

متابوليسم

علم بیوانرژتیک

مطالعه نحوه تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر در موجودات زنده:

2 قانون:

1. انرژی نه تولید شدنی است و نه از بین رفتنی بلکه می تواند از شکلی به شکل دیگر تغییر یابد
2. انتقال انرژی همیشه در جهت افزایش انتروپی (غیر قابل استفاده) و رهایش انرژی آزاد (قابل استفاده) است

انرژی قابل استفاده را اصطلاحاً انرژی آزاد گیبز می نامند و با ΔG نشان داده می شود. (واحد تغییر انرژی: کیلوکالری بر مول)

کالری

یک کالری برابر است با مقدار انرژی گرمایی که
دمای ۱ گرم آب را یک درجه سانتیگراد افزایش
دهد

در مورد انسان ، انرژی بر حسب
کیلوکالری بیان می شود

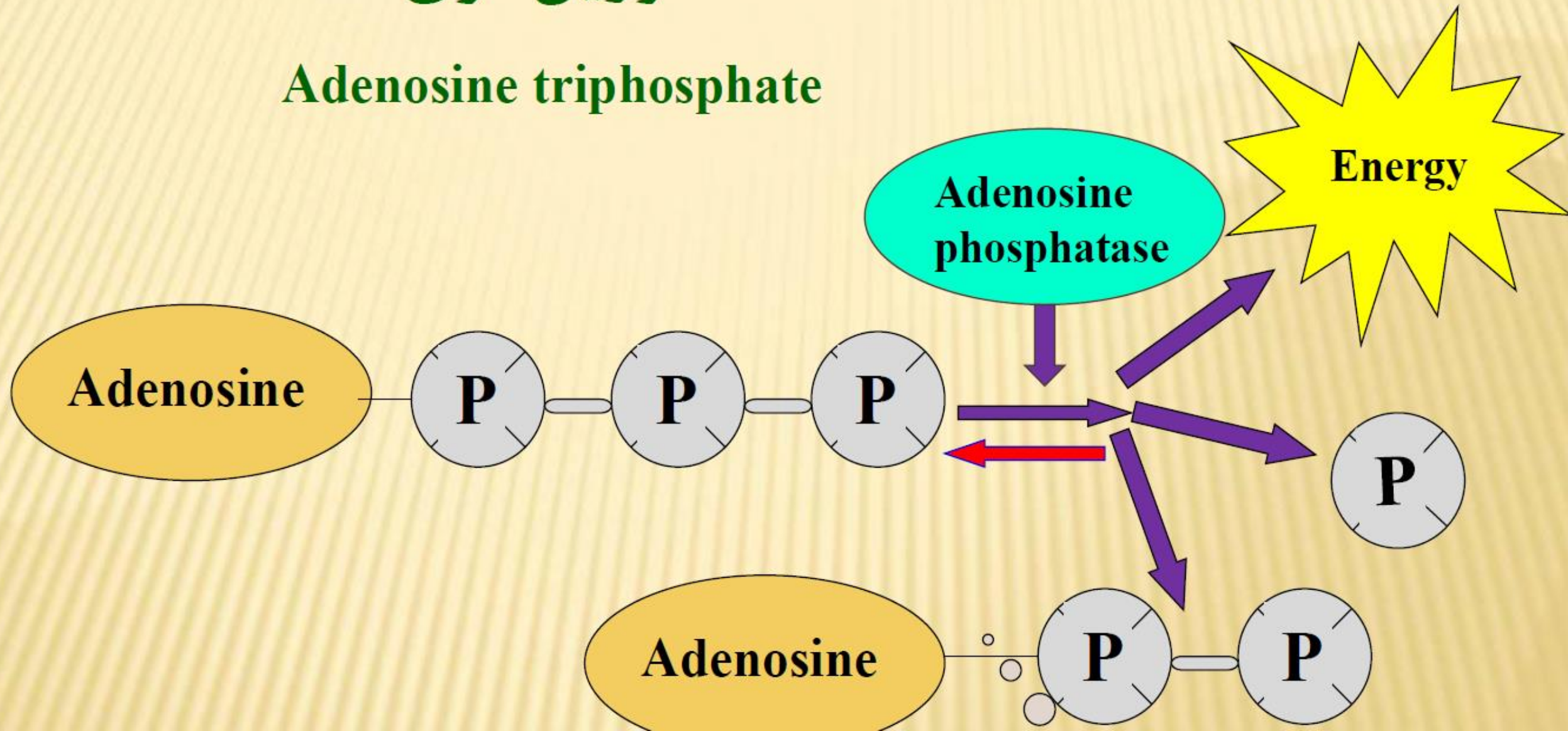
۱۰۰۰ کالری = یک کیلوکالری

کربوهیدرات = $4/1$ کیلوکالری در هر گرم

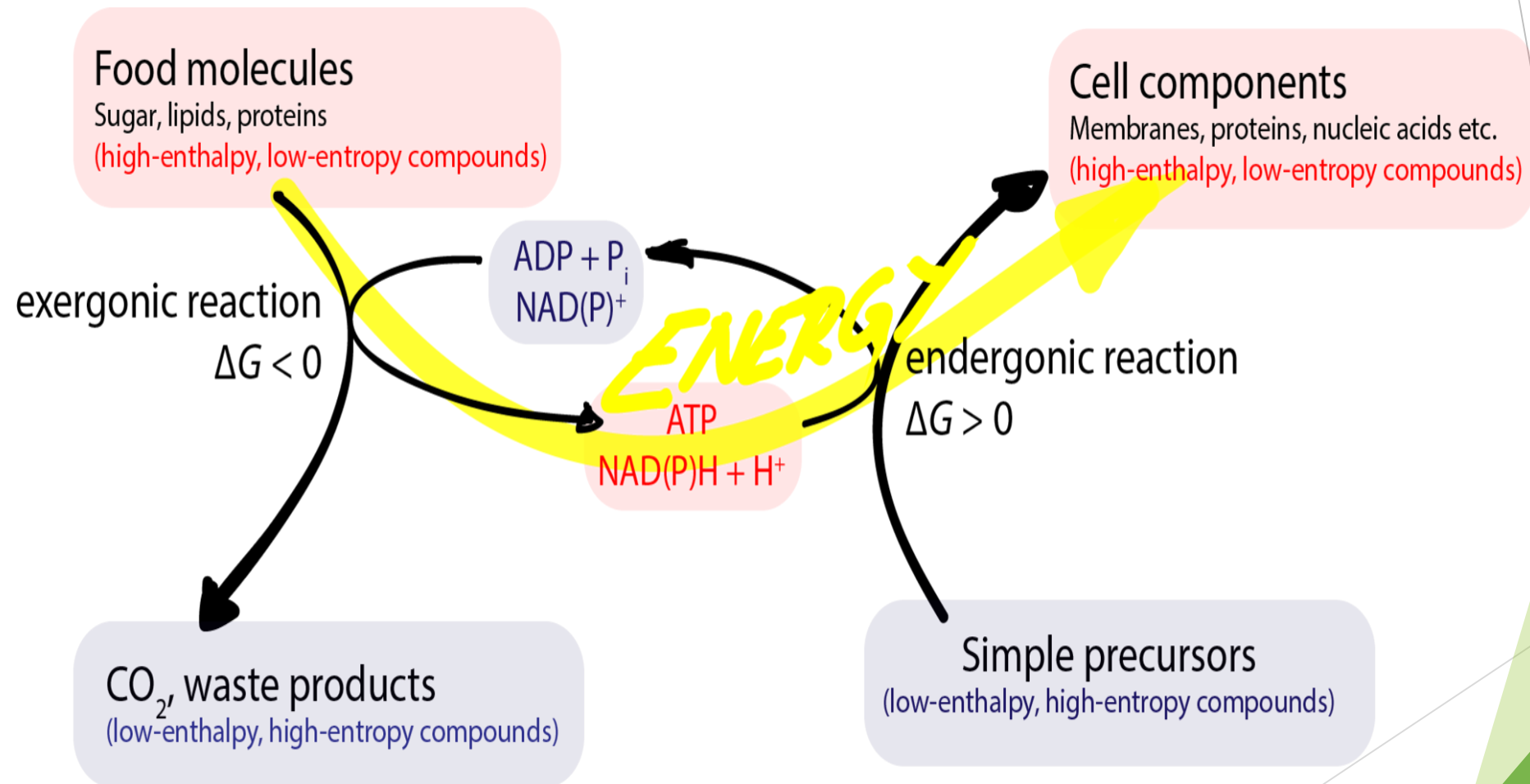
چربی = $9/4$ کیلوکالری در هر گرم

آدنوزین تری فسفات = ATP

Adenosine triphosphate



ATP



▶ در درون سلول به ازای هر مول ATP که به آدنوزین دی فسفات و یک فسفات آزاد (Pi) تجزیه می شود 14 کیلوکالری انرژی آزاد می شود.



جفت شدن واکنش‌ها

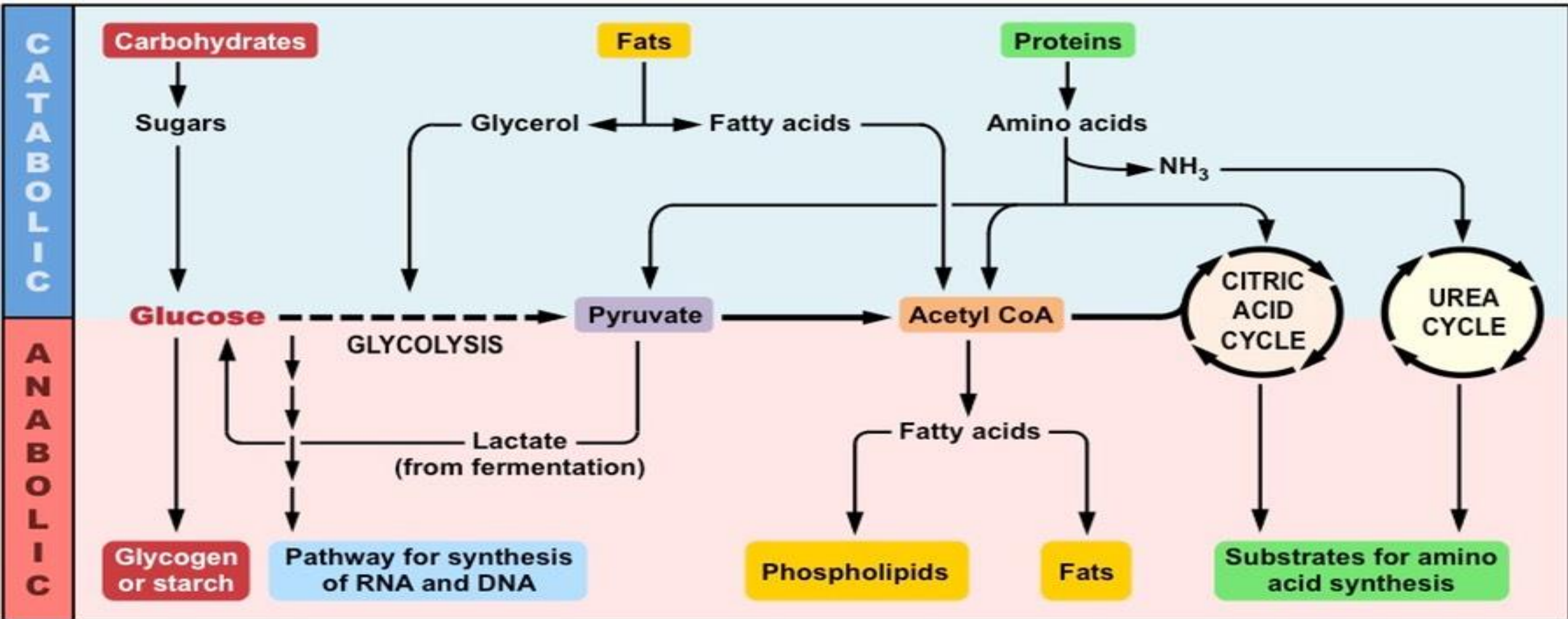
► در درون سلول واکنش‌های شیمیایی طوری طراحی می شوند که واکنش های انرژی زا و انرژی خواه با یکدیگر جفت می شوند:



ATP به عنوان مولکول مهم درگیر در جریان انرژی آزاد در نظر گرفته می شود.

