الطاقة الحيوية والاستقلاب
ودورة حمض الليمون

الطاقة الحيوية (الثرموديناميك الكيميائي الحيوي)

تفاعل كيميائي

$$aA + bB \rightleftharpoons eE + dD$$

ثابت التوازن الكيميائي $K = \dfrac{[E]^e\ [D]^d}{[A]^a\ [B]^b}$

الطاقة الحرة $\Delta G = \Delta G^o + RT \ln K$

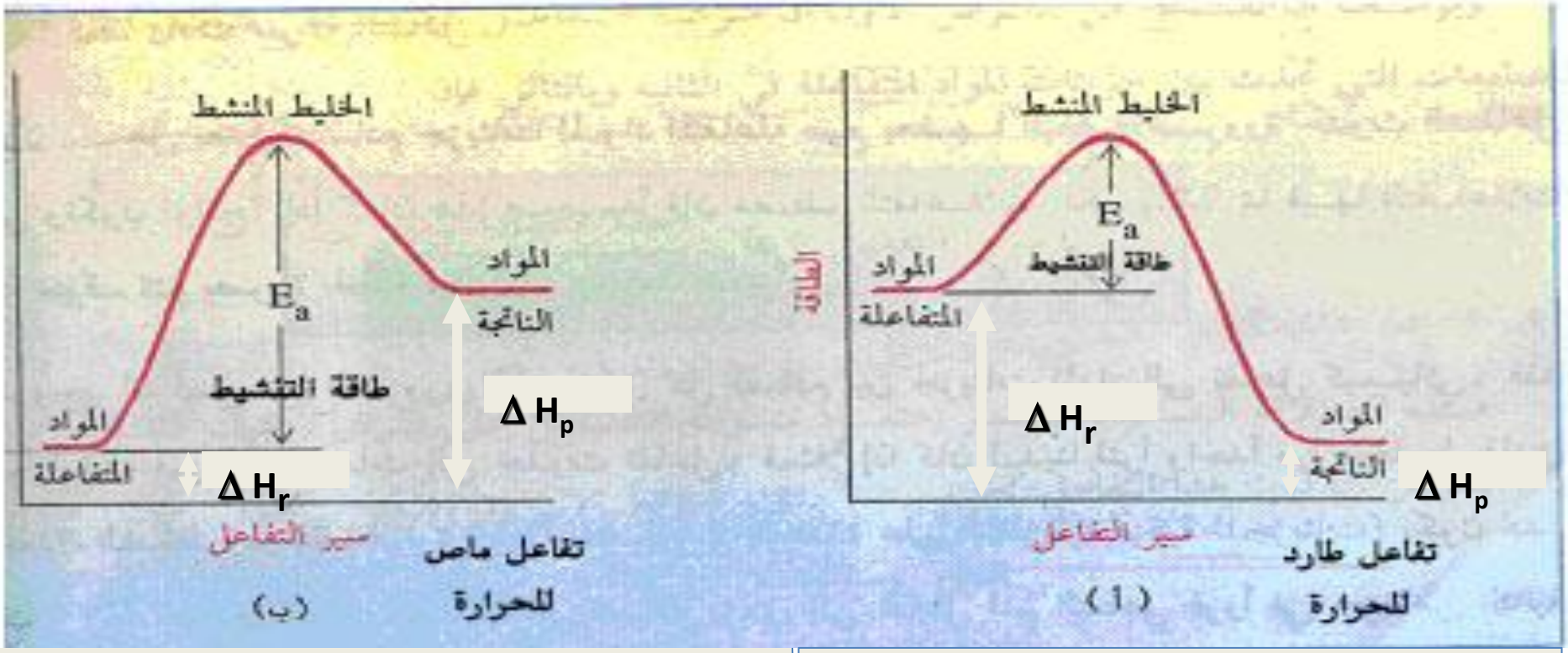
في حالة التوازن $\Delta G = 0$ وبالتالي

$$\Delta G^o = - RT \ln K$$

يمكن تحديد الطاقة الحرة القياسية ΔG^o للتفاعلات بمعرفة K

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$$

ملاحظـــــــات	ΔG	$\ln K$	K	نوع التفاعل
التفاعل يحدث تلقائياً في الاتجاه المباشرة عند الظروف القياسية .	$\Delta G < 0$	موجب	K>1	ناشر للحرارة
التفاعل في حالة توازن كيميائي عند الظروف القياسية .	$\Delta G = 0$	صفر	K=1	متوازن
التفاعل غير تلقائي في الإتجاه المباشر عند الظروف القياسية .	$\Delta G > 0$	سالب	K<1	ماص للحرارة



التفاعل ناشر للحرارة exothermic

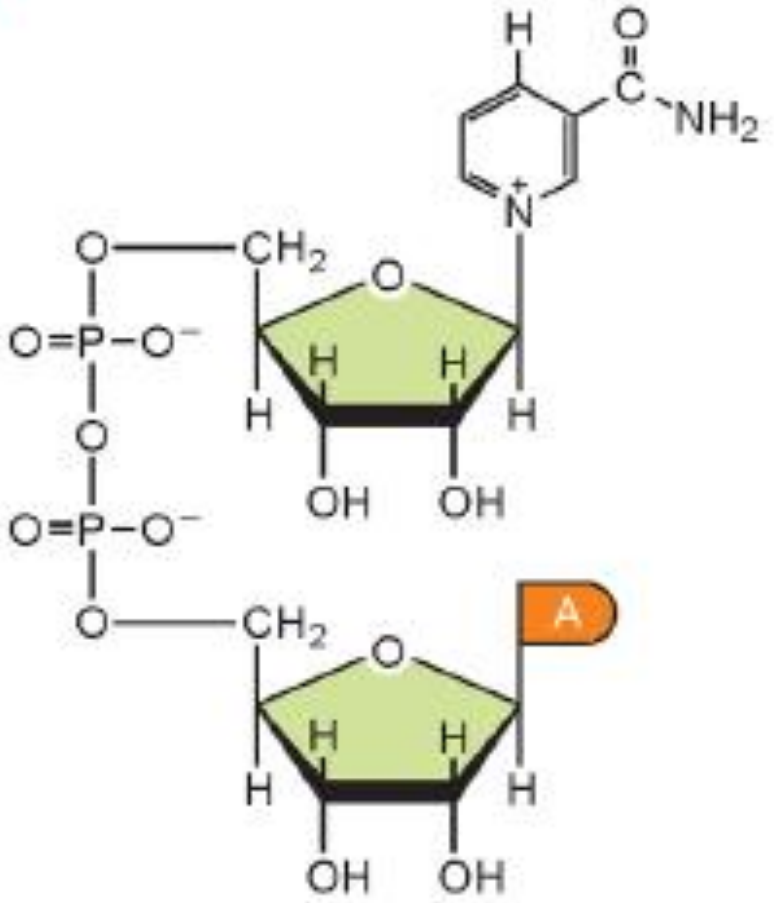
إذا كانت انتالبية النواتج اصغر من انتالبية المتفاعلات

$Hp < Hr \qquad \Delta H = (-) \Rightarrow \quad q = (-)$

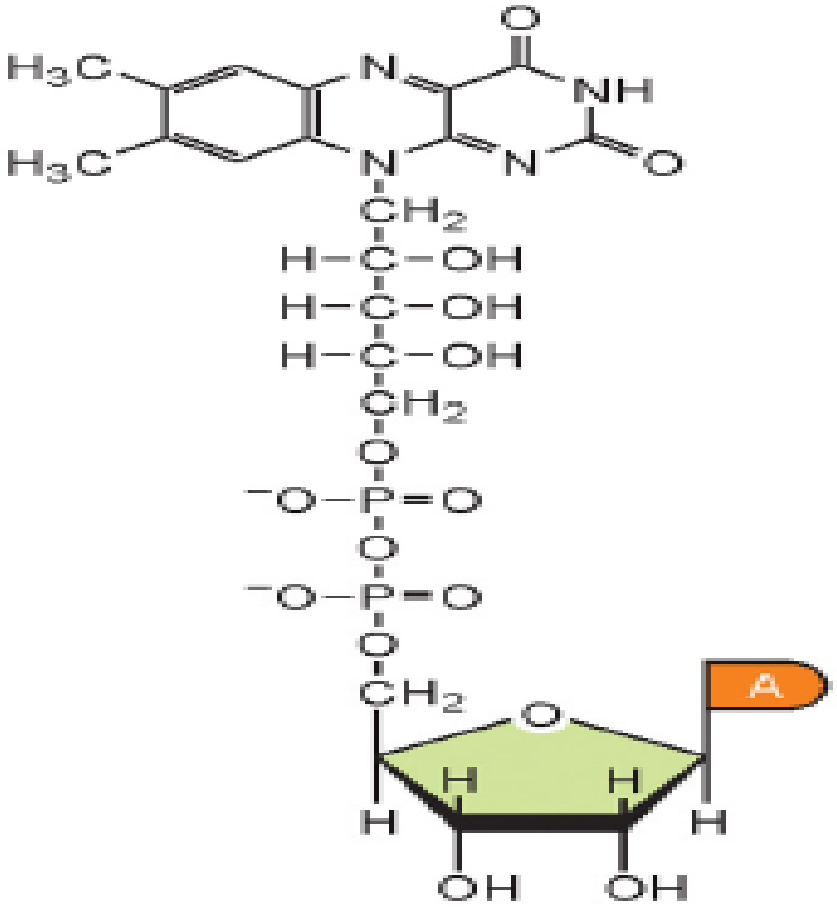
التفاعل ماص للحرارة endothermic

إذا كانت : انتالبية النواتج اكبر من انتالبية المتفاعلات

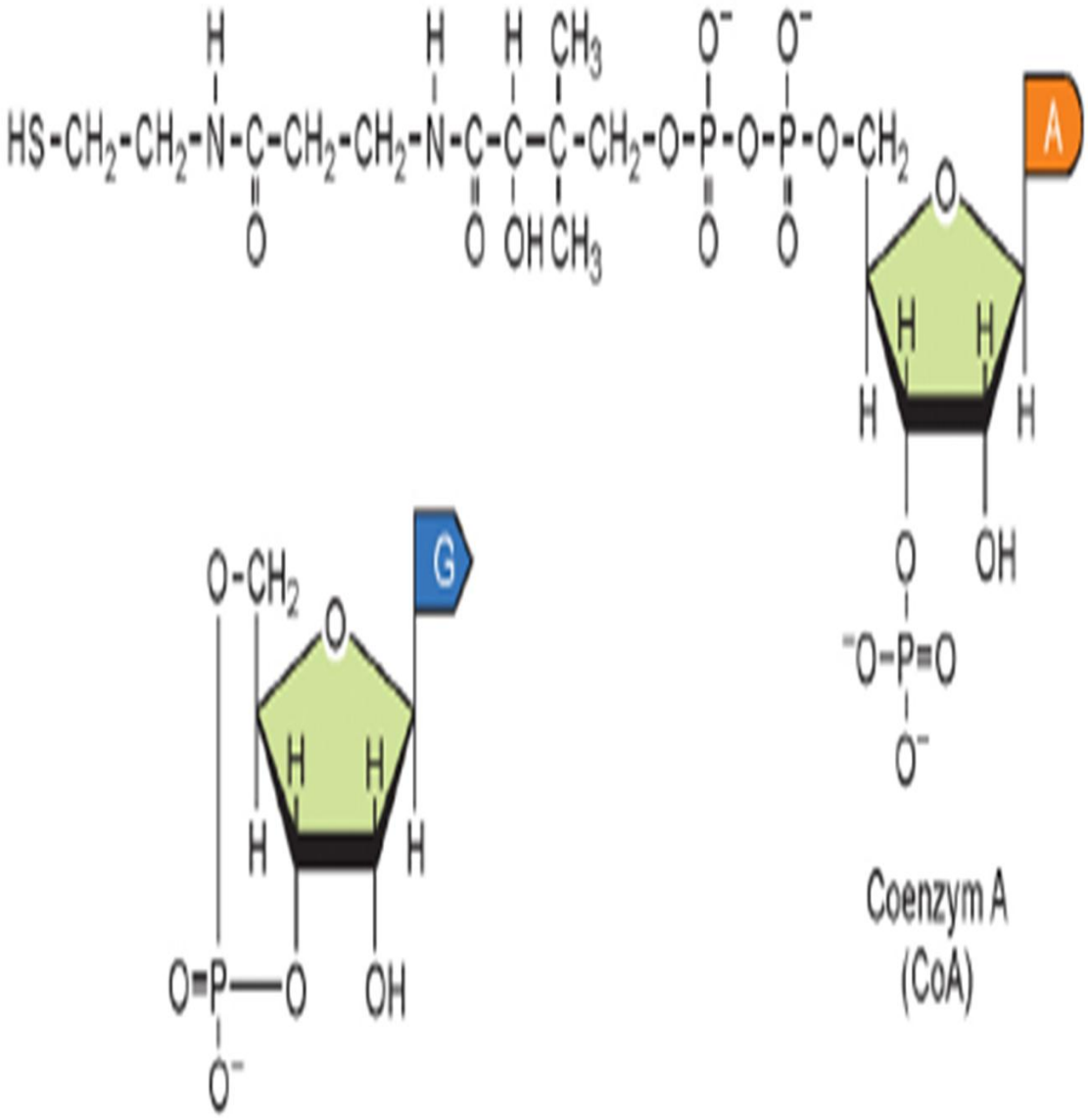
$Hp > Hr \qquad \Delta H = (+) \Rightarrow q = (+)$



Nicotinamidadenindinucleotid
(NAD^+)



Flavinadenindinucleotid
(FAD)



Coenzym A
(CoA)

الأهمية الحيوية

الاستقلاب مجموعة عمليات وتحولات التي تخضع لها المواد الغذائية فنحصل منها على الطاقة وطرق تخزينها.

