

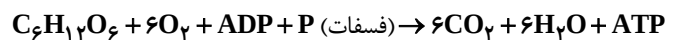
از ماده به انرژی

اکنون که در حال مطالعه این درس هستید، یاخته‌های بدن‌تان انرژی مصرف می‌کنند. این انرژی از کجا و چگونه تأمین می‌شود؟ چرا ورزش و فعالیت‌های بدنی شدید، سبب می‌شوند تا احساس گرما کنیم و مقداری آب به شکل عرق از دست بدهیم؟ با همه تفاوت‌هایی که بین ما و زرافه‌ای که در تصویر می‌بینید، وجود دارد؛ انرژی مورد نیاز ما به شیوهٔ یکسانی از غذایی که می‌خوریم تأمین می‌شود. در این فصل به فرایندهای آزاد شدن انرژی از مادهٔ مغذی در یاخته‌ها می‌پردازیم.

گفتار ۱: تأمین انرژی

تنفس یاخته‌ای

به یاد دارید چرا به اکسیژن نیاز داریم؟ در کتاب زیست شناسی ۱، آموختید که نیاز ما به اکسیژن به علت انجام فرایندی به نام تنفس یاخته‌ای است؛ زیرا در این فرایند ATP تولید می‌شود. مثلاً انرژی ذخیره شده در گلوکز در تنفس یاخته‌ای، برای تشکیل مولکول ATP به کار می‌رود (واکنش ۱).

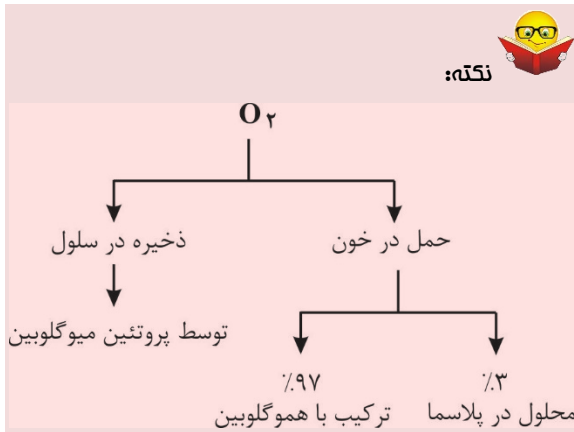


این واکنش تنفس یاخته‌ای هوازی را نشان می‌دهد؛ زیرا تجزیهٔ ماده مغذی و تولید ATP با حضور اکسیژن انجام می‌شود. تجزیهٔ ماده مغذی و تولید ATP بدون نیاز به اکسیژن نیز انجام می‌شود که در گفتار ۳ به آن می‌پردازیم.

مولکول پراترزی ATP

هیچ جاندار نمی‌تواند بدون انرژی زنده بماند، رشد و فعالیت کند. حفظ هر یک از ویژگی‌های جانداران مانند رشد و نمو و تولیدمثل به در اختیار داشتن ATP وابسته است.

ATP یا آدنوزین تری فسفات، شکل رایج و قابل استفادهٔ انرژی در یاخته‌ها و نوکلئوتیدی تشکیل شده از باز آلی آدنین، قند پنج کربنی ریبوز (که با هم آدنوزین نامیده می‌شوند) و سه گروه فسفات است. افزوده شدن فسفات به آدنوزین در سه مرحله روی می‌دهد. در نتیجه در ابتدا AMP (آدنوزین مونو فسفات)، سپس ADP (آدنوزین دی فسفات) و در نهایت ATP (آدنوزین تری فسفات) تشکیل می‌شود (شکل ۱).



تمرین ۱: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

(الف) یاخته پوششی هیدر از لحاظ شیوهٔ کسب انرژی از غذا متفاوت با نورون پروانه موناک عمل می‌کند.

(ب) دومین ویژگی همهٔ جانداران همانند سومین ویژگی آنها نیازمند مصرف انرژی است.

(پ) میزان انحلال‌پذیری گازی که در اثر تنفس یاخته‌ای هوازی تولید می‌شود در پلاسما، بیش از دو برابر انحلال‌پذیری پذیرندهٔ نهایی الکترون در راکیزه است.

(ت) تجزیهٔ مادهٔ مغذی در بدن انسان بدون فعالیت هموگلوبین غیرممکن است.

پاسخ:



تمرین ۲: در مورد ATP به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

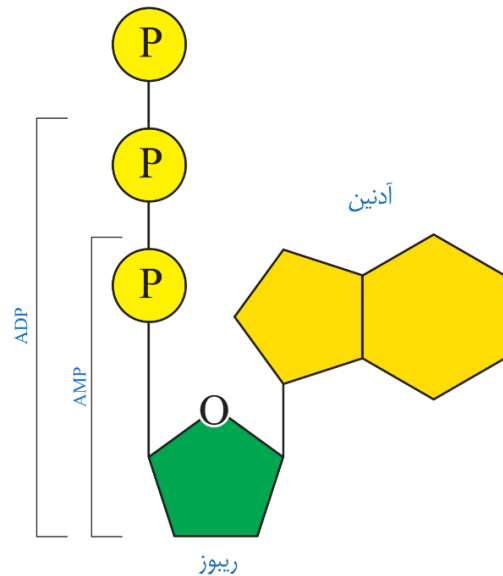
الف) نوکلئوتید دناپی است یا رنایی؟

ب) چرا آدنوزین نوکلئوتید نیست؟

پ) آدنین با کدام حلقه خود با قند پیوند اشتراکی می‌دهد؟

ت) ATP چند پیوند پرانرژی دارد؟

پاسخ:



شکل ۱- ساخته شدن ATP

به‌طور معمول ATP از ADP تشکیل می‌شود و این دو مولکول

به هم تبدیل می‌شوند. هنگام تشکیل مولکول ATP از ADP،

پیوندهای پرانرژی بین گروه‌های فسفات ایجاد و با شکسته شدن این

پیوندها، انرژی ذخیره شده در آن‌ها آزاد می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- تبدیل ATP و ADP به یکدیگر

روش‌های ساخته شدن ATP: دیدیم که برای ساخته شدن ATP

به فسفات نیاز هست. یکی از روش‌های ساخته شدن ATP برداشته

شدن گروه فسفات از یک ترکیب فسفات‌دار (پیش‌ماده) افزودن آن

به ADP است. به همین علت، این روش را ساخته شدن ATP

در سطح پیش ماده می‌نامند.