متابولیسم

مجموعه ای از واکنشهای آنابولیسمی و کاتابولیسمی



آنزیم ها

آنزیم ها

کاتالیزورهای بیولوژیکی

افزایش سرعت واکنش های شیمیایی



اجازه جفت شدن واکنش های شیمیایی گوناگون

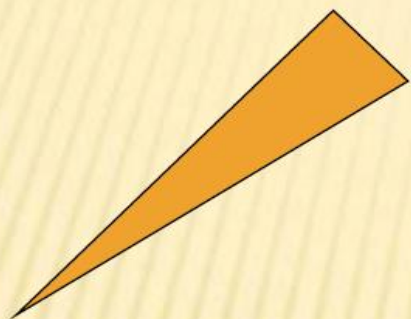


باتنظیم آنها سرعت انجام واکنشهای شیمیایی
معین می شود



عضله اسکلتی می تواند از یکی از سه طریق زیر ATP مورد نیاز خود را جهت حمایت از انقباض عضلانی به دست آورد

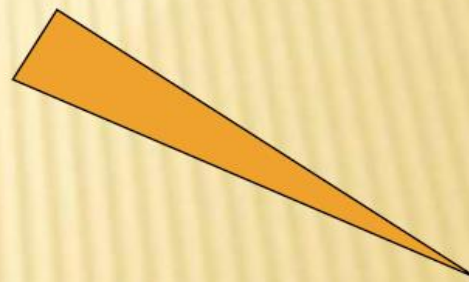
مسیرهای متابولیکی (منابع تولید ATP)



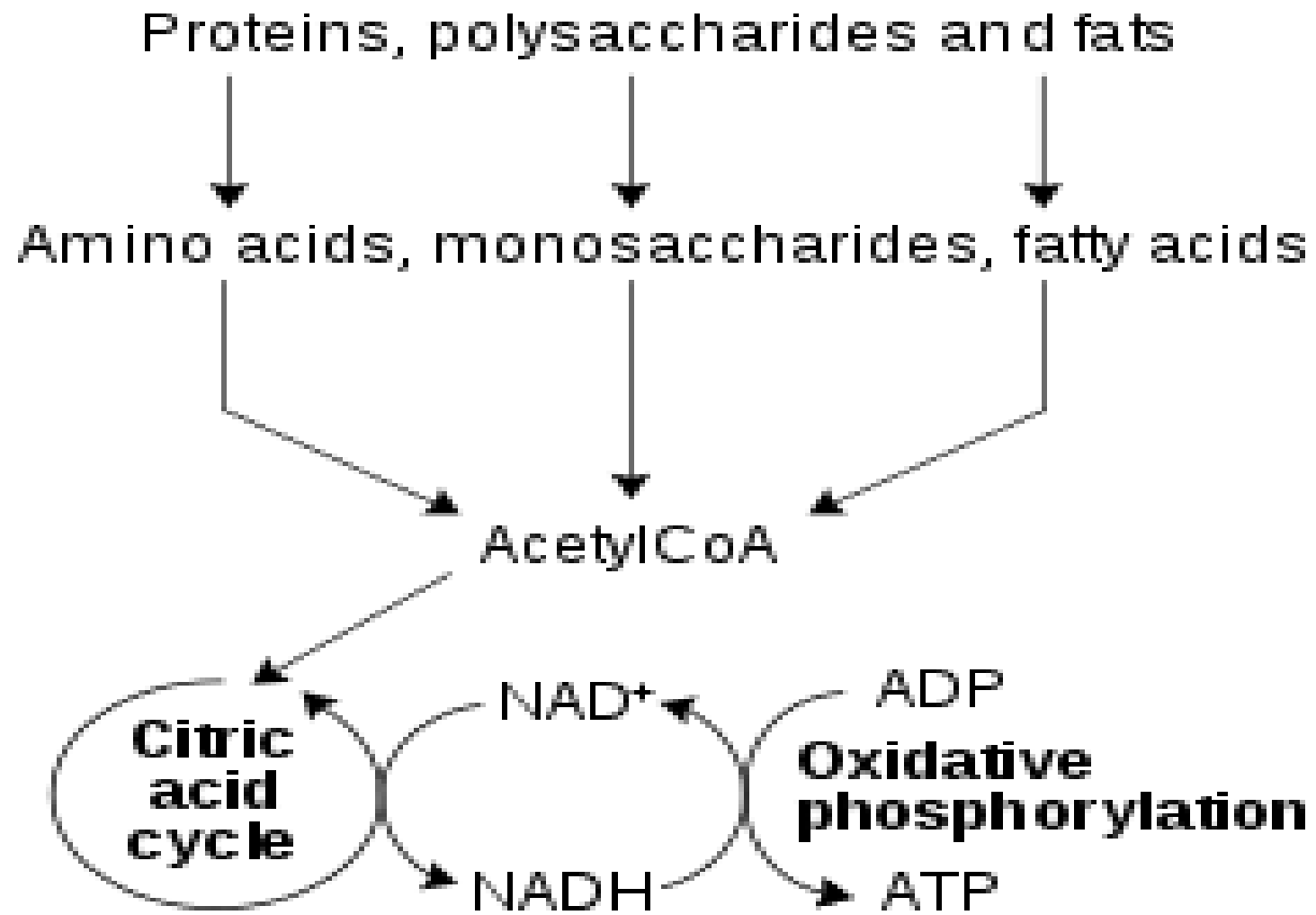
استفاده از اکسیژن در
میتوکندری ها



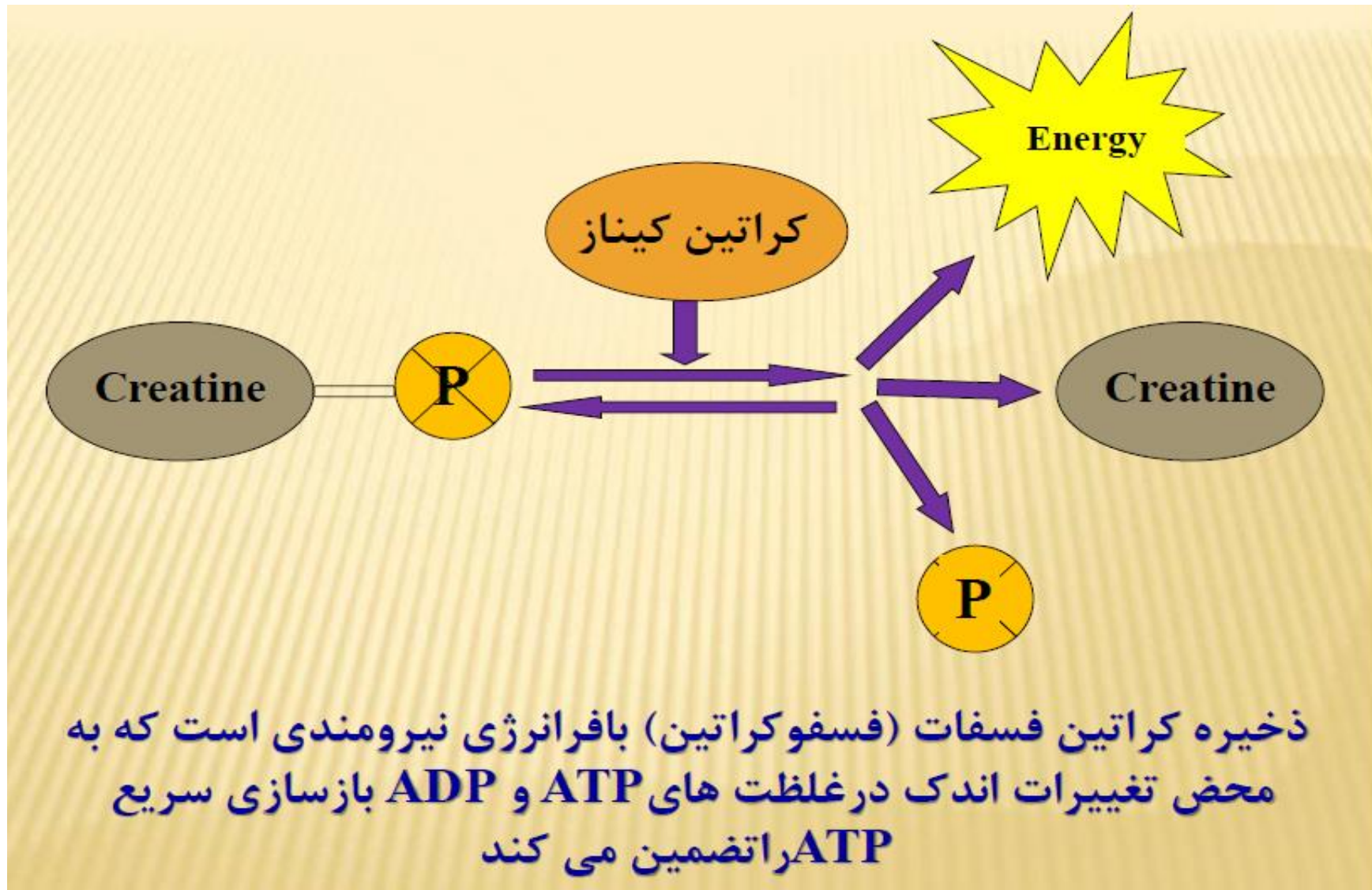
گلیکولیز
(کربوهیدرات)



دستگاه فسفاژن
ATP - PC



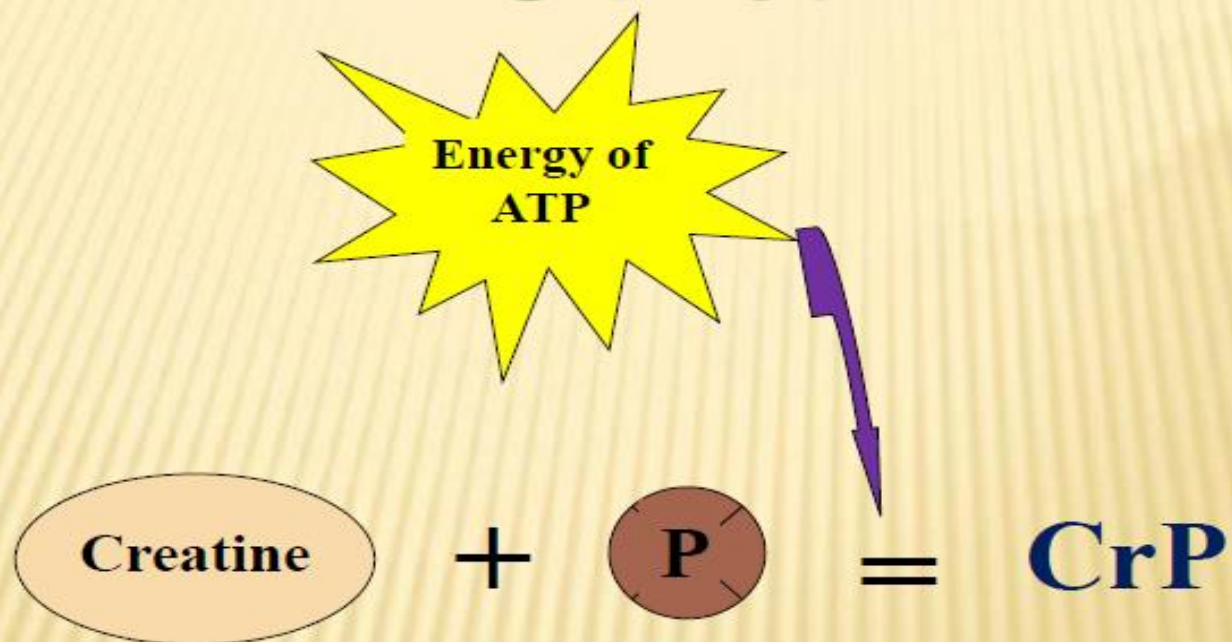
دستگاه فسفاژن



دستگاه فسفاژن

ظرفیت تولید ATP در واکنش کراتین کیناز به میزان ذخیره کراتین فسفات بستگی دارد که تقریباً معادل 24 میلی مول در هر کیلوگرم عضله تر است.

