۲ تا ۱۰٪ است.

سؤالات چهار گزینه‌ای سراسری فصل اول

۱- حرارتی که هنگام بازسازی ATP تولید می‌شود، چه نوع حرارتی است؟ **(سال۷۸)**

۱) حرارت انبساطی ۲) حرارت فعال شدن ۳) حرارت انقباضی ۴) حرارت ثانویه

۲- با توجه به واحد وزن اندام، بیشترین ذخیره کربوهیدرات‌های بدن به چه شکلی و در چه بافتی ذخیره است؟ **(سال ۷۸)**

۱) گلوکز و در خون ۲) گلیکوژن و در کبد ۳) گلیکوژن و در عضلات اسکلتی ۴) گلیکوژن و در سلول‌های عصبی

۳- در کدام‌یک از فعالیت‌های ورزشی زیر، کمبود اکسیژن تا هنگام متوقف شدن کار همچنان افزایش می‌یابد؟ **(سال ۷۸)**

۱) کار با شدت یکنواخت ۲) کار با شدت متوسط ۳) کار با شدت کم ۴) کار با شدت زیاد

۴- میزان کالری ذخیره شده بدن، به‌صورت فسفاژن چقدر است؟ **(سال ۷۸)**

۱) ۵/۷ تا ۶/۹ میلی‌مول ۲) حدود ۶۹۰ تا ۸۹۰ میلی‌مول
۳) حدود ۵۷۰ تا ۶۹۰ میلی‌مول ۴) حدود ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌مول

۵- دستگاه مولد ATP موردنیاز در دوهای ۱۰۰ تا ۸۰۰ متر کدام است؟ **(سال ۷۸)**

۱) هوازی و غیرهوازی است. ۲) فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی است.
۳) هوازی و اسید لاکتیک است. ۴) هیچ‌کدام

۶- انرژی حاصل از متابولیسم چربی به‌ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی چقدر است؟ **(سال ۷۸)**

۱) ۵ کیلوکالری ۲) ۴/۷ کیلوکالری ۳) ۴/۹ کیلوکالری ۴) ۵/۰۵ کیلوکالری

۷- زمان انجام فعالیت‌های ورزشی و استفاده از دستگاه‌های فسفاژن، اسیدلاکتیک و هوازی به‌ترتیب عبارتند از: **(سال ۷۸)**

۱) ۳ دقیقه- ۵ دقیقه ـ بالاتر از ۵ دقیقه ۲) تا ۳ دقیقه- بالاتر از ۳ دقیقه- بالاتر از ۵ دقیقه
۳) ۱۰ ثانیه- تا ۳ دقیقه- فعالیت‌های شدید ۴) ۱۰ ثانیه- ۲ تا ۳ دقیقه- بالاتر از ۳ دقیقه

۸- در دستگاه گلیکوژنولیز، محصول نهایی (بازده انرژی) آدنوزین تری‌فسفات: **(سال ۷۹)**

۱) ۲ مول ۲) ۳ مول ۳) ۳۸ مول ۴) ۸ مول

۹- در کدام‌یک از رشته‌های زیر همه دستگاه‌های انرژی درگیر می‌شوند؟ **(سال ۷۹)**

۱) دوی ۴۰۰ و ۸۰۰ متر ۲) دوی ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ متر
۳) دوی ۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر ۴) دوی ۱۰۰ متر و ۲۰۰ متر

۱۰- سطح اسیدلاکتیک خون در یک دونده ماراتن در انتهای مسابقه چقدر افزایش می‌یابد؟ **(سال ۷۹)**

۱) افزایش ندارد. ۲) ۲ برابر زمان استراحت ۳) ۵ برابر زمان استراحت ۴) برابر زمان استراحت

۱۱- انتقال یون‌های هیدروژن و الکترون‌ها به اکسیژن و تولید آب در کدام‌یک از مراحل سوخت‌وساز هوازی انجام می‌شود؟ **(سال ۷۹)**

۱) زنجیره تنفسی ۲) گلیکوژنولیز ۳) گلیکولیز هوازی ۴) چرخه کربس

۱۲- در تمرینات ورزشی طولانی مدت، چه موقع عمل گلیکولیز بی‌هوازی خاتمه می‌یابد؟ **(سال ۷۹)**