در کتاب «زیست شناسی ۲» با نمونه‌ای از ساخته شدن ATP

در سطح پیش ماده آشنا شده‌اید، آیا آن را به یاد دارید؟ در آنجا

دانستید که ماهیچه‌ها برای انقباض به ATP نیاز دارند و یکی از

راه‌های تأمین آن در ماهیچه‌ها، برداشت فسفات از مولکول **کراتین**

فسفات و انتقال آن به ADP است (شکل ۳). در این مثال کراتین

فسفات، پیش ماده‌ای است که فسفات آن برای ساخته شدن ATP

به کار می‌رود.

نکته:



کراتین فسفات	میان یاخته	۱- در سطح پیش ماده
گلیکولیز		
بستره راکیزه	غشای باکتری	۲- در سطح اکسایش
چرخه کربس	غشای درونی راکیزه	
غشای سیانوباکتری		۳- در سطح نوری
غشای تیلاکوئید سبز دیسه		



تمرین ۳: جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز پر کنید:

الف) آنزیم درون (تار- تارچه) ماهیچه چهار سر ران می تواند از روی کراتین فسفات در (یک- سه) مرحله **ATP** بسازد.

ب) هر یاخته‌ای که توانایی تولید **ATP** در سطح اکسایش را دارد توانایی (ساخت نوری **ATP** - ساخت **ATP** پیش‌ماده‌ای) را نیز دارد.

پ) ساخته شدن **ATP** از طریق کراتین فسفات (برخلاف- همانند) تولید **ATP** در قندکافت وابسته به اکسیژن (است- نیست)

ت) هیچ جاننداری بدون (تنفس یاخته‌ای- انرژی) قادر به ادامه حیات نیست.

پاسخ:



تست ۱: کدام مورد جمله زیر را به درستی تکمیل می کند؟
«در اولین مرحله تنفس یاخته‌ای»

- ۱) در اولین واکنش یک ماده آلی دو فسفات تولید می شود.
- ۲) هر واکنشی که با ماده آلی بدون فسفات شروع شود، انرژی خواه است.
- ۳) هر واکنشی که منجر به تولید ماده آلی بدون فسفات شود، مصرف کننده قند است.
- ۴) هر واکنشی که با مصرف قند فسفات دار شروع شود، گیرنده الکترون از **NADH** است.

پاسخ: گزینه ۴»



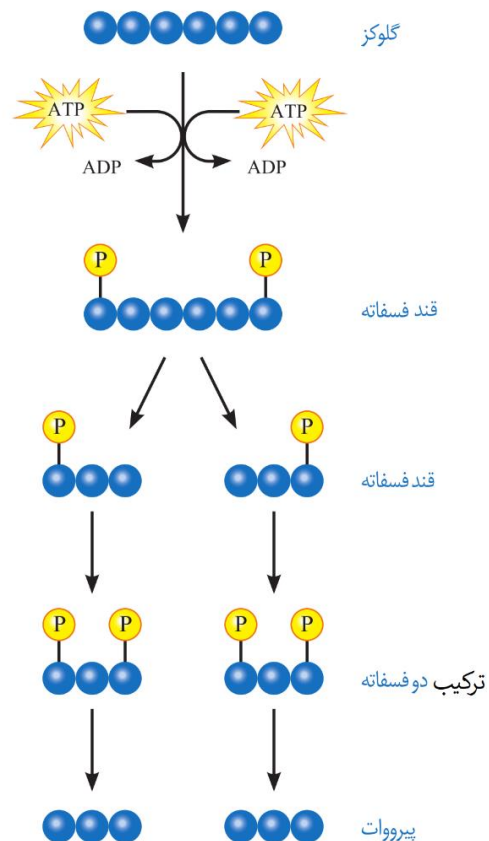
شکل ۳- ساخته شدن **ATP** در سطح پیش‌ماده

ساخته شدن اکسایشی و ساخته شدن نوری **ATP**، دو روش دیگرند. در ساخته شدن اکسایشی، **ATP** از یون فسفات و انرژی حاصل از انتقال الکترون‌ها در راکتیزه ساخته می‌شود که در ادامه این فصل با آن آشنا می‌شوید. روش دیگر ساخته شدن **ATP**، ساخته شدن نوری است که در سبز دیسه انجام می‌شود (فصل ۶).

زیستن با اکسیژن

اغلب، واژه تنفس یاخته‌ای را برای تنفس یاخته‌ای هوازی به کار می‌برند. در این جا ما نیز تنفس یاخته‌ای را به جای تنفس یاخته‌ای هوازی به کار می‌بریم.

قند کافت (گلیکولیز): اولین مرحله تنفس یاخته‌ای، قندکافت و به معنی تجزیه گلوکز است که در ماده زمینه سیتوپلاسم انجام می‌شود. تجزیه گلوکز در قندکافت، نه به صورت یک باره، بلکه به صورت مرحله ای انجام می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴- مراحل قندکافت



تمرین ۴: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید:

(الف) در واکنش پایانی قندکافت، هر ترکیب دو فسفات به پیروویک اسید تبدیل می‌شود.

(ب) در قندکافت، هر قند سه کربنه فسفات‌دار است.

(پ) در قندکافت، ADP هم تولید و هم مصرف می‌شود.

(ت) در قندکافت، هر ترکیب آلی شش کربنه دو فسفات برخلاف هر ترکیب آلی دو فسفات نوعی قند است.

پاسخ:



تمرین ۵: جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز پر کنید:

(الف) مولکولی که شکل رایج انرژی یاخته‌هاست (برخلاف - همانند) $NADH$ فسفات (دارد - ندارد)

(ب) NAD^+ با (یک - دو) الکترون خنثی می‌شود.

(پ) حامل الکترونی که در قندکافت تولید می‌شود (یک - دو) قند دارد.

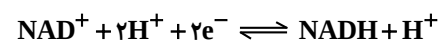
(ت) $NADH$ شکل (اکسایش یافته - کاهش یافته) NAD^+ است.

پاسخ:

برای انجام واکنش‌های مربوط به تجزیه گلوکز انرژی فعال‌سازی نیاز هست. این انرژی از ATP تأمین می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۴ می‌بینید، گلوکز با گرفتن فسفات‌های ATP ، به قند فسفات‌دار یا اصطلاحاً فسفات می‌شود. از تجزیه قند فسفات شده، دو قند سه کربنی فسفات ایجاد می‌شود. سپس هر یک از این قندها یک گروه فسفات می‌گیرند و به این ترتیب دارای دو گروه فسفات می‌شوند. هر یک از قندها بعد از طی مراحل، به مولکولی سه کربنی به نام پیرووات (بنیان پیروویک اسید) تبدیل می‌شوند (شکل ۴). در قندکافت، مولکول‌های ATP و $NADH$ نیز تشکیل می‌شوند.