در طی دوره بازیافت در دوره برگشت به حالت اولیه پس
از تمرین اتفاق می افتد



دستگاه فسفاژن

اهمیت دستگاه فسفاژن

وابسته به یک سلسله واکنشهای طولانی نیست

وابسته به انتقال اکسیژن تنفسی به عضلات فعال نیست

ATP و CrP مستقیماً در تارهای عضلات فعال ذخیره می باشند

ذخیره ATP-PC فقط برای ۲ تا ۱۵ ثانیه انرژی مورد نیاز عضله را تامین می کند

واکنش آدنیلات کیناز



► آزادسازی فعال کننده (AMP) آنزیمهای فسفوریلاز (گلیکوژنولیز) و فسفوفروکتوکیناز (گلیکولیز)

دستگاه گلیکولیتیک ← گلیکولیز بی هوازی

مسیر امبدن - میرهوف

کربوهیدرات ← هضم و جذب ← گلوکز

گلوکز - ۶ - فسفات

گلیکولیز

گلیکوژن ← تجزیه در عضله و کبد

گلوکز - ۱ - فسفات

گلیکوژنولیز

3 آنزیم در در گلیکوژنولیز درگیر هستند

▶ آنزیم اصلی درگیر فسفوریلاز است

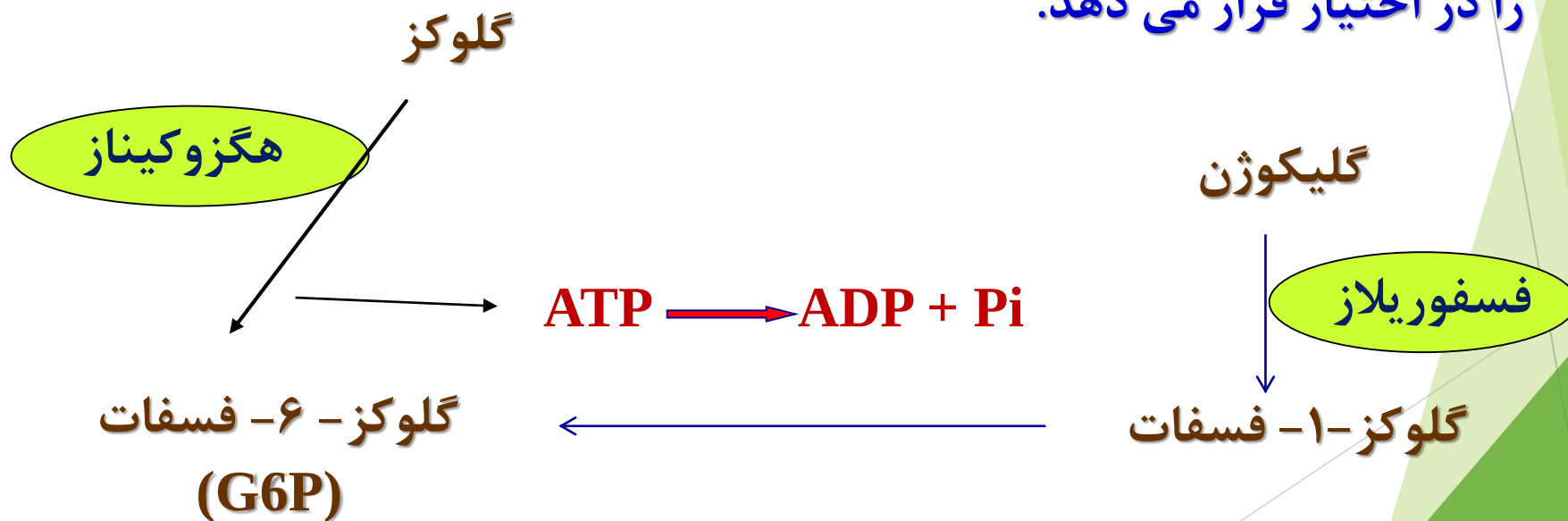
▶ فعالیت این آنزیم زمانی افزایش می یابد که یک فسفات غیرآلی به آنزیم متصل شود و یا غلظت درون سلولی کلسیم افزایش یابد.

گلیکولیز بی هوازی

فسفوریلاسیون گلوکز

فرایند گلیکولیز با ورود گلوکز به داخل تار عضله اسکلتی یا به دنبال تشکیل گلوکز -۶- فسفات حاصل از گلیکوژنولیز آغاز می شود.

ورود گلوکز ، در راه گلیکولیز مستلزم فسفوریله شدن آن به گلوکز -۶- فسفات است که بوسیله آنزیم هگزوکیناز کاتالیز می شود. این آنزیم ، آنزیم اختصاصی است که گلوکز را در کربن ششم فسفوریله می کند. بدین منظور ، یک مولکول ATP تجزیه شده و مقدار انرژی لازم برای پیوند فسفات با گلوکز را در اختیار قرار می دهد.



آنزیم هگزوکیناز به غشای خارجی میتوکندری و یا جداره درون سلولی سارکولما متصل می شود.

✘ ورود گلوکز از خون به تار عضله با اتصال گلوکز به پروتئینهای تخصص عمل یافته GLUT که وظیفه انتقال گلوکز را برعهده دارند و روی سارکولما قرار دارند صورت می گیرد.

✘ انتقال دهنده اصلی گلوکز در عضله اسکلتی GLUT4 است.

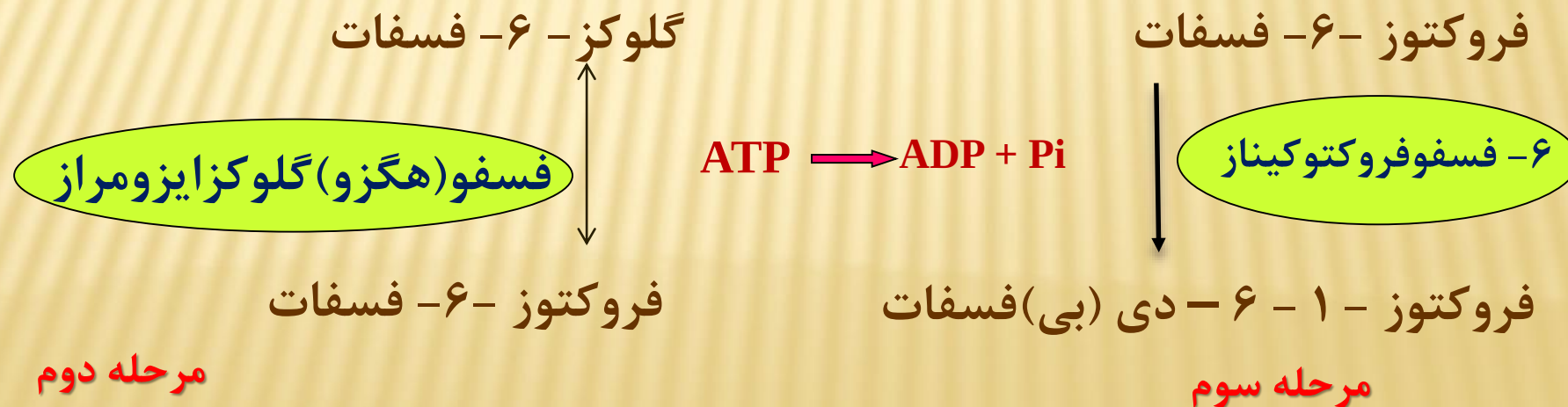
✘ تعداد GLUT4 ها می تواند در پاسخ به فعالیت ورزشی افزایش یابد.

مرحله دوم

تبدیل گلوکز ۶- فسفات به فروکتوز ۶- فسفات است. این واکنش بوسیله آنزیم فسفو هگزو (گلوکز) ایزومراز کatalیز می شود.

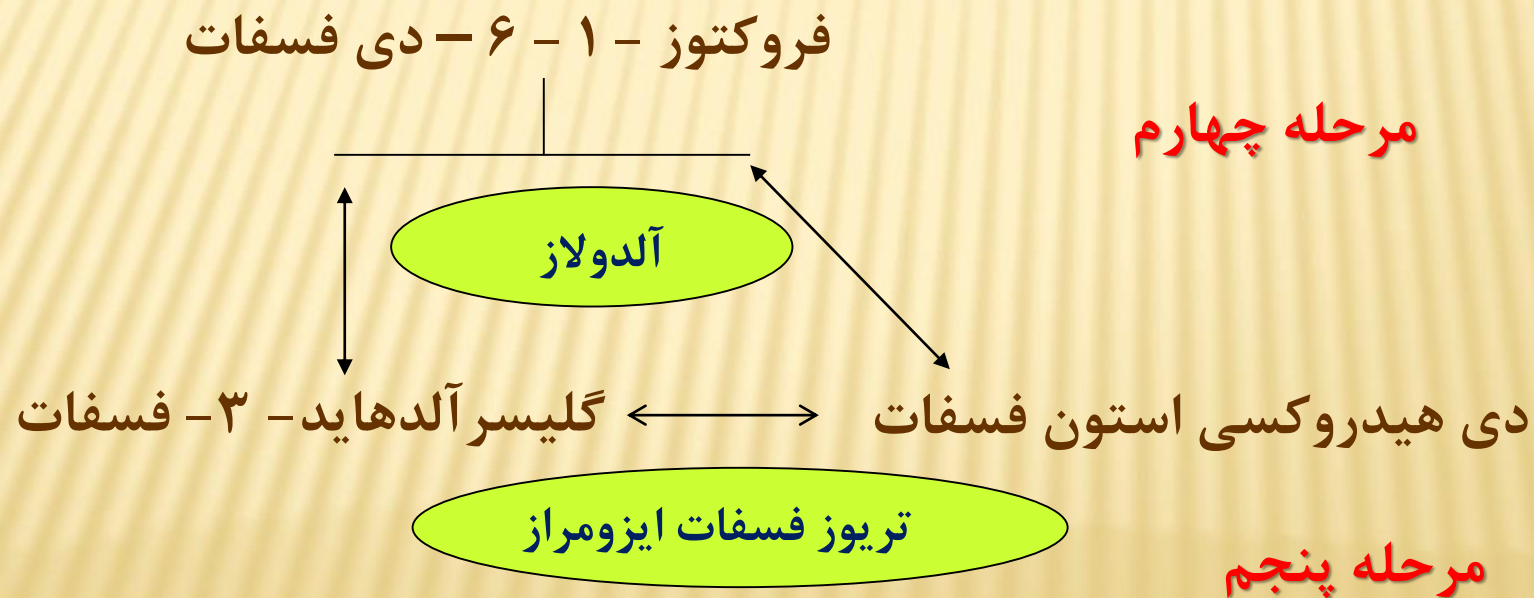
مرحله سوم

فسفریله شدن مجدد فروکتوز ۶- فسفات بوسیله آنزیم ۶- فسفوفروکتوکیناز است. در این حالت ، این آنزیم گروه فسفات حاصل از تجزیه ATP را به مولکول فروکتوز ۶- فسفات انتقال می دهد و در نتیجه فروکتوز ۱،۶- دی فسفات حاصل می شود.



مرحله چهارم و پنجم

مرحله‌ای است که طی آن گلیسرآلدهاید ۳- فسفات ساخته می‌شود. مولکول فروکتوز ۶،۱ دی فسفات بوسیله آنزیم آلدولاز به دو ترکیب سه کربن دی‌هیدروکسی استون فسفات و گلیسرآلدهاید ۳- فسفات تخریب می‌شود. دی‌هیدروکسی استون فسفات به نوبه خود می‌تواند تحت تاثیر آنزیم تریوز فسفات ایزومر به گلیسرآلدهید ۳- فسفات تبدیل گردد.



مرحله ششم

که به مرحله اکسایش گلیسرآلدهاید ۳- فسفات معروف است. در این مرحله ، گلیسرآلدهاید ۳- فسفات تحت تاثیر آنزیم گلیسرآلدهاید ۳- فسفات دهیدروژناز به ۱،۳- دی فسفوگلیسرات تبدیل می گردد. این واکنش نیازمند کو آنزیم نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید (NADH) است. واکنش در دو مرحله انجام می گیرد که یکی انرژی زا و دیگری انرژی خواه است.