۱) پس از مصرف زیاد اکسیژن در ابتدای تمرین ۲) با رسیدن مصرف اکسیژن به سطح ثابت
۳) با رسیدن اکسیژن به حد نوسان تناوبی ۴) پس از مصرف فراوان اکسیژن پیش از تمرین

۱۳- در کدام‌یک از حالت‌های زیر، مقدار R (نسبت تبادل تنفسی) معادل و یا کمتر از ۱ است؟ **(سال ۷۹)**

۱) هنگام تمرینات کوتاه و خسته‌کننده ۲) پس از ۳ دقیقه از شروع تمرین هوازی
۳) تهویه بیش از حد ریه‌ها ۴) در دقایق آغازین ورزش زیر بیشینه

۱۴- هزینه انرژی ورزشکار در یک دوی ۱۰۰ متر معادل ۲۰۰ مت (MET) است، اکسیژن هزینه‌ای وی برای هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه چقدر است؟ **(سال ۷۹)**

۱) ۷۰۰ میلی‌لیتر ۲) ۱۰۱۰ میلی‌لیتر ۳) ۱۰۷۰ میلی‌لیتر ۴) ۲۴۵۰ میلی‌لیتر

۱۵- بالاترین سرعت رهایش ATP مربوط به کدام‌یک از سیستم‌های زیر است؟ **(سال ۷۹)**

۱) گلیکولیز بی‌هوازی ۲) گلیکولیز هوازی ۳) چرخه کربس ۴) فسفاژن

۱۶- معادل انرژی حرارتی کدام‌یک از غذاهای زیر به‌ازای هر لیتر اکسیژن بیشتر است؟ **(سال ۷۹)**

۱) چربی ۲) پروتئین ۳) غذای مخلوط ۴) کربوهیدرات

۱۷- در کدام‌یک از بهره‌های تنفسی (RQ) زیر، مقدار کالریک حاصل به‌ازای هر لیتر اکسیژن بیشتر است؟ **(سال ۸۰)**

۱) RQ برابر با ۰/۷۰ ۲) RQ مساوی با ۰/۹۰ ۳) RQ برابر با ۰/۸۰ ۴) RQ برابر با ۰/۹۹

۱۸- ورزشکاری همزمان در دو رشته پرش ارتفاع و دوی ۱۰۰ متر به فعالیت می‌پردازد، وی در تمرینات باید بیشتر به تقویت کدام‌یک از سیستم‌های انرژی بپردازد؟ **(سال ۸۰)**

۱) هوازی ۲) گلیکولیز ۳) فسفاژن ۴) فسفاژن و گلیکولیز

۱۹- کدام‌یک از موارد زیر برای دوباره‌سازی مداوم ATP یک پیش‌نیاز نیست؟ **(سال ۸۱)**

۱) FADH2, NADH2 ۲) آنزیم‌های سلولی با غلظت کافی
۳) حضور اکسیژن در بافت‌ها ۴) تخلیه فسفوکراتین از سلول

۲۰- کسر اکسیژن در کدامیک از ورزشکاران کمتر است؟ **(سال ۸۱)**

۱) اسکی‌بازان صحرانوردی ۲) دونده‌های نیمه‌استقامتی ۳) دونده‌های ماراتن ۴) ورزشکاران مبتدی

۲۱- کدام‌یک از آنزیم‌های زیر در تولید AMP به‌عنوان محرکی برای شروع روند تجزیه گلیکوژن و گلوکز نقش اصلی را برعهده دارد؟ **(سال ۸۱)**

۱) آدنیلات کیناز ۲) SDH و سیتوکروم ۳) ATPase ۴) کراتین فسفوکیناز

۲۲- انرژی مصرفی دونده‌ای که دارای RQ=۱ است در یک مسابقه ۱۰ دقیقه‌ای که هر دقیقه ۲ لیتر اکسیژن مصرف می‌کند، چند کیلوکالری است؟ **(سال ۸۱)**

۱) ۱۱۵ ۲) ۱۰۰ ۳) ۸۵ ۴) ۱۳۰

۲۳- برای تولید ATP، در کدام‌یک از مواد غذایی به مصرف اکسیژن کمتری نیاز است؟ **(سال ۸۲)**