$NADH$ حامل الکترون است، دو نوکلئوتید دارد و از NAD^+ به اضافه الکترون و پروتون تشکیل می‌شود. NAD^+ و $NADH$ با گرفتن و از دست دادن الکترون و پروتون، به همدیگر تبدیل می‌شوند (واکنش ۲). NAD^+ با گرفتن الکترون کاهش و $NADH$ با از دست دادن الکترون اکسایش می‌یابد.



واکنش ۲ - یک الکترون برای خنثی کردن NAD^+ به کار می‌رود.
بنابراین محصول به صورت $NADH + H^+$ نوشته می‌شود.

فعالیت ۱: گفت و گو کنید

همان‌طور که دیدید، در قندکافت ATP ساخته می‌شود. براساس روش‌هایی که درباره تولید ATP گفتیم، ساخته شدن ATP در قندکافت با کدام روش انجام می‌شود؟

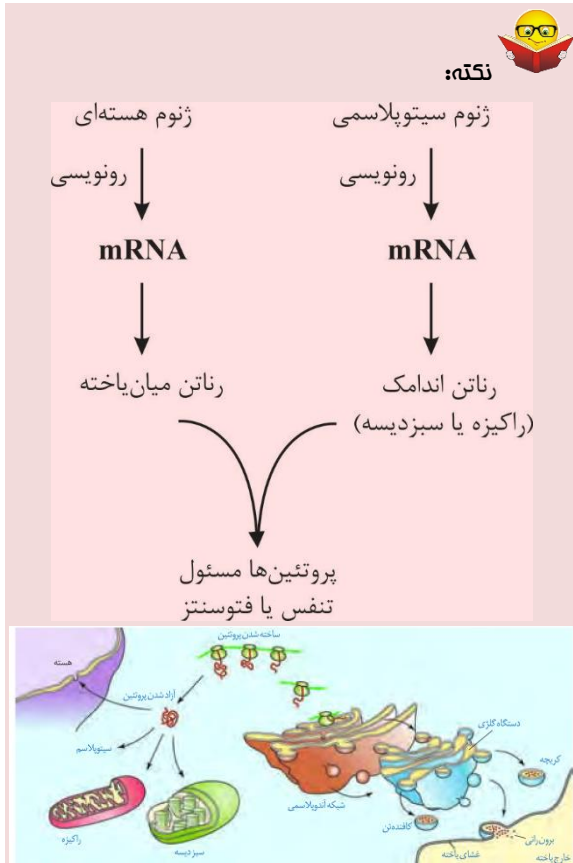
راکیزه مقصد پیرووات

مرحله دیگر تنفس یاخته‌ای به اکسیژن نیاز دارد و در هوسته‌ای‌ها در راکیزه انجام می‌شود.

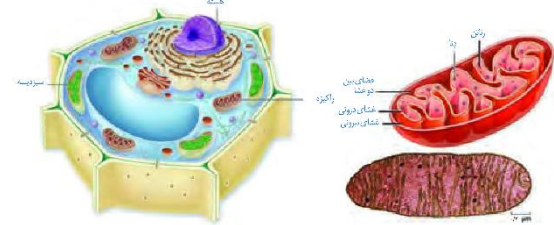
راکیزه دو غشا دارد: غشای بیرونی صاف، و غشای درونی آن به داخل چین‌خورده است. در نتیجه، فضای درون راکیزه به بخش داخلی و بخش بیرونی (فضای بین دو غشا) تقسیم می‌شود (شکل ۵).

راکیزه‌ها دارای دنا مستقل از هسته و رناتن مخصوص به خود هستند و پروتئین‌سازی در آن‌ها انجام می‌شود. در دنا راکیزه، ژن‌های مورد نیاز برای ساخته شدن انواعی از پروتئین‌های مورد نیاز در تنفس یاخته‌ای وجود دارند.

راکیزه همراه با یاخته و نیز مستقل از آن تقسیم می‌شود. به نظر شما مستقل بودن تقسیم راکیزه از تقسیم یاخته چه اهمیتی دارد؟



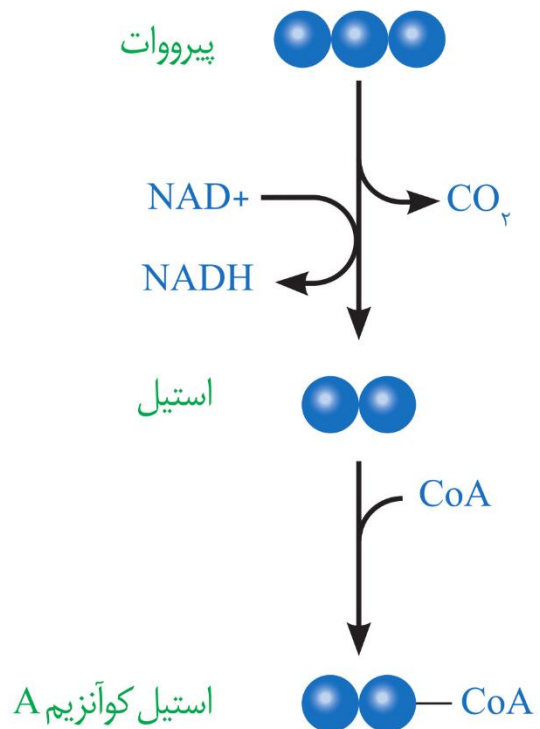
به هر حال راکیزه برای انجام نقش خود در تنفس یاخته‌ای به پروتئین‌هایی وابسته است که ژن‌های آن‌ها در هسته قرار دارند و به وسیله رناتن‌های سیتوپلاسمی ساخته می‌شوند.



شکل ۵- راکیزه. الف) راکیزه و ترسیمی از آن

اکسایش پیرووات: گفتیم که در انتهای قندکافت، پیرووات به وجود می‌آید. این مولکول از طریق انتقال فعال وارد راکیزه می‌شود و در آن جا اکسایش می‌یابد. پیرووات در راکیزه یک کربن دی اکسید از دست می‌دهد و به بنیان استیل تبدیل می‌شود. استیل با اتصال به مولکولی به نام کوآنزیم A، استیل کوآنزیم A را تشکیل می‌دهد. در این واکنش **NADH** نیز به وجود می‌آید (شکل ۶). مجموعه آنزیمی که اکسایش پیرووات را انجام می‌دهد در غشای درونی راکیزه قرار دارد.

اکسایش استیل کوآنزیم A در چرخه‌ای از واکنش‌های آنزیمی، به نام **چرخه کربس**، در بخش داخلی راکیزه انجام می‌گیرد که در گفتار بعدی به آن می‌پردازیم.



شکل ۶- اکسایش پیرووات و تشکیل استیل کوآنزیم A

تمرین ۶: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

الف) روش ورود پیرووات به درون راکیزه مشابه روش خروج سدیم از نورون است.

