



موسسه ایران دانش نوین

رویای خودت شو...



@IranDaneshNovin

برای دانلود بقیه ی گام به گام ها و جزوات با کلیک روی لینک
های زیر به سایت یا کانال ما در تلگرام سر بزنید:

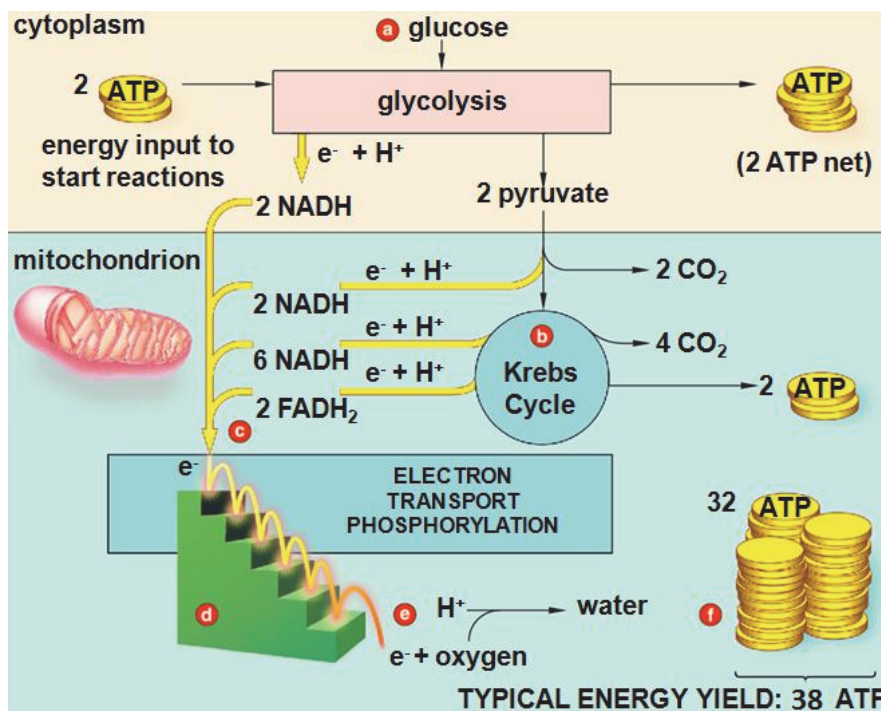
www.IDNovin.com

<https://telegram.me/irandaneshnovin>

تنفس سلولی:

گفتمیم که مواد آلی دارای انرژی ذخیره شده در خود می باشند! این انرژی ذخیره شده در مواد آلی ماهیت شیمیایی دارد! جانداران، سلول هایشان برای اینکه بقاء داشته باشند به انرژی نیاز دارند! حالا برای اینکه به این انرژی دست پیدا کنند، می آیند طی یک سری مجموعه واکنش های آنزیمی تحت عنوان تنفس سلولی! انرژی که در مواد آلی به صورت شیمیایی ذخیره شده است را در قالب مولکول های پر انرژی به نام ATP (یا همون آدنوزین تری فسفات) ذخیره می کنن! در واقع بچه ها اینجوری بگم براتون که مواد آلی حکم پول درشت رو دارن مثلاً تراول ۱۰۰ هزار تومنی! حالا برای اینکه سلول بتونه این پول درشت رو خرج کنه میاد اون رو خورد میکنه! و مثلاً ۵۰ تا ۲هزار تومنی می کنه! علمیش رو بخوام بگم اینجوری میشه:

انرژی شیمیایی موجود در مواد آلی که خیلی زیاد است به انرژی های شیمیایی کوچکتتر در قالب ATP تبدیل می شود! بچه ها شکل پایینی هم داره عرف من رو تایید می کنه! این شکل رو وقتی کامل مبسٹ تنفس سلولی رو فوندرین بیاید نگاه کنید. از قصد ترجمه ش نکردم تا انگلیسی تون رو تقویت کنید!



نکته مهم: حواستون باشه در فرآیند فتوسنتز انرژی نورانی به انرژی شیمیایی تبدیل می شه اما در این جا یعنی تنفس سلولی انرژی شیمیایی بزرگ به انرژی های شیمیایی کوچک تبدیل می شن!

نکته مهم: بچه ها جمله کتاب درس خیل مهم. کتاب می گه که « سلول ها بدن ما و بیشتر موجودات زنده از طریق فرآیند به نام تنفس سلولی انرژی موجود در ترکیب های آلی مخصوصاً قدر را به ATP تبدیل می کنند. » بچه ها طبق این متن همه ی جانداران رو نمی تونیم بگیم که تنفس سلولی دارند! بلکه بیشتر جانداران تنفس سلولی دارند.

شمارش انرژی در جانداران ۷۵

فارج کتاب: بیه‌ها یه باکتری هست به اسم کلامیدیا که این باکتری عزیز به صورت انگل داخل سلولی هستش و فاقد میتوکندری و تنفس سلولیه. میره تو سلول‌های میزبان خودش و وقتی اونا ATP درست می‌کنن این سلول میزنه زیر کوش این ATP ها!



نکته مهم: مواد آلی که سلول‌ها طی تنفس سلولی می‌توانند از آن استفاده کنند (برای تولید انرژی) همه ۴ نوع ماده ک شیمیایی اصلی می‌تواند باشد! یعنی کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و نوکلئیک اسیدها! منتحن در بیشتر سلول‌ها و جانداران کربوهیدرات‌ها رایج‌ترین ماده برای مصرف است! (به خصوص گلوکز)



نکته مهم: تنفس سلولی، یک واکنش مقدر نیست! بلکه مجموعه‌ای از واکنش‌ها می‌باشد و نیازمند انرژی‌هایی خاص می‌باشد!

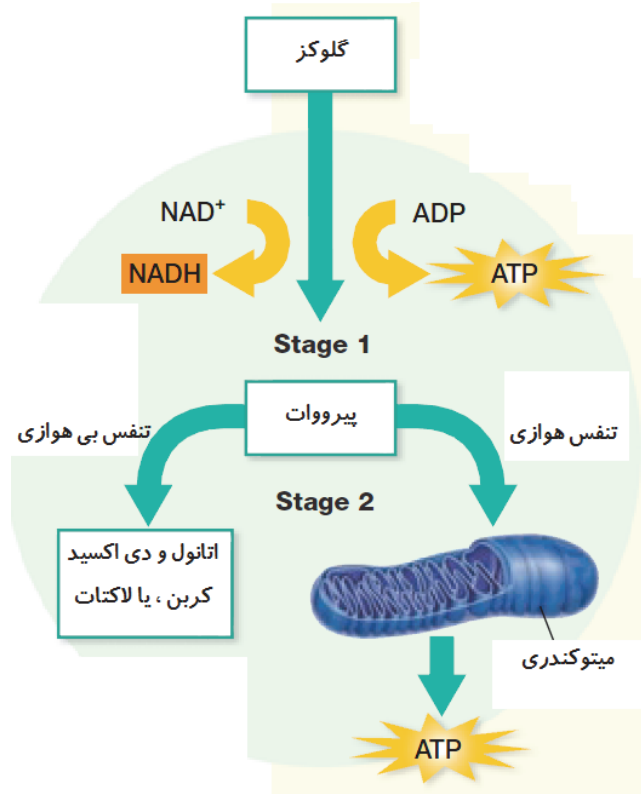


نکته مهم: تنفس سلولی در نهایت منجر به تولید انرژی در قالب ATP می‌شود پس انرژی‌زا است! خوب بچه‌ها ما ۲ تا اصطلاح داریم که باید بلد باشید:

۱- فرآیندهای هوازی ← به فرآیندهای متابولیکی گفته می‌شود که نیازمند اکسیژن هستند!

۲- فرآیندهای بی‌هوازی ← به فرآیندهای متابولیکی گفته می‌شود که برای انجام شدن به اکسیژن نیاز ندارند!

در تنفس سلولی از انواع مختلف مواد آلی طی روش‌های مختلف انرژی تولید می‌شود اما از آن جایی که گلوکز ماده‌ی مصرفی خیلی از جانداران است برای همین کتاب درسی هم مسیر تنفس سلولی در رابطه با گلوکز را بررسی کرده است.



بچه ها تنفس سلولی بر اساس اینکه مولکول های اکسیژن در سلول حضور داشته باشند یا نه! دو جور انجام می شه:
۱- عدم حضور اکسیژن ← اگر اکسیژن به اندازه ی کافی در داخل سلول وجود نداشته باشه در این صورت سلول تنفس سلولی از نوع بی هوازی رو انجام میده!

تعریف تنفس سلولی بی هوازی ← به تنفس سلولی اطلاق می شود که در صورت نبود اکسیژن انجام می شود.
 تنفس سلولی بی هوازی از ۲ مرحله تشکیل شده:

۱- مرحله ی گلیکولیز

۲- مرحله ی تخمیر

۲- حضور اکسیژن ← اگر اکسیژن به اندازه کافی در داخل سلول وجود داشته باشد در این صورت سلول تنفس سلولی از نوع هوازی را انجام می دهد!

تعریف تنفس سلولی از نوع هوازی ← به مجموعه ای از واکنش های آنزیمی گفته می شه که طی آن ها انرژی موجود در ترکیبات آلی، مخصوصاً قندها، به ATP تبدیل می شود! برای انجام این تنفس به مولکول های O_2 نیاز است!
 بچه ها تنفس سلولی هوازی از دو مرحله تشکیل شده است:

۱- چرخه ی کربس

۲- زنجیره ی انتقال الکترون

بچه ها اگر یادتون باشه گفتم که در تنفس سلولی بی هوازی، مرحله ی اول فرآیندی بنام گلیکولیز هستش! در تنفس سلولی هوازی هم مثل فرآیند تنفس سلولی بی هوازی، فرآیند گلیکولیز همیشه در ابتدا انجام میشه! به عبارتی اگه بخوام خلاصه ش رو بگم اینجوری می شه:

۱- تنفس بی هوازی: گلیکولیز + تخمیر

۲- تنفس هوازی: گلیکولیز + چرخه کربس + زنجیره انتقال الکترون



نکته مهم: در هر دو نوع تنفس (یعنی هم هوازی و هم بی هوازی) ما قمتی داریم به نام فرآیند گلیکولیز که این قمت از تنفس در هر دو نوع تنفس بدون نیاز به اکسیژن صورت میگیرد برای همین به این قمت مرحله ۱ بی هوازی تنفس می گویند.



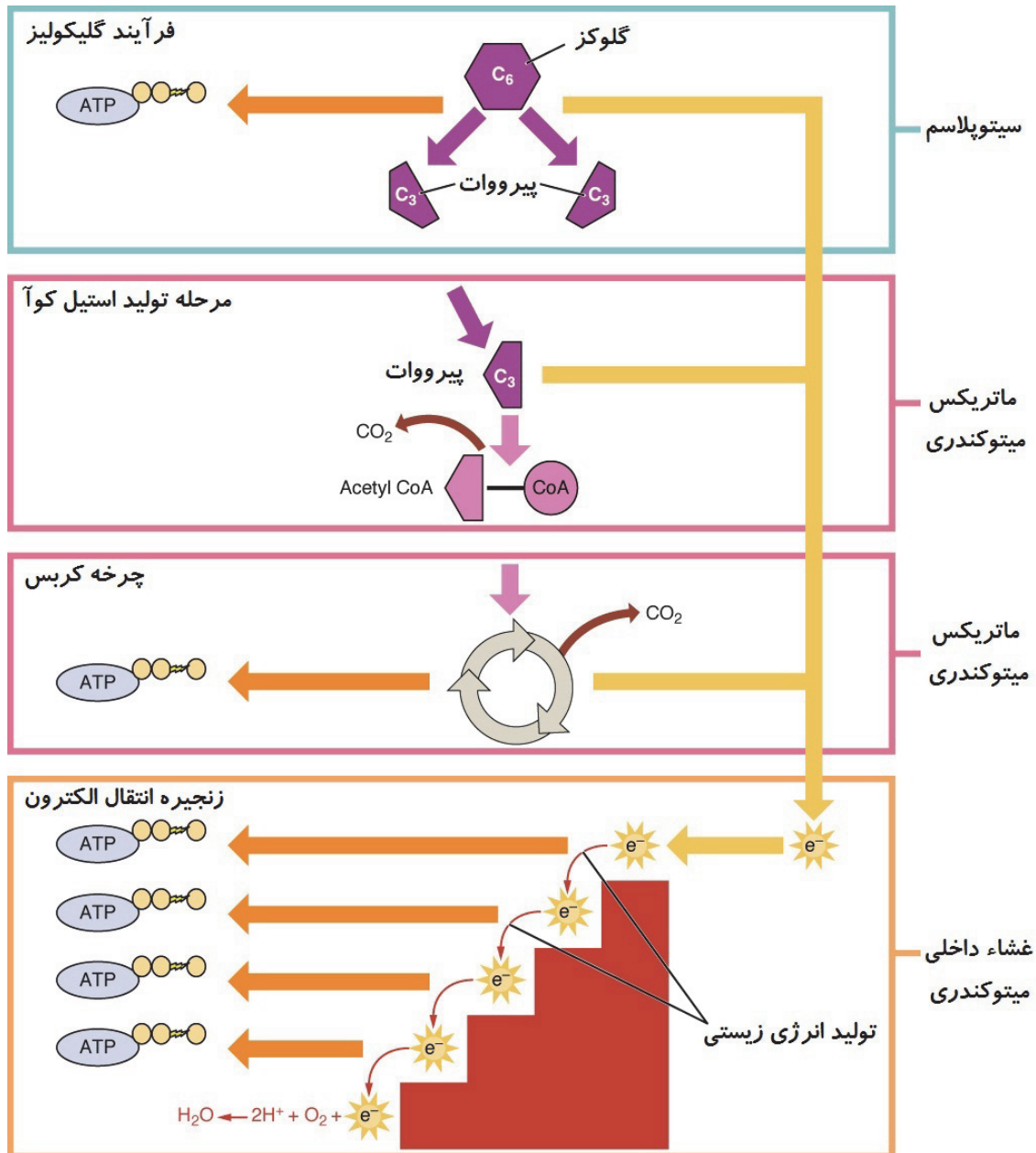
نتیجه گیری مهم: بچه ها برای اینکه در تعریف تنفس هوازی گفتم قسمتی از آن! (نه همه ی آن!) برای انجام شدن به اکسیژن نیاز دارند!