۲(گلیسرآلدهاید-۳- فسفات)

یا ۳-فسفو گلیسر آلدهاید

$2\text{NAD}^{2+} + \text{Pi}$

$2\text{NADH} + \text{H}^+$

۲(گلیسرآلدهاید-۳-فسفات دهیدروژناز)

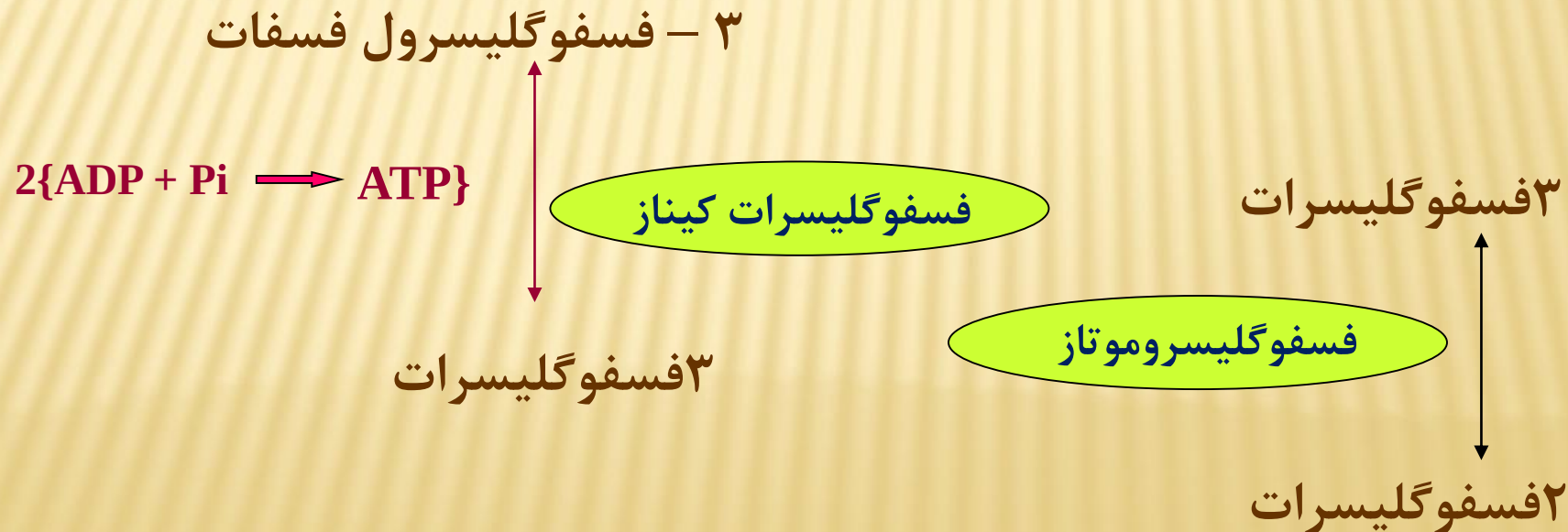
۲(۱،۳- دی فسفوگلیسرات)

مرحله هفتم

این مرحله یکی از مهمترین مراحل راه گلیکولیز است. زیرا نخستین مرحله‌ای است که طی آن یک مولکول پر انرژی یعنی **ATP** سنتز می‌شود.

مرحله هشتم

واکنش ساده‌ای است که بوسیله آنزیم فسفوگلیسرو موتاز کاتالیز می‌شود. در این حالت، فسفات متصل به کربن شماره ۳ ترکیب ۳- فسفوگلیسرات به کربن شماره ۲ منتقل شده ۲- فسفوگلیسرات می‌دهد.

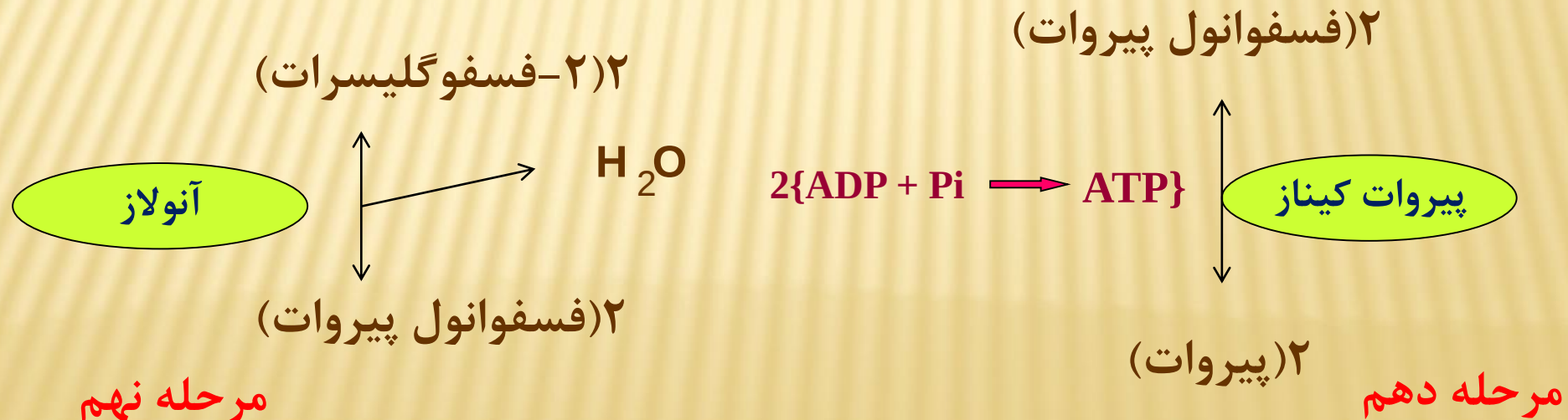


مرحله نهم

این واکنش یک واکنش آبدگیری از ۲- فسفوگلیسرات است که توسط آنزیم آنولاز کاتالیز می‌شود. طی این واکنش ، ۲- فسفوگلیسرات به فسفوانول پیروات که ترکیبی پر انرژی است تبدیل می‌گردد.

مرحله دهم

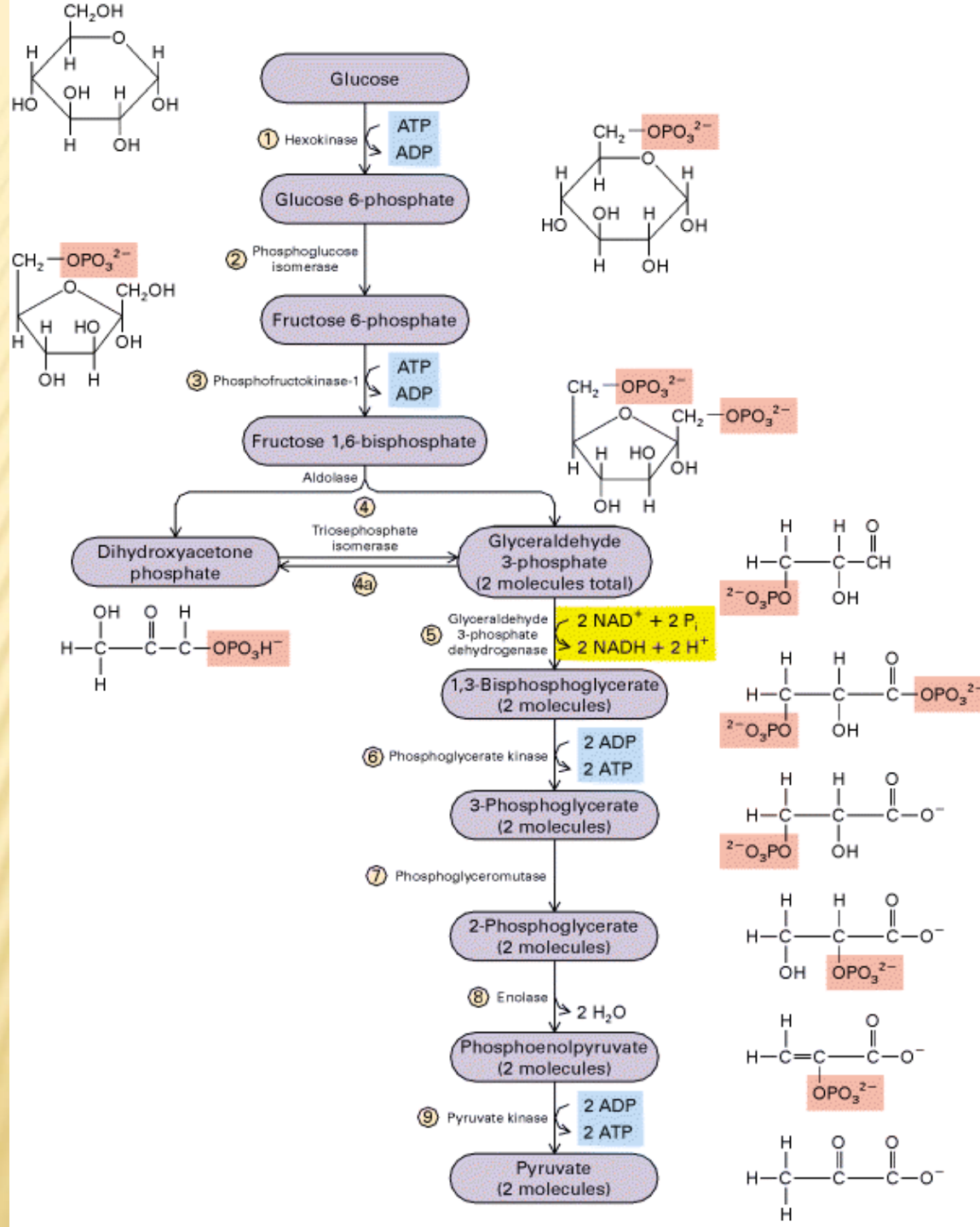
این واکنش نیز یکی دیگر از واکنشهای مهم راه گلیکولیز است که طی آن دومین مولکول پر انرژی **ATP** سنتز می‌شود. آنزیم پیرووات کیناز واکنش را کاتالیز می‌کند.



مرحله آخر

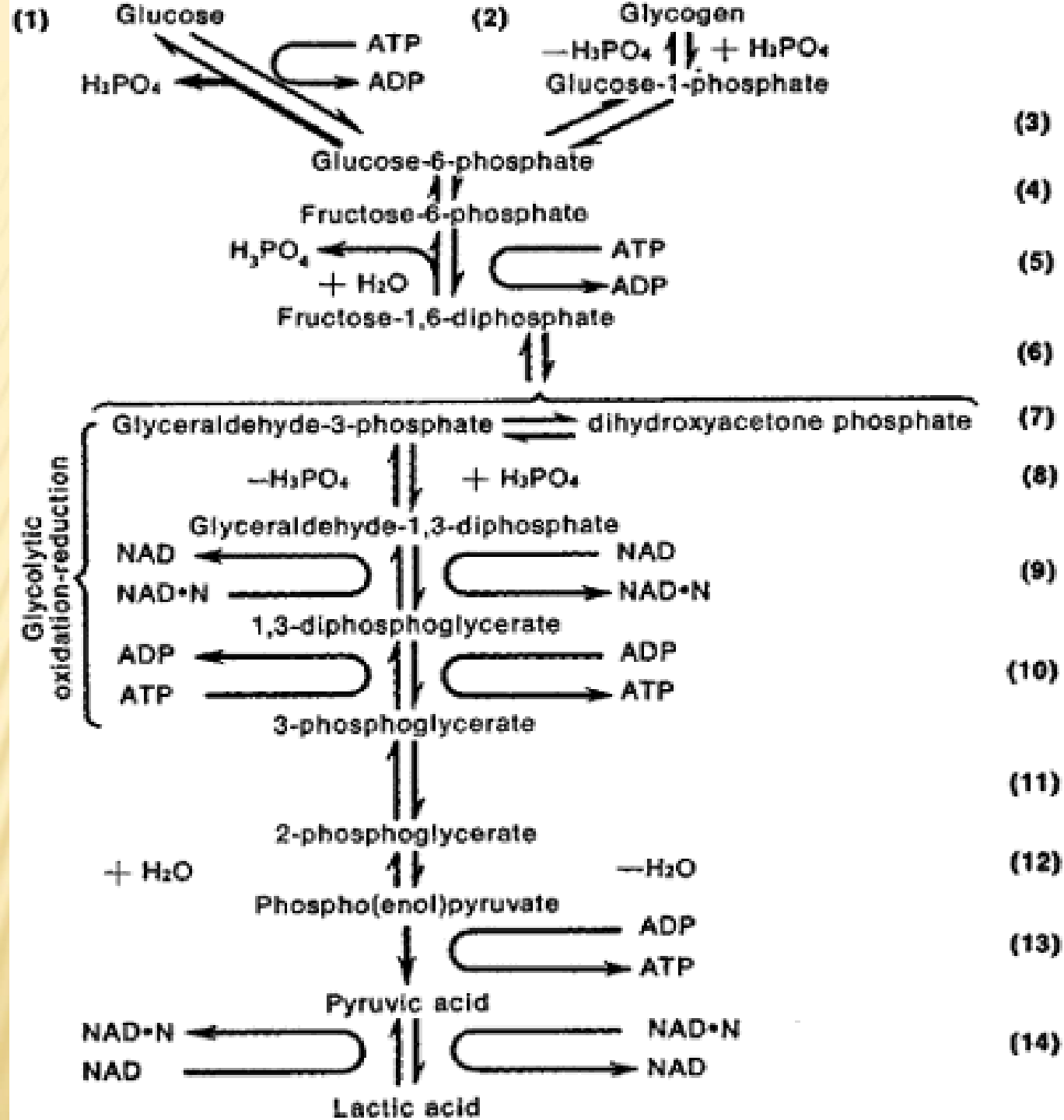
آخرین مرحله راه گلیکولیز واکنشی است که طی آن پیرووات احیا شده و لاکتات تولید می شود. آنزیم لاکتات دهیدروژناز و کوآنزیم **NADH** واکنش را کاتالیز می کند