ب) برای ورود هر پروتئین به راکیزه شبکه آندوپلاسمی و دستگاه گلژی دخالت دارد.

پ) در هر یاخته‌ای با قدرت تقسیم، قطعاً راکیزه تقسیم می‌شود.

ت) دمای راکیزه می‌تواند در خارج از مرحله S همانندسازی کند.

پاسخ:



تست ۲: چند مورد در ارتباط با تنفس یاخته‌ای هوازی در یاخته دارینه‌ای درست است؟

* اولین آزاد شدن CO_2 همراه با تولید NADH است.

* اولین مصرف NAD^+ همراه با تولید CO_2 است.

* اولین ترکیب دوکربنه درون بستره راکیزه تولید می‌شود.

* آخرین CO_2 از ترکیب پنج کربنه آزاد می‌شود.

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

پاسخ: گزینه «۳»



تست ۳: چند مورد بین چرخه کربس و قندکافت مشترک است؟

* مصرف ADP * تولید NADH

* مصرف ماده آلی شش کربنه * تولید ماده آلی سه کربنه

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

پاسخ: گزینه «۳»



تمرین ۷: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

(الف) در چرخه کربس تولید ATP و NADH می‌تواند در یک محل رخ دهد.

(ب) شروع چرخه کربس با آزاد شدن مولکولی همراه است که در واکنش‌های اکسایش پیرووات استفاده می‌شود.

(پ) در چرخه کربس مولکول شش کربنی دارای ساختار خطی و بدون انشعاب است.

(ت) از چرخه کربس سه نوع ترکیب فسفات‌دار خارج می‌شوند.

پاسخ:

گفتار ۲: اکسایش بیش‌تر

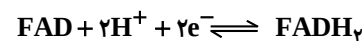
مولکول گلوکز در تنفس هوازی باید تا حد تشکیل مولکول‌های CO_2 تجزیه شود. بخشی از این تجزیه در قندکافت و بخش دیگر آن در چرخه کربس انجام می‌شود.

چرخه کربس

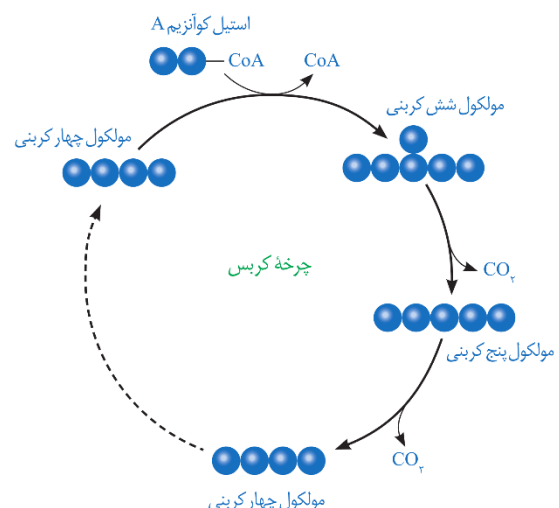
شکل ۷ ترسیم ساده‌ای از وقایع کلی چرخه کربس را نشان می‌دهد. در این چرخه، ضمن ترکیب استیل کوآنزیم A با مولکولی چهارکربنی، کوآنزیم A جدا و مولکولی شش کربنی، ایجاد می‌شود. پس از آن در طی واکنش‌های متفاوتی که در چرخه کربس رخ می‌دهد، دو اتم کربن به صورت CO_2 آزاد و مولکول چهار کربنی برای گرفتن استیل کوآنزیم دیگر، بازسازی می‌شود.

از اکسایش هر مولکول شش کربنی در واکنش‌های چرخه کربس، مولکول‌های NADH ، FADH_2 و ATP در محل‌های متفاوتی از چرخه تشکیل می‌شوند.

FADH_2 ترکیبی نوکلئوتیددار و همانند NADH حامل الکترون است. FADH_2 از FAD ساخته می‌شود (واکنش ۳).



به این ترتیب با انجام قندکافت و چرخه کربس، مولکول گلوکز تا تشکیل مولکول‌های CO_2 تجزیه و انرژی آن صرف ساخته شدن ATP و مولکول‌های حامل الکترون (NADH و FADH_2) می‌شود.



شکل ۷- طرح ساده‌ای از چرخه کربس

تشکیل ATP بیش‌تر

دیدیم که در تنفس یاخته‌ای ATP به وجود می‌آید. جالب است بدانیم که مولکول‌های NADH و FADH_2 نیز برای تولید



تمرین ۸: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

(الف) نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید همانند فلاوین آدنین دی نوکلئوتید دارای بار الکتریکی است.

(ب) در راکیزه آنزیم های مسئول اکسایش پیرووات در محلی قرار دارند که چرخه کربس رخ می دهد.

(پ) بعد از آزاد شدن اولین CO_2 در تنفس یاخته ای، FAD کاهش (احیا) می یابد.

(ت) به دنبال اکسایش پیرووات در راکیزه، فعالیت آنزیم اندراز کربنیک زیاد می شود.

پاسخ:



تمرین ۹: در ارتباط با زنجیره انتقال الکترون راکیزه به پرسش های زیر پاسخ دهید.

(الف) محل آن در کجای راکیزه است؟

(ب) چند عضو دارد؟

(پ) چند عضو آن توانایی انتقال فعال H^+ را دارند؟

(ت) محل اکسید شدن NADH کجاست؟

(ث) محل اکسید شدن FADH_2 کجاست؟

(ج) الکترون NADH موجب انتقال فعال بیش تر H^+ می شود

یا الکترون FADH_2 ؟

(چ) آخرین واکنش در زنجیره انتقال الکترون منجر به تولید چه

چیزی می شود؟

پاسخ:

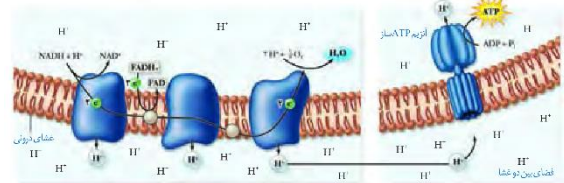
ATP مصرف می شوند. چگونه انرژی مولکول های حامل الکترون برای تولید **ATP** به کار می رود؟

همچنین براساس رابطه کلی تنفس یاخته ای می دانیم که در این فرایند آب نیز تشکیل می شود. آب چگونه در این فرایند تولید می شود؟ پاسخ این پرسش ها در زنجیره انتقال الکترون در غشای درونی راکیزه نهفته است.

زنجیره انتقال الکترون

این زنجیره از مولکول هایی تشکیل شده است که در غشای درونی راکیزه قرار دارند و می توانند الکترون بگیرند یا از دست دهند.