نکته مهم: دقت داشته باشید که در هر دو نوع تنفس در ابتدا (یعنی طی فرآیند گلیکولیز) مقدار کمی ATP تولید می شود اما اگر تنفس به سمت هوازی بودن برود (در صورت بالا بودن اکسیژن در سلول این اتفاق رخ می دهد) مولکول های ATP بیشتری تولید می شود و اگر تنفس به سمت بی هوازی پیش بره مولکول های ATP کمتری تولید می شه. به عبارت دیگر کارایی تولید مولکول ATP توسط تنفس بی هوازی بسیار کم است! و در تنفس هوازی بسیار زیاد است.

در فرآیند گلیکولیز، ۱ مولکول گلوکز به ۲ تا ماده ی ۳ کربنه به نام پیرووات تبدیل می شود! در حین این تبدیل هم بچه ها ۲ تا دونه ATP ساخته میشه و ۲ تا دونه هم $NADH + H^+$! حالا اگر سلول ما تنفس هوازی بخواد انجام بده (حضور اکسیژن زیاد در محیط!) میاد این پیرووات های تولید شده رو به همراه $NADH + H^+$ هایی که طی فرآیند گلیکولیز تولید شدن، برای ساخت یه گونی ATP! استفاده می کنه! طی چه فرآیندی؟ طی فرآیند زنجیره ی انتقال الکترون!

اگر سلول ما یوکاریوتی باشه، برای انجام این فرآیند، پیرووات ها $NADH + H^+$ ها میرن تو میتوکندری های سلول! و طی فرآیند زنجیره ی انتقال الکترون و به کمک اکسیژن مقادیر فراوانی ATP تولید میشه!



اگه سلول ما یوکاریوتی نباشه، برای انجام زنجیره ی انتقال الکترون، چون میتوکندری وجود ندارد، به غشاء پلاسمایی سلول باکتری می روند! (ناقل های الکترون!) و در آن جا زنجیره ی انتقال الکترون انجام می شود. خوب شاید بپرسید که چرخه ی کربس

این وسط چی هست؟ بچه ها برای انجام شدن زنجیره ی انتقال الکترون (که در تنفس هوازی دیده می شود) ما به ۲ تا چیز نیاز داریم:

- ۱- **گیرنده ی الکترون** ← یعنی کسی که الکترون رو دریافت کنه! که در تنفس هوازی مولکول های O_2 این نقش رو دارن!
- ۲- **ناقل و دهنده ی الکترون** ← یعنی کسی که الکترون ها رو حمل می کنه میاره به محل انجام زنجیره ی انتقال الکترون و الکترون هاش رو میده!

ناقل های الکترون انواع مختلفی دارن! که در کتاب درسی ۲ تا دونه ش رو در رابطه با تنفس سلولی هوازی اسم برده:

۱. **NADH** ← یا همون نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید!

۲. **FADH₂** ← یا همون فلاوین آدنین دی نوکلئوتید!

که اولی (یعنی NADH) طی فرآیند گلیکولیز (مرحله ی اول) و کربس (بخشی از مرحله ی دوم) تولید میشه! هم طی چرخه ی کربس (بخشی از مرحله ی دوم) تولید میشه! پس علت اینکه چرخه ی کربس انجام میشه، تولید ناقل های الکترون بیشتر هستش! اما اگه بچه ها سلول ها داخلش O_2 به اندازه کافی وجود نداشته باشه، تنفس بی هوازی انجام میده! به این صورت که میاد اون پیرووات های تولید شده طی گلیکولیز رو در داخل سیتوپلاسم به لاکتات یا اتانول و دی اکسید کربن تبدیل می کنه!

خوب گفتیم که کتاب درسی عزیز برای ارائه تعریف و مراحل تنفس سلولی، تنفس سلولی مربوط به گلوکز رو بیان کرده! و ما هم تابع کتاب درسی (سرباز تم!) هستیم و تنفس سلولی گلوکز رو توضیح می دیم. واکنشی که این پایین می بینید داره خلاصه ای از مجموع واکنش های شکستن گلوکز رو در تنفس سلولی هوازی نشون میده!

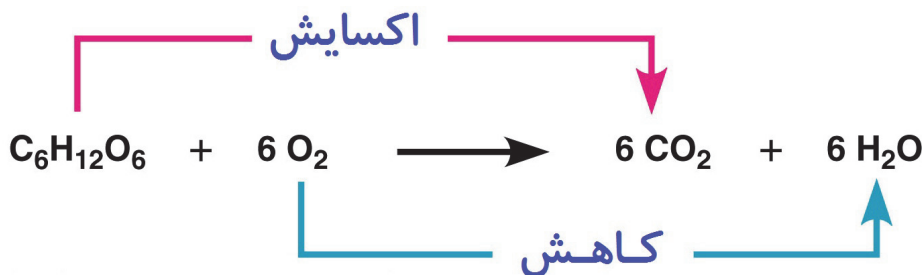


بچه ها از کجا فهمیدم هوازیه؟ چون در سمت مواد مصرفی (سمت چپ واکنش) داره O_2 مصرف میشه! بچه ها فرآیند تنفس سلولی گلوکز دقیقا برعکس فتوسنتز هستش! یعنی اگه واکنش فتوسنتز رو برعکس کنیم همیشه واکنش تنفس سلولی! قبل از اینکه بخوام ادامه بدم یک یادآوری نیازه!

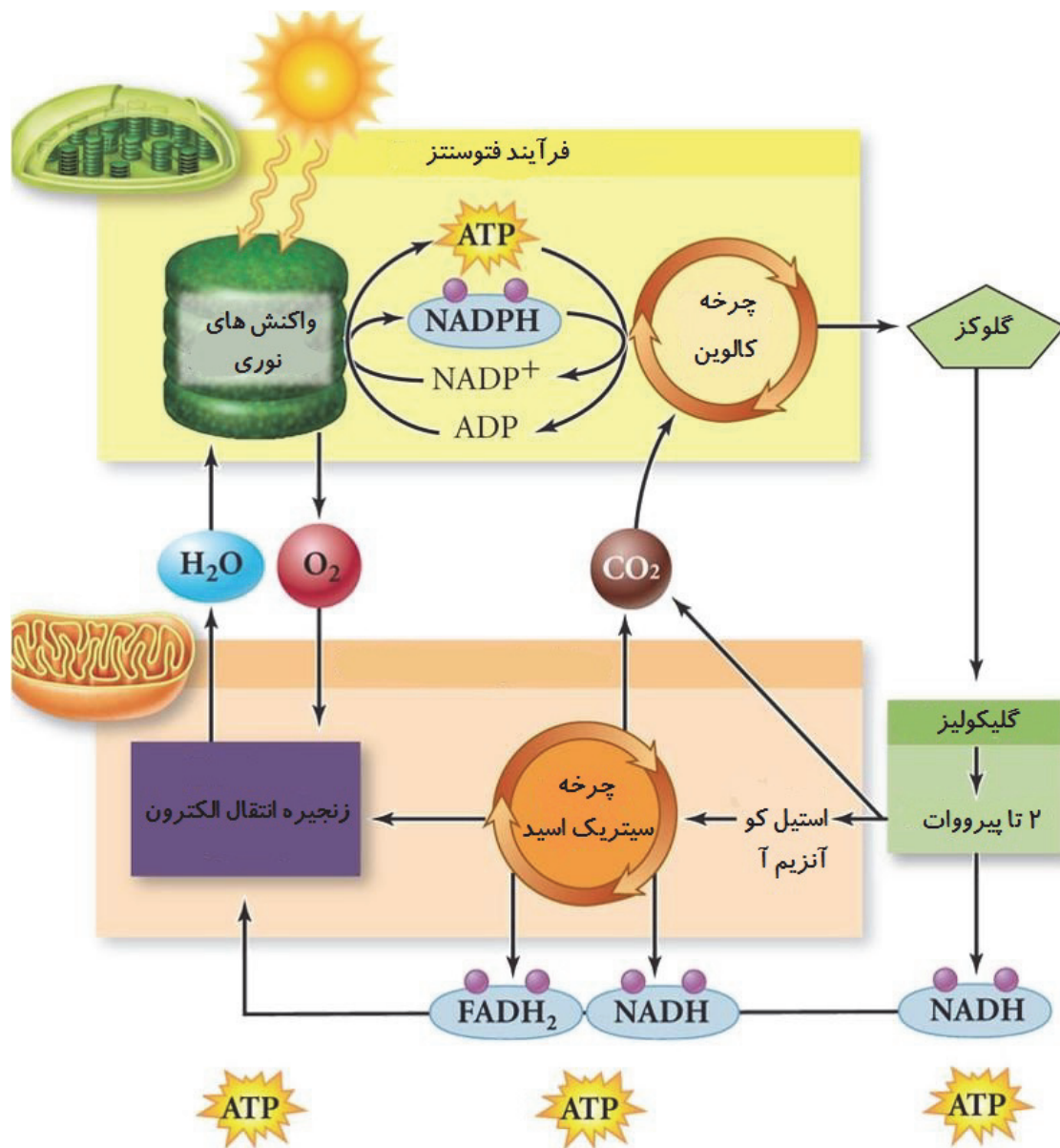
یادآوری مهم:

تعریف اکسید شدن: اونیه که اکسیژن رو بگیره می گن اکسید شده و اگه هیدروژن بده می گن بازم اکسید شده!

تعریف احیا شدن: اونیه که اکسیژن رو بده می گن احیا شده و اونیه که هیدروژن بگیره بازم می گن احیا شده! خوب با توجه به واکنش بالا می بینیم که گلوکز چون اکسیژن گرفته می گیم که طی فرایند تنفس سلولی گلوکز اکسید میشه و اکسیژن هم در این واکنش احیا میشه چون هیدروژن میگیره از کی میگیره؟ از گلوکز! در نتیجه مولکول آب تولید میشه.