معدل الاستقلاب يقيس تنظيم معدل الطاقة المتحررة.

- نميز **نوعين من تفاعلات الاستقلاب:**

أ- الهدم (التقويض) Catabolism

وهي تفاعلات مُطلقة للطاقة ناتجة عن أكسدة المواد الغذائية

ب - البناء Anabolism

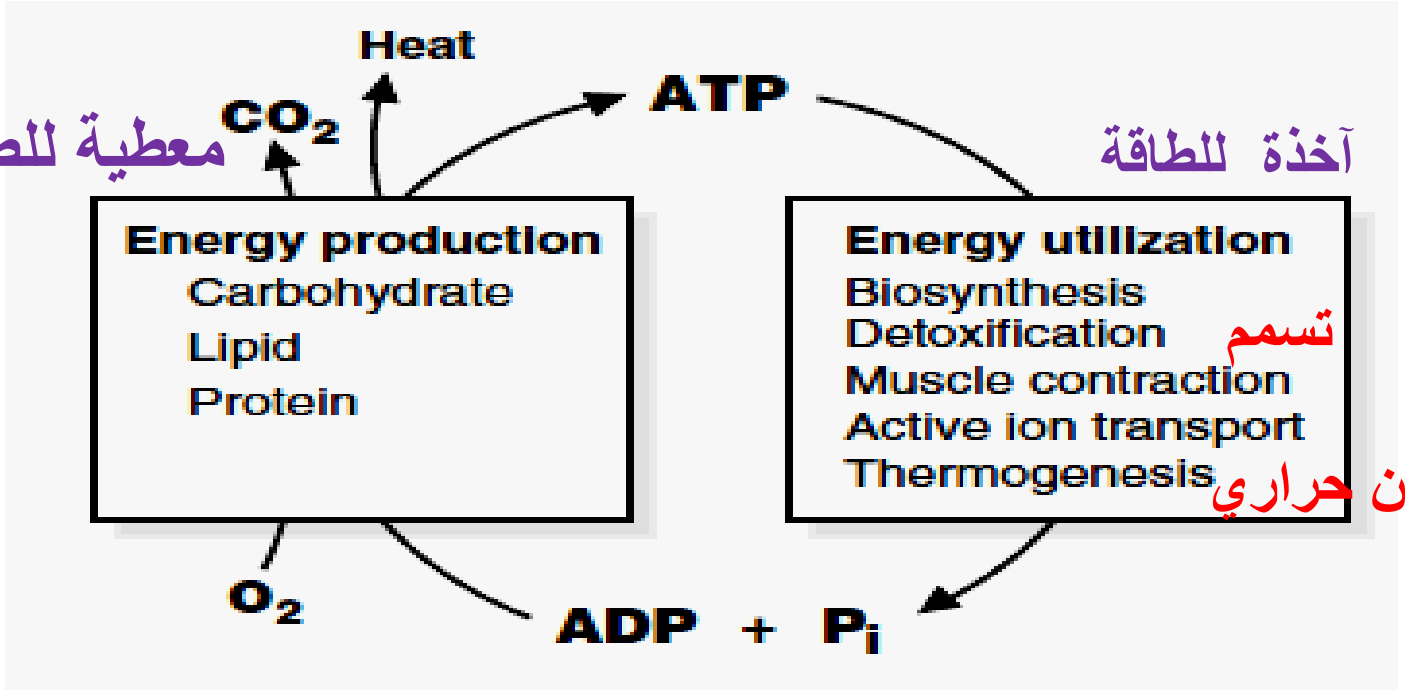
وهي تفاعلات اصطناع المركبات الضرورية للكائن الحي بالاستفادة من طاقة الهدم

اقتران التفاعلات الحيوية

التفاعلات **الآخذة** للطاقة تجري **بالاقتران** مع التفاعلات **المعطية** للطاقة

التفاعلات الحيوية (مثل: تفاعلات الاصطناع) تحصل على الطاقة اللازمة لحدوثها

خلال **الاقتران** بتفاعلات الأكسدة والإرجاع.



مراحل تشكل الطاقة:

تشمل على ثلاث مراحل

١) الهضم والامتصاص:
تتحول المركبات إلى وحداتها الأساسية

البروتينات ← حموض أمينية

الشـــــحوم ← غليسرول و حموض دسمة

متعدد السكريد ← سكريات أحادية

2) تحول الوحدات الرئيسية إلى مركبات الطاقة الرئيسية:

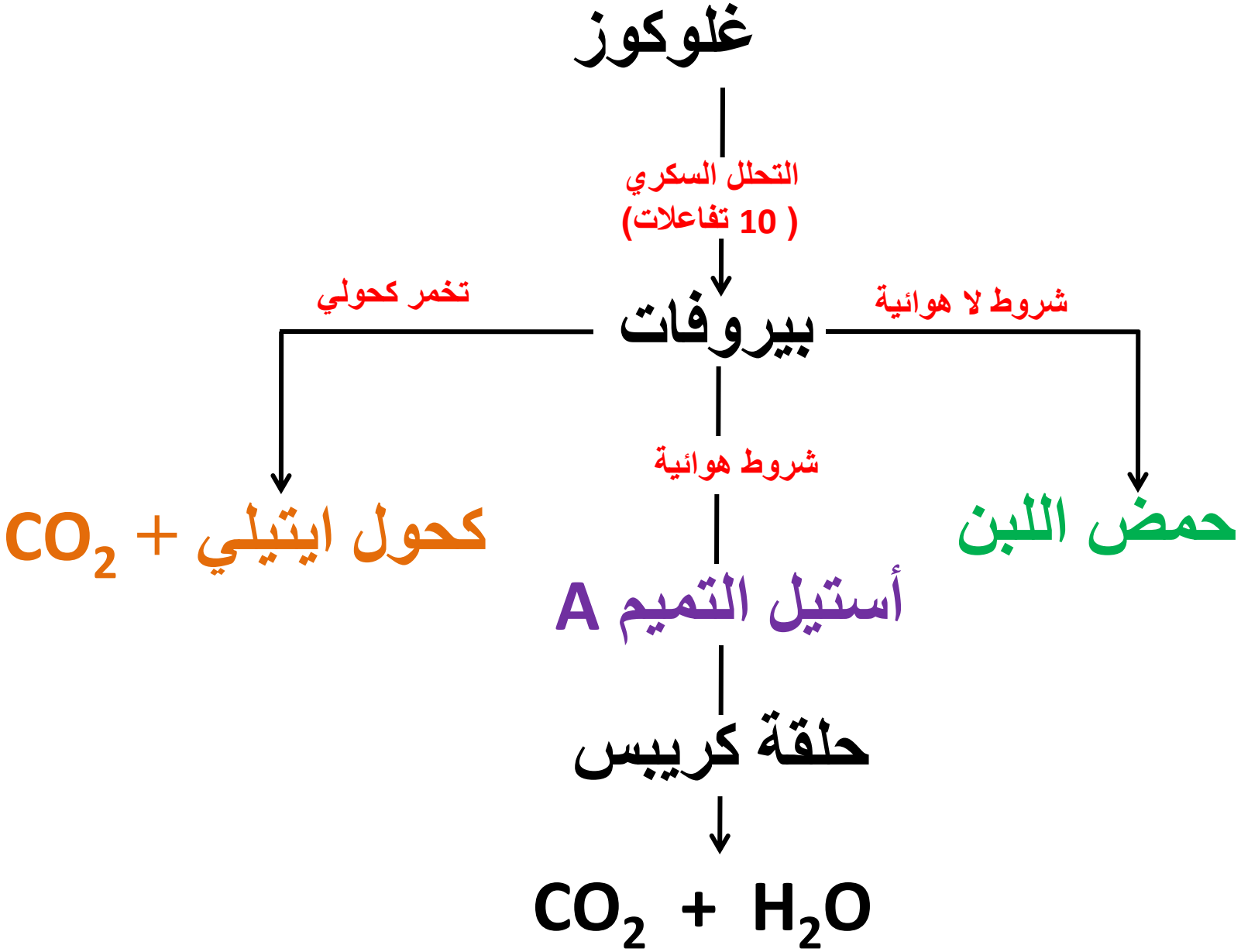
- تحلل السكر ⟵ البيروفات + طاقة (مكافئات مرجعة)

البيروفات ⟵ أستيل التميم أ Co A + طاقة (مكافئات مرجعة)

- نقل و نزع أمين الحموض الأمينية ⟵ مركبات الطاقة الرئيسية

- أكسدة الحموض الدسمة ⟵ أستيل التميم أ + طاقة (مكافئات مرجعة)

❑ أكسدة الغلوكوز Glucose Oxidation



3) أكسدة أستيل التميم أ Acetyl Co A إلى ثاني أكسيد الكربون CO_2

* ينتج عن **أكسدة أستيل التميم أ Acetyl Co A**

=› مكافئات مرجعة باستخدام (NADH ,$FADH_2$, GTP).

* نقل المكافئات المرجعة إلى الأوكسجين الجزيئي ليتشكل بالنهاية الماء

* عملية نقل الالكترونات تترافق إنتاج الطاقة (ATP)

دور المركبات الفوسفاتية عالية الطاقة

يلعب ال **ATP** دوراً أساسياً:

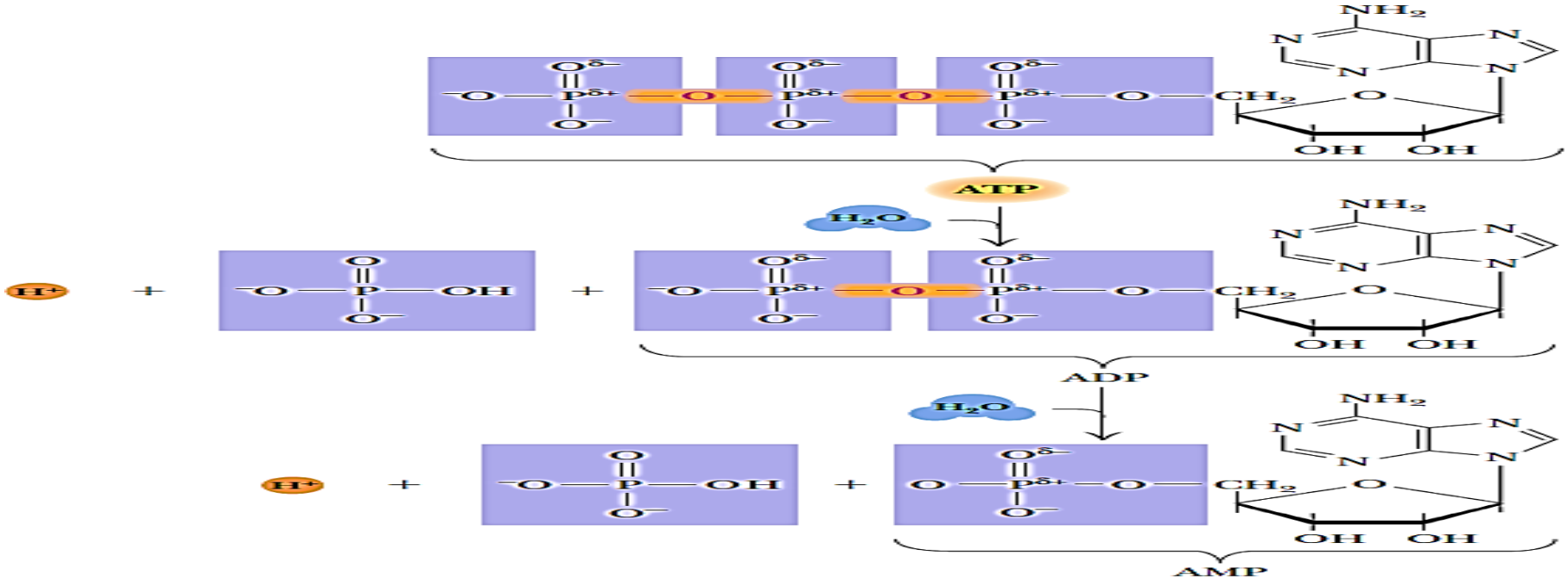
في التقاط ونقل الطاقة الحرة من التفاعلات الناشرة للطاقة إلى تفاعلات الآخذة للطاقة.