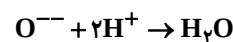
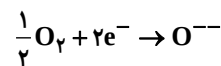
در این زنجیره می بینید که الکترون ها در نهایت به اکسیژن مولکولی می رسند. اکسیژن با گرفتن الکترون به یون اکسید (اتم اکسیژن با دو بار منفی) تبدیل می شود.



شکل ۸- زنجیره انتقال الکترون در راکیزه

یون های اکسید در ترکیب با پروتون هایی که در بستره قرار دارند، مولکول های آب را تشکیل می دهند (واکنش ۴).

واکنش ۴- تشکیل آب



اگر به شکل ۸ توجه کنید، می بینید که پروتون ها (یون های H^+)

در سه محل از زنجیره انتقال الکترون از بخش داخلی به فضای بین

دو غشا پمپ می شوند. انرژی لازم برای انتقال پروتون ها از

الکترون های پرانرژی NADH و FADH_2 فراهم می شود.

انتظار دارید ادامه ورود پروتون ها به فضای بین دو غشا چه نتیجه ای در پی داشته باشد؟

با ورود پروتون ها براساس شیب غلظت، تمایل دارند که به سمت بخش داخلی برگردند، اما تنها راه پیش روی پروتون ها برای برگشتن به این بخش، مجموعه ای پروتئینی به نام آنزیم **ATP** ساز است.

پروتون ها از کانالی که در این مجموعه قرار دارد، می گذرند و انرژی

مورد نیاز برای تشکیل **ATP** از **ADP** و گروه فسفات فراهم

می شود.



تمرین ۱۰: در ارتباط با پروتئین ATP ساز راکیزه به

پرسش‌های زیر پاسخ دهید؟

الف) محل آن در کدام بخش راکیزه است؟

ب) بخش کانالی آن، H^+ را در چه جهتی منتشر می‌کند؟

پ) تولید ATP آن در سطح پیش ماده است یا اکسایشی؟

ت) ساختار نهایی آن از نوع تاخورد و به هم متصل است یا از نوع

آرایش زیرواحدها؟

پاسخ:



تمرین ۱۱: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را

مشخص کنید.

الف) در تنفس یاخته‌ای هر ترکیبی که از قندکافت وارد راکیزه می‌شود بدون فسفات است.

ب) در قندکافت همانند چرخه کربس، ATP پیش‌ماده‌ای تولید می‌شود.

پ) اولین CO_2 در تنفس یاخته‌ای حاصل فعالیت آنزیم‌های غشای چین‌خورده راکیزه است.

ت) غشای صاف راکیزه به H^+ نفوذناپذیر است.

پاسخ:



تمرین ۱۲: جاهای خالی را با کلمات مناسب داخل پرانتز

پر کنید.

الف) از تجزیه کامل گلوکز در بهترین شرایط در یاخته دارای

(توالی افزایشده-اِپراتور) حداکثر $30 \cdot ATP$ است.

ب) تولید ATP در گیرنده استوانه‌ای چشم با یاخته ماهیچه‌ای

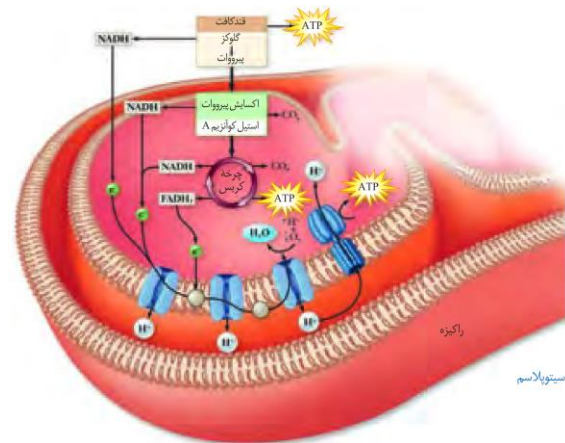
(یکسان-متفاوت) است.

پاسخ:

فعالیت ۲: الف) توضیح دهید چرا ساخته شدن ATP در زنجیره انتقال الکترون، از نوع ساخته شدن اکسایشی ATP است؟
ب) با توجه به نقش غشای درونی راکیزه در تنفس یاخته‌ای، چین خورده بودن آن چه ارزشی برای یاخته دارد؟

مروری بر تنفس یاخته‌ای

خلاصه‌ای از تنفس یاخته‌ای را در شکل ۹ مشاهده می‌کنید. همان طور که می‌بینید در فرایند قندکافت از گلوکز پیرووات ایجاد می‌شود. پیرووات به راکیزه می‌رود و در آنجا به استیل کوآنزیم A اکسایش می‌یابد. استیل کوآنزیم A وارد چرخه کربس می‌شود. در تنفس یاخته‌ای مولکول‌های کربن دی‌اکسید، ATP ، $NADH$ و $FADH_2$ تولید می‌شوند.



شکل ۹- خلاصه‌ای از تنفس هوازی

فعالیت ۳: ارائه دهید با استفاده از شکل ۹، به‌طور گروهی طرحی تصویری و نوشتاری از تنفس یاخته‌ای تولید و سعی کنید حداقل واژه‌ها را به‌کار ببرید. هر گروه طرح خود را در کلاس ارائه دهد. این طرح را می‌توانید با استفاده از نرم افزارهای رایانه‌ای، نقاشی و به صورت‌های متفاوت تولید کنید.

بازده انرژی تنفس یاخته‌ای

دانستیم که از مولکول‌های $NADH$ و $FADH_2$ در زنجیره انتقال الکترون ATP تولید می‌شود.

اندازه‌گیری‌های واقعی در شرایط بهینه آزمایشگاهی نشان می‌دهند که مقدار ATP تولید شده در ازای تجزیه کامل گلوکز در بهترین شرایط در یاخته یوکاریوت، حداکثر $30 \cdot ATP$ است. باید توجه داشت که تولید ATP در یاخته‌های متفاوت و متناسب با نیاز بدن فرق می‌کند. بنابراین، نمی‌توان به سادگی به این پرسش پاسخ داد که در ازای تجزیه هر مقدار گلوکز چه مقدار ATP در یاخته‌ها تولید می‌شود.

تنظیم تنفس یاخته‌ای: تولیدی اقتصادی

به نظر شما اگر مقدار ATP در یاخته زیاد باشد، واکنش‌های قندکافت و چرخه کربس، به همان میزانی انجام می‌شوند که در شرایط کمبود ATP است؟ مشخص شده که تولید ATP تحت کنترل میزان ATP و ADP است. اگر ATP زیاد باشد، آنزیم‌های درگیر در قندکافت و چرخه کربس مهار می‌شوند تا تولید ATP کم شود. در صورتی که مقدار ATP کم و ADP زیاد باشد، این آنزیم‌ها فعال و تولید ATP افزایش می‌یابد. این تنظیم مانع از هدر رفتن منابع می‌شود.