بچه ها دقت داشته باشید که در طی تنفس سلولی گلوکز، ما هم آب مصرف می کنیم و هم آب تولید می کنیم! یعنی باید هم در سمت چپ واکنش (قسمت مصرفی ها!) H_2O وجود داشته باشد و هم در سمت راست واکنش (قسمت محصولات!) اما کتاب درسی عزیز فقط در قسمت محصولات این H_2O را کشیده است! خوب فایده چی بوده؟ بچه ها در واقع کتاب درسی خواسته واکنش رو موازنه کنه! که غلط موازنه کرده! یادتون هست گفتم که واکنش کلی فتوسنتز رو برعکس کنیم همیشه تنفس سلولی! پس حواستون باشه که: ما در تنفس سلولی هم آب مصرف می کنیم و هم آب تولید می کنیم! اما در مجموع مقدار آب تولیدی بیشتر است! اگه خاطرتون باشه گفتم که اگر ما واکنش فتوسنتز رو برعکس کنیم همیشه همون تنفس سلولی! یعنی محصولات حاصل از فتوسنتز در تنفس سلولی مصرف می شود! و محصولات حاصل از تنفس سلولی در فتوسنتز مصرف می شود! بچه ها در یک سلول گیاهی که هم کلروپلاست دارد و هم میتوکندری، این دو تا اندامک با هم دیگه بده بستون دارن! شکل پایین به خوبی این موضوع رو داره نشون میده:

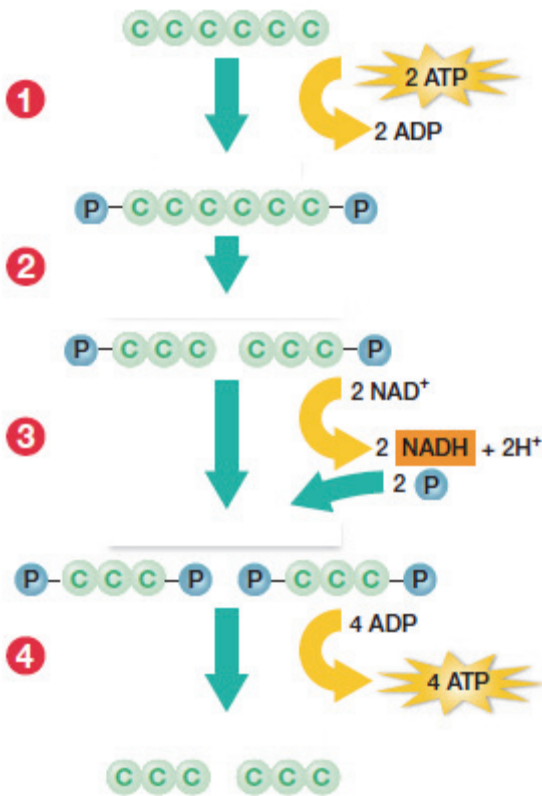


خوب حالا بریم انواع تنفس سلولی گلوکز رو بررسی کنیم! تنفس سلولی گلوکز به دو صورت **هوازی و بی هوازی** انجام می شود! اگر O_2 سلول به اندازه ی کافی باشد هوازی انجام می شود و اگر به اندازه ی کافی نباشد به صورت بی هوازی! فرض کنید می روید رستوران اکبر جوجه! و یک همبرگر سفارش میدین! (اینو دیدم که میگما! طرف اسم رستورانش اکبر جوجه س اما تو منوش

جوجه نداشت! همبرگر و از این چرت و پرتا بود) این غذا را می خورید! در بخش گیاهی این غذا، مقدار زیادی سلولز و نشاسته وجود دارد! و در بخش جانوری و گوشتی این غذا مقدار زیادی گلیکوژن! که در سلول های تشکیل دهنده ی آن ها ذخیره شده است! با خوردن این غذا، این دو تا ماده یعنی گلیکوژن و پلی ساکارید در روده ی ما توسط آنزیم های گوارشی (که عمدتاً از لوزالمعده ترشح می شوند) هیدرولیز می شن به گلوکز! بعد سلول های استوانه ای روده باریک این گلوکزها رو طی انتقال فعال همراه با Na ها جذب می کنن! بعد این گلوکزها از سلول های استوانه ای روده وارد مویرگ های خونی میشن! جریان خون میاد این گلوکزها رو میبده به اندام های مختلف! تا برسه به دست سلول های مختلف! حالا فرض کنید گلوکز این مسیر رو اومد و وارد سلول شد! (برای اینکه گلوکزها جذب سلول بشن به انسولین نیاز داریم! که از غده ی لوزالمعده ترشح میشه!)

خوب بچه ها سلول به انرژی نیاز داره و می خواد از این گلوکز که کلی انرژی شیمیایی در خودش ذخیره داره، انرژی شیمیایی کوچکتر در قالب ATP تولید کنه! برای همین سلول دست به کار می شه! خوب گفتیم که در هر دو نوع تنفس سلولی (هوازی و بی هوازی) در ابتدا حتماً فرآیندی به نام فرآیند گلیکولیز انجام میشه! پس بچه ها معرفی کنم! بچه ها گلیکولیز! گلیکولیز بچه ها!

فرآیند گلیکولیز:



بچه ها گلیکولیز اولین مرحله ی تنفس سلولی (چه هوازی و چه بی هوازی) است! این فرآیند در همه ی جانداران دارای تنفس سلولی در سیتوسل سلول (ماده ی زمینه ای سیتوپلاسم) انجام می شه! خوب بچه ها گلیکو یعنی قند و لیز یعنی تجزیه! در این فرآیند گلوکز (قند) تجزیه میشه! گلوکز که یک قند ۶ کربنه (هگوز) است و پس از ورود به سلول ۲ گروه فسفات گرفته است، به ۲ تا ماده ی ۳ کربنه بنام پیرویک اسید تبدیل می شه. این ۲ مولکول که خاصیت اسیدی دارند با از دست دادن ۱ پروتون (هیدروژن) به یون های پیرووات تبدیل می شن! بچه ها پس ۱ عدد گلوکز طی فرآیند گلیکولیز به ۲ پیرووات تبدیل میشه!

سوال: آقا فرق پیرویک اسید با پیرووات چیه؟



جواب: بچه ها پیرویک اسید یک مولکول هستش که فاقد



بار در اطراف خودشه! یعنی یون نیست! حالا اگر همین پیرویک اسید، یک عدد از هیدروژنهایش رو از دست بده! (یعنی یک H^+

بدهد!) همیشه پیرووات! به قول کتاب درسی پیرووات شکل یونی یک اسید ۳ کربنه آلی بنام پیرویک اسید است! بچه ها وقتی در فرآیند گلیکولیز، مولکول ۶ کربنه گلوکز شکسته میشه، مقداری از هیدروژن های گلوکز از دست میشن! و این هیدروژن ها میان به یک سری مولکول های یونی خاص بنام ناقل های الکترون منتقل میشه! این ناقل های الکترون که تو فرآیند گلیکولیز هستن، NAD^+ نام دارن! خوب وقتی که اتم های هیدروژن می خوان از گلوکز جدا بشن (کنده بشن) به صوت یون در بیان، به تعداد هر هیدروژن جدا شده ۱ عدد الکترون هم جدا میشه! NAD^+ که یک ناقل الکترون هستش ۲ تا یون هیدروژن و ۲ تا دونه الکترون بهش منتقل میشه! الکترون ها باعث میشن یکی از هیدروژن ها (H^+) با یون NAD^+ پیوند برقرار کنه و این NAD^+

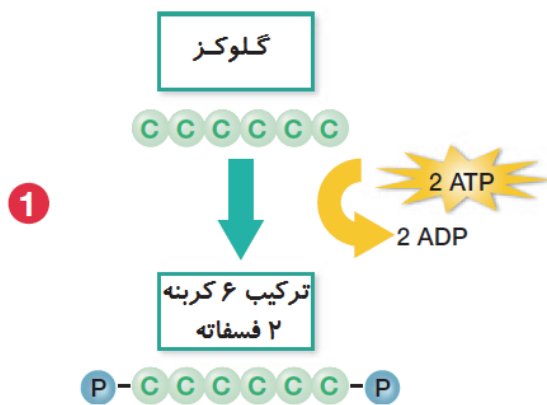
تبدیل بشه به NADH! (تو شیمی میدونید که برای ایجاد هر پیوند به ۲ تا الکترون نیازه!) بعدش اون H^+ ای که مونده میاد با این NADH پیوند داتیو برقرار می کنه و به صورت $NADH + H^+$ در میان!

بچه ها خوب الکترون ها از کجا اومدن؟ از گلوکزها! (چون هیدروژن و الکترون ها از گلوکزها کنده شدن دیگه!) خوب الکترون ها چی هستن؟ همون حکم انرژی شیمیایی رو دارن دیگه! در واقع بخشی از انرژی شیمیایی در گلوکز به ناقل های الکترون منتقل شد! این ناقل الکترونی هم قراره بره تو زنجیره ی انتقال الکترون، ازش ATP تولید بشه! یعنی انرژی حاصل از این الکترون ها بره تو مولکول ATP ذخیره بشه! خوب یادتون هست گفتم گلوکز که یک ماده ی آلی پر انرژی هستش و حکم یک پول بزرگ رو داره! این پول رو گفتم میاد سلول خورد می کنه! تا بتونه خرج کنه! در اینجا بخشی از انرژی ذخیره شده در گلوکز (که همون الکترون هاش هستن) همراه با هیدروژن به ناقل های الکترون داده می شه!

بچه ها طی فرآیند گلیکولیز به صورت مستقیم در نهایت ۲ تا مولکول ATP تولید میشه! پس گلیکولیز فرآیندی است که طی آن ۱ عدد مولکول گلوکز (قند هگزوز یا همان ۶ کربنه) به ۲ تا یون پیرووات تبدیل می شود! طی این تغییر ۲ عدد ناقل الکترون بنام $NADH + H^+$ تولید می شود! همچنین در نهایت ۲ عدد ATP نیز تولید می شود! پس بچه ها طی تنفس سلولی، مولکول گلوکز اکسید می شود! که این اکسید شدن طی چند مرحله هستش! در گلیکولیز مولکول گلوکز به صورت جزئی اکسید میشه! گلیکولیز تو کتاب درسی در چهار گام خلاصه شده است که ما هم به ترتیب این مراحل رو بررسی می کنیم.

مراحل گلیکولیز:

گام اول ← تو گام اول گلیکولیز، ۲ تا مولکول ATP پیوند پر انرژی بین گروه های فسفات شماره ی ۲ و ۳ شون شکسته



میشه! در نتیجه از هر ATP یک دونه گروه فسفات (PO_4^{3-}) و یک دونه هم ADP تولید میشه! پس محصولاتی که در اثر تجزیه این دو مولکول ATP تولید میشه، مجموعاً همیشه ۲ تا گروه فسفات! و ۲ تا دونه ADP! حالا هدف از این کار چی بوده؟ بچه ها آنزیمی میاد این ۲ تا دونه گروه فسفات رو که از ATP ها جدا شد، می چسبونه به گلوکز ۶ کربنه! و یک ترکیب جدید به وجود میاد! به این ترکیب جدید میگن ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفاته! پس به طور خلاصه در گام اول گلیکولیز: ۲ گروه فسفات از ۲ مولکول ATP به یک مولکول گلوکز منتقل می شوند!



نکته مهم: بچه ها برای طراحی مواد که مصرف می شن یا تولید می شن خیلی مهمه. توک این

گام مواد تولیدی شامل موارد زیر هستند:

ترکیب شش کربنه ی دو فسفاته + ADP

و مواد مصرفی شامل موارد زیر هستند:

قند ۶ کربنه ی بدون فسفات! (همون گلوکز) و آدنوزین تری فسفات (یا همون ATP)

نکته مهم: بچه ها این واکنش کاملا انرژی خواه هتس چون آدنوزین تری فسفات مصرف میس. از بین گام های گلیکولیز فقط این گام انرژی خواه هتس و بقیه انرژی زا هتند.



نکته مهم: از اونجایی که گلوکز از آدنوزین دی فسفات گروه فسفات دریافت کرده و برای تولید ترکیب ۶ کربنه سی ۲ فسفات، انرژی صرف شده پس می تونیم بلیم که میزان سطح انرژی ترکیب ۶ کربنه سی دو فسفات از گلوکز بیشتر هتس.

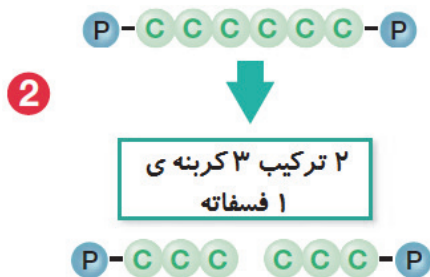


نکته مهم: دقت داشته باشید که آگه بخوایم از نظر پایداری بنجیم اونج که انرژی بیشتری داره یه جا سر جاش نمی شینه که بلکه ناپایداره! پس گلوکز پایداریش نسبت به ترکیب ۶ کربنه سی ۲ فسفات بیشتره یعنی ترکیب شش کربنه سی ۲ فسفات ناپایدار هتس!



توجه توجه

بچه هایی که چرخه کالوین رو خوندن همین الان بدو بدو برین گام یکش رو نگاه کنید! چی تولید میشه؟ آ باریکلا! ترکیب شش کربنه ی ۲ فسفات! یعنی در گام ۱ گلیکولیز همانند گام ۱ کالوین ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفات تولید می شود که در هر دو ناپایدار می باشد.



گام دوم ← وقتی که گروه های فسفات به گلوکز وصل می شوند و ترکیب شش کربنه ۲ فسفات حاصل می شود این مولکول ناپایدار است در نتیجه مولکول شیش کربنه ی دو فسفات از وسط نصف میشه و تبدیل میشه به دو تا ترکیب ۳ کربنه که هر کدوم یک فسفات دارن! به عبارتی محصول این گام از گلیکولیز تولید ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی تک (نه دو!) فسفات می باشد.

نکته مهم: بچه ها مواردی که در این گام..... می شوند شامل..... می باشد.



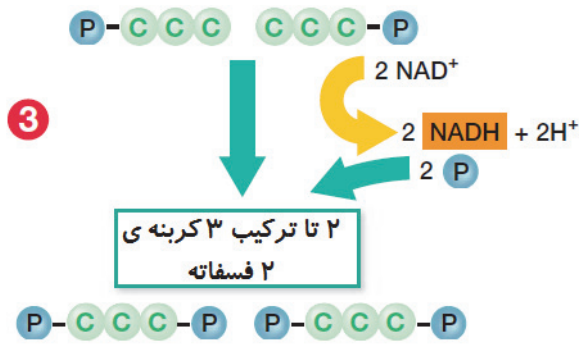
مصرف - ترکیب ۶ کربنه سی ۲ فسفات

تولید - ۲ تا! ترکیب ۳ کربنه سی ۱ فسفات

نکته مهم: بچه ها در اینجا حرف از نصف شدن و شکوندن شد! خوب وقتی یک ماده سی آلی نصف بشه یعنی چی؟ یعنی هیدرولیز! خوب پس این فرآیند توسط یک هیدرولاز با مصرف آب صورت میگیرد.