يمتلك الـ **ATP** مجموعتي فوسفات عالية الطاقة، P 2

ويمتلك الـ **ADP** مجموعة فوسفات عالية الطاقة واحدة، P 1

لايمتلك الـ **AMP** أية مجموعة فوسفاتية عالية الطاقة (لماذا)

الرابط بين السكر والفوسفات هو استيري فوسفوري عادي



تقترن التفاعلات ترموديناميكياً غير المفضلة بالمفضلة بواسطة ATP

تفاعل فسفرة الغلوكوز آخذ للطاقة

Glucose + Pi ⟶ Glucose-6-Phosphate + H_2O (ΔG= +13.8) Kj/mol)

يحتاج لتفاعل معطي للطاقة ليقترن به:

ATP ⟶ ADP + Pi (ΔG= -30.5 kj/mol)

محصلة التفاعلين بوجود انزيم هيكسوكيناز:

Glucose + ATP ⟶ Glucose-6-Phosphate + ADP (ΔG= -16.7 Kj/mol)

مثال

$$\text{PEP} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{pyruvate} + \text{P}_\text{i} \qquad \Delta G = -78 \text{ kJ/mol}$$

جمع

$$\text{ADP} + \text{P}_\text{i} \longrightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \qquad \Delta G = +55 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{PEP} + \text{ADP} \longrightarrow \text{pyruvate} + \text{ATP} \qquad \text{Total } \Delta G = -23 \text{ kJ/mol}$$

تصطنع النيكلوزيدات ثلاثية الفوسفات من نيكليوزيداتها ثنائية الفوسفات

وذلك بوجود إنزيم **نيوكليوزيد ثنائي الفوسفات كيناز**

ATP + UDP → ADP + UTP (Uridine Triphosphate)

ATP + GDP → ADP + GTP (Guanosine Triphosphate)

ATP + CDP → ADP + CTP (Cytodine Triphosphate)

حيث أن:

نيكليوزيد: أساس أزوتي + سكر خماسي

Uridine , Guanosine, or Cytodine

نيكليوتيد: أساس أزوتي + سكر خماسي + فوسفات

6. حلقة كريبس Tricarboxylic Acid Cycle(دورة حمض الليمون):

مجموعة تفاعلات تعطي الطاقة الحيوية اللازمة للكائن الحي،

تؤمن الحلقة وسائل أكسدة أستيل التميم أ،

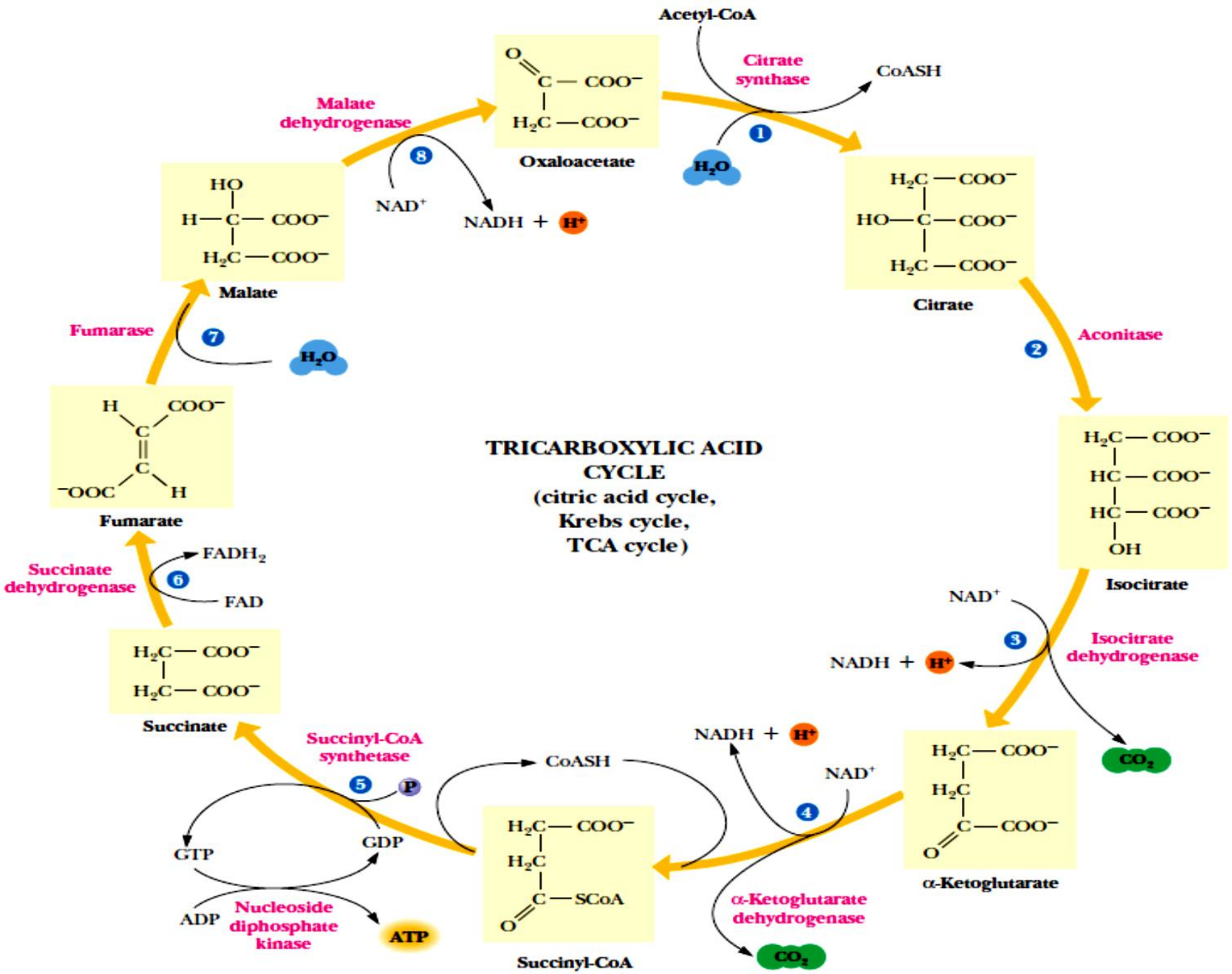
أستيل التميم أ الركيزة لبدء تفاعلات حلقة كريبس

الحلقة اكسدة هوائية (تنفسية بوجود) الناتج النهائي هو $CO_2 + H_2O$

تشمل هذه الدورة على ثماني مراحل

محفزة بسبع إنزيمات

أما الإنزيم الثامن فيترافق مع سلسلة نقل الإلكترونات ضمن الغشاء الداخلي للمتقدرة.


TRICARBOXYLIC ACID CYCLE
(citric acid cycle, Krebs cycle, TCA cycle)
Acetyl-CoA
Citrate synthase
CoASH
Oxaloacetate
Malate dehydrogenase
NAD+
NADH + H+
Malate
Fumarase
H2O
Fumarate
Succinate dehydrogenase
FADH2
FAD
Succinate
Succinyl-CoA synthetase
GTP
GDP
ADP
Nucleoside diphosphate kinase
ATP
Succinyl-CoA
α-Ketoglutarate dehydrogenase
α-Ketoglutarate
Isocitrate dehydrogenase
Isocitrate
Aconitase
Citrate
1
2
3
4
5
6
7
8
P
CO2

الأكسدة الحيوية

تشمل عمليات الهدم على عدد من تفاعلات الأكسدة والإرجاع

مركب – e^- ← تأكسد

مركب + e^- ← إرجاع

الإلكترونات المنقولة تسمى **مكافئات المرجعة**

أكسدة المركبات مباشرة بالأكسجين الجزيئي ينشر طاقة كبيرة ويتلف الخلية الحية

<= تلجأ الخلايا إلى **عملية المناقلة الإلكترونية** لتجزئه الطاقة المحمولة بوساطة المكافئات المرجعة

تنقل المكافئات المرجعة إلى ثلاث تمائم متخصصة : $NADP^+$, NAD^+, FAD

السلسلة التنفسية

مجموعة الإنزيمات والنواقل الإلكترونية الموجودة داخل المتقدرات

والمرتبة بحسب كمون الأكسدة والإرجاع Redox

مسؤولة عن نقل **المكافئات المرجعة** من **الركائز** إلى **الأوكسجين الجزيئي**.

أهم الإنزيمات والنواقل في السلسلة التنفسية

1) إنزيمات نازعات الهيدرجين تمائمها النيكوتين أميد NAD^+

$$NAD^+ + AH_2 \rightleftharpoons NADH + H^+ + A$$

$$NADH + H^+ + FAD \longrightarrow FADH_2 + NAD^+$$

2) إنزيمات نازعات الهيدرجين تمائمها FAD , FMN

$$FAD + AH_4 \rightleftharpoons FADH_2 + AH_2$$

3) اليوبيكينون Co Q (مادة دسمة في المتقدرات)

يقوم اليوبيكينون **بنقل** المكافئات المرجعة **من** التمائم الفلافينية **إلى** الصبائغ.