۱) مواد قندی ۲) مواد چربی ۳) مواد پروتئینی ۴) مخلوط مواد غذایی

۲۴- معادل کالری ورزشکاری که از غذای مخلوط استفاده کرده و برای انجام فعالیتی تقریباً ۳۰ لیتر اکسیژن مصرف کرده، چقدر است؟ **(سال ۸۲)**

۱) ۱۳۷ کیلوکالری ۲) ۱۴۵ کیلوکالری ۳) ۱۵۰ کیلوکالری ۴) ۱۶۰ کیلوکالری

۲۵- ورزشکاری به‌هنگام ورزش در هوای گرم، به بهترین شکل تعادل مایعات درون سلولی و برون سلولی را تنظیم می‌کند، انرژی مصرفی وی برای این کار چیست؟ **(سال ۸۲)**

۱) کار انتقالی ۲) کار مکانیکی ۳) کار حرارتی ۴) کار شیمیایی

۲۶- در کدام‌یک از رشته‌های ورزشی معمولاً عملکرد مردان، برتر از زنان است؟ **(سال ۸۲)**

۱) دونده‌های ۱۰۰ متر و شناگران ۵۰ متر ۲) دونده‌های ۴۰۰ متر و شناگران ۱۰۰ متر
۳) دونده‌های ۸۰۰ متر و شناگران ۲۰۰ متر ۴) دونده‌های ۵۰۰۰ متر و شناگران ۱۵۰۰ متر

موسسه آموزش عالی آزاد ماهان www.mahan.ac.ir

۲۷- نقطه Obla چیست؟ (سال ۸۳)

۱) نقطه اوج افزایش اسیدلاکتیک است.
۲) نقطه شروع کاهش اسیدلاکتیک است.
۳) نقطه شروع تجمع اسیدلاکتیک است.
۴) نقطه شروع استفاده از مسیر بی‌هوازی است.

۲۸- آستانه لاکتات در افراد نخبه چه درصدی از VO_2 max به‌دست می‌آید؟ (سال ۸۳)

۱) در حداقل ۴۰-۳۰ درصد VO_2 max
۲) در حداقل ۴۰-۴۵ درصد VO_2 max
۳) در حداقل ۵۰-۶۰ درصد VO_2 max
۴) در حداقل ۷۰-۸۰ درصد VO_2 max

۲۹- معمولاً بالاترین آستانه لاکتات در کدام دسته از ورزشکاران زیر مشاهده می‌شود؟ (سال ۸۳)

۱) ورزشکاران توانی نخبه
۲) شناگران سرعتی تمرین‌کرده
۳) ورزشکاران تمرین‌کرده استقامتی
۴) ورزشکاران قدرتی به‌مدت طولانی

۳۰- بالاترین آستانه لاکتات در ورزشکاران ..... مشاهده می‌شود. (سال ۸۴)

۱) سرعتی ورزیده ۲) ورزیده استقامتی ۳) قدرتی پرتوان ۴) انفجاری پرتوان

۳۱- کدام عبارت درخصوص میزان متابولیسم پایه (BMR) صحیح است؟ (سال ۸۵)

۱) BMR با افزایش سن زیاد می‌شود.
۲) BMR با وزن بدن رابطه مستقیم دارد.
۳) توده بدون چربی بیشتر به معنای متابولیسم پایه بیشتر است.
۴) برخورداری از چربی بیشتر به معنای BMR بیشتر است.