بچه ها بازم بدو بدو با سرعت ۱۸۰ تا! برید گام دوم کالوین رو نگاه کنید! فهمیدی چی می خوام بگم؟ آ باریکلا! در گام ۲ گلیکولیز همانند! گام ۲ کالوین ۲ تا! ترکیب ۳ کربنه ی ۱ فسفات تولید میشه. بچه ها حواستون باشه از نظر شکل فضایی این ترکیبات با هم دیگه فرق دارن!



نوکلئوتید هستند. بچه ها دقت کنید که هر کدام از ترکیبات ۳ کربنه ی تک فسفات ، ۲ تا دونه اتم هیدروژن(نه مولکول هیدروژن!) و ۲ تا دونه الکترون از دست می دن.

یادآوری: فسفات معدنی به فسفاتی گفته می شود به صورت ول! در سیتوسل ول! است! یعنی گروه فسفات آزاد در سیتوسل! به عبارتی گروه فسفاتی که از atp کنده نمی شود بلکه در سیتوسل ول است!

نکته مهم: در تمام سوم مواردی که..... می شود شامل..... می باشد.

مصرف - ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی تک فسفات + ۲ NAD⁺ تا فسفات معدنی

تولید - ۲ تا ترکیب سه کربنه ی دو فسفات + ۲ NADH + H⁺

نکته مهم: بچه ها حواستون باشه از بین اونها فسفات هایی که به این ترکیبات سه کربنه چسبیدن هر روت شون معدنی نیستن! بلکه یکی شون از ATP اومده و یکی شون از سیتوسل (معدنی) اومده!

نکته مهم: در تمام سوم گلیکولیز ، الکترون ها و هیدروژن جدا شده از ترکیب ۳ کربنه ی تک فسفات ، به NAD⁺ منتقل می شود پس بچه ها:

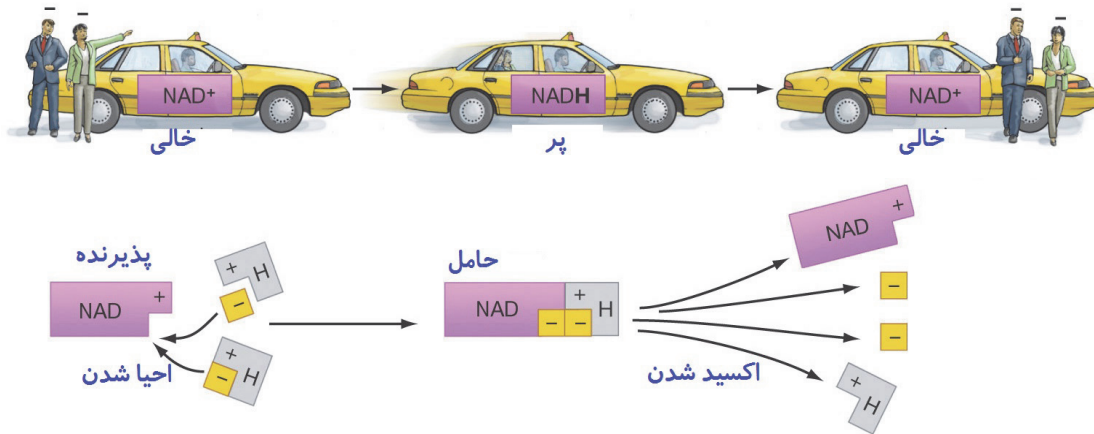
دهنده ی الکترون (یا هیدروژن) ← ترکیب ۳ کربنه ی فسفات

گیرنده ی الکترون (یا هیدروژن) ← NAD⁺

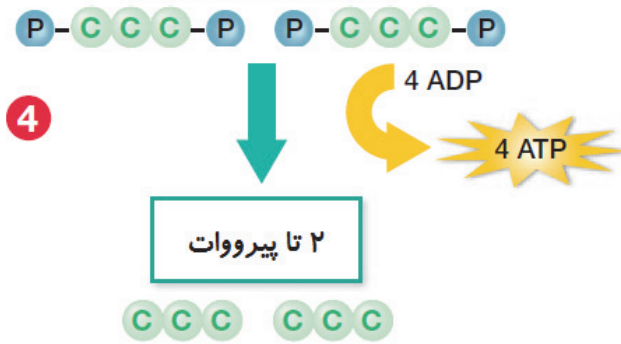
حامل الکترون (یا هیدروژن) ← NADH

توجه توجه ⚠️

زمانی ما لفظ حامل الکترون رو به کسی میدیم که الکترون رو گرفته باشه! NAD⁺ وقتی الکترون رو میگیره میشه NADH و نه NAD⁺



گام چهارم ← توی این گام هر کدوم از این مولکول های سه کربنه ی دو فسفات! دو تا فسفات خودشون رو از دست می دن و این فسفات های سرگردان رو دو تا مولکول ADP یا همون آدنوزین دی فسفات دریافت می کنن یعنی هر ترکیب ۳ کربنه



ی ما در این گام ۲ تا مولکول دی فسفات رو به فیض می رسونه! و در نتیجه توی این مرحله ما در مجموع ۴ تا مولکول ATP خواهیم داشت. (چون دو تا ترکیب ۳ کربنه ی دو فسفات داشتهیم دیگه). وقتی که این دو تا ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفات، فسفات های خودشون رو از دست دادند (در مجموع ۴ تا) به پیرووات تبدیل میشن پس پیرووات ها مولکول های سه کربنی فاقد فسفات می باشن.



۲ تا تعریف مهم:

وقتی که گروه فسفات به مولکول ADP منتقل می شود، مولکول ATP تولید می شود. حالا اگر این فسفاتی که به ADP منتقل می شود اگر از.....



یک مولکول آلی فسفات دار باشد ← به این نوع تولید ATP می گویند **تولید در سطح پیش ماده!**



سیتوسل و از فسفات های معدنی و ول! به همراه انرژی حاصل از انتقال الکترون ها باشد ← به این نوع تولید ATP می

گویند **تولید ATP در زنجیره انتقال الکترون!**

پس بچه ها در گام چهارم گلیکولیز ATP در سطح پیش ماده تولید می شود! چون فسفات هایش رو از یک ترکیب آلی فسفات دار دریافت می کند.



نکته مهم: مواردی که در گام چهارم گلیکولیز..... می شوند شامل

..... می باشد.

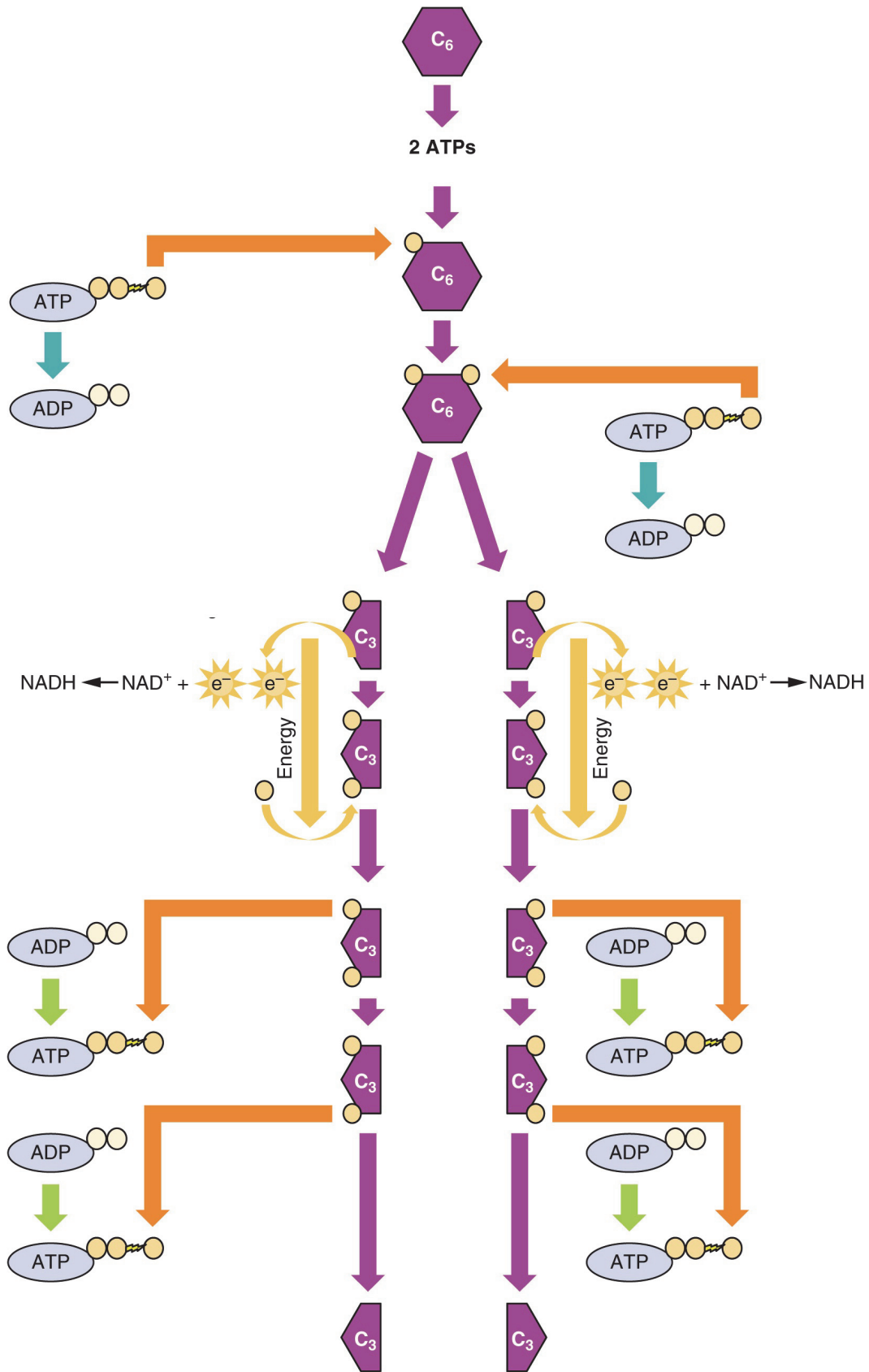
مصرف - ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفات + ۴ تا ADP



تولید - ۲ تا ترکیب ۳ کربنه ی فاقد فسفات! (۲ تا پیرووات) + ۴ تا ATP



شکل پایین دانه فرآیند گلیکولیز یک عدد مولکول گلوکز رو نشون میده:



حالا فوب گوش کن نکته های گلیکولیز روا

نکته مهم: در تمامی سلول ها! چه یوکاریوت ها و چه پروکاریوت ها! محل انجام فرآیند گلیکولیز ی کجا می باشد آن هم سیتوسل!

یادآوری: سیتوسل یعنی سیتوپلاسم منهای اندامک! یعنی اگه یه سیتوپلاسم رو بدن به ما و ما اندامک های اون رو ازش بکنیم! اسمش میشه سیتوسل! به قول کتاب درسی سیتوسل ماده ی زمینه ای ستوپلاسم است.

نکته مهم: ماده ای که در فرآیند گلیکولیز تولید میشه پیروات هشت که ۳ تا کربن داره متصیح ۲ تا پیروات تولید میشه و ماده ای که مصرف میشه گلوکز هشت که ۶ تا کربن داره متصیح ۱ عدد!

نکته مهم: همونطور که دیدین توی گلیکولیز نه دی اکسید کربن تولید یا مصرف میشه و نه اکسیرنج!

نکته مهم: بچه ها اثر گام های چرخه کالوین رو نگاه کنید می بینید که توی گام اول! دو تا مولکول ATP مصرف شد! اما در گام چهارم (آخر!) ۴ تا مولکول ATP تولید میشه پس آگه بخوایم به صورت خالص حساب کنیم باید بگیم که در گلیکولیز در مجموع! ۲ تا مولکول ATP تولید می شود.

نکته مهم: بدو پروزودی به تعریف احیا و اکسید شدن نگاه کن. با توجه به تعریف در گلیکولیز اونج که احیا میشه یون NAD^+ هشت چون داره هیدروژن میگیره! و اونج که داره اکسید میشه مولکول های ۳ کربنه ی یک (نه دو!) فسفاتن! چون دارن هیدروژن از دست می دن. در واقع به صورت کلی میشه گفت گلوکز اکسید می شود!