4) سلسلة الصبائغ ((السيتوكرومات))

* **تتركب** الصبائغ **C, C_1, b** من **بروتين** و**هيم حاوي** على **الحديد** (بين Fe^{+3} و Fe^{+2}) وتشمل:

نقل المكافئات المرجعة **من** اليوبيكينون **إلى** أوكسيداز الصبائغ a_3\a

* **يتركب** الـ **a_3\a** من **بروتين** و **هيم حاوي** على **النحاس**

تعاد أكسدة **a_3\ a** **بالأوكسجين الجزيئي** **O_2** الذي هو المتقبل الأخير للمكافئات المرجعة

مفهوم السلاسل التنفسية و الفسفرة التأكسدية:

أثناء عمليات الاستقلاب توجد الطاقة المتحررة على شكل مكافئات مرجعة

في عملية الفسفرة التأكسدية في السلسلة التنفسية:

عندما تتأكسد الركائز بوساطة NAD^+ يتشكل 3 جزيئات من ال ATP

عندما تتأكسد الركائز بوساطة FAD يتشكل جزيئتين 2 من ال ATP

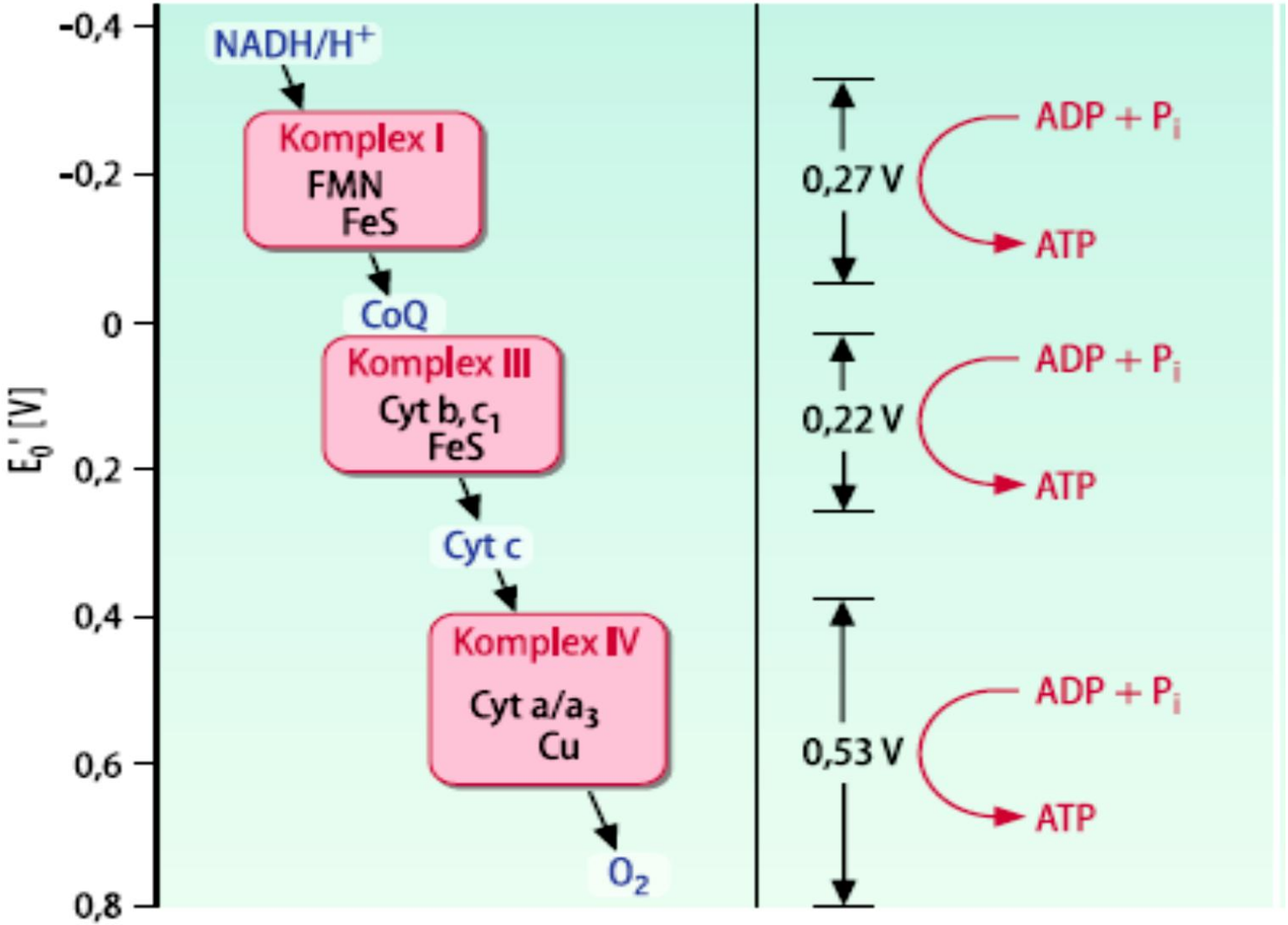
مراكز اختزان الطاقة في السلسلة التنفسية :

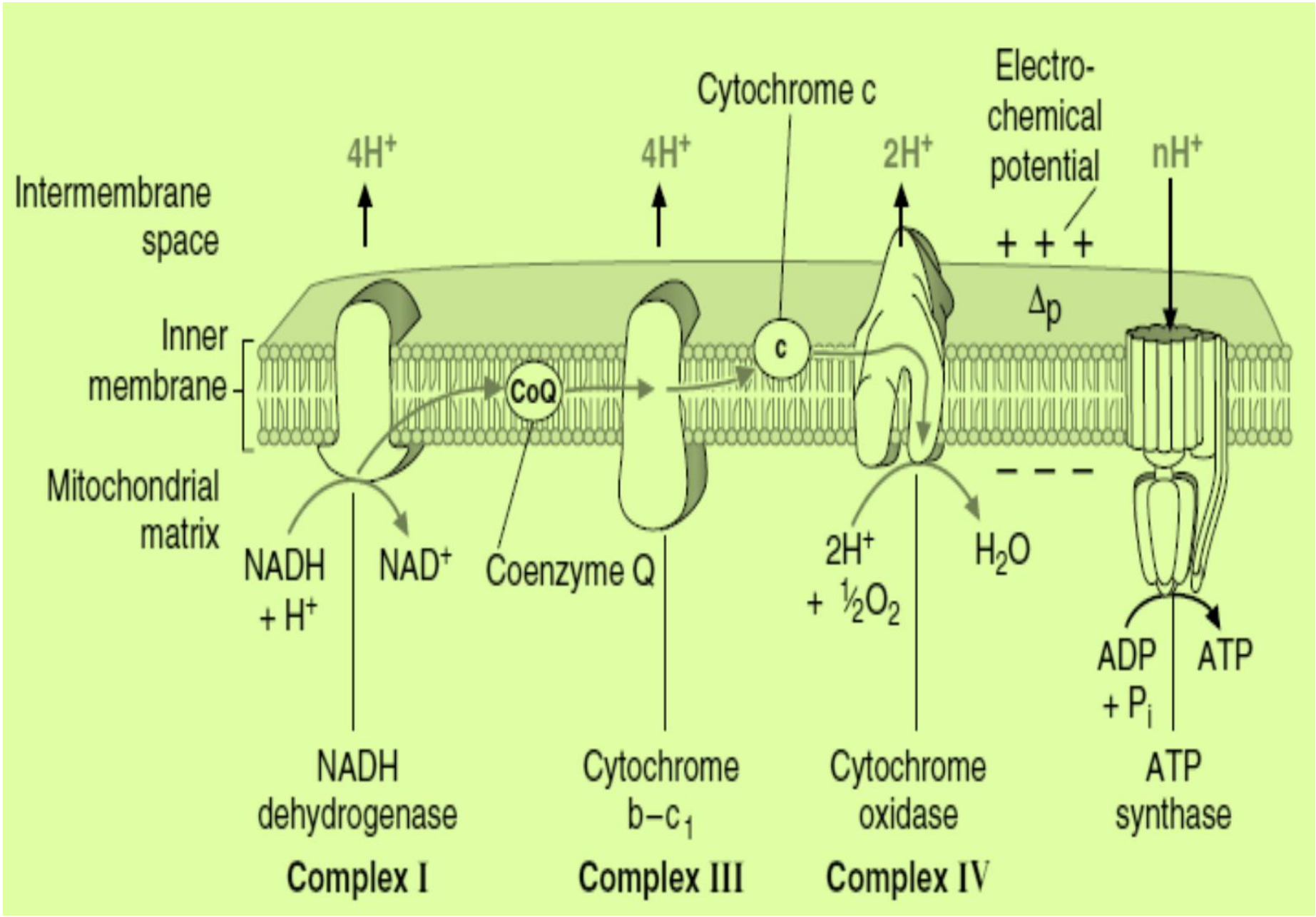
المركز الأول: أكسدة ال NADH بوساطة FAD

المركز الثاني: أكسدة الستيوكروم b

المركز الثالث: قبل أوكسيداز الصبائغ a_3\a مباشرة

تقع **مقومات السلسلة التنفسية** في المتقدرات **مرتبة بحسب تزايد كمون الأكسدة والإرجاع بحيث تتساب المكافئات المرجعة على شكل متدرج**




Intermembrane space
Inner membrane
Mitochondrial matrix
4H+
4H+
Cytochrome c
2H+
Electro-chemical potential
nH+
+ + +
Δp
c
CoQ
– – –
NADH + H+
NAD+
Coenzyme Q
2H+ + ½O2
H2O
ADP + Pi
ATP
NADH dehydrogenase
Complex I
Cytochrome b–c1
Complex III
Cytochrome oxidase
Complex IV
ATP synthase

مثبطات السلسلة التنفسية والفسفرة التأكسدية

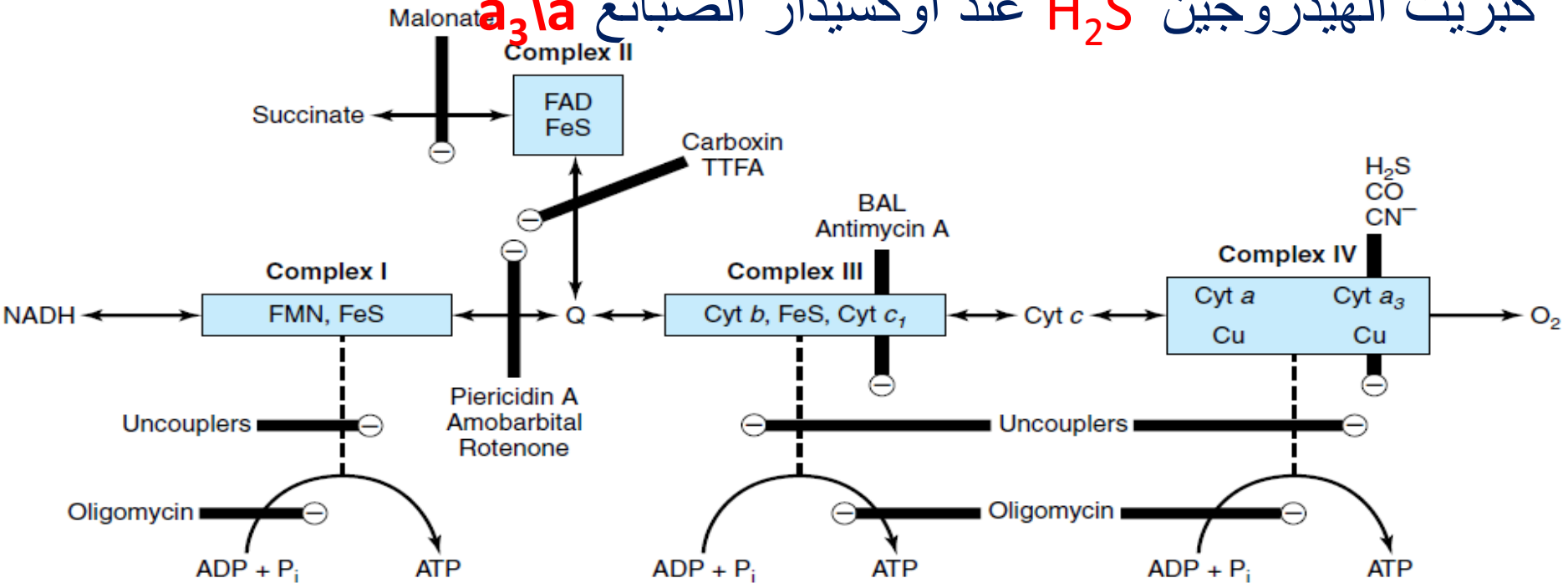
مثبطات تامة توقف السلسلة التنفسية في **ثلاث مناطق**