واکنشهای مرحله گلیکولیز

مسیر آمیدن - میرهوف



✖ تولید لاکتات برابر است با احیای پیرووات — اکسیداسیون NADH_2 و تولید NAD

✖ این NAD تولیدی در واکنش اول مرحله دوم که یک واکنش دهیدروژنازی است و در آن NADH_2 تولید می شود به کار رفته و بنابراین مسیر گلیکولیز و تولید ATP ادامه می یابد.

✖ در نتیجه لاکتات تولیدی کمک می کند تا نسبت بین NAD به NADH حفظ شود.

✖ این نسبت **پتانسیل ردوکس سیتوزولی** نام دارد.

✘ زمانی که میزان پیروات تولیدی از میزان پیروات ورودی به میتوکندری بالاتر رود پیروات به لاکتات تبدیل می شود ← **اثر عمل جرم**

✘ غلظت های لاکتات خون به عنوان بازتاب غیر مستقیم اسیدوز استفاده می شوند

✘ مشکلی که با تولید لاکتات همراه است تولید اسیدوز است نه خود مولکول لاکتات

✕ حد پایه ای از تولید لاکتات در عضله اسکلتی وجود دارد: 1 میلی مول در هر کیلوگرم عضله ← غلظت استراحتی

✕ لاکتات تولیدی ← متابولیسم آن در داخل همان تار ← خروج آن از سلول برای متابولیسم در سایر بافتها

✕ عضله اسکلتی، قلب، کبد

بطور خلاصه: گلیکولیز بی هوازی



سبب تولید لاکتات و به دنبال آن خستگی عضلانی و کاهش عملکرد

اکسیژن حضور ندارد

تنها منبع مورد استفاده کربوهیدرات

مقداری انرژی جهت بازسازی فقط چند مول ATP را در اختیار می گذارد.

تعداد ۳ مول ATP از تجزیه گلیکوژن

و تعداد ۲ مول ATP از تجزیه گلوکز

فرآورده های مهم گلیکولیز:

پیروات (فرآورده ی نهایی)

ATP

NADH

سازگارهای تمرینی گلیکولیز عبارتند از افزایش فعالیت
برخی آنزیمها، افزایش ذخایر گلیکوژن و افزایش ظرفیت
تامپونی

انباشت یون H ناشی از تولید اسید لاکتیک و لاکتات

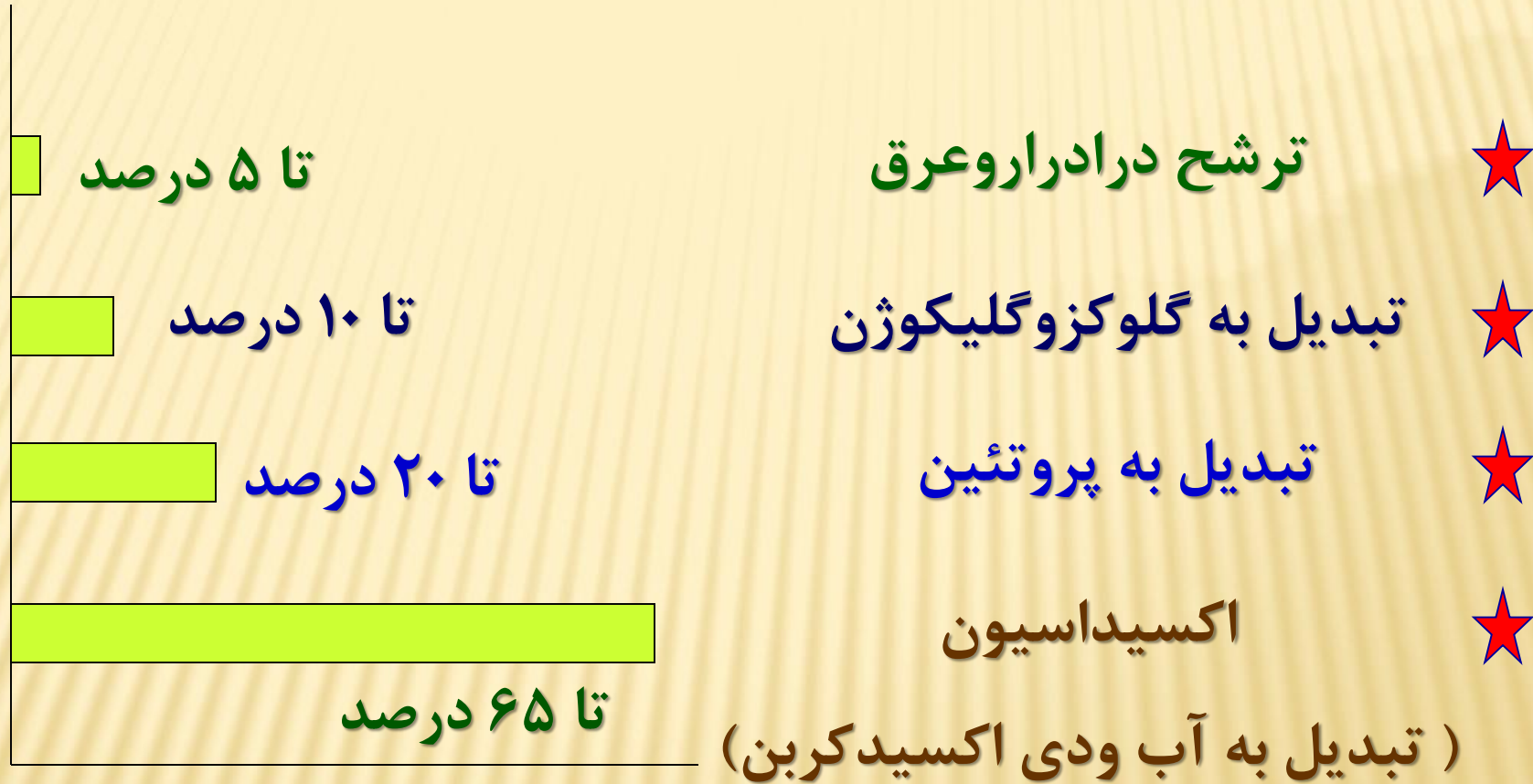


افزایش

کاهش تجزیه گلیکوژن
بوسیله مهار فعالیت
آنزیم های گلیکولیتیکی

کاهش ظرفیت رهایش
کلسیم به داخل سلول
عضلانی

سرنوشت اسیدلاکتیک و لاکتات



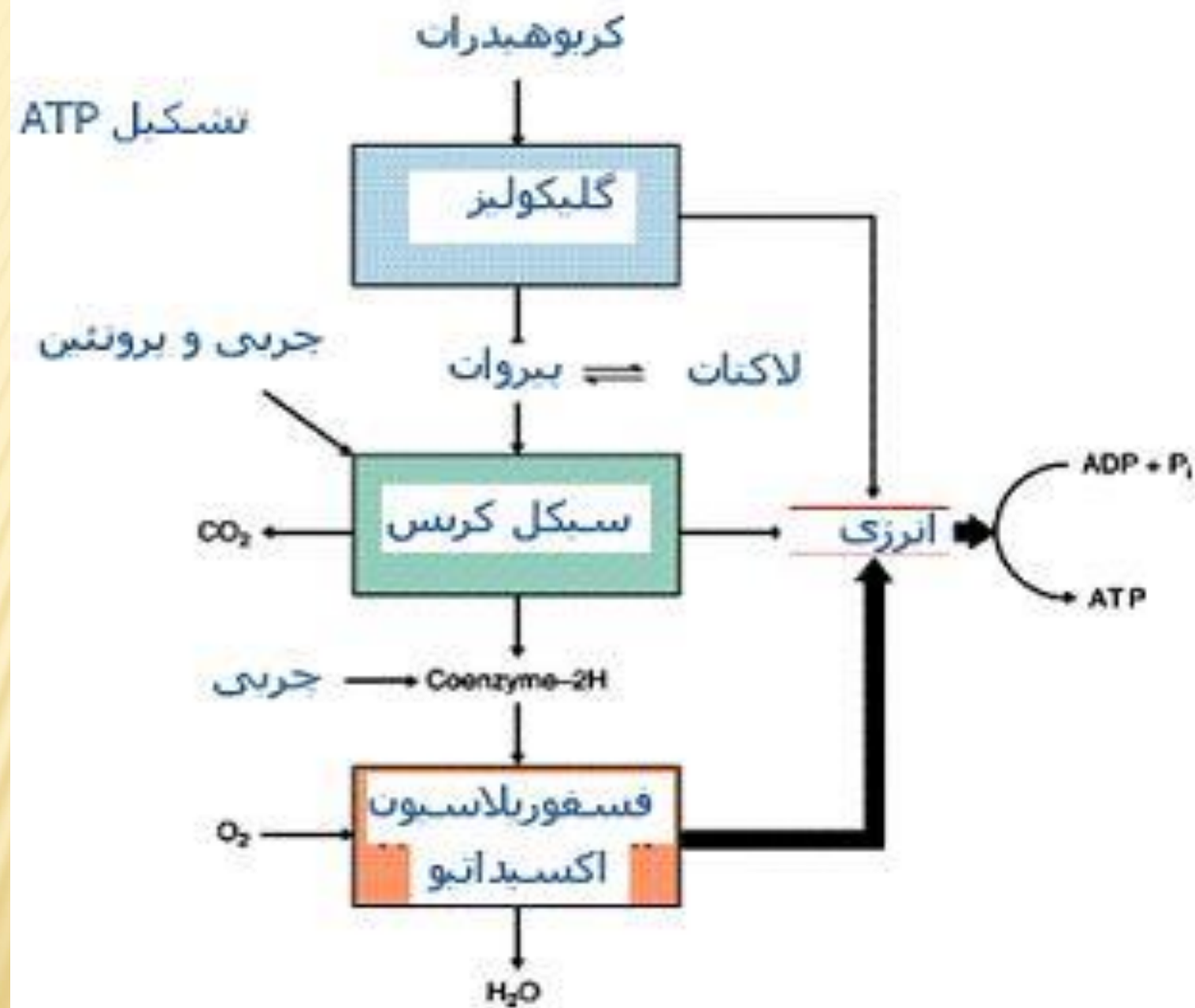
★ اسیدلاکتیک در شدت حدود ۵۵ درصد ظرفیت بیشینه سوخت
وساز هوازی آزمودنیهای سالم و بی تمرین بطور تصاعدی شروع به
تجمع و افزایش می کند

انباشتگی لاکتات

★ در فعالیت های زیر بیشینه به کمبود اکسیژن میتوکندریایی
وابسته است

★ افزایش تحریک عضله اسکلتی میزان گلیکوژنولیز را تسریع
می کند

★ عواملی چون الگوی انقباض – مدت انقباض – دردسترس بودن
سوبسترا – هایپوکسی می توانند باعث افزایش تجمع اسیدلاکتیک
و نهایتا افزایش لاکتات شوند