نکته مهم: محصولات نهی که طی گلیکولیز حاصل می شن شامل:



نکته مهم: ما میبیم که در طی گلیکولیز بخشی از انرژی گلوکز در ساختار ناقل های الکترون (یا انرژی) ذخیره میشه! پس اگر بخوایم از نظر میزان انرژی و میزان پایداری مقایسه کنیم اینجوری میشه: مقایسه از نظر سطح انرژی:

ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفاتن < ترکیب ۳ کربنه ی ۱ فسفاتن < ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفاتن < پیروات (ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفاتن)

مقایسه از نظر سطح پایداری:

ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفاتن > ترکیب ۳ کربنه ی ۱ فسفاتن > ترکیب ۳ کربنه ی ۲ فسفاتن > پیروات (ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفاتن)

توجه توجه 

بچه ها واستون باشه که میزان سطح انرژی گلوکز از ترکیب ۶ کربنه ی ۲ فسفات کمتره! چون برای تبدیل گلوکز به ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفات ۲ تا مولکول ATP (انرژی زیستی) مصرف شده!

بچه ها در مورد سرنوشت پیرووات بهتون گفتم که چه بلایی سرش میاد؟ اگه اکسیژن در داخل سلول به اندازه ی کافی وجود داشت، در سلول های پروکاریوتی میره به غشاء پلاسمایی سلول و در سلولهای یوکاریوتی که میتوکندری دارند این پیرووات ها میرن میتوکندری و اونجا عشق و حال اگه نه میزان اکسیژن در سلول خیلی کم باشه و یا اصلا وجود نداشته باشه این پیرووات های تولید شده تو همون سیتوسل می مونه و به لاکتات یا به اتانول و دی اکسید کربن تبدیل میشه.

توجه توجه 

دقت داشته باشید که بچه ها طی تنفس هوازی پیرووات در سلول های یوکاریوت در میتوکندری میسوزه و در سلول های پروکاریوت در غشاء پلاسمایی سلول!



نکته مهم: وقتی یونی یون هیدروژن میگیره همراه با اون الکترون هم میگیره و کسی که هیدروژن میده همراه با اون الکترون هم میده. به ازاء هر هیدروژن ۲ تا الکترون جا بجا میشه.



نکته مهم: خوب آلم بگن پذیرنده ی الکترون کیه؟ میگی اونیه که هیدروژن میگیره! خوب بگو بینم کسی گرفت؟ آفرین! NAD^+ پذیرنده ی الکترون و هیدروژن هس (اچا شونده).

توجه توجه 

ما دو تا لفظ مهم داریم:

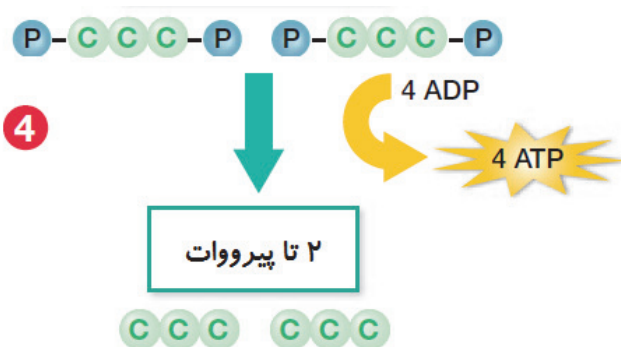
پذیرنده ی الکترون ← به مولکول یا یونی گفته می شود که الکترون بگیرد.

حامل الکترون ← به مولکولی گفته می شود که الکترون رو دریافت کرده است و با خود حمل می کند.

خوب الان به نظر شما حامل الکترون کی میشه؟ $NADH+H^+$



نکته مهم: گلیکولیز چون منجر به تولید انرژی شده است پس می توانیم بگوییم در کل! این فرآیند انرژی زا می باشد. دقت داشته باشید گام اول انرژی خواه است و گام آخر انرژی زا اما در کل گلیکولیز انرژی زا می باشد.



نکته مهم: در گام چهارم گلیکولیز چون ۴ تا ATP تولید میشود پس انرژی زا است! و برای تولید ATP ها به ۴ تا مولکول H_2O نیاز است!

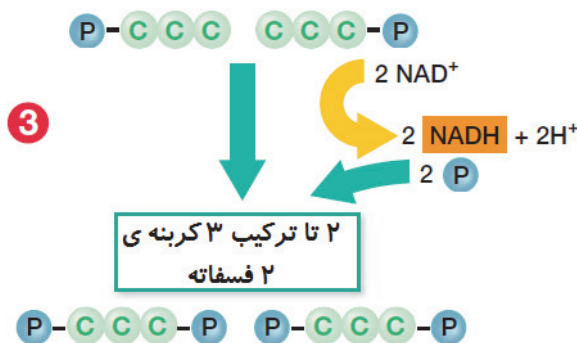
توجه توجه 

بچه ها تو گام اول ۲ تا مولکول ATP مصرف میشه! پس گام اول یک واکنش انرژی خواه است! (برخلاف گام آخر) و در گام اول ۲ تا مولکول آب مصرف می شود! اما تو گام آخر ۴ تا!

پس بچه ها اگه بخوام بطور کلی خلاصه ی گلیکولیز رو بگم اینجوری میشه:
یک عدد گلوکز در نهایت به ۲ تا پیرووات تبدیل می شود. در چرخه ی گلیکولیز به ازاء هر گلوکز، ۲ تا مولکول ATP مصرف (در گام اول)، ۴ تا مولکول ATP تولید (در گام چهارم) و ۲ تا $NADH + H^+$ تولید (در گام سوم) می شود!



نکته مهم: بچه ها رقت کنید که طی گلیکولیز گلوکز اکسید میشه اما یا تون باشه نه به صورت متقیم! بلکه طی چند مرحله در نهایت گلوکز اکسید میشه خوب کج به صورت متقیم اکسید میشه؟ اونج که الکترون و هیدروژن بره! یعنی ماده C_3 کربنه C_2 تک فسفات به صورت متقیم اکسید می شور.



نکته مهم: بچه ها به سوال: چند مولکول به ازاء گلیکوز ۱ عدد گلوکز ، به میتوکندری می روند؟ ۲ تا؟ نه راداش غلط! بچه ها ۴ تا مولکول به میتوکندری می روند! ۲ تا ش که پیرووات هستن میرن به ماتریکس میتوکندری! و ۲ تا $NADH + H^+$ هم ریله هم هستن که میرن به غشاه داخلی میتوکندری تا در زنجیره انتقال الکترون مصرف بشن! حال کردی؟



نکته مهم: بچه ها اگه از شما پرسن به ازاء هر گلوکز در مرحله C_3 گلیکولیز چند ATP به صورت متقیم و غیر متقیم تولید می شور؟ شما میاید ۴ تا متقیم تولید میشه و ۶ تا هم به صورت غیر متقیم! یعنی در مجموع ۱۰ تا! چون هر $NADH + H^+$ معادل ۳ تا ATP هست! و در زنجیره انتقال الکترون باعث تولید ۳ تا ATP میشه. اگه طراح بگه به صورت خالص چند تا میلیم ۸ تا! چون ۲ تا مصرف میشه.



جدول مقایسه ای مهم:

مورد مقایسه	گام اول	گام دوم	گام سوم	گام چهارم
واکنش	$CCCCC + 2ATP \rightarrow P-CCCCC-P + 2ADP$	$P-CCCCC-P \rightarrow 2CCC-P$	$2P-CCC + 2P_i + 2NAD^+ \rightarrow 2P-CCC-P + 2NADH+H^+$	$2P-CCC-P + 4ADP \rightarrow 2CCC + 4ATP$
مواد مصرفی	گلوکز + آدنوزین تری فسفات	ترکیب ۶ کربنه ناپایدار	ترکیب ۳ کربنه تک فسفات + فسفات های معدنی + NAD+	ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفات + آدنوزین دی فسفات
مواد تولیدی	ترکیب ۶ کربنه ناپایدار + آدنوزین دی فسفات	ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفات	ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفات + NADH+H+	پیرووات + آدنوزین تری فسفات
CO ₂	-	-	-	-
O ₂	-	-	-	-
ATP	مصرف می شود.	-	-	تولید می شود.
ADP	تولید می شود.	-	-	مصرف می شود.
NADH+H+	-	-	تولید می شود.	-
NAD+	-	-	مصرف می شود.	-
اکسید کننده	-	-	NAD+	-
اکسید شونده	-	-	ترکیب ۳ کربنه تک فسفات	-
احیا کننده	-	-	ترکیب ۳ کربنه تک فسفات	-
احیا شونده	-	-	NAD+	-



جدول مقایسه ای مهم:

مورد مقایسه	گلوکز	ATP مصرفی	NADH+H+ تولیدی	ADP تولیدی	ADP مصرفی	NAD+ مصرفی	الکترون و هیدروژن های مصرفی
در هر فرآیند گلیکولیز	۱ عدد	۲ عدد	۲ عدد	۲ عدد	۴ عدد	۲ عدد	۴ عدد e ⁻ ۴ عدد H ⁺
گام	۱	۱	۳	۲	۴	۳	۳

خوب بچه ها اینم از میحث گلیکولیز! قبل اینکه بخوام مرحله ی دوم تنفس سلولی هوازی رو براتون بگم می خوام یه خورده با کلمات بازی کنم و ببینم چقد دقتتون بالاست؟

آغا آكه از شما طراح بباد پبرسه كه.....

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز چند مولكول ATP تولید می شود؟ ۴ تا دقت داشته باشین كه در اینجا از لفظ «خالص» استفاده نشده است.

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز مستقیما چند تا ATP تولید می شود؟ ۴ تا

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز به صورت خالص چند تا ATP تولید می شود؟ ۲ تا

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز معادل چند ATP مولكول پراثری تولید می شود؟ ۶ تا

در اینجا منظور از مولكول پراثری در واقع $NADH+H^+$ های تولید شده است كه ۲ تا هستند و هر كدام معادل ۳ تا ATP می باشند.

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز معادل چند ATP ، اثری تولید می شود؟ ۱۰ تا

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز ۴ تا مستقیما ATP تولید می شود و ۶ تا هم به صورت غیرمستقیم! راستی بچه ها دقت کنید كه در اینجا از لفظ «مولكول پراثری» استفاده نشده ها! پس باید كل ATP ها رو حساب کنیم.

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز معادل چند ATP خالص ، اثری تولید می شود؟ ۸ تا!

بچه ها اون ۲ تا ATP مصرفی رو ازش كم می کنیم!

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز چند مولكول ATP در سیستم سلول تولید می شود؟ ۴ تا (۲ تا به صورت خالص)

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز چند مولكول ATP در میتوكوندری سلول تولید می شود؟ ۶ تا

بچه ها درسته كه گلیكولیز تو میتوكوندری انجام نمیشه! و در سیتوسله! اما $NADH+H^+$ های تولید شده میرن به میتوكوندری و در اونجا باعث تولید ATP میشن. هر كدوم ۳ تا میسازن پس میشه ۶ تا!

به ازاء هر گلوکز طی گلیكولیز چند مولكول ATP اثری به صورت خالص در سیتوپلاسم سلول تولید می شود؟ ۸ تا

بچه ها ۲ تا به صورت خالص در سیتوسل تولید میشه و ۶ تا هم در ماتریكس میتوكوندری! پس در مجموع ۸ تا در سیتوپلاسم سلول (سیتوسل + اندامك ها) تولید میشه. آكه تو صورت سوال نگفته بود خالص شما میگید ۱۰ تا! كه ۴ تاش تو سیتوسله و ۶ تاش تو میتوكوندری!



نكته مهم: بچه ها دقت داشته باشید اگر طراح بگه اید شدن پبروات! منظورش تخمیر هستش و آكه بگه آکید شدن پبروات! منظورش تنفس هوازی پبروات هستش.



نكته مهم: بچه ها دقت داشته باشید باید بلویم در همه ك سلول های دارای تنفس سلولی ، فرآیند گلیكولیز (تولید پبروات) صورت می گیرد اما این جمله كه بلویم در همه ك جانداران و یا همه ك سلول ها گلیكولیز انجام می شود غلط است! چون كتاب گفته بیشتر جانداران تنفس سلولی دارند! نه همه ك جانداران! فارح كتاب: بچه ها باكتری هایی وجود دارند بنام كلامدیاها كه اینها كلا تنفس سلولی ندارند اینا نوعی انگل درون سلولی ابیاری هستند كه وارد سلول میزبان شون میشن و در كمین میشن تا سلول بربفت ATP تولید كنه و اینا مثل مفت فورها میزنن زیر گوش ATP هاشون!