يثبط المركز **الأول** بتأثير كل من الأميتال Amytal و الروتنون Rotenon

يثبط المركز **الثاني** تحت تأثير مركب الأنيمايسين أ Antimycin A

يثبط المركز **الثالث** بأول أوكسيد الكربون CO أو السيانيد CN- أو

كبريت الهيدروجين H_2S عند أوكسيداز الصبائغ **a_3\a**

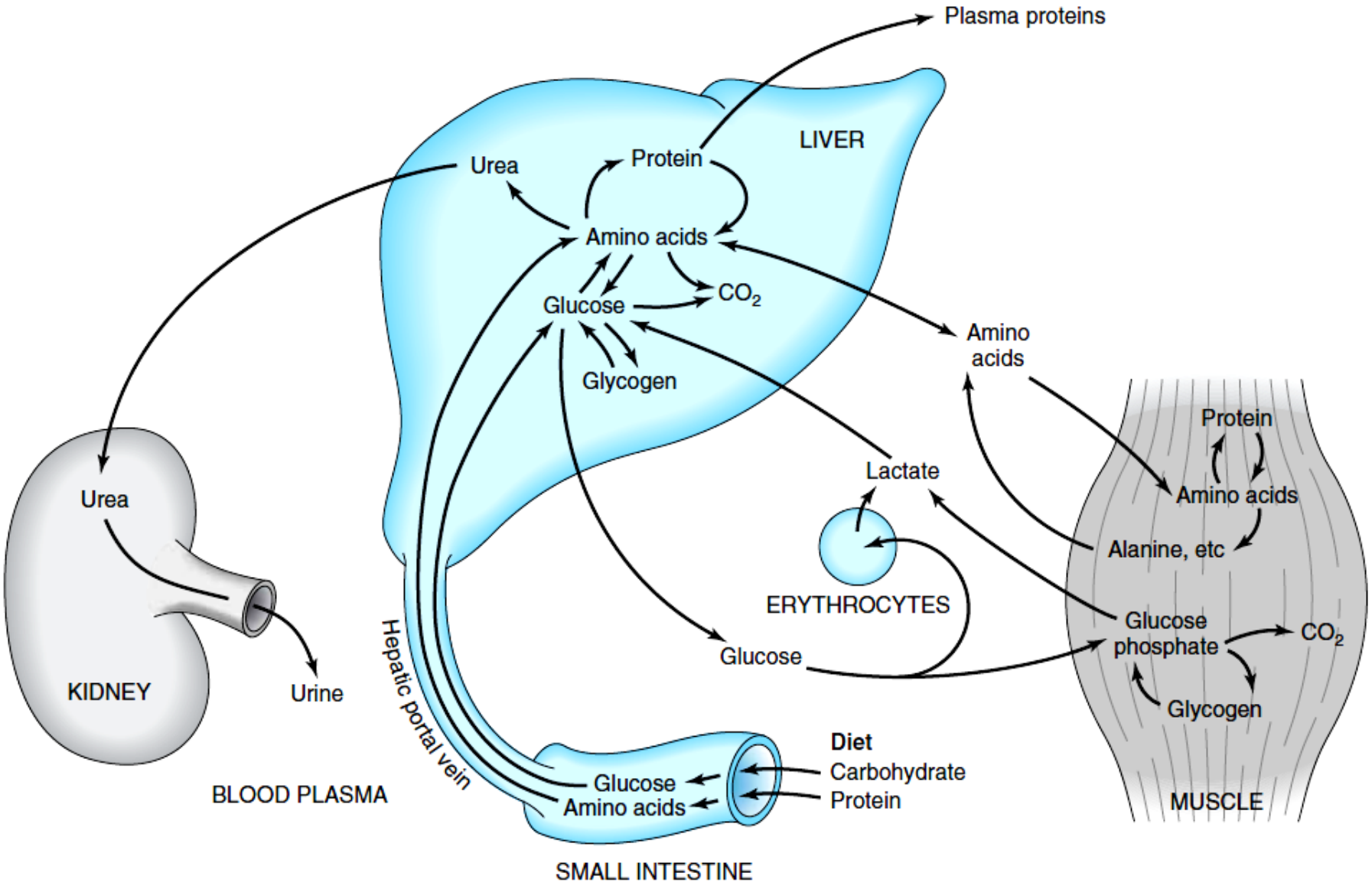


الطاقة الناتجة عن أكسدة جزيئة واحدة من أستيل التميم أ:

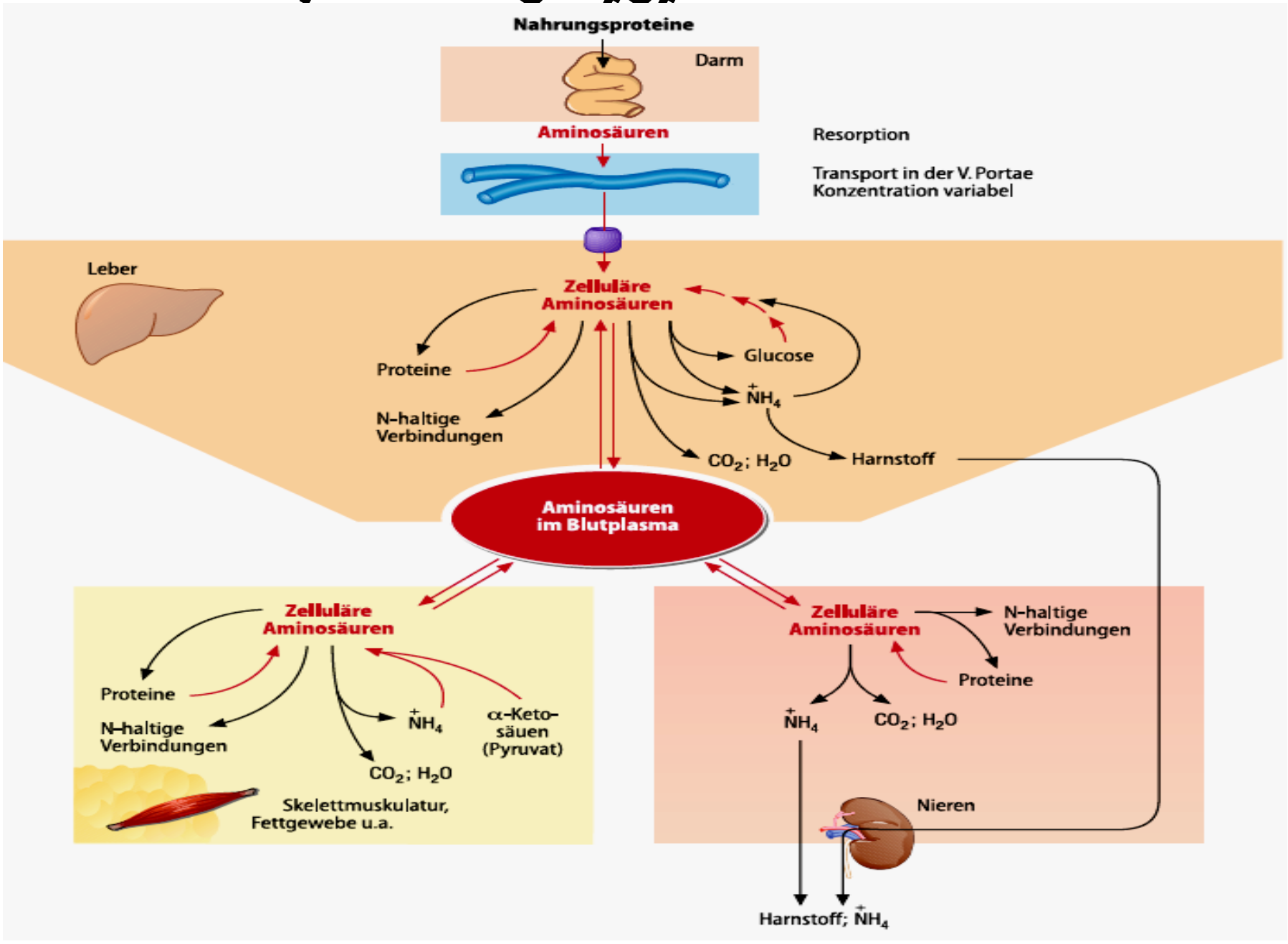
- ❑ **3 جزيئات NADH** تكافئ 3 x 3 = 9 جزيئات ATP
- ❑ **جزيئة واحدة من FADH2** تكافئ 1 x 2 = 2 جزيئة ATP
- ❑ **جزيئة واحدة من ATP** تم تشكيلها خلال دورة كريبس

وبالتالي تكون محصلة الطاقة الناتجة **= 12جزيئه ATP**.

تفاعلات الإستقلاب



الطاقة الحيوية والاستقلاب



هضم و استقلاب السكريات

هضم السكريات في الفم:

أميلوز النشاء ←(- أميلاز α)— مالتوز

أميلوبيكتين النشاء ←(- أميلاز β)— دكسترينات ←(- أميلاز β)— مالتوز

هضم السكريات في الأمعاء:

مالتوز ←(مالتاز)— غلوكوز

السكروز ←(السكراز)— غلوكوز + فركتوز

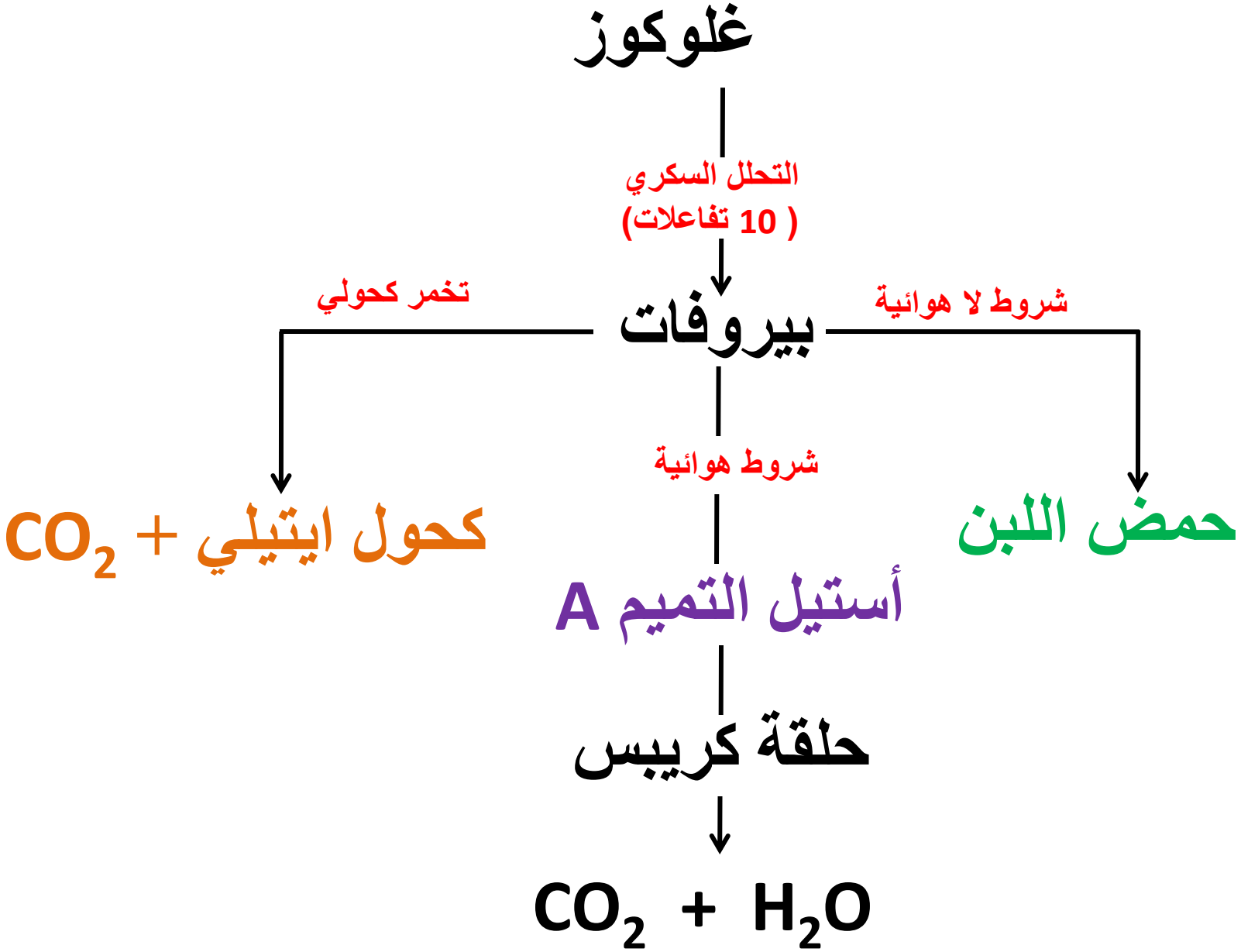
اللاكتوز ←(اللاكتاز)— غلوكوز+ غالاكتوز

استقلاب السكريات

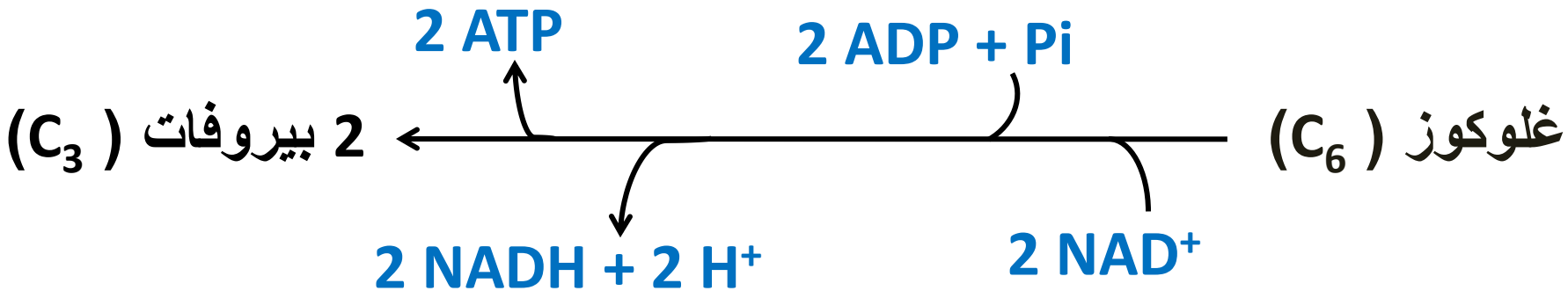
استقلاب الغلوكوز Glucose Metabolism:

- أكسدة الغلوكوز لإنتاج ATP
- تخزين الغلوكوز بشكل غليكوجين
- تحويل الغلوكوز على حموض دسمة

❑ أكسدة الغلوكوز Glucose Oxidation



Glycolysisالتحلل السكري

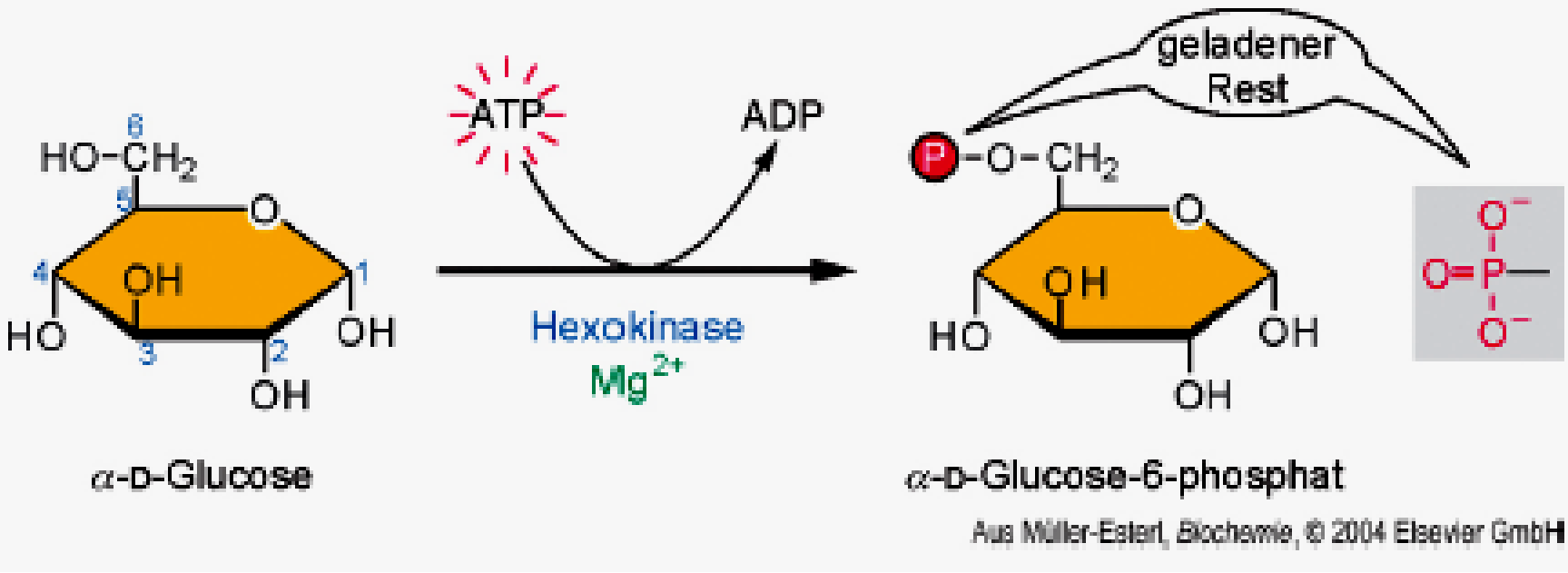


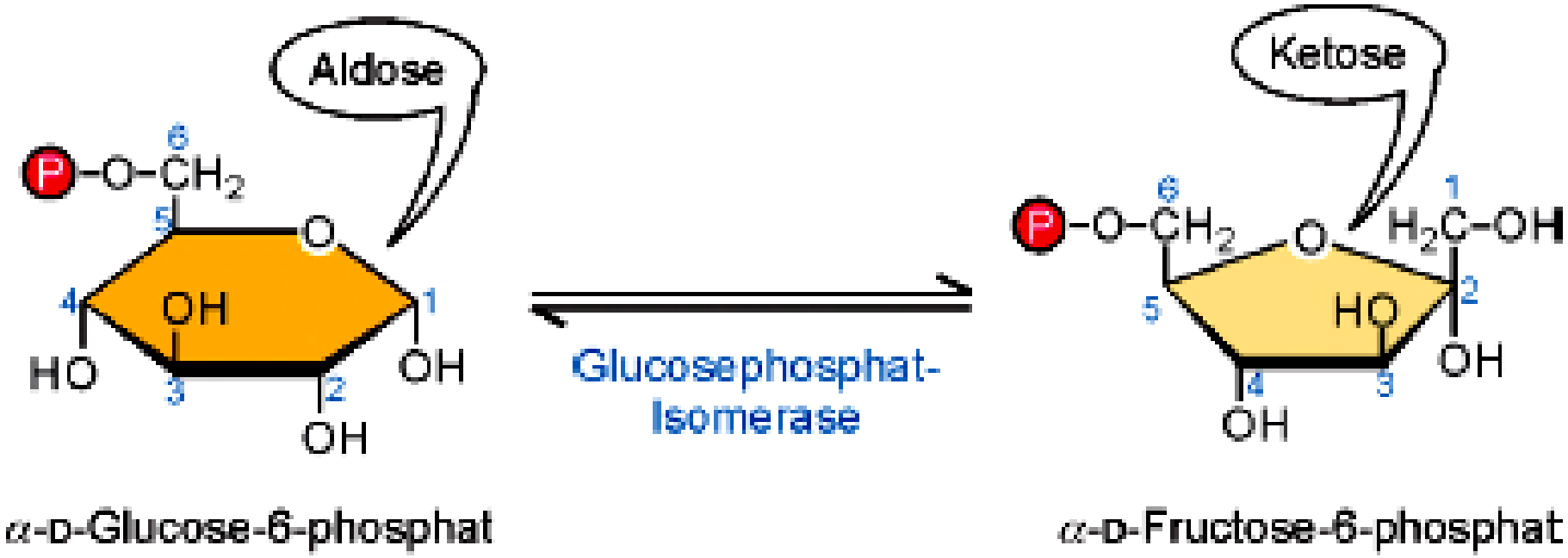
التحلل السكري

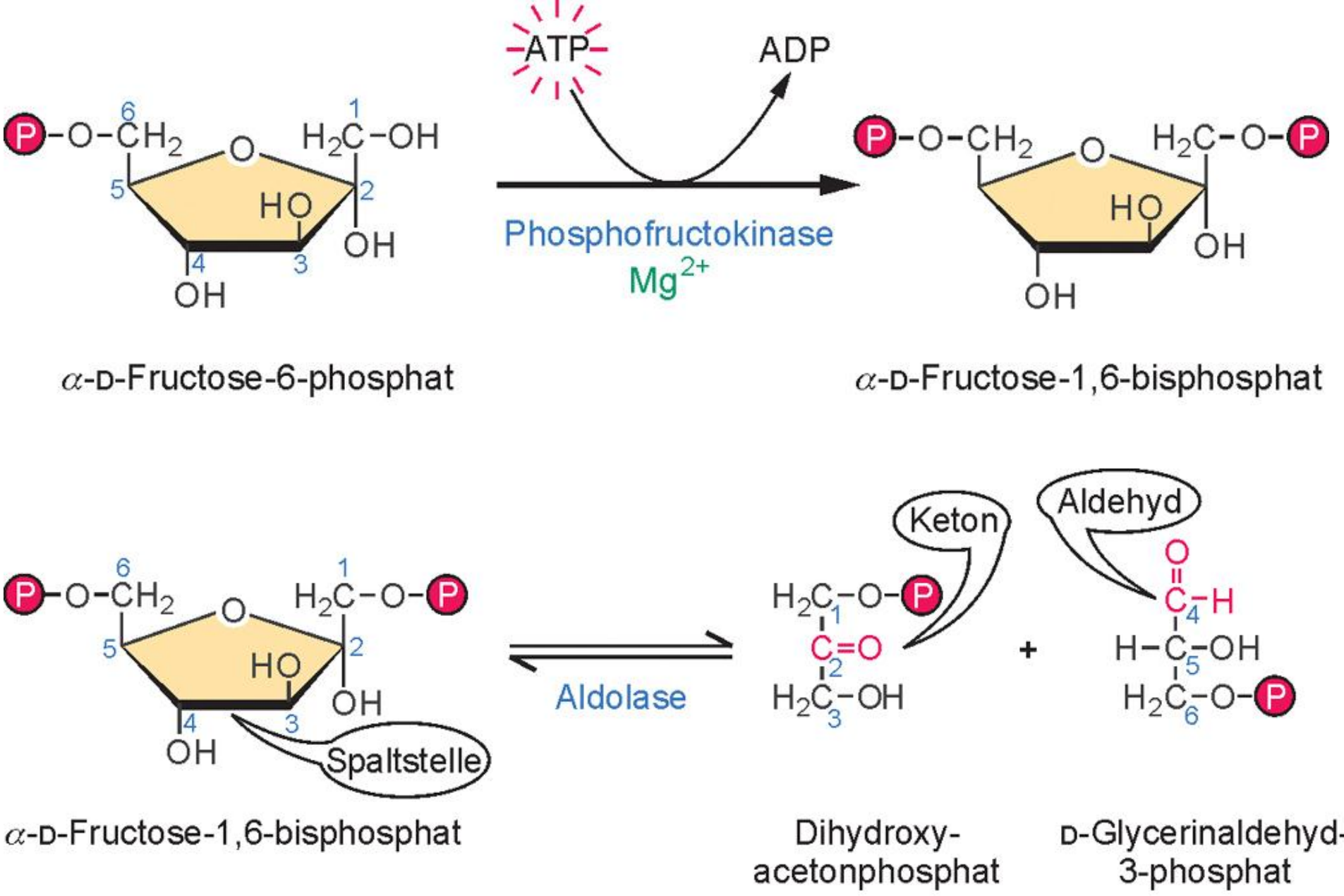
- الطور الأول: تشكل التريوزات
- الطور الثاني: اصطناع ATP