دستگاه اکسایشی یا فسفوریلاسیون اکسایشی یا تنفس میتوکندریایی

دستگاه هوازی

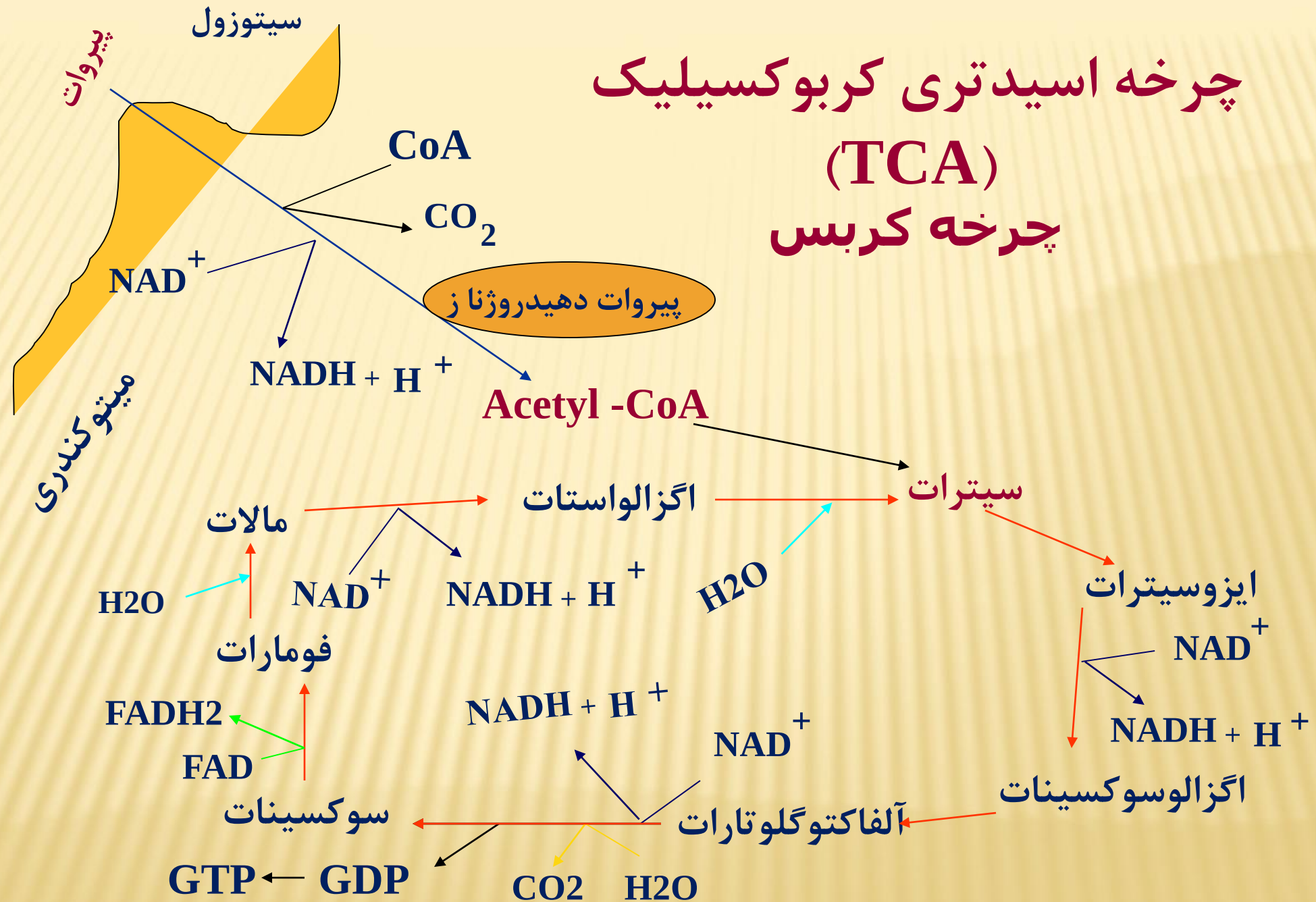
تنفس سلولی

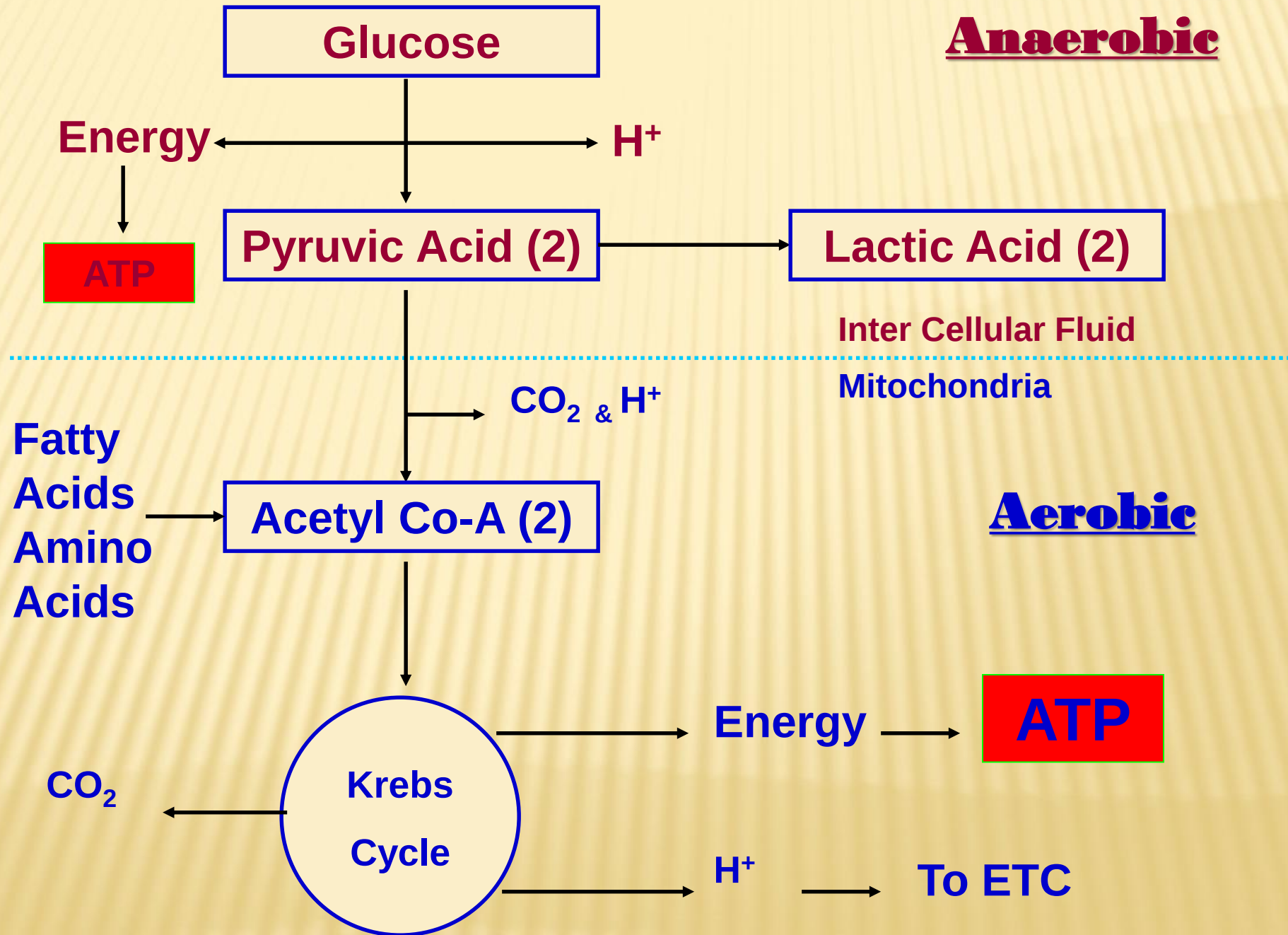
تولید اکسایشی ATP درون میتوکندری انجام می شود

در حضور اکسیژن ————— تبدیل اسید پیروویک به استیل کوآنزیم A

ورود به چرخه کربس —————

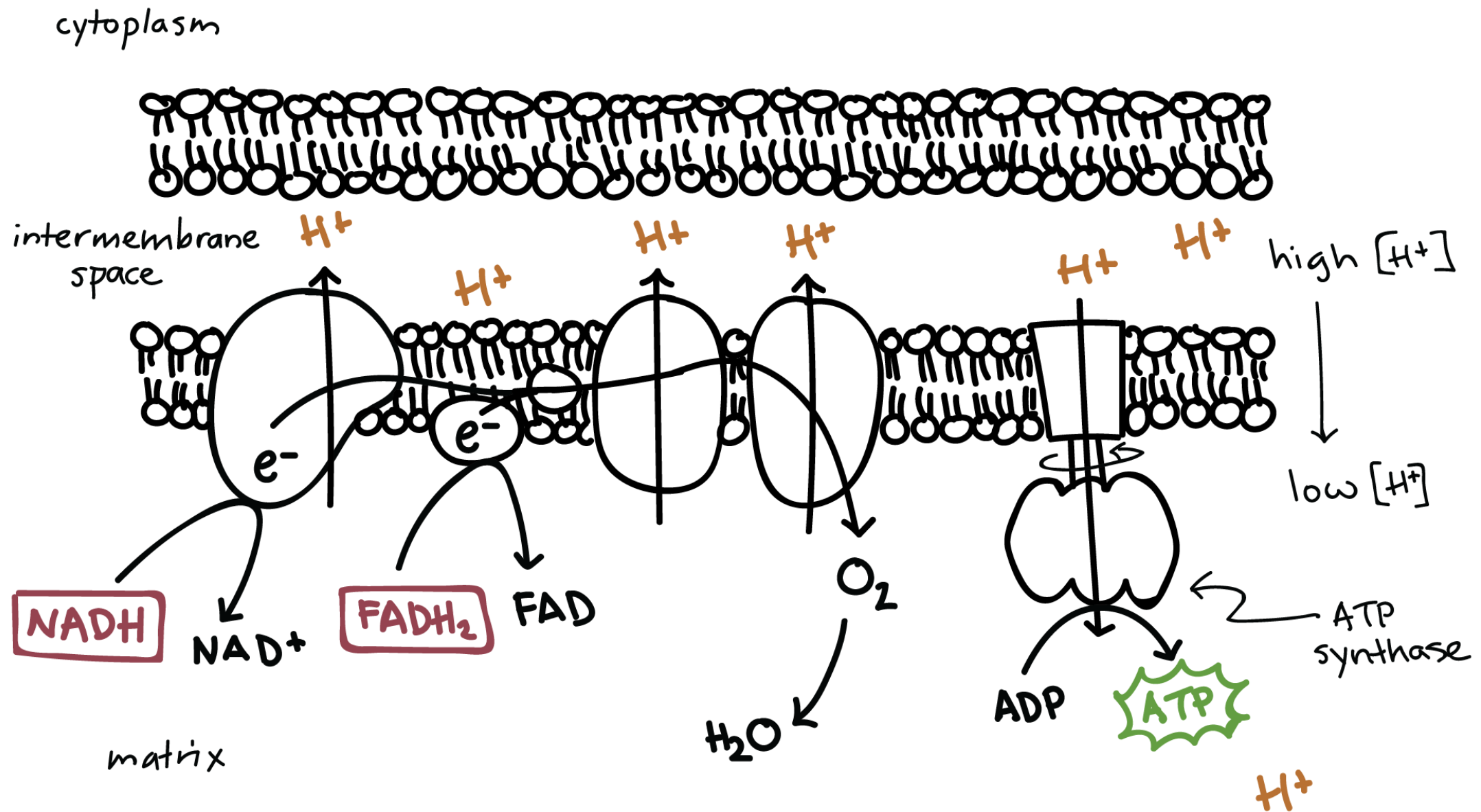
چرخه اسیدتری کربوکسیلیک (TCA) چرخه کربس





چرخه اسیدتری کربوکسیلیک (TCA)