نكته مهم: پبروات آگر بنخواهد در يك سلول یابد ، برای این منظور می رود به

پروکاریوتی - اکسایش - غشاء پلاسمایی سلول

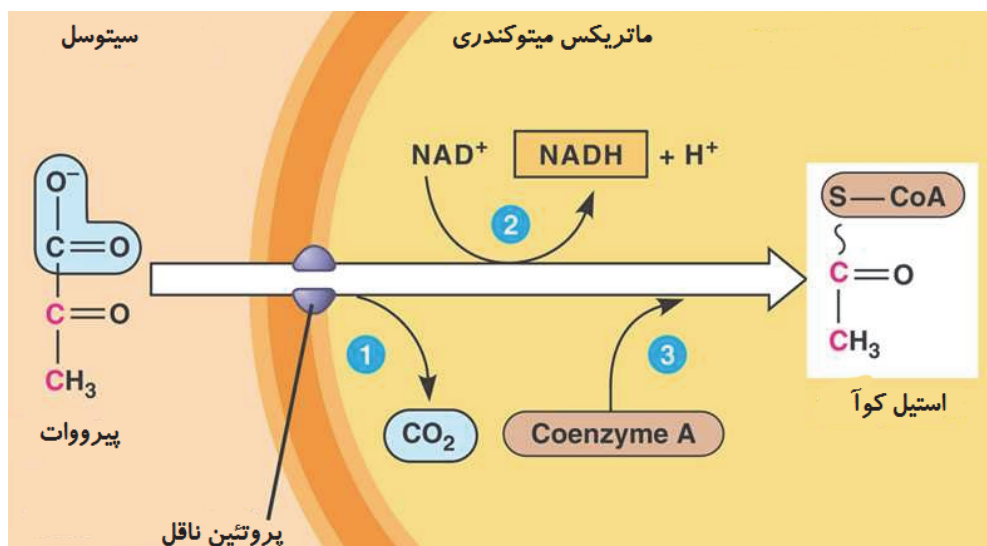
یوکاریوتی - اکسایش - ماتریکس میتوکندری

پروکاریوتی - گشایش - سیتوسل

یوکاریوتی - گشایش - سیتوسل

مرحله ی دوم تنفس سلولی هوازی

همونطور که گفتیم در سلول های یوکاریوتی اگر قرار بر این باشه که تنفس از نوع هوازی ادامه پیدا کنه در این صورت مولکول های پیرووات تولید شده در سیتوسل میرن به میتوکندری! اونم به صورت انتقال فعال! یعنی با مصرف انرژی در خلاف جهت شیب غلظت! (چون غلظت پیرووات ها در سیتوسل سلول کمه و در میتوکندری ها زیاده!) بچه ها این ترابری و جابجایی توسط یکسری پروتئین های ناقل که در غشاء میتوکندری حضور دارند انجام میشه.



خوب در تنفس هوازی مولکول های پیرووات به چه منظوری وارد میتوکندری می شوند؟ بچه ها با هدف ادامه ی اکسید شدن! در واقع پیرووات ها در ماتریکس میتوکندری اکسید می شوند! خوب ببینیم مرحله ی دوم تنفس هوازی در یوکاریوت ها به چه صورت انجام میشه.

مولکول های پیرووات وقتی از سیتوسل سلول وارد ماتریکس میتوکندری می شوند هر کدام از این پیرووات ها یک کربن خود را از دست می دهند و یک مولکول دی اکسید کربن تولید می کنند. همچنین ۲ تا اتم H و ۲ تا الکترون هم آزاد می کنند. پس یک مولکول پیرووات به یک مولکول دی اکسید کربن + ۲ عدد هیدروژن + یک ترکیب ۲ کربنه ی فاقد فسفات! تبدیل می شود. به این ترکیب ۲ کربنه ی فاقد فسفات حاصل شده می گویند استیل! که این استیل می آید و زیرتی! می چسبید به یک مولکول دیگر به نام کوآنزیم A! و در نتیجه از ترکیب استیل با کوآنزیم A مولکولی بنام استیل کوA حاصل می شود. پس بچه وقتی یه مولکول گلوکز میاد گلیکولیز روش انجام میشه، و دو تا پیرووات تولید میشه، پس می تونیم بگیم که دو تا استیل کوآ هم تولید میشن. (در مرحله ی دوم تنفسی سلولی هوازی یا مرحله ی میانی). بچه ها این ۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون که از هر پیرووات آزاد شدن میان به یک عدد یون NAD^+ منتقل میشن و در نتیجه ۱ عدد مولکول $\text{NADH} + \text{H}^+$ تولید می شود!

نکته مهم: بچه‌ها دقت داشته باشند که در اینجا هم NAD^+ پذیرنده الکترون هستش و $NADH+H^+$ ناقل یا حامل الکترون هستش! حامل انرژی هستش!

نکته مهم: بچه‌ها تو مرحله K (روم تنفس هوازی ما ۱ رونه NAD^+ مصرف می‌کنیم و در عوض ۱ رونه $NADH+H^+$ تولید می‌کنیم! که برای این کار به ۲ الکترون و ۲ هیدروژن نیازه. پس ۲ الکترون و ۲ هیدروژن هم مصرف می‌کنیم! اما تو گام سوم فرآیند گلیکولیز آله خاطر تون باشه این اعداد ۲ برابر این مرحله بودن!

نکته مهم: بچه‌ها برای اینکه کوآنزیم a به استیل کوآنزیم تبدیل بشه یک آنزیم میاد بنیان استیل و کوآنزیم A رو به هم می‌چسبونه پس این واکنش یک واکنش آنزیمی هستش. طبق فعالیت کتاب درسی این آنزیم برای اینکه بتونه این کار رو انجام بده به ویتامین B_1 احتیاج داره. اسم دیگه ش ویتامین تیامین هستش. این ویتامین محلول در آب هستش.

نکته مهم: باکتری‌هایی که تو روده K بزرگ زندگی می‌کنند با استفاده از گلوکز حاصل از تجزیه K سلولز میان ویتامین B و K رو تولید می‌کنن.

نکته مهم: طی مرحله K (روم تنفس هوازی در یوکاریوت‌ها در ماتریکس میتوکندری، یک $NADH$ تولید می‌شود. (به ازاد هر پیرووات) پس به ازاد هر گلوکز (که ۲ پیرووات در فرآیند گلیکولیز تولید کرده!) دو $NADH$ در مرحله K (روم تنفس هوازی تولید می‌شود. (در داخل میتوکندری) پس دو NAD^+ مصرف می‌شود. راستی ۴ تا هیدروژن از ترکیب ۳ کربنه کنده می‌شود که ۲ تا ش آزاد میشن!

نکته مهم: بچه‌ها در مرحله K (روم تنفس هوازی اونجی که..... آکسید می‌شود ← پیرووات هستش چون داره هیدروژن از دست میده. احیا می‌شود ← NAD^+ هستش چون داره هیدروژن با الکترون دریافت می‌کنه.

توجه توجه!

بچه‌ها دقت کنید طراح با کلمات بازی نکنه! اکسید کننده میشه کی؟ NAD^+ و احیا کننده میشه کی؟ پیرووات!

نکته مهم: پذیرنده الکترون کیه؟ آخرین! NAD^+ خوب حامل الکترون و حامل هیدروژن کیه؟ $NADH+H^+$

نکته مهم: بچه‌ها ناقل (حامل) ترکیب دو کربنه یا همون بنیان استیل کیه؟ کوآنزیم A هستش.

توجه توجه

بچه ها در این مرحله همانند گلیکولیز اکسیژن نه مصرف میشه و نه تولید! اما دی اکسید کربن همانند گلیکولیز مصرف نمی شود و برخلاف گلیکولیز در اینجا حتی تولید می شود! در این مرحله به ازاء هر پیرووات ۱ عدد مولکول دی اکسید کربن تولید می شود! خوب بچه ها به ازاء هر گلوکز چند تا پیرووات تولید میشه؟ ۲ تا دونه ناقابل! خوب پس ۲ تا مرحله ی دوم تنفس سلولی، در ماتریکس میتوکندری بغل هم دیگه انجام میشن و در نتیجه به ازاء هر گلوکز ۲ تا دی اکسید کربن تولید میشه!



نکته مهم: بچه ها چند تا مولکول $NADH+H^+$ در این مرحله تولید میشه؟ به ازاء هر پیرووات ناقابل یونما و به ازاء هر گلوکز ۲ تا! پس به صورت غیر مستقیم در این مرحله چند ATP تولید می شود؟ بچه ها به ازاء هر پیرووات در این مرحله ۳ تا و به ازاء هر گلوکز ۶ تا!



نکته مهم: بچه ها در باکتری های که تنفس شون از نوع هوازی هستن، مرحله ی تولید استیل کوآ در سیتوسل سلول انجام میشه.



نکته مهم: بچه ها در مرحله ی تولید استیل کوآ کله چند تا الکترون و چند تا هیدروژن از پیرووات کنده میشه؟ بچه ها ۲ تا الکترون و ۲ تا هیدروژن! چون یونما $NADH+H^+$ تولید میشه (به ازاء هر پیرووات)

خوب وقتی که استیل کوآنزیم A نیز تولید می شود، این مولکول برای ادامه ی تنفس هوازی (اکسید شدن) وارد چرخه ی کربس می شود. چرخه کربس هم همانند مرحله دوم و برخلاف گلیکولیز در داخل ماتریکس میتوکندری انجام می شود. حالا بریم ببینیم چرخه کربس چجوری انجام میشه منتهی بچه ها حواستون باشه این CO_2 تولید شده در مرحله ی میانی (تولید استیل کوآنزیم a) طی فرآیند انتشار ساده از میتوکندری خارج میشه و میره تو سیتوسل سلول! از اونجا هم میره به بیرون از سلول! اون استیل کوآنزیم A هم که تولید شد در واقع وظیفه ش اینه که بنیان استیل رو بیره به چرخه کربس تا این بنیان استیل در اونجا چرخه کربس رو راه بندازه!

چرخه کربس همونطور که اسمش روشه برخلاف گلیکولیز! چرخه س! یعنی وقتی یک ماده ای مصرف میشه دوباره در انتهای چرخه این ماده تولید میشه! اما در گلیکولیز وقتی یک ماده ای مصرف شد دیگه واسه همیشه مصرف شده!

چرخه کربس:

چرخه کربس برخلاف گلیکولیز از ۵ تا گام تشکیل شده که به صورت مجزا هر کدام از این گام ها رو بررسی می کنیم. منتهی اجازه بدین در رابطه با این چرخه یه فک برم براتون! عاغا یه بابایی بود به اسم هانس کربس! (یادمه اولین بار که من دوران دانش آموزی خودم اینو می خوندم همینجوری پیش خوانی کرده بودم (خر خونم خودتی!) که مثلاً مثل این دانش آموزای عقده ای جلو معلمون خود شیرینی کنم! هیچی دیگه این معلمونم درس داد و درس داد تا رسید به این مبحث! گفت بچه ها خوب! حالا به نظرتون بعد از مرحله ی دوم وارد چه مرحله ای میشیم؟ منم گفتم چرخه ی کربس! معلمونم برگشت گفت نه مجید جان! اون کرفسه که تو خورشت میریزن نه کربس! (مجید دلبندم رو که یادتونه؟) وای من چقد حرفیدم کجا بودیم بچه ها؟ آها داشتم می گفتم این آقای هانس کربس که اهل آلمانم بود این چرخه رو کشف کرد. اولش اسم این چرخه رو گذاشت چرخه ی سیتریک اسید!

چون طی این چرخه اولین مولکولی که تولید میشه سیتریک اسید (ترکیب ۶ کربنه) هستش. اما بعدش گفتن بزار یه حالی به هانی جون! بدیم و اسمشو بزاریم رو چرخه! برای همین اسمش شد چرخه هانس کربس!
 بچه ها طی این چرخه یکسری مواد تولید می شن از جمله ATP، $NADH+H^+$ و $FAFH_2$ و دی اکسید کربن! که تک تک بررسی می کنیم.

گام های چرخه کربس

گام اول ← در گام اول استیل کوآنزیم A با یک ترکیب چهار کربنه ای بنام اگزالوآستات (که فاقد گروه فسفات می باشد) که در ماده ی زمینه ای میتوکندری یعنی ماتریکس قرار دارد ترکیب می شود. خوب استیل کوآنزیم A یک ترکیب دو کربنه ست پس ترکیب حاصل از به هم پیوستن استیل کوآنزیم A با اگزالوآستات یک ترکیب ۶ کربنه ی فاقد فسفات خواهد بود! به این ترکیب ۶ کربنه می گویند سیتریک اسید! وقتی که این دو ترکیب بهم متصل می شوند تا سیتریک اسید بوجود بیاید، کوآنزیم A از استیل کوآنزیم A جدا می شود. یعنی بچه ها یه جورایی می تونیم بگیم که کوآنزیم A ناقل استیل هستش. دستشو گرفته گذاشته تو دست عشقش! (اگزالوآستات) و بعد خودش رفته سی خودش!



نکته مهم: این کوآنزیم A همچنان در گام های خیر شرکت می کند و می رود دنبال یک استیل دیلتا به آن پیوندد و استیل کوآنزیم رو آزاد می کنه تا دوباره این فرآیند اتفاق بیافته. پس می تونیم بگیم که این ماده مصرف نمیشد! هر چند ممکنه فرسوده بشه و از بین بره! که در این صورت سول میاد میزنش!



نکته مهم: در این گام از چرخه کربس نه اکسژن مصرف می شود و نه تولید! در مورد دی اکسید کربن هم همینطور! راستی کله توی کربس تو هیچ کدوم از گام ها اکسژن نداریم!