Glycolysisالتحلل السكري

Glycolysis التحلل السكري

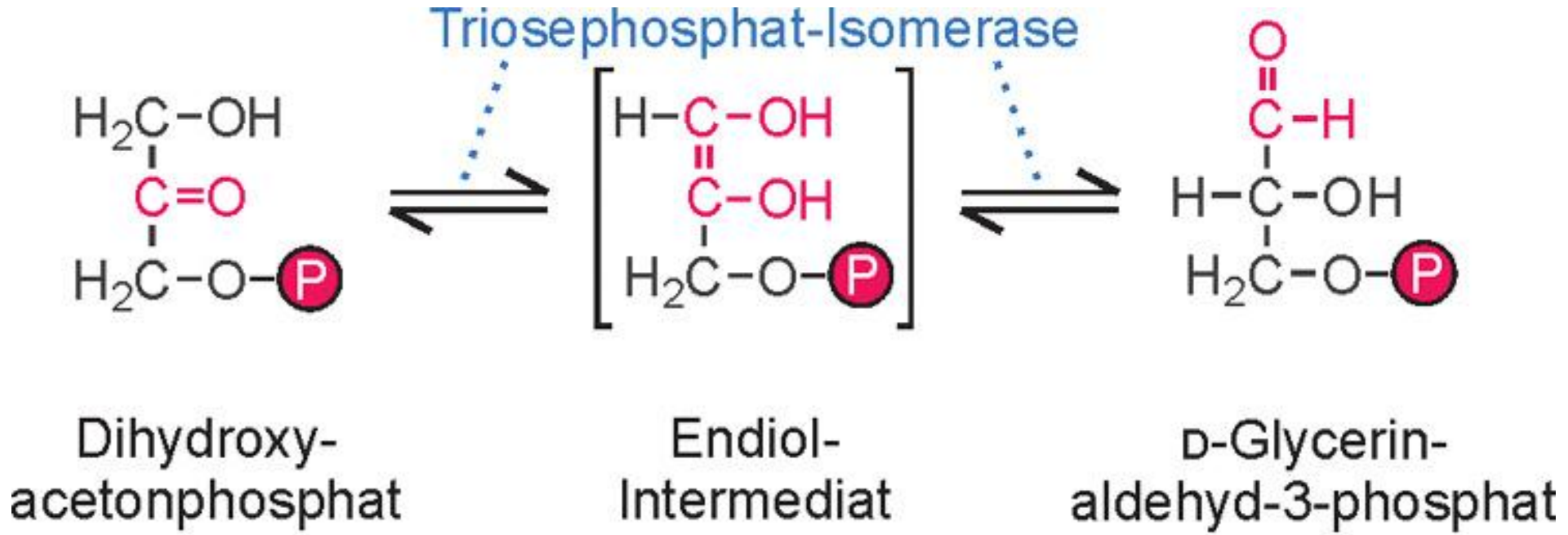




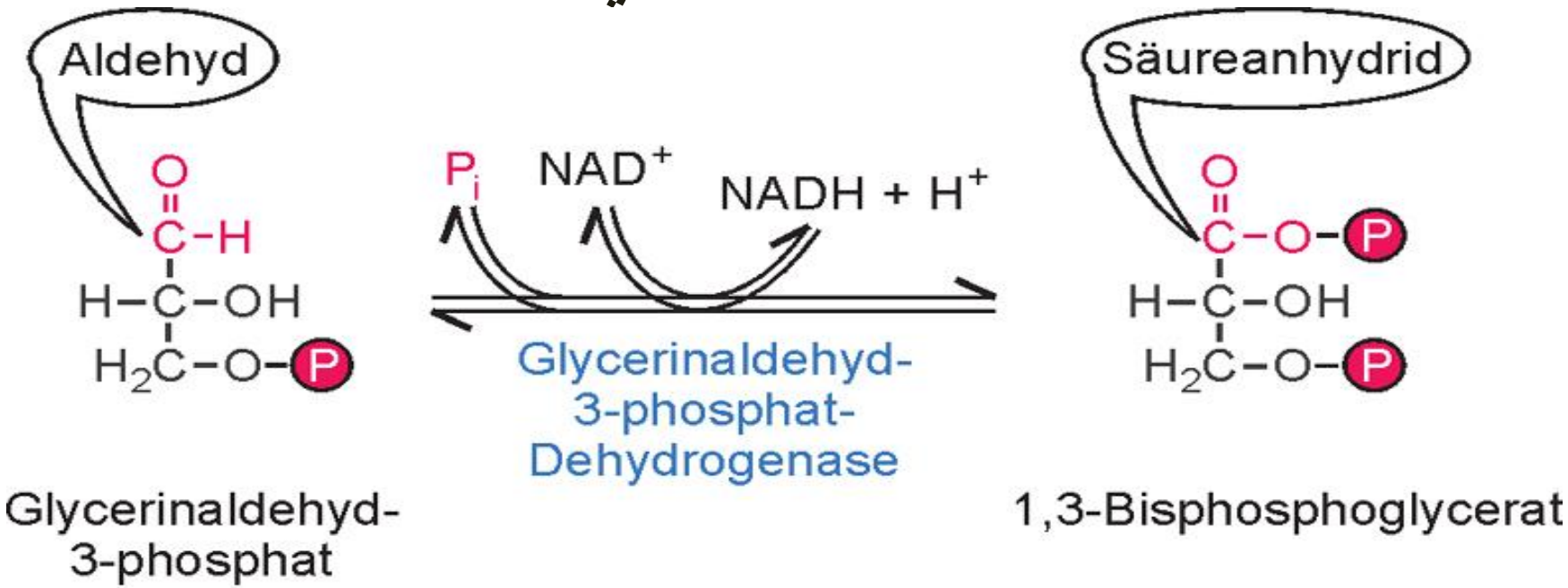


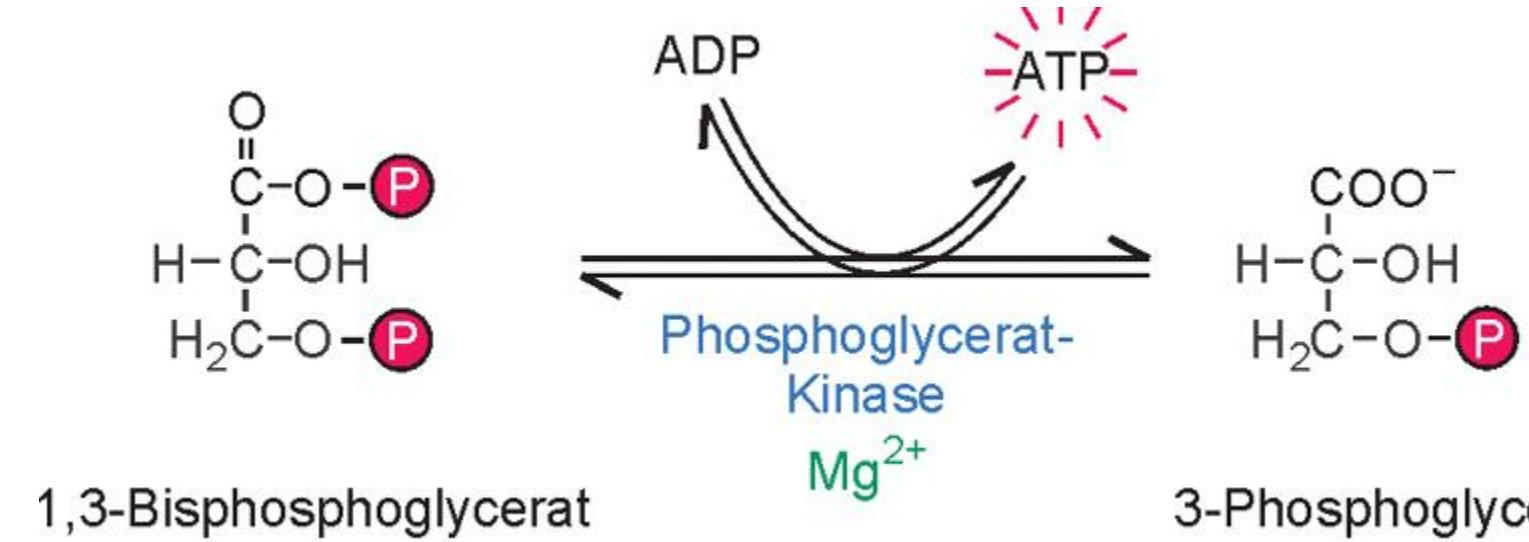
Aus Müller-Esterl, *Biochemie*, © 2004 Elsevier GmbH