۳۲- در حضور اکسیژن، اسید پیرویک به‌کدام عامل تبدیل می‌شود؟ (سال ۸۵)

۱) اسید پالمیک ۲) استیل کوآنزیم A ۳) اسید سیتریک ۴) اسید لاکتیک

۳۳- علت کمتر بودن ظرفیت گلیکولیتیک در کودکان کدام است؟ (سال ۸۵)

۱) عمل تامپونی زیاد
۲) ضعف عضلانی فزآینده
۳) کاهش لاکتات تولیدی
۴) محدودیت آنزیم فسفوفروکتوکیناز

۳۴- سهم گلیکولیز بی‌هوازی نسبت به سهم دستگاه هوازی، هنگام فعالیت زیر بیشینه در کدام سلول بیشتر است؟ (سال ۸۶)

۱) سلول میوکارد ۲) سلول کبد ۳) سلول قرمز خون ۴) سلول عضلانی فعال

۳۵- پس از تمرین‌های آمادگی، سازوکار فیزیولوژیکی مسئول کاهش انباشت اسید لاکتیک چیست؟ (سال ۸۶)

۱) کاهش مقادیر ADP و P_i و مواجه شدن با کسر اکسیژن کمتر در آغاز تمرین
۲) استفاده از اسید لاکتیک تولیدی به‌عنوان سوخت و افزایش مقادیر ADP و P_i
۳) افزایش مقادیر ADP و P_i و استفاده بیشتر از اسیدهای چرب
۴) استفاده بیشتر از اسیدهای چرب و افزایش گلیکولیز هوازی

۳۶- انرژی مصرفی شخصی ۸۰ کیلوگرمی که با شدت ۱۰ مت روی نوارگردان می‌دود، تقریباً چند کیلوکالری در دقیقه است؟ (سال ۸۶)

۱) ۱۰ ۲) ۱۴ ۳) ۲۸ ۴) ۳۵

۳۷- مجموعه FMN مستقر در آغاز زنجیره انتقال الکترونی باعث می‌شود تا الکترون‌ها و پروتون‌ها از ..... به زنجیره منتقل شود. (سال ۸۷)

۱) NADH ۲) FADH ۳) GTP ۴) NADPH

۳۸- هنگامی‌که مقدار R یک فعالیت ورزشی معادل ۰/۸۷ شده باشد، احتمالاً کدام ماده غذایی بیشتر مورد مصرف قرار گرفته است؟ (سال ۸۷)

۱) اسید چرب ۲) پروتئین ۳) تری گلیسرید ۴) کربوهیدرات

۳۹- احتمال افزایش کدام‌یک از فرآیندهای زیر هنگام فعالیت ورزشی وجود دارد؟ **(سال ۸۷)**

۱) پروتئوژنز ۲) گلوکونئوژنز ۳) گلیکوژنز ۴) لیپوژنز

۴۰- هنگام فعالیت ورزشی شدید کوتاه مدت، آنزیمی که فرآیند سنتز ATP را تضمین می‌کند، چیست؟ **(سال ۸۷)**

۱) کراتین کیناز ۲) پیروات کیناز ۳) ATPase ۴) لاکتات دهیدروژناز

۴۱- کدام عبارت در خصوص واکنش‌های انرژی زا صحیح می‌باشد؟ **(سال ۸۷)**

۱) انتروپی شکلی از انرژی است که به‌طور کامل استفاده می‌شود.
۲) هرچه ΔG منفی‌تر باشد، میزان انرژی رها شده در واکنش کمتر است.
۳) هرچه ΔG منفی‌تر باشد، میزان انرژی آزاد شده در واکنش بیشتر است.
۴) ΔG معادل ۱۴- کیلوکالری در مول با انرژی انتروپی یکسان استفاده می‌شود.

۴۲- کمترین VO_2 max هنگام کدام فعالیت ورزشی به‌دست می‌آید؟ **(سال ۸۷)**

۱) کارسنج دستی ۲) پله ورزشی ۳) دویدن ۴) شنا

۴۳- هنگام تمرینات ورزشی استقامتی، چه تغییری در چرخه آلانین ـ گلوکز به‌وجود می‌آید؟ **(سال ۸۷)**

۱) افزایش بارز ۲) افزایش جزئی ۳) کاهش جزئی ۴) کاهش بارز

۴۴- کدام گزینه درمورد سهم نسبی دستگاه‌های انرژی هنگام مسابقه ۱۰۰ متر شنای پروانه در سطح المپیک، منطقی به‌نظر می‌رسد؟ **(سال ۸۸)**

۱) ۷۰-۲۰-۱۰ ۲) ۵۰-۳۰-۲۰ ۳) ۲۰-۵۰-۳۰ ۴) ۱۰-۲۰-۷۰

۴۵- کدام دسته از انتقال‌دهنده‌های پروتئینی موجود در سارکولما در پاسخ به انسولین و فعالیت ورزشی –هر دو- افزایش می‌یابند؟ **(سال ۸۸)**