گام دوم ← در این گام از چرخه کربس، اسید سیتریکی که تولید شده است یک کربن از دست می دهد در نتیجه این کربن به صورت دی اکسید کربن از سیتریک اسید آزاد می شود و یک ترکیب ۵ کربنه از آن بوجود می آید. همچنین سیتریک اسید ۲ تا اتم هیدروژن هم از دست می دهد و این هیدروژن ها را ۱ عدد یون NAD^+ که در کمین نشسته است خفت می کند! در نتیجه بچه ها $NADH + H^+$ حاصل میشه. راستی یادتون باشه همیشه همراه با هیدروژن، الکترون هم میره ها! در واقع به ازاء هر هیدروژن ۱ دونه هم الکترون میره پس ۲ تا الکترون هم همراه با ۲ تا هیدروژن به NAD^+ شرف یاب می شوند!



نکته مهم: در این گام از چرخه کربس کسی کم نشده است..... می باشد چون..... است.



اکسید - سیتریک اسید - هیدروژن و الکترون از دست داده




اجزاء - NAD^+ - هیدروژن و الکترون گرفته



نکته مهم: مواردی که در این مرحله..... می شود شامل..... می باشد.



مصرف - ۱ عدد سیتریک اسید + ۱ عدد NAD^+

تولید -۱ عدد ترکیب ۵ کربنه + ۱ عدد $\text{NADH} + \text{H}^+$ + ۱ عدد دی اکسید کربن 


نکته مهم: بچه ها حواستون باشه که در تقص هوازکی اولین مولکول دی اکسید کربن تولید شده این نیست! بلکه اولین مولکول دی اکسید کربن تولید شده توی مرحله ۳ قبلی به هنگام تولید بنیان استیل تولید شد! این دی اکسید کربن دومین مولکول دی اکسید کربن هستش که تولید میشه

گام سوم ← توی این گام ترکیب ۵ کربنه ای که در گام قبلی تولید شد یک عدد از کربن خودش رو از دست میده و در نتیجه این کربن به شکل یک مولکول دی اکسید کربن از اون جدا میشه! و این ترکیب ۵ کربنه تبدیل میشه به یک ترکیب ۴ کربنه! همچنین این ترکیب ۵ کربنه میاد و ۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون هم از دست میده و این هیدروژن و الکترون های همراه اون رو ۱ عدد یون NAD^+ دریافت می کنه و در نتیجه یک مولکول $\text{NADH} + \text{H}^+$ تولید میشه. همونطور که دیدین بچه ها گام دوم و سوم خیلی به هم شبیه ن! منتهی گام ۳ یه چیزی داره که گام ۲ نداره! اونم این که در گام سوم علاوه بر اون موادی که گفته شد، یک عدد مولکول ATP تولید میشه.

پس همه ی نکته هاش مثل گام قبلیه منهی به اضافه ی یک عدد ATP ناقابل! راستی! در اینجا فسفاتی که به ADP متصل میشه فسفات معدنی هستش! پس تولید ATP در اینجا در سطح پیش ماده است همانند ATP های تولید شده در گلیکولیز!!

نکته مهم: علاوه بر مواد مصرفی در گام قبلی، ADP هم مصرف می شود. 


گام چهارم ← در این مرحله ترکیب چهار کربنه ای که در مرحله ی قبل تولید شده بود میاد ۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون از دست میده و در نتیجه این هیدروژن ها و الکترون ها رو یک پذیرنده ای بنام FAD (فلاوین آدنین دی نوکلئوتید) میگیره در نتیجه یک مولکولی بنام FADH_2 تولید میشه. حواستون باشه که بچه ها توی این مرحله تحت هیچ شرایطی دی اکسید کربن آزاد نمیشه!

نکته مهم: در این مرحله برخلاف مراحل قبلی از تعداد کربن ترکیب کاسته نمی شود! چون دی اکسید کربن آزاد نمی شود اما حواستون باشه ترکیب چهار کربنه ی حاصل شده، از نظر شیمیایی همون ترکیب ۴ کربنه نیست! بلکه با اون فرق داره! 

نکته مهم: در این مرحله ما $\text{NADH} + \text{H}^+$ تولید نمی کنیم بلکه FADH_2 تولید می کنیم. همچنین در این مرحله خبری از ATP نیست. 

نکته مهم: ماده ای که در این گام می شود..... می باشد. 

اکسید - ترکیب ۴ کربنه ی اول 

احیاء - FAD 



نکته مهم: بچه ها دقت کنید که ناقل الکترون یا به عبارتی حامل انرژی، $FADH_2$ هستش! اما پذیرنده FAD الکترون هستش! لطفاً به کلماتی مثل ناقل و حامل و پذیرنده و دهنده دقت کنید!



نکته مهم: موادی که در این مرحله..... می شود شامل..... می باشد.



مصرف - ترکیب ۴ کربنه C_4 اول



تولید - ترکیب ۴ کربنه C_4 $FADH_2$ +



نکته مهم: بچه ها تو این مرحله به صورت متقیم هیچ ATP تولید نمیشما پس در این مرحله مصرف ADP هم به صورت متقیم نداریم!



نکته مهم: تو این گام همانند گام قبلی هیپلونه C_4 اکسید کربنی تولید نمی شود! مصرف هم نمی شود!

گام پنجم ← ترکیب چهار کربنه ی جدیدی که در گام قبلی حاصل شد میاد ۲ تا هیدروژن و ۲ تا الکترون از دست میده و در نتیجه دوباره تبدیل به یک ترکیب چهار کربنه ی جدید میشه! که همون اگزالواستات خودمون هستش! در نتیجه اگزالواستات در این گام تولید میشه. هیدروژن ها و الکترون هایی هم که از دست داده توسط ۱ عدد NAD^+ گرفته می شن و در نتیجه یک مولکول $NADH + H^+$ تولید میشه.



نکته مهم: موادی که در این گام..... می شوند شامل..... می باشد.



مصرف - ترکیب چهار کربنه NAD^+ +



تولید - اگزالواستات چهار کربنه $NADH + H^+$ +



نکته مهم: در این گام هم همانند گام قبلی تعداد کربن ها تغییر نمی کنه! اما خواستون باشه که ماهیت

اولی ترکیب ۴ کربنه از نظر شیمیایی تغییر می کنه!

حالا یه سری نکات کلی در مورد چرخه کربس بگم و خلاص!



نکته مهم: عاغا هدف از انجام چرخه کربس چیه؟ اکسید کربن بنیان استیل!

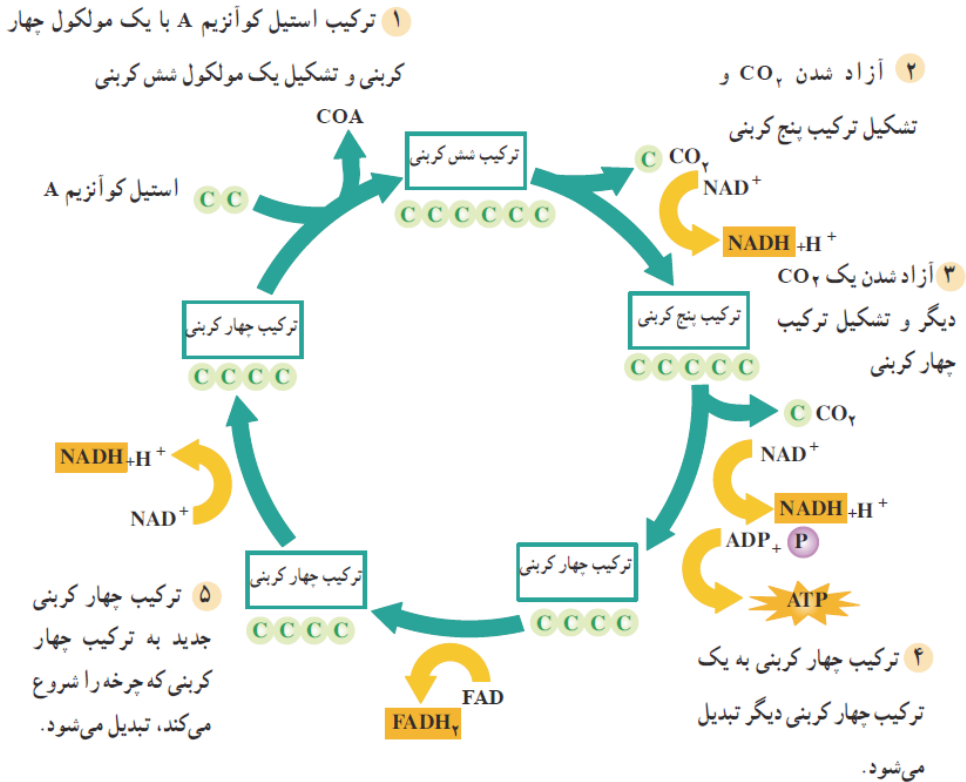


نکته مهم: موادی که در چرخه کربس مصرف می شوند شامل ۳ NAD^+ ، ۱ رونه استیل، ۱ رونه

ADP و ۱ رونه FAD



نکته مهم: موادي که به ازاد هر بار چرخش چرخه کربس حاصل ميشه شامل يهونه ATP + يهونه $NADH + FADH_2$ و ۲ دی اکسید کربن!



نکته مهم: بچه ها تنها ماده ای که توی چرخه کربس هم مصرف ميشه و هم توليد ميشه آنزيماستات هتس!



نکته مهم: در چرخه کربس ترکیباتی که دی اکسید کربن ازخون آزاد ميشه شامل ترکیبات ۶ و ترکیبات ۵ کربنه هتس پس حواستون باشه که در رابطه با آزاد شدن دی اکسید کربن کاری به ۴ کربنه ها نداريم!



نکته مهم: تو چرخه کربس اونايی که اکسید ميشن کيان؟ شامل موارد زیر می باشد:
اسید سیتریک (مولکول ۶ کربنه) + مولکول ۵ کربنه + اولين مولکول ۴ کربنه که توليد شده + دومين مولکول ۴ کربنه که توليد شده!



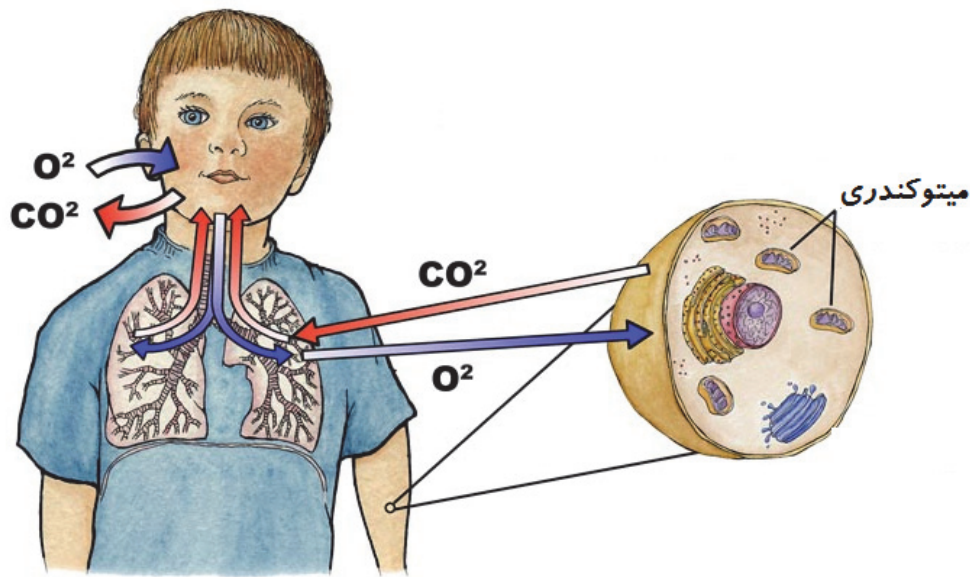
نکته مهم: بچه ها دقت کنيد آنگه طراح بگه سومين يا آخرين مولکول ۴ کربنه که توليد ميشه یعنی آنزيماستات!



نکته مهم: بچه ها کيا ناقل الکترون هتس؟ $NADH$ و $FADH_2$ خوب کيا پذيرنده الکترون هتس؟ NAD^+ و FAD



نکته مهم: پیه‌ها دی‌اکسید کربن تولید شده در چرخه کربس از ماتریکس میتوکندری خارج می‌شود. میتوکندری بعد از اونجا میره به مایع میان بافتی و بعدش از اونجا میره به خون و از اونجا میره توریسه‌ها و بعدش برای همیشه از بدن خارج میشه. اگر این سلول یک سلول گیاهی فتوسنتزکننده باشد این دی‌اکسید کربن از ماتریکس میتوکندری میره به سیتوسل بعد از اونجا میره به کلروپلاست و در فضای استروما تا در چرخه کالوین مورد استفاده قرار بگیرد (جهت به‌راه انداختن چرخه کالوین)



نکته مهم: پیه‌ها چرخه کربس در باکتری‌ها در غشاء پلاسمایی سلول‌ها انجام می‌شود و این آنزیم‌ها در غشاء پلاسمایی این سلول‌ها واقع شده‌اند.