شاتل ها

✕ گلیسرول-3-فسفات

✕ ملات آسپاراتات

✕ انتقال P_i میتوکندریایی به ADP سیتوزولی = بازسازی ATP در سیتوزول

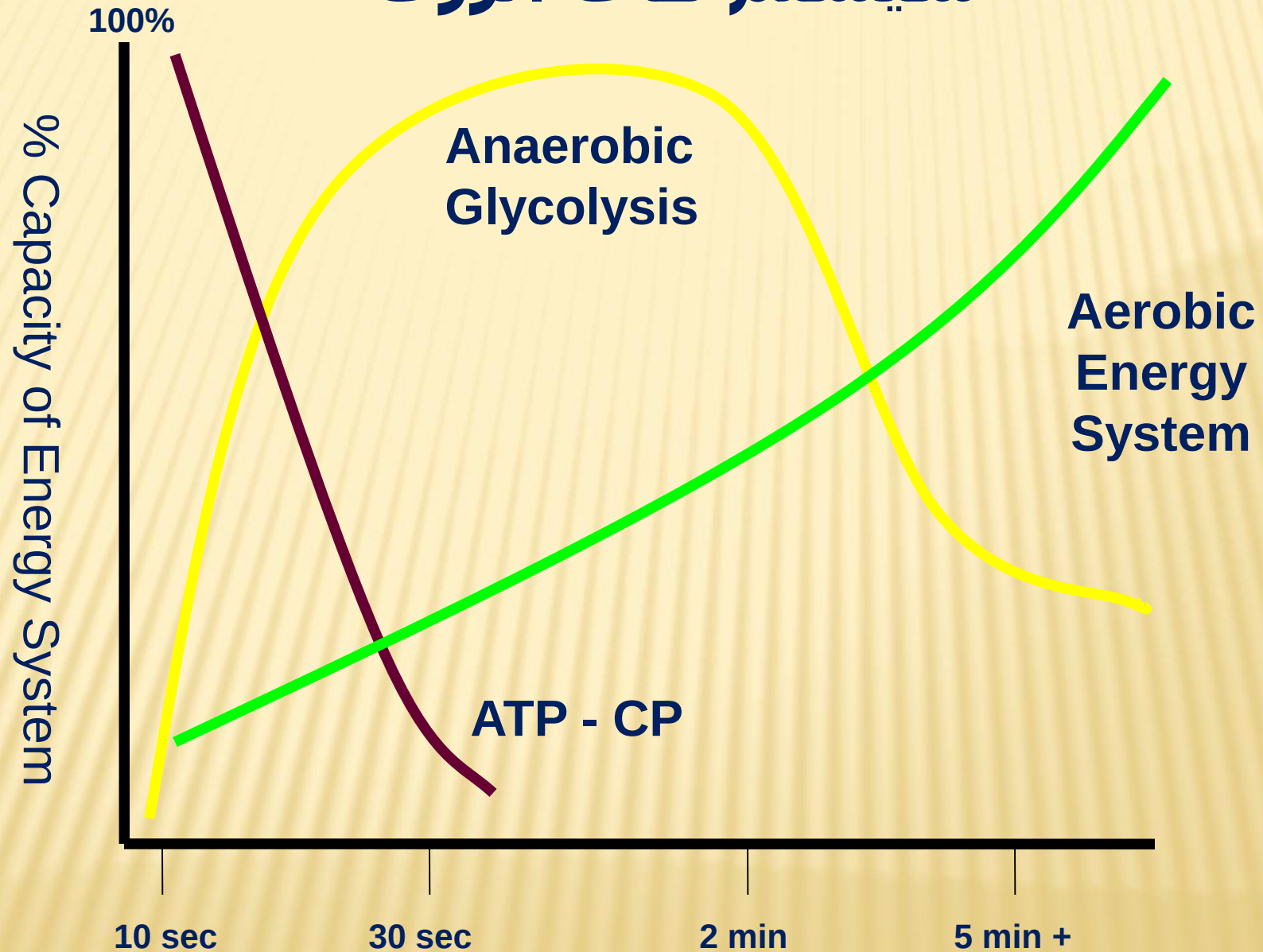
✕ انتقال P_i میتوکندریایی به کراتین سیتوزولی جهت بازسازی Crp

فرآورده های گلیکولیز هوازی

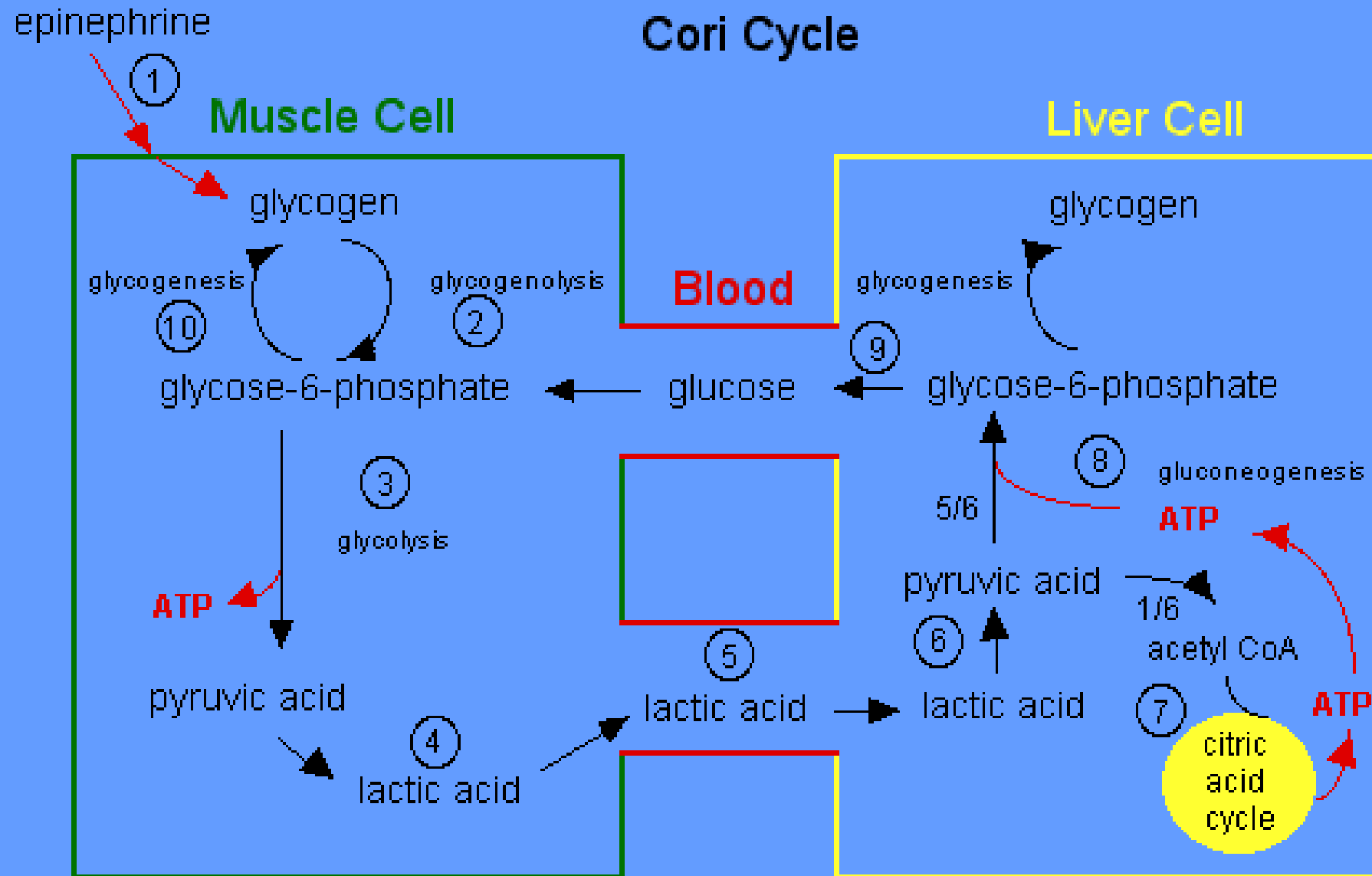
گلیکوژن = 3ATP	}	}	38 یا 39ATP
گلوکز = 2ATP			
(واکنش پیرووات دهیدروژناز: 1NADH			
H^+) * 2 از طریق شاتل گلیسرول 3 فسفات			
اکسیداسیون پیرووات به استیل کوآ:			
$\text{NADH} * 2$	}	}	
(TCA: 1GTP , 3NADH H,			
1FADH) * 2			

هر NADH معادل 3ATP و هر FADH معادل 2ATP در نظر گرفته می شود و هر GTP معادل 1ATP

سیستم های انرژی



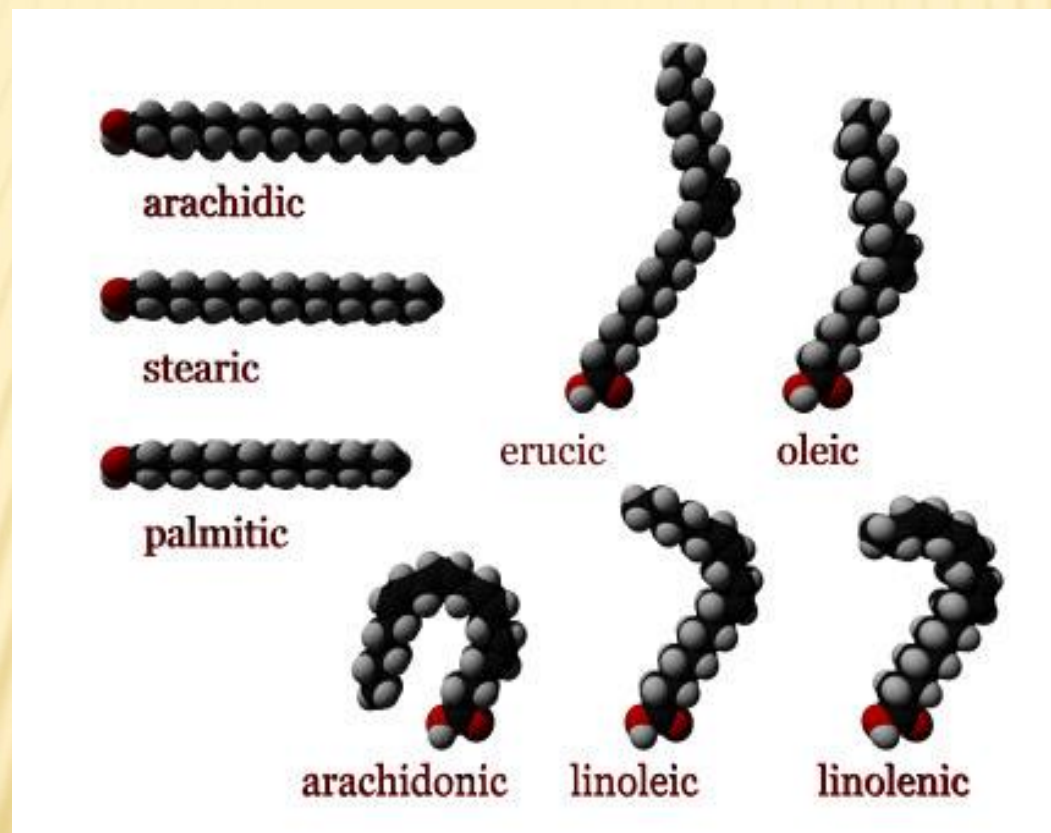
چرخه لاکتات (کوری)



چربی ها

ذخیره گلیکوژن عضله و کبد = ۲۵۰۰ کیلوکالری

چربی ذخیره در عضلات و سلول های چربی = ۷۰۰۰۰ تا ۷۵۰۰۰ کیلوکالری



↑ تعداد کربن های هر اسید چرب = انرژی بیشتر حاصل از اکسیداسیون ↑

لیپولیز

✘ کاتابولیسم چربی ها یا تجزیه تری آسیل گلیسرول به 1 گلیسرول و 3 اسید چرب لیپولیز نام دارد