۱) $GLUT_1$ ۲) $GLUT_2$ ۳) $GLUT_3$ ۴) $GLUT_4$

۴۶- با مصرف ۰/۱ مول گلوکز در دستگاه گلیکولیز بی‌هوازی چند گرم اسیدلاکتیک تولید می‌شود؟ **(سال ۸۸)**

۱) ۱۰۸ ۲) ۷۲ ۳) ۳۶ ۴) ۱۸

۴۷- کبد، وظایف متابولیکی گوناگونی را انجام می‌دهد، مهم‌ترین این واکنش‌ها برای فعالیت‌های ورزشی کدامند؟ **(سال ۸۸)**

۱) آزاد ساختن گلوکز و FFA و تولید مولکول‌های لیپوپروتئینی
۲) سنتز پروتئین‌ها از اسیدهای آمینه و سنتز گلیکوژن پس از فعالیت ورزشی
۳) انتقال کلسترول خون و تری‌آسیل‌گلیسرول و تولید گلوکز از فرآیند گلوکونئوژنز
۴) تولید گلوکز از فرآیند گلوکونئوژنز و سنتز گلیکوژن کبد پس از فعالیت ورزشی

۴۸- افزایش مقادیر NH_3^+ در عضله و خون، نشانه غیرمستقیم افزایش کدام فرآیند متابولیکی است؟ **(سال ۸۸)**

۱) پروتئولیز ۲) لیپولیز ۳) گلیکولیز ۴) گلیکوژنولیز

۴۹- پیامد تخلیه ذخایر کربوهیدرات چیست؟ **(سال ۸۸)**

۱) افزایش زمان رسیدن به خستگی
۲) کاهش دفع نیتروژن ازطریق تعریق و ادرار
۳) افزایش سریع مقادیر آمونیاک درون سلولی و پلاسمایی
۴) کاهش فعالیت مجموعی آنزیم‌های درگیر در تجزیه اسیدهای آمینه

۵۰- دلیل کمتر شدن سنتز اسید چرب در عضله اسکلتی چیست؟ **(سال ۸۸)**

۱) فعالیت محدود مسیر پنتوز فسفات ۲) محدودیت فعالیت LPL
۳) محدودیت مالونیل کوA ۴) محدودیت فعالیت HSL

۵۱- پس از طناب زدن سریع در مدت ۲ دقیقه، میزان لاکتات پلاسما به ۱۲ میلی‌مول در لیتر رسیده است. کدام گزینه درمورد سهم دستگاه‌های انرژی در این فعالیت منطقی به‌نظر می‌رسد؟ **(سال ۸۹)**

۱) ۲۰ درصد فسفاژن ـ ۵۰ درصد گلیکولیز بی‌هوازی ـ ۳۰ درصد هوازی
۲) ۱۰ درصد فسفاژن ـ ۸۰ درصد گلیکولیز بی‌هوازی ـ ۱۰ درصد هوازی
۳) ۳۰ درصد فسفاژن ـ ۲۰ درصد گلیکولیز بی‌هوازی ـ ۵۰ درصد هوازی
۴) ۵۰ درصد فسفاژن ـ ۳۰ درصد گلیکولیز بی‌هوازی ـ ۲۰ درصد هوازی

۵۲- سوبسترای اصلی در فعالیت‌های ورزشی کم شدت، کدام است؟ **(سال ۸۹)**

۱) گلوکز موجود در گردش خون
۲) گلوکز و گلیکوژن عضلات
۳) اسیدهای چرب آزاد گردش خون
۴) ذخایر چربی اندوژنی عضلات اسکلتی

۵۳- به اعتقاد متخصصین ورزشی بهبود اقتصاد دویدن به کدام عامل بیشتر بستگی دارد؟ **(سال ۸۹)**