نکته مهم: از اونجایی‌که گلوکز از آدنوزین تری‌فسفات گروه فسفات دریافت کرده و برای تولید ترکیب ۶ کربنه ۲ فسفات انرژی صرف شده پس می‌تونیم بگیم که میزان سطح انرژی ترکیب ۶ کربنه ۲ دو فسفات از گلوکز بیشتره.



نکته مهم: پیه‌ها اگر طراحی از شما بپرسه که عاغا مولکول‌های چرخه کربس شامل چه چیزهایی هستند؟ شما می‌تید شامل می‌باشند.

ورودی به - استیل (ترکیب ۲ کربنه فاقد فسفات) + آدنوزین دی‌فسفات + NAD^+ و FAD

خروجی از - دی‌اکسید کربن + نیلوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید + آدنوزین تری‌فسفات و فلاوین

آزین دی نوکلئوتید

توجه توجه 

بچه ها دقت داشته باشید که به ازاء هر بار چرخش کربس! ما ۲ تا دی اکسید کربن ، ۳ تا $NADH+H+$ ، یدونه $FADH_2$ و ۱ دونه هم ATP خروجی داریم! اما اگه طراح بیاد بگه به ازاء هر گلوکز ما چند تا از اینا خروجی داریم؟ شما باید اعدادشون رو ۲ برابر کنید! چون طی گلیکولیز هر گلوکز ۲ تا پیرووات تولید میشه پس در ماتریکس میتوکندری ۲ تا استیل کوآ تولید میشه پس ۲ بار چرخه کربس فر میخوره! در مورد مواد مصرفی هم بچه ها به ازاء هر ۱ عدد استیل ، ۱ عدد آدنوزین دی فسفات ، ۱ عدد FAD و ۳ عدد NAD^+ مصرف میشه! (یعنی ورودی به چرخه!) خوب پس به ازاء هر گلوکز ما چند تا ورودی ازینا داریم؟ اعدادش رو دوبار برابر کن!



نکته مهم: بچه ها طی آکایش کامل یک مولکول گلوکز چند تا مولکول دی اکسید کربن تولید می شود؟ بچه ها ۲ تا در مرحله سی میانی (مرحله سی تولید بنیان استیل) تولید میشه و ۴ تا هم در مرحله سی چرخه کربس! پس در مجموع به ازاء هر گلوکز چند تا دی اکسید کربن تولید میشه؟ ۶ تا! بچه ها یادتون باشه هر گلوکز ۲ تا پیرووات میده و هر پیرووات ۱ دونه دی اکسید کربن میده و ۱ دونه هم بنیان استیل! و هر بنیان استیل هم ۲ تا دونه دی اکسید کربن!



نکته مهم: دقت داشته باشید که در چرخه سیتریک اسید مولکول در گام از چرخه خارج می شود.

-  **اولین** - دی اکسید کربن - ۲
-  **اولین** - $NADH+H+$ - ۲
-  **دومین** - دی اکسید کربن - ۳
-  **دومین** - $NADH+H+$ - ۳
-  **سومین** - $NADH+H+$ - ۵



نکته مهم: دقت داشته باشید که در چرخه کربس فقط در گام اول مولکول پیرانترزی تولید نمی شود! اما در بقیه سی گام ها یعنی ۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ ، مولکول های پیرانترزی تولید می شوند.



نکته مهم: CO_2 برای خارج شدن از سلول باید چند تا لایه سی ففولپید رو طی کنه؟ بچه ها باید ۶ تا لایه سی ففولپید رو طی کنه یعنی ۳ تا غشاء!



جدول مقایسه ای مهم:

گام پنجم	گام چهارم	گام سوم	گام دوم	گام اول	مورد مقایسه
$CCCC + NAD^+ \rightarrow CCCC + NADH + H^+$	$CCCC + FAD \rightarrow CCCC + FADH_2$	$CCCCC + NAD^+ + ADP \rightarrow CCCC + CO_2 + ATP + NADH + H^+$	$CCCCCC + NAD^+ \rightarrow CCCCC + CO_2 + NADH + H^+$	$CCCC + CC-COA \rightarrow CCCCCC + COA$	واکنش انجام شده در گام ها
ترکیب ۴ کربنه و NAD^+	ترکیب ۴ کربنه + FAD	ترکیب ۵ کربنه ، NAD^+ و ADP	سیتریک اسید و NAD^+	اگزالواستات و بنیان استیل	مواد مصرفی
اگزالواستات و $NADH + H^+$	ترکیب ۴ کربنه + $FADH_2$	ترکیب ۴ کربنه ، CO_2 ، ATP و $NADH + H^+$	ترکیب ۵ کربنه ، CO_2 و $NADH + H^+$	ترکیب ۶ کربنه ی ناپایدار (سیتریک اسید)	مواد تولیدی
-	-	تولید می شود.	تولید می شود.	-	CO_2
-	-	-	-	-	O_2
-	-	تولید می شود.	-	-	ATP
-	-	مصرف می شود.	-	-	ADP
تولید می شود.	-	تولید می شود.	تولید می شود.	-	$NADH + H^+$
مصرف می شود.	-	مصرف می شود.	مصرف می شود.	-	NAD^+
NAD^+	FAD	NAD^+	NAD^+	x	اکسید کننده
ترکیب ۴ کربنه دوم فاقد فسفات	ترکیب ۴ کربنه اول فاقد فسفات	ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات	ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات	x	اکسید شونده
ترکیب ۴ کربنه دوم فاقد فسفات	ترکیب ۴ کربنه اول فاقد فسفات	ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات	ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات	x	احیا کننده
NAD^+	FAD	NAD^+	NAD^+	x	احیا شونده

شمارش انرژی در چاندراکان ۱۰۱

بچه ها حالا وقتشه کالوین و گلیکولیز و کربس رو با هم دیگه مقایسه کنیم. این ۳ فرایند رو در ۳ تا جدول تووووپ! مقایسه کردیم.

جدول مقایسه ای شماره ۱:

مورد مقایسه	گام ۱	گام ۲	گام ۳	گام ۴	گام ۵
محل وقوع	کالوین	بستره	بستره	بستره	ندارد
	گلیکولیز	سیتوسل	سیتوسل	سیتوسل	ندارد
	کربس	ماتریکس	ماتریکس	ماتریکس	ماتریکس
اتفاقاتی که می افتد.	کالوین	هر مولکول دی اکسیدکربن با کمک یک آنزیم به یک ترکیب پنج کربنی اضافه می شود و یک ترکیب شش کربنی ناپایدار تولید می کند.	ترکیب شش کربنی حاصل به دو ترکیب سه کربنی شکسته می شود. از افزودن انرژی گروه های فسفات ATP و الکترون های NADPH به این ترکیب ها قندهای سه کربنی تشکیل می شود.	تعدادی از قندهای سه کربنی حاصل برای ساخت ترکیب های آلی، مانند نشاسته و ساکارز، به مصرف می رسند.	از تعدادی دیگر از قندهای سه کربنی برای تولید مجدد ترکیب پنج کربنی اولیه، استفاده می شود. در نتیجه آن چرخه یک بار دیگر آغاز می شود.
	گلیکولیز	دو گروه فسفات از دو مولکول ATP به یک مولکول گلوکز منتقل می شوند.	ترکیب حاصل به دو مولکول ۳ کربنی فسفات دار شکسته می شود هر مولکول سه کربنی یک گروه فسفات دارد.	مولکول ۳ کربنی حاصل در گام ۳، به پیرووات تبدیل می شود. در این فرآیند ۴ مولکول ATP تولید می شود.	مولکول ۳ کربنی حاصل در گام ۳، به پیرووات تبدیل می شود. در این فرآیند ۴ مولکول ATP تولید می شود.
	کربس	استیل کوآنزیم A به یک مولکول چهار کربنی می پیوندد و یک مولکول شش کربنی تولید می کند. کوآنزیم A نیز جدا می شود.	با جدا شدن از مولکول ۶ کربنی، یک مولکول ۵ کربنی تولید می شود. الکترون های حاصل نیز به NAD ⁺ منتقل می شوند و مولکول NADH را می سازند.	با خروج CO ₂ از مولکول پنج کربنی، مولکول چهار کربنی ساخته می شود؛ هم چنین ک مولکول ATP و یک مولکول NADH تولید می شود.	ترکیب چهار کربنی به مولکول چهار کربنی دیگری تبدیل می شود. الکترون های حاصل این تبدیل به یک پذیرنده ی الکترونی به نام FAD منتقل می شوند و یک مولکول FADH ₂ تولید می کنند. FADH ₂ نوعی مولکول حامل الکترون است.

جدول مقایسه ای شماره ۲:

مورد مقایسه	گام ۱	گام ۲	گام ۳	گام ۴	گام ۵
مواد تولیدی	کالوین	ترکیب ۶ کربنه ناپایدار	قند ۳ کربنه + ADP NADP++	-	ریبولوز بیس فسفات (ترکیب ۵ کربنه ۲ فسفات) + ADP
	گلیکولیز	ترکیب ۶ کربنه ناپایدار + آدنوزین دی فسفات	ترکیب ۳ کربنه ۱ فسفات	ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفات + NADH+H+	پیرووات + آدنوزین تری فسفات
	کربس	ترکیب ۶ کربنه ی ناپایدار (سیتریک اسید)	ترکیب ۵ کربنه ، CO ₂ و NADH+H ⁺	ترکیب ۴ کربنه ، ATP ، CO ₂ و NADH+H+	ترکیب ۴ کربنه + FADH ₂
مواد مصرفی	کالوین	CO ₂ و ریبولوز بیس فسفات	ترکیب ۶ کربنه ناپایدار + ATP NADPH+H+	×	قند های ۳ کربنه ۱ فسفات + ATP
	گلیکولیز	گلوکز + آدنوزین تری فسفات	ترکیب ۶ کربنه ناپایدار	ترکیب ۳ کربنه تک فسفات + فسفات های معدنی + NAD+	ترکیب ۳ کربنه ۲ فسفات + آدنوزین دی فسفات
	کربس	اگزالو استات و بنیان استیل	سیتریک اسید و NAD+	ترکیب ۵ کربنه ، ADP و NAD+	ترکیب ۴ کربنه + FAD
دی اکسید کربن	کالوین	مصرف می کند.	×	×	×
	گلیکولیز	×	×	×	×
	کربس	×	تولید می شود.	تولید می شود.	×
اکسیژن	کالوین	×	×	×	×
	گلیکولیز	×	×	×	×
	کربس	×	×	×	×
مولکول ATP	کالوین	×	مصرف می کند.	×	مصرف می کند.
	گلیکولیز	مصرف می کند. (۲ تا)	×	×	تولید می کند. (۴ تا)
	کربس	×	×	تولید می کند.	×
مولکول ADP	کالوین	×	تولید می شود. (۶ تا)	×	تولید می کند (۳ تا)
	گلیکولیز	تولید می کند. (۲ تا)			مصرف می کند. (۴ تا)
	کربس	×	×	مصرف می کند.	×

جدول مقایسه ای شماره ۳:

مورد مقایسه	گام ۱	گام ۲	گام ۳	گام ۴	گام ۵
NADPH+H+	کالوین	×	مصرف می شود.	×	
	گلیکولیز	×	×	×	
	کربس	×	×	×	×
NADP+	کالوین	×	تولید می شود.	×	
	گلیکولیز	×	×	×	
	کربس	×	×	×	×
NADH+H+	کالوین	×	×	×	
	گلیکولیز	×	تولید می شود.	×	
	کربس	×	تولید می شود.	×	تولید می شود.
NAD+	کالوین	×	×	×	
	گلیکولیز	×	مصرف می شود.	×	
	کربس	×	مصرف می شود.	×	مصرف می شود.
FADH2	کالوین	×	×	×	
	گلیکولیز	×	×	×	
	کربس	×	×	تولید می شود	×
FAD	کالوین	×	×	×	
	گلیکولیز	×	×	×	
	کربس	×	×	مصرف می شود	×
اکسید کننده	کالوین	×	اسید آلی ۳ کربنه	×	
	گلیکولیز	×	×	NAD+	
	کربس	×	NAD+	NAD+	NAD+
اکسید شونده	کالوین	-	NADPH+H+	×	
	گلیکولیز	×	×	ترکیب ۳ کربنه تک فسفات	
	کربس	×	ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات	ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات	ترکیب ۴ کربنه دوم اول فاقد فسفات
اجتیا کننده	کالوین	×	NADPH+H+	×	
	گلیکولیز	×	×	ترکیب ۳ کربنه تک فسفات	
	کربس	×	ترکیب ۶ کربنه فاقد فسفات	ترکیب ۵ کربنه فاقد فسفات	ترکیب ۴ کربنه دوم اول فاقد فسفات
اجتیا شونده	کالوین	×	اسید آلی ۳ کربنه	×	
	گلیکولیز	×	×	NAD+	
	کربس	×	NAD+	NAD+	NAD+