یاخته‌های بدن ما به طور معمول از گلوکز و ذخیره قندی کبد برای تأمین انرژی استفاده می‌کنند. در صورتی که این منابع کافی نباشند، آن‌ها برای تولید ATP به سراغ تجزیه چربی‌ها و پروتئین‌ها می‌روند. به همین علت تحلیل و ضعیف شدن ماهیچه‌های اسکلتی و سیستم ایمنی از عوارض سوء تغذیه و فقر غذایی شدید و طولانی مدت در افرادی است که رژیم غذایی نامناسب دارند یا اینکه به دلایل متفاوت غذای کافی در اختیار ندارند.



تمرین ۱۳: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

الف) فعالیت آنزیم‌های قندکافت با افزایش ATP یاخته مهار می‌شود.

ب) فعالیت آنزیم‌های چرخه کربس با افزایش ADP یاخته زیاد می‌شود.

پ) در غیاب گلوکز، دفع H^+ توسط کلیه‌ها زیاد می‌شود.

ت) در غیاب گلوکز، واکنش آمونیاک با CO_2 در کبد افزایش می‌یابد.

پاسخ:



تست ۳: با فرض این که در یک یاخته سالم مشیمیه انسان، نوعی ماده شیمیایی بتواند مانع ورود H^+ به بستره راکیزه شود، در این صورت، ابتدا متوقف خواهد شد.

(۱) تشکیل مولکول آب

(۲) بازسازی FAD

(۳) بازسازی NAD^+

(۴) تشکیل مولکول ATP

پاسخ: گزینه «۴»



تست ۴: انرژی لازم برای پیوستن یک گروه فسفات به مولکول ADP در میتوکندری، به طور مستقیم از انرژی ناشی از حرکت تأمین می‌شود. (سراسری خارج کشور ۸۴)

(۱) الکترون‌ها در پمپ‌های موجود در غشا

(۲) پروتون‌ها در جهت شیب غلظت خود

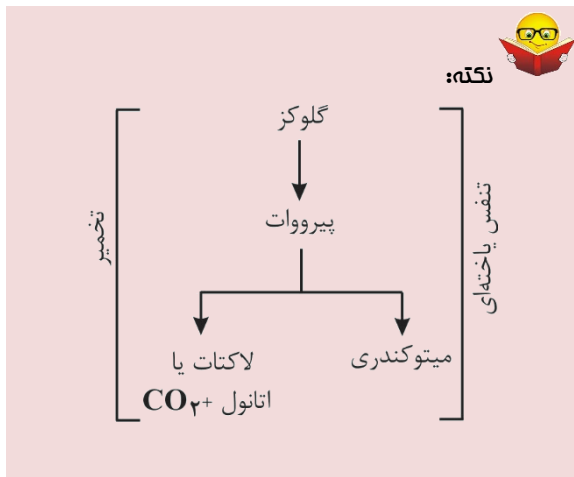
(۳) الکترون‌ها از $NADH$ به سوی اکسیژن

(۴) پروتون‌ها در خلاف جهت شیب غلظت خود

پاسخ: گزینه «۲»

فعالیت ۴: گفت و گو کنید

شاید دیده باشید که در دانه‌های خشک و بدون آب مانند نخود و لوبیا، حشرات و لارو آن‌ها رشد و نمو می‌کند. با توجه به این که این دانه‌ها خشک‌اند و تقریباً آبی ندارند، آب مورد نیاز این جانوران چگونه تأمین می‌شود؟



تست ۵: ترکیب مقابل و ماهیچه‌ای عضله چهار سر ران پدید آمده است.

(۱) در آخرین واکنش گلیکولیز - تارچه‌های

(۲) به دنبال تولید NAD^+ - تارچه‌های

(۳) در آخرین واکنش گلیکولیز - تارچه‌های

(۴) به دنبال تولید NAD^+ - تارچه‌های

پاسخ: گزینه «»

تمرین ۱۴: درستی یا نادرستی هر یک از جملات زیر را مشخص کنید.

الف) جاندارانی که برای تولید خیارشور فعالیت دارد، فاقد تنوع رناتن است.

ب) برای تولید خیارشور، ATP فقط در سطح پیش ماده تولید می شود.

پ) در تولید خیارشور درون میان یاخته، پیرووات موجب اکسایش NADH می شود.

ت) همه یاخته‌های بدن انسان توانایی تولید ATP در هر دو سطح اکسایشی و پیش ماده ای را دارند.

پاسخ:

گفتار ۳: زیستن مستقل از اکسیژن

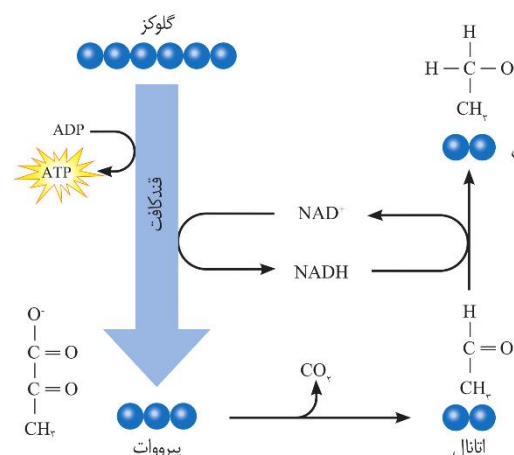
تخمیر

دیدیم که در تنفس یاخته‌ای، اکسیژن گیرنده نهایی الکترون است. آیا تجزیه گلوکز و تأمین انرژی، همیشه وابسته به حضور اکسیژن است؟ آیا در محیط‌هایی که اکسیژن ندارند یا اکسیژن اندکی دارند، حیات وجود ندارد؟ در این صورت ATP مورد نیاز چگونه تأمین می شود؟

تخمیر از روش‌های تأمین انرژی در شرایط کمبود یا نبود اکسیژن است که در انواعی از جانداران رخ می دهد. در فرایند تخمیر، راکبزه و در نتیجه زنجیره انتقال الکترون نقشی ندارند. تخمیر الکلی و تخمیر لاکتیکی انواعی از تخمیرند که در صنایع متفاوت از آن‌ها بهره می‌بریم.

تخمیر الکلی و لاکتیکی مانند تنفس هوازی با قندکافت آغاز می‌شوند و پیرووات ایجاد می‌کنند؛ در قندکافت دیدیم که تشکیل پیرووات از قند فسفات همراه با ایجاد NADH از NAD^+ است؛ بنابراین برای تداوم قندکافت، NAD^+ ضروری است و اگر نباشد قندکافت متوقف می‌شود و در نتیجه تخمیر انجام نمی‌شود. در تخمیر، مولکول‌هایی ایجاد می‌شوند که در فرایند تشکیل آن‌ها NAD^+ به وجود می‌آید. در ادامه با این دو نوع تخمیر بیشتر آشنا می‌شویم.