۱) عوامل فیزیولوژیکی ۲) عوامل بیومکانیکی ۳) عوامل بیوشیمیایی ۴) عوامل محیطی

۵۴- عامل اصلی انحراف اکسیژن به هنگام دویدن در سراشیبی کدام است؟ **(سال ۹۰)**

۱) افزایش دمای عضله
۲) آسیب عضلانی
۳) کاهش نسبت تبادل تنفسی
۴) افزایش هورمون‌های کاتکولامینی

۵۵- با افزایش گلوکز ۶ فسفات در سلول عضلانی کدام مسیر فعال می‌شود؟ **(سال ۹۰)**

۱) گلیکوژنولیز ۲) گلیکوژنز و لیپوژنز ۳) گلیکوژنز ۴) گلیکولیز

۵۶- سرعت کسر اکسیژن (میلی‌لیتر در ثانیه) در کدام‌یک از فعالیت‌های زیر بیشتر است؟ **(سال ۹۱)**

۱) مسابقه شنای ۱۰۰ متر ۲) مسابقه شنای ۱۵۰۰ متر ۳) مسابقه شنای ۴۰۰ متر ۴) مسابقه شنای ۲۰۰ متر

۵۷- برای اجرای یک مسابقه کشتی، ۸۰ درصد انرژی از کربوهیدرات فراهم شده است. کدام عدد R بی‌پروتئین معرف این نوع سوخت است؟ **(سال ۹۱)**

۱) ۰/۸۶ ۲) ۰/۹۴ ۳) ۰/۹۲ ۴) ۰/۸۴

۵۸- برداشت گلوکز تا بیشتر از ۴۸ ساعت پس از تنها یک جلسه فعالیت ورزشی در افراد غیردیابتی و دیابتی نوع II تداوم می‌یابد، به‌دلیل: **(سال ۹۱)**

۱) کاهش شدید میل ترکیبی لاکتات برای خروج از عضلات ورزیده در زمان مشابه
۲) کاهش میل ترکیبی بافت‌های محیطی به گلوکز در آستانه تحمل تنفس افراد دیابتی
۳) افزایش حساسیت به انسولین و کاهش جابه‌جایی GLU_4 در سارکولما
۴) تأثیر اندوژنی افزایش GLU_4 مستقر در سارکولمای تارهای عضلانی ورزیده

۵۹- در کدام وضعیت RER را می‌توان با RQ برابر (معادل) گرفت؟ **(سال ۹۲)**

۱) ورزش دراز مدت کمتر از ۹۰ دقیقه
۲) اسیدوز متابولیک
۳) پر تهویه‌ای
۴) EPOC

۶۰- نشانگر دقیق کاهش کراتین فسفات در فعالیت ورزشی شدید چیست؟ **(سال ۹۲)**

۱) افزایش کراتین ۲) افزایش فسفات‌های غیرآلی آزاد ۳) افزایش آدنوزین دی‌فسفات ۴) افزایش آدنوزین منو فسفات

۶۱- هنگام انجام یک آزمون ورزشی استقامتی، ۱۰ مولکول اکسیژن همراه با کربوهیدرات و ۵ مولکول اکسیژن همراه با چربی مصرف شده است. میزان ATP مصرفی در این فعالیت حدوداً چه تعداد بوده است؟ **(سال ۹۲)**

۱) ۷/۵ ۲) ۷۵ ۳) ۹۱ ۴) ۳۳۶

۶۲- دفسفوریلاسیون کدام پورین نوکلئوتید باعث الحاق RNA ناقل به مجموعه RNA پیک ریبوزومی می‌شود؟ **(سال ۹۲)**

۱) ATP ۲) GTP ۳) ADP ۴) GDP

پاسخنامه سؤالات چهار گزینه‌ای سراسری فصل اول

۱- گزینه «۱»

۲- گزینه «۲»

☜ اگر عامل وزن نبود، بیشترین ذخیره در عضلات اسکلتی است.

۳- گزینه «۴»

۴- گزینه «۳»

☜ مقدار ATP ذخیره شده در حدود ۱۸۰-۱۲۰ میلی‌مول، مقدار PC ذخیره شده حدود ۵۱۰-۴۵۰ میلی‌مول و مقدار کل فسفاژن (ATP + PC) برابر با ۵۷۰-۶۹۰ میلی‌مول می‌باشد.