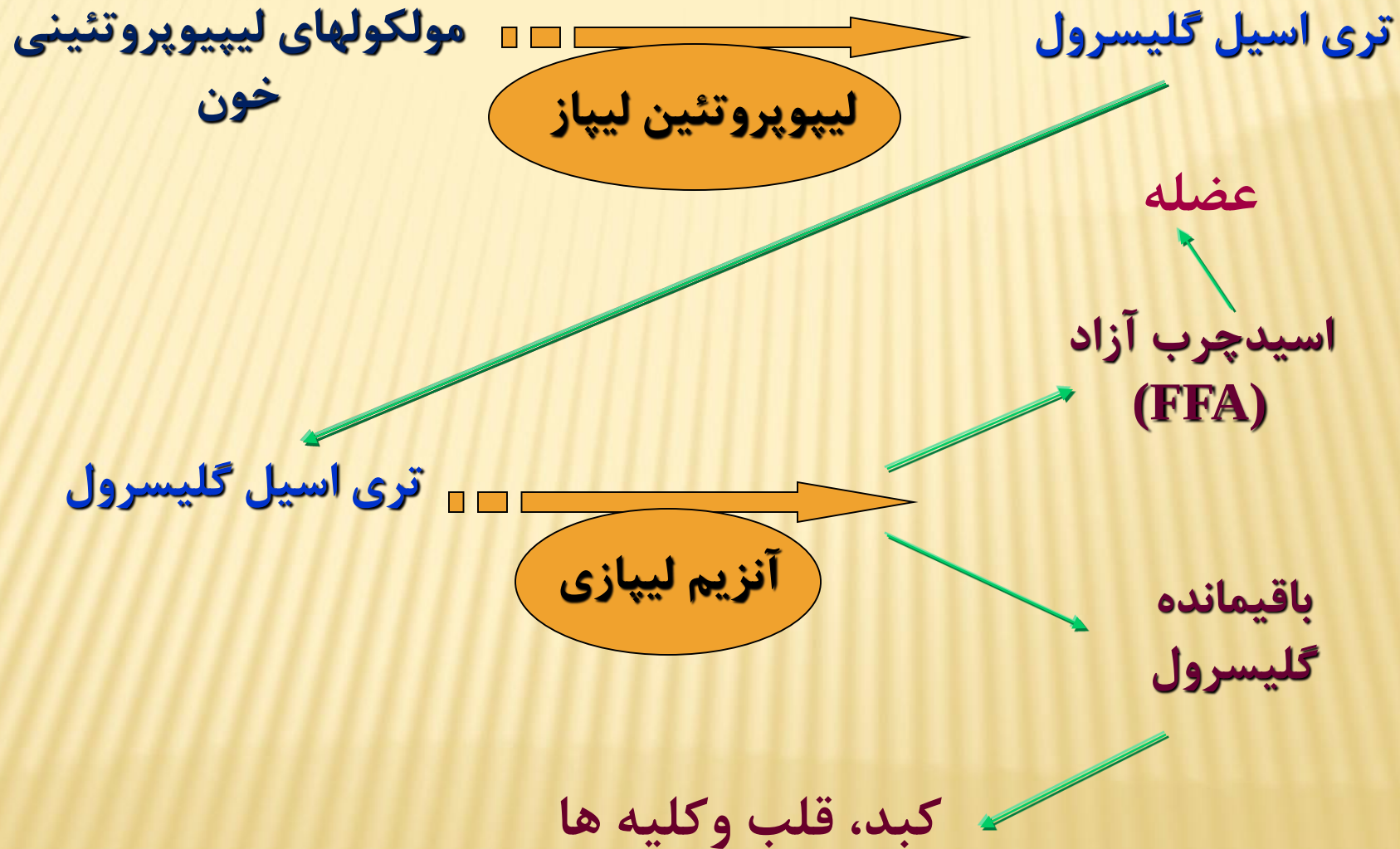
آنزیم های درگیر در این فرایند:

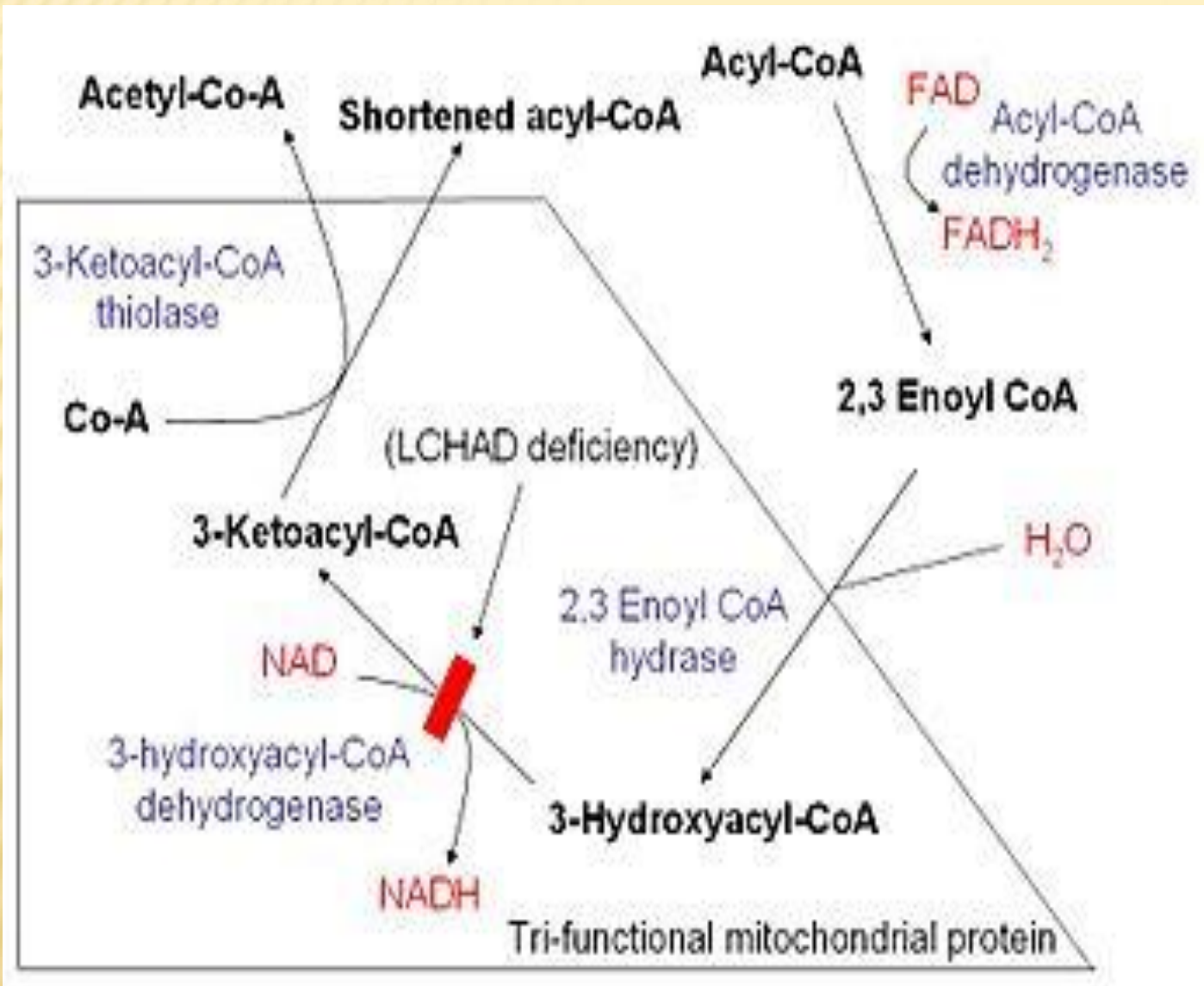
✘ لیپاز حساس به هورمون یا HSL

✘ لیپوپروتئین لیپاز یا LPL

✘ سرنوشت گلیسرول؟

بتا اکسیداسیون (Beta Oxidation)





بتا اکسیداسیون: اکسید شدن زنجیره بلند اسید چرب توسط ۴ واکنش آنزیمی و برداشت یک قطعه انتهایی دوکربنی استیل کوآ.

محصولات: استیل کوآ، **FADH**، **NADH** و یک مولکول اسید چرب آزاد با دو کربن کمتر

لیپولیز

کاتابولیسم تری اسیل گلیسرول (تری گلیسیرید ذخیره در سلول عضلانی) به ۳ مولکول اسید چرب آزاد + گلیسرول



بتا-اکسیداسیون

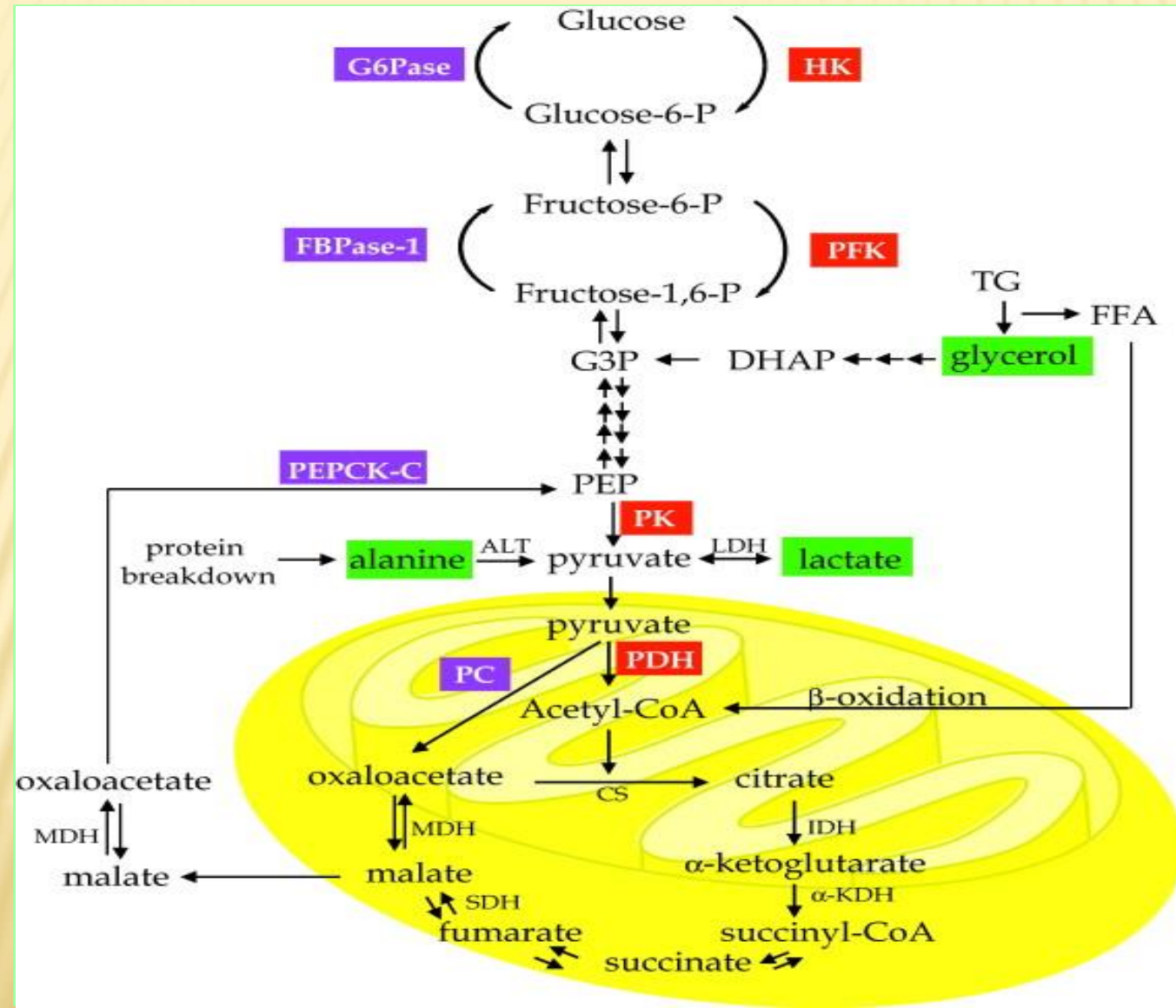
اکسیداسیون اسیدهای چرب آزاد و تبدیل آنها به استیل کوآنزیم آ

مراحل اکسیداسیون اسیدهای چرب آزاد

اکسیداسیون استیل کوآنزیم آ در چرخه اسیدسیتریک و

انتقال الکترون ها به زنجیره تنفسی و در نهایت تبدیل به **انیدرید کربنیک**
و آب

گلوکونئوژنز: به تولید گلوکز از مواد اولیه غیر کربوهیدراتی گفته می شود.



چرخه گلوکز-آلانین ← کمبود اکسیژن

Glucose/Alanine Cycle