تخمیر الکلی: ورآمدن خمیر نان به علت انجام تخمیر الکلی است. شکل ۱۰ طرح ساده‌ای از مراحل این نوع تخمیر را نشان می‌دهد. در این فرایند، پیرووات حاصل از قندکافت با از دست دادن CO_2 به اتانال تبدیل می‌شود. اتانال با گرفتن الکترون‌های NADH اتانول ایجاد می‌کند.



شکل ۱۰- تخمیر الکلی



تست ۶: در زنجیره انتقال الکترون، هنگام یون‌های هیدروژن از طریق کانال پروتئینی به بخش میتوکندری، ATP ساخته می‌شود. (سراسری خارج کشور ۸۴)

- (۱) تلمبه کردن - داخلی
- (۲) انتشار - داخلی
- (۳) انتشار - خارجی
- (۴) تلمبه کردن - خارجی

پاسخ: گزینه ۳»



تست ۷: در مسیر آزادسازی انرژی از گلوکز، در صورت فقدان آخرین پذیرنده الکترون در زنجیره انتقال، کدام فرایند متوقف نمی‌شود؟

- (۱) بازسازی NAD^+ به طریق هوازی
- (۲) تولید FADH
- (۳) تشکیل استیل کوآنزیم A
- (۴) تبدیل گلوکز به پیرووات

پاسخ: گزینه ۴»



تست ۸: در فرایندهای دی‌اکسید کربن تولید نمی‌شود.

- (۱) فتوسنتز و تنفس بی‌هوازی
- (۲) فتوسنتز و تخمیر لاکتیکی
- (۳) تخمیر لاکتیکی و تخمیر الکلی
- (۴) تنفس بی‌هوازی و تنفس نوری

پاسخ: گزینه ۳»



تست ۹: در شرایطی که یک سلول با مصرف گلوکز، بسازد، توانایی تولید را ندارد.

(سراسری خارج کشور ۹۰)

(۱) لاکتات - ATP

(۲) اتانول - NADH

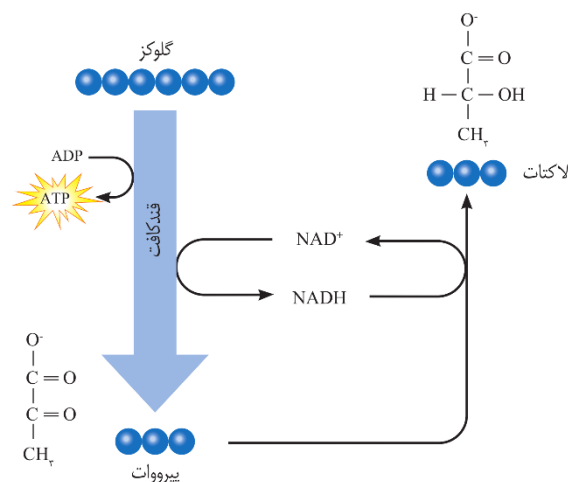
(۳) پیرووات - دی‌اکسید کربن

(۴) استیل کوآنزیم A - لاکتات

پاسخ: گزینه ۴»

تخمیر لاکتیکی: در سال گذشته خواندید، ماهیچه‌های اسکلتی برای تجزیه کامل گلوکز به اکسیژن نیاز دارند و اگر اکسیژن کافی نباشد، لاکتات در ماهیچه‌ها تجمع می‌یابد. اما لاکتات با چه سازوکاری ایجاد می‌شود؟

فعالیت شدید ماهیچه‌ها به اکسیژن فراوان نیاز دارد. اگر اکسیژن کافی نباشد، پیرووات حاصل از قندکافت وارد راکیزه‌ها نمی‌شود، بلکه با گرفتن الکترون‌های NADH به لاکتات تبدیل می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- تخمیر لاکتیکی. علت ترش شدن شیر، لاکتیک اسید است.

انواعی از باکتری‌ها تخمیر لاکتیکی را انجام می‌دهند. بعضی از این باکتری‌ها، مانند آن‌چه در ترش شدن شیر رخ می‌دهد، سبب فساد غذا می‌شوند؛ اما انواعی از آن‌ها در تولید فراورده‌های غذایی به کار می‌روند. تخمیر لاکتیکی در تولید فراورده‌های شیر و خوراکی‌هایی مانند خیارشور نقش دارد.

تخمیر در گیاهان: گیاهانی که به‌طور طبیعی در شرایط غرقابی رشد می‌کنند، سازوکارهایی برای تأمین اکسیژن مورد نیاز دارند. تشکیل بافت نرم‌انگه‌ای هوادار در گیاهان آبی و شش‌ریشه در درخت حراً از سازوکارهایی است که قبلاً با آن آشنا شده‌اید.

به هر حال، اگر اکسیژن به هر علتی در محیط نباشد یا کم باشد، تخمیر انجام می‌شود. هر دو نوع تخمیر الکلی و لاکتیکی در گیاهان وجود دارد. توجه داشته باشید که تجمع الکل یا لاکتیک اسید در باخته گیاهی به مرگ آن می‌انجامد، بنابراین باید از یاخته‌ها دور شوند.

سلامت بدن: پاداکسندها

در درس شیمی آموختید رادیکال‌های آزاد به علت داشتن الکترون‌های جفت نشده در ساختار خود، واکنش‌پذیری بالایی دارند و می‌توانند در واکنش با مولکول‌های تشکیل‌دهنده بافت‌های بدن، به آن‌ها آسیب برسانند. امکان تشکیل رادیکال آزاد از اکسیژن در فرایند تنفس هوازی، وجود دارد. اما چگونه؟

دیدیم اکسیژن با پذیرش الکترون در پایان زنجیره انتقال الکترون، به یون اکسید (O^{--}) تبدیل می‌شود. یون‌های اکسید با یون‌های هیدروژن (H^+) ترکیب می‌شوند و در نتیجه مولکول آب به وجود می‌آید اما گاه پیش می‌آید که درصدی از اکسیژن‌ها وارد واکنش تشکیل آب نمی‌شوند، بلکه به‌صورت رادیکال آزاد در می‌آیند. رادیکال‌های آزاد از عوامل ایجاد سرطان‌اند.