۵- گزینه «۲»

☜ فعالیت‌های دو ۱۰۰ تا ۸۰۰ متر فعالیت‌های شدیدی هستند و در مدت‌کوتاهی انجام می‌شوند؛ بنابراین از دستگاه فسفاژن و گلیکولیز بی‌هوازی استفاده می‌نمایند.

۶- گزینه «۲»

☜ انرژی حاصل از متابولیسم چربی به‌ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی معادل ۴/۷۲ کیلوکالری، برای پروتئین ۴/۴۶ کیلوکالری و برای کربوهیدرات ۵/۰۵ کیلوکالری می‌باشد.

۷- گزینه «۴»

۸- گزینه صحیح بین گزینه‌ها نیست.

☜ پاسخ ۳۹ مول است، زیرا انرژی حاصل از اکسیداسیون کربوهیدراتاز هر مول گلیکوژن (گلیکوژنولیز) ۳۹ مول ATP و از هر مول گلوکز (گلیکولیز) ۳۸ مول ATP است.

۹- گزینه «۲»

۱۰- گزینه «۲»

☜ در تمریناتی نظیر دو ماراتن که حدود ۲/۵ ساعت به‌طول می‌انجامد منبع اصلی ATP توسط مسیر هوازی تأمین می‌گردد و دستگاه‌های اسیدلاکتیک و فسفاژن فقط در آغاز تمرین، قبل از آنکه مصرف اکسیژن به سطح ثابت جدیدی برسد، سبب افزایش اندکی در انباشتگی اسیدلاکتیک می‌گردد، به‌طوری که در دوندگان ماراتن انباشتگی اسیدلاکتیک در پایان مسابقه در حدود ۲ تا ۳ برابر حالت استراحت است.

۱۱- گزینه «۱»

☜ واکنش‌های ویژه‌ای که در آن آب تشکیل می‌شود به نام دستگاه انتقال الکترونی یا ذخیره تنفسی معروف است.

۱۲- گزینه «۲»

☜ در تمرینات طولانی نظیر دوی ماراتن عمل گلیکولیز بی‌هوازی با رسیدن مصرف اکسیژن به سطح ثابت خاتمه می‌یابد و منبع اصلی ATP توسط مسیر هوازی تأمین می‌گردد.

۱۳- گزینه «۲»

۱۴- گزینه «۱»

☜ MET مخفف کلمه METABOLIC EQUIVALANT بوده که به معنای معادل سوخت‌وسازی است و به‌عنوان مقدار اکسیژن لازم جهت یک دقیقه تحت شرایط استراحت کامل تعریف می‌گردد. مقدار آن برابر است با ۳/۵ میلی‌لیتر اکسیژن مصرفی در هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه. در این سوال چون ۲۰۰ مت انرژی مصرف شده؛ بنابراین ۷۰۰ = ۳/۵ × ۲۰۰ میلی‌لیتر اکسیژن مصرفی برای هر کیلوگرم وزن بدن در دقیقه است.

۱۵- گزینه «۴»

☜ بالاترین سرعت رهایش ATP در دستگاه فسفاژن است، اما بیشترین مقدار تولید ATP در چرخه کربس صورت می‌گیرد.

۱۶- گزینه «۴»

☜ معادل انرژی حرارتی به‌ازای هر لیتر اکسیژن به‌ترتیب عبارتند از: کربوهیدرات ۵/۰۵، تغذیه مخلوط ۴/۸۳، چربی ۴/۷۴، پروتئین ۴/۴۶ کیلوکالری می‌باشد.

۱۷- گزینه «۴»

☜ ارزش‌های کالری به‌ازای هر لیتر اکسیژن با بهره تنفسی ۰/۷۰ برابر ۴/۶۸، ۰/۸۰ برابر ۴/۸۰، ۰/۹۰ برابر ۴/۹۲ و ۰/۹۹ برابر ۵/۰۳ می‌باشد. البته باید توجه داشت بهره تنفسی در سطح سلول با RQ و در ریه‌ها برابر با R نمایش داده می‌شود.