راکیزه‌ها برای مقابله با اثر سمی رادیکال‌های آزاد، به ترکیبات پاداکسنده وابسته‌اند. بارها شنیده‌اید که خوردن میوه‌ها و سبزیجات در حفظ سلامت بدن نقش دارند. این مواد غذایی دارای پاداکسندهایی مانند کاروتنوئیدها هستند. پاداکسندها در واکنش با رادیکال‌های آزاد مانع از اثر تخریبی آن‌ها بر مولکول‌های زیستی و در نتیجه تخریب بافت‌های بدن می‌شوند.

تجمع رادیکال‌های آزاد: آیا مبارزه با رادیکال‌های آزاد در راکیزه‌ها همیشه با موفقیت انجام می‌شود؟ اگر به هر علت سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد از سرعت مبارزه با آن‌ها بیشتر باشد، چه اتفاقی را پیش‌بینی می‌کنید؟

مشخص است که در چنین شرایطی، رادیکال‌های آزاد در راکیزه تجمع می‌یابند و آن را تخریب می‌کنند؛ در نتیجه، یاخته هم تخریب می‌شود.

عوامل فراوانی می‌توانند، راکیزه را در مبارزه با رادیکال‌های آزاد با مشکل روبه‌رو کنند؛ مثلاً الکل و انواعی از نقص‌های ژنی در عملکرد راکیزه در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد مشکل ایجاد می‌کنند.

اثر الکل: مطالعات نشان می‌دهد که الکل سرعت تشکیل رادیکال‌های آزاد از اکسیژن را افزایش می‌دهد و مانع از عملکرد راکیزه در جهت کاهش آن‌ها می‌شود. رادیکال‌های آزاد با حمله به DNA راکیزه، سبب تخریب راکیزه و در نتیجه مرگ یاخته‌های کبدی و بافت مردگی (نکروز) کبد می‌شوند. به همین علت اختلال در کار کبد و از کار افتادن آن از شایع‌ترین عوارض نوشیدن مشروبات الکلی است.



تست ۱۰: در تخمیر لاکتیکی، نمی‌شود.
(سراسری خارج کشور ۹۰)

(۱) $NADH$ به NAD^+ تبدیل

(۲) ترکیب ۳ کربنه، احیا

(۳) دی‌اکسید کربن از ترکیب ۳ کربنه، تولید

(۴) ترکیب ۳ کربنه از ترکیب ۳ کربنه، تولید

پاسخ: گزینه «»



تست ۱۱: در یک سلول استوانه‌ای موجود در شبکه‌ی انسان، نمی‌شود.

(سراسری ۹۳)

(۱) پیرووات به کمک $NADH$ ، احیا

(۲) NAD^+ در غشای داخلی میتوکندری، بازسازی

(۳) انرژی ذخیره شده در $NADH$ صرف تولید ATP

(۴) $NADH$ درون ماده‌ی زمینه‌سیتوپلاسم، تولید

پاسخ: گزینه «»



تست ۱۲: چند مورد جمله زیر را به نادرستی تکمیل می‌نماید؟

(سراسری ۹۳)

«در انسان، مولکول‌های گلوکز می‌توانند در سلول‌های»

(الف) دیافراگم، به یک‌دیگر بپیوندند و پلی‌مر بسازند.

(ب) غضروف بین مهره‌ای، تولید لاکتات را افزایش می‌دهد.

(پ) پوشش روده، دی‌اکسید کربن و آب تولید نمایند.

(ت) استخوانی، به ترکیبی شش کربنی و فسفات‌دار تبدیل شوند.

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

پاسخ: گزینه «»



تست ۱۳: در پی مصرف گلوکز در نوعی سلول، پیرووات به طور مستقیم توسط مولکولی پرنرژی احیا می شود. کدام عبارت درباره این نوع تنفس صحیح است؟

(سراسری ۹۶)

- (۱) به دنبال آزاد شدن CO_2 ، یک مولکول NAD^+ مصرف می گردد.
- (۲) الکترون های یک مولکول NADH به ترکیب دو کربنی انتقال می یابد.
- (۳) تولید مولکول های پرنرژی سه فسفات در غیاب اکسیژن صورت می گیرد.
- (۴) هم زمان با تولید ترکیب شش کربنی از ترکیب چهار کربنی، NADH تولید می شود.

پاسخ: گزینه «۳»



تست ۱۳: هر سلول موجود در خون که از تقسیم سلول های بنیادی مغز استخوان ایجاد می شود، توانایی تولید و مصرف کدام دو ماده را دارد؟

(سراسری ۹۴)

- (۱) پیرووات و NADH
- (۲) NADH و FADH_2
- (۳) استیل کوآنزیم A و لاکتات
- (۴) FADH_2 و گلوکز

پاسخ: گزینه «۳»

نقص ژنی: گاه نقص در ژن های مربوط به پروتئین های زنجیره انتقال الکترون، به ساخته شدن پروتئین های معیوب می انجامد. راکیزه ای که این پروتئین های معیوب را داشته باشد در مبارزه با رادیکال های آزاد، عملکرد مناسبی ندارد.

توقف انتقال الکترون: مواد سمی فراوانی وجود دارند که با مهار یک یا تعدادی از واکنش های تنفس هوازی، سبب توقف تنفس یاخته و مرگ می شوند. سیانید یکی از این ترکیب هاست که واکنش نهایی مربوط به انتقال الکترون ها به O_2 را مهار و در نتیجه باعث توقف زنجیره انتقال الکترون می شود.

از زیست شناسی سال دهم نیز به یاد دارید که گاز کربن مونواکسید با اتصال به هموگلوبین، مانع از اتصال اکسیژن به آن می شود و چون به آسانی از هموگلوبین جدا نمی شود، ظرفیت حمل اکسیژن در خون را کاهش می دهد. این عملکرد مونواکسید کربن، در واقع در انجام تنفس یاخته ای اختلال ایجاد می کند. مونواکسید کربن به شکل دیگری نیز بر تنفس یاخته ای اثر می گذارد؛ این گاز سبب توقف واکنش مربوط به انتقال الکترون ها به اکسیژن می شود. دود خارج شده از خودروها و سیگار، از منابع دیگر تولید مونواکسید کربن اند.

اکنون پرسش این است که منشأ انرژی ذخیره شده در ترکیباتی مانند گلوکز چیست؟ چه فرایندهایی در دنیای حیات وجود دارد که با ساختن ماده آلی، انرژی را در آن ها ذخیره می کند؟ چه جاندارانی می توانند این فرایندها را انجام دهند و این جانداران چه ویژگی هایی دارند؟

مسیر	ATP	ADP	H_2O	CO_2	NAD	NADH	FAD	FADH_2
گلیکولیز								
اکسایش پیرووات								
چرخه کربس								
زنجیره انتقال الکترون								
آنزیم ساز ATP								
پیرووات به لاکتات								
پیرووات به اتانول								