۱۸- گزینه «۳»

☜ فعالیت‌هایی که کمتر از ۳ ثانیه زمان دارند (مثل پرتاب وزنه و دیسک، دو ۱۰۰ متر، پرش ارتفاع) از دستگاه فسفاژن، فعالیت‌هایی که بین ۳۰ تا ۹۰ ثانیه زمان نیاز دارند (مثل دوهای ۲۰۰ و ۴۰۰ متر، شنای ۱۰۰ متر آزاد) از دستگاه فسفاژن و اسیدلاکتیک، فعالیت‌هایی که بین ۱/۵ تا ۳ دقیقه زمان نیاز دارند (مثل دو ۸۰۰ متر، ژیمناستیک، مشت زنی، کشتی) از دستگاه اسیدلاکتیک و اکسیژن و فعالیت‌هایی که بیشتر از ۳ دقیقه زمان نیاز دارند (مثل فوتبال، اسکی صحرایی، دو ماراتن، دویدن آهسته و راهپیمایی) از دستگاه اکسیژن انرژی را تأمین می‌کنند.

۱۹- گزینه «۴»

۲۰- گزینه «۱»

☜ هنگام تمرینات کوتاه‌مدت و شدید کسر اکسیژن زیاد است و در فعالیت‌های طولانی‌مدت، به‌ترتیب فوتبال، اسکی صحرایی، دو ماراتن، دویدن آهسته و راهپیمایی، کسر اکسیژن کمتر است.

۲۱- گزینه «۱»

☜ آدنیلات کیناز (AK) سبب تولید مقدار ATP برای انقباض‌های عضلانی و AMP (آدنوزین مونوفسفات) به‌عنوان محرکی برای شروع روند تجزیه گلیکوژن و گلوکز می‌شود.

۲۲- گزینه «۲»

☜ زمانی‌که RQ برابر ۱ است؛ یعنی فرد تمام انرژی خود را از کربوهیدرات تأمین می‌کند. معادل انرژی حرارتی به‌ازای هر لیتر اکسیژن برای کربوهیدرات ۵/۰۵ کیلوکالری است؛ بنابراین: ۵/۰۵ × ۲ × ۱۰ = ۱۰۰

۲۳- گزینه «۱»

۲۴- گزینه «۲»

☜ معادل انرژی حرارتی به‌ازای هر لیتر اکسیژن برای تغذیه مخلوط ۴/۸۳ کیلوکالری می‌باشد؛ بنابراین: ۳۰ × ۴/۸۳= ۱۴۵

۲۵- گزینه «۱»

☜ انرژی آزاد شده به‌صورت کار مکانیکی (الیاف پروتئینی مستقیماً انرژی شیمیایی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند)، کار شیمیایی (ساختن مولکول‌های سلولی) و کار انتقالی (تنظیم غلظت انواع مایعات درون سلولی و برون سلولی) عمل می‌کند.

۲۶- گزینه «۲ و ۳»

☜ زنان چون ظرفیت اسیدلاکتیک کمتری نسبت به مردان دارند، هنگام رقابت در رشته‌هایی که تا حد زیادی متضمن دستگاه اسیدلاکتیک باشد، مردان نسبت به زنان برتری اندکی دارند. این تمرینات شامل دوهای ۴۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و شناهای ۱۰۰ تا ۴۰۰ متر می‌باشد.

۲۷- گزینه «۳»

۲۸- گزینه «۴»

۲۹- گزینه «۳»

☜ تمرینات استقامتی آستانه لاکتات را افزایش می‌دهد؛ بنابراین بالاترین آستانه لاکتات مربوط به ورزشکاران استقامتی است.

۳۰- گزینه «۲»

۳۱- گزینه «۳»

۳۲- گزینه «۲»

۳۳- گزینه «۴»

☜ توانایی کودکان برای اجرای فعالیت‌های بی‌هوازی محدود است. کودکان دارای ظرفیت گلیکولیتیکی پایینی هستند که احتمالاً به‌علت محدودیت آنزیم فسفوفروکتوکیناز است.

۳۴- گزینه «۳»

☜ سلول‌های قرمز خون میتوکندری ندارند و واکنش‌های مربوط به دستگاه هوازی در میتوکندری انجام می‌شود؛ بنابراین سهم گلیکولیز بی‌هوازی در این سلول‌ها بیشتر است.