التحلل السكري

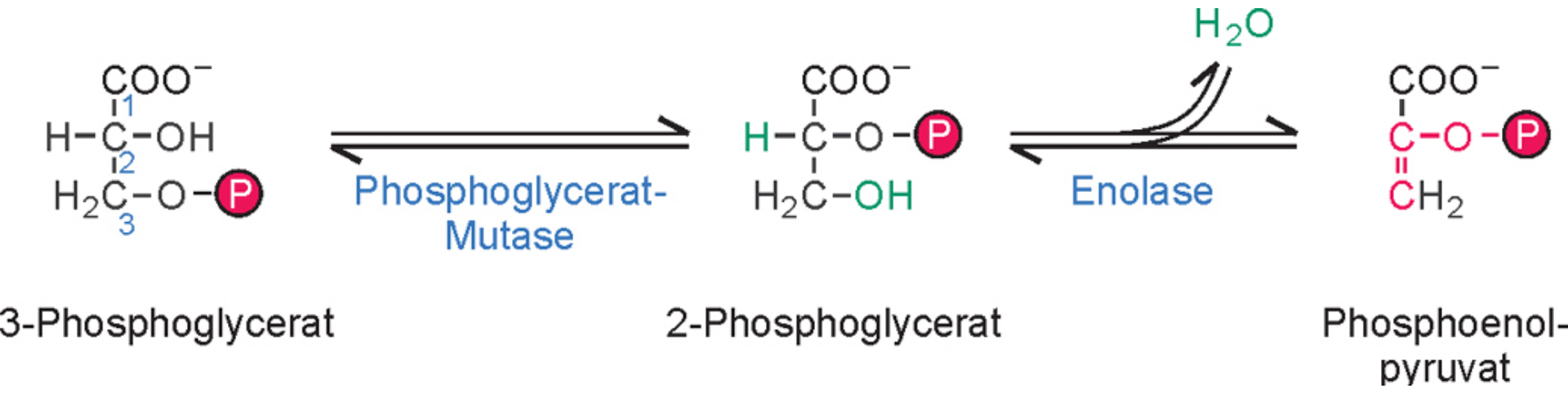


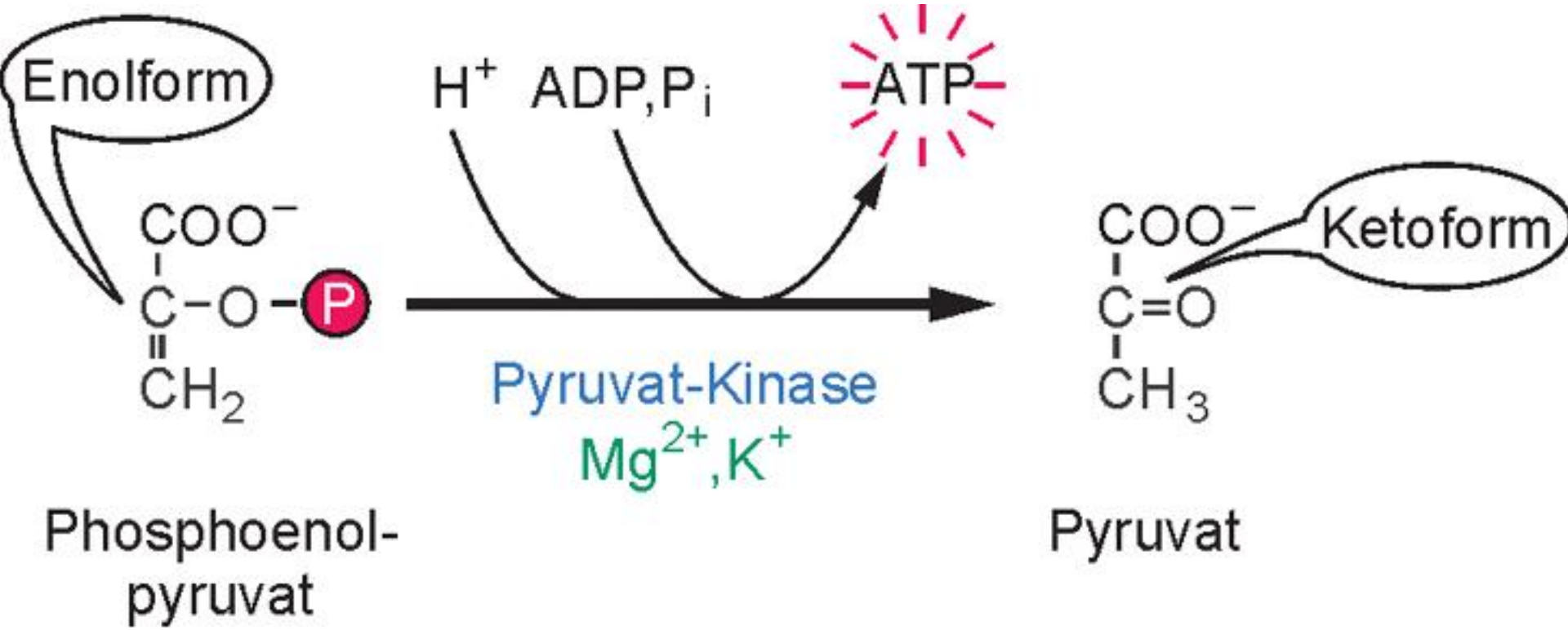
التحلل السكري



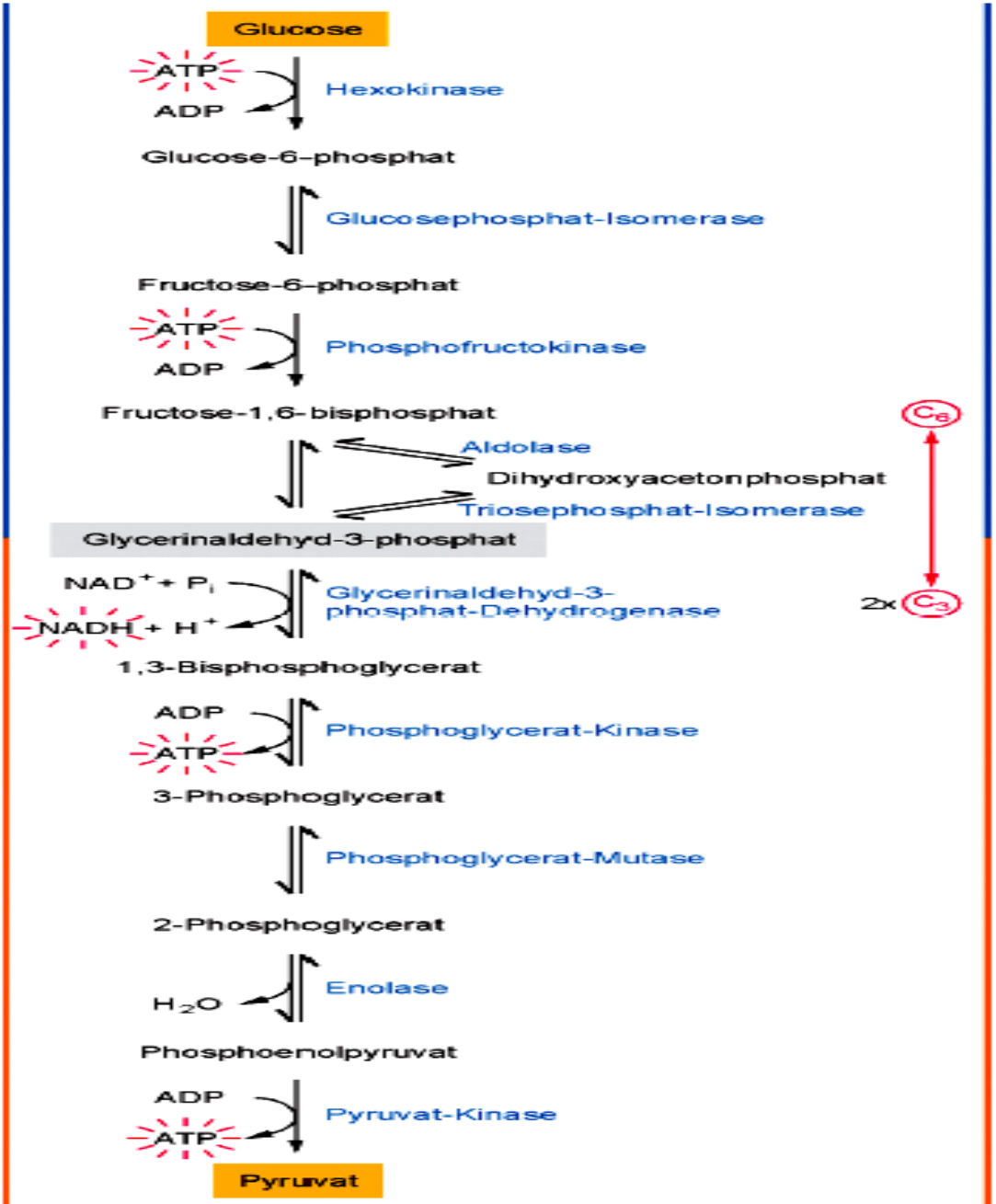


التحلل السكري





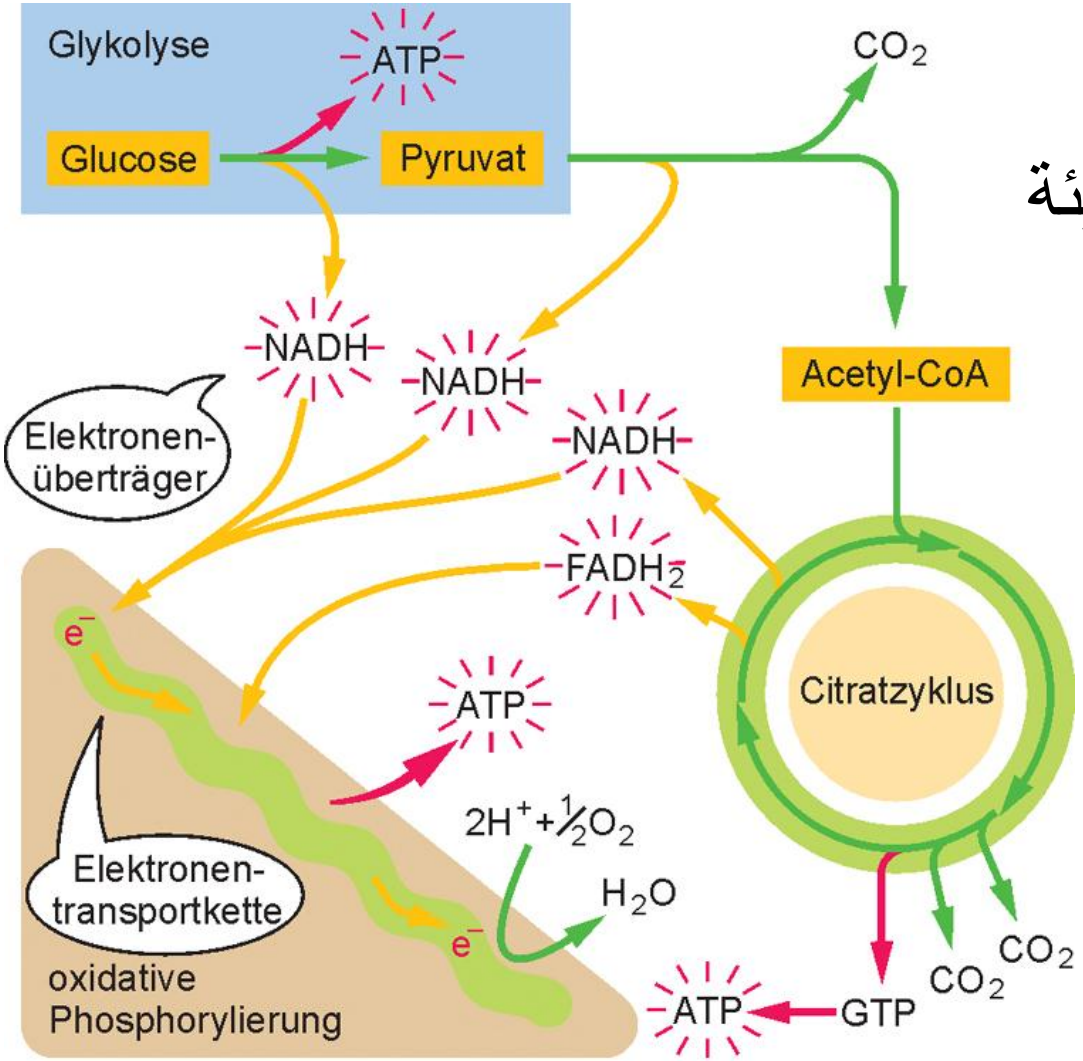
محصلة الطاقة الناتجة عن التحلل السكري:



عدد جزيئات ATP= 8 جزيئة

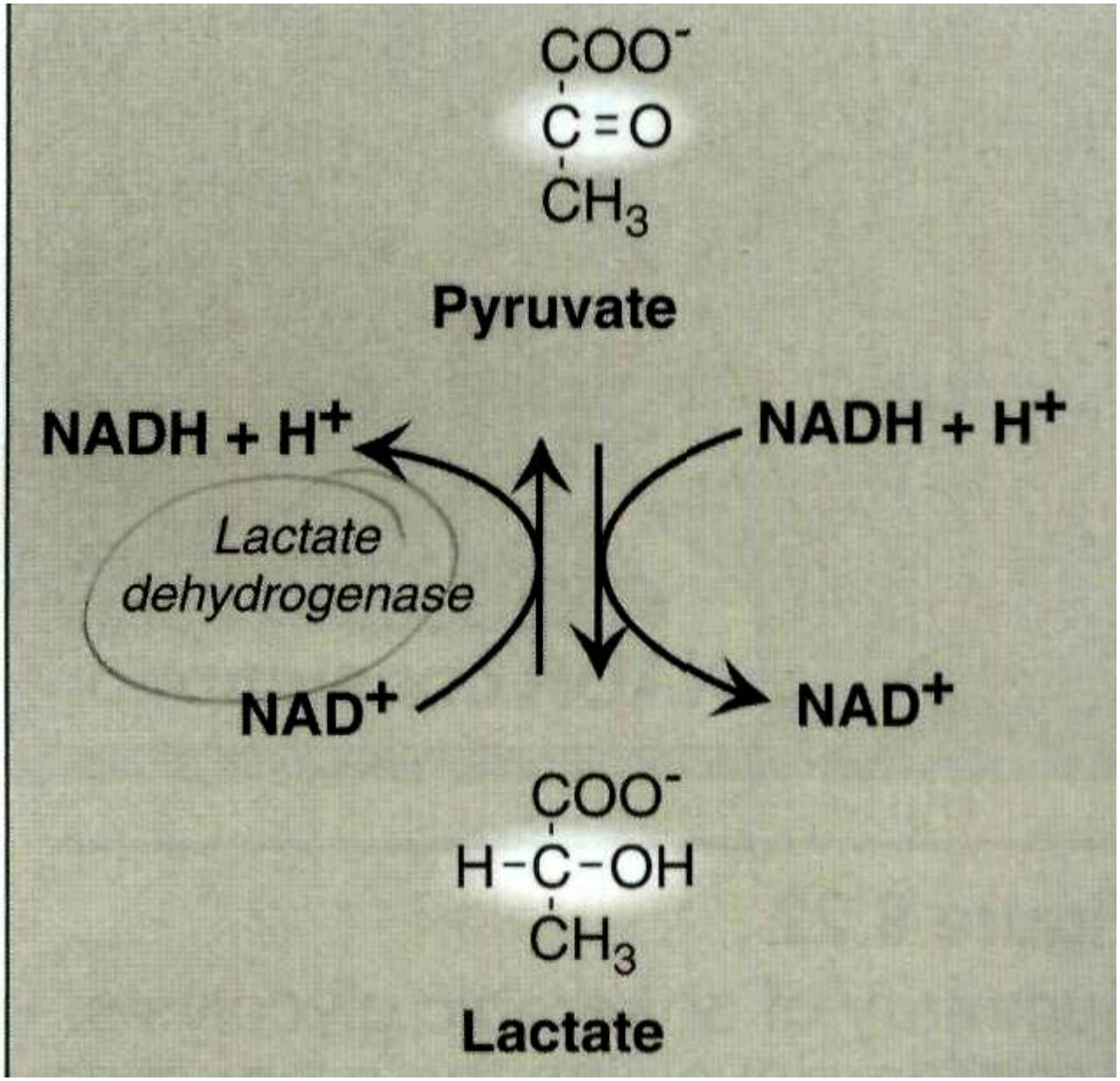
الاستقلاب الهوائي للغلوكوز
Aerobic Metabolism of Glucose

Pyruvate + Co A + $NAD^+ \longrightarrow 2CO_2$ + Acetyl-Co A + NADH + H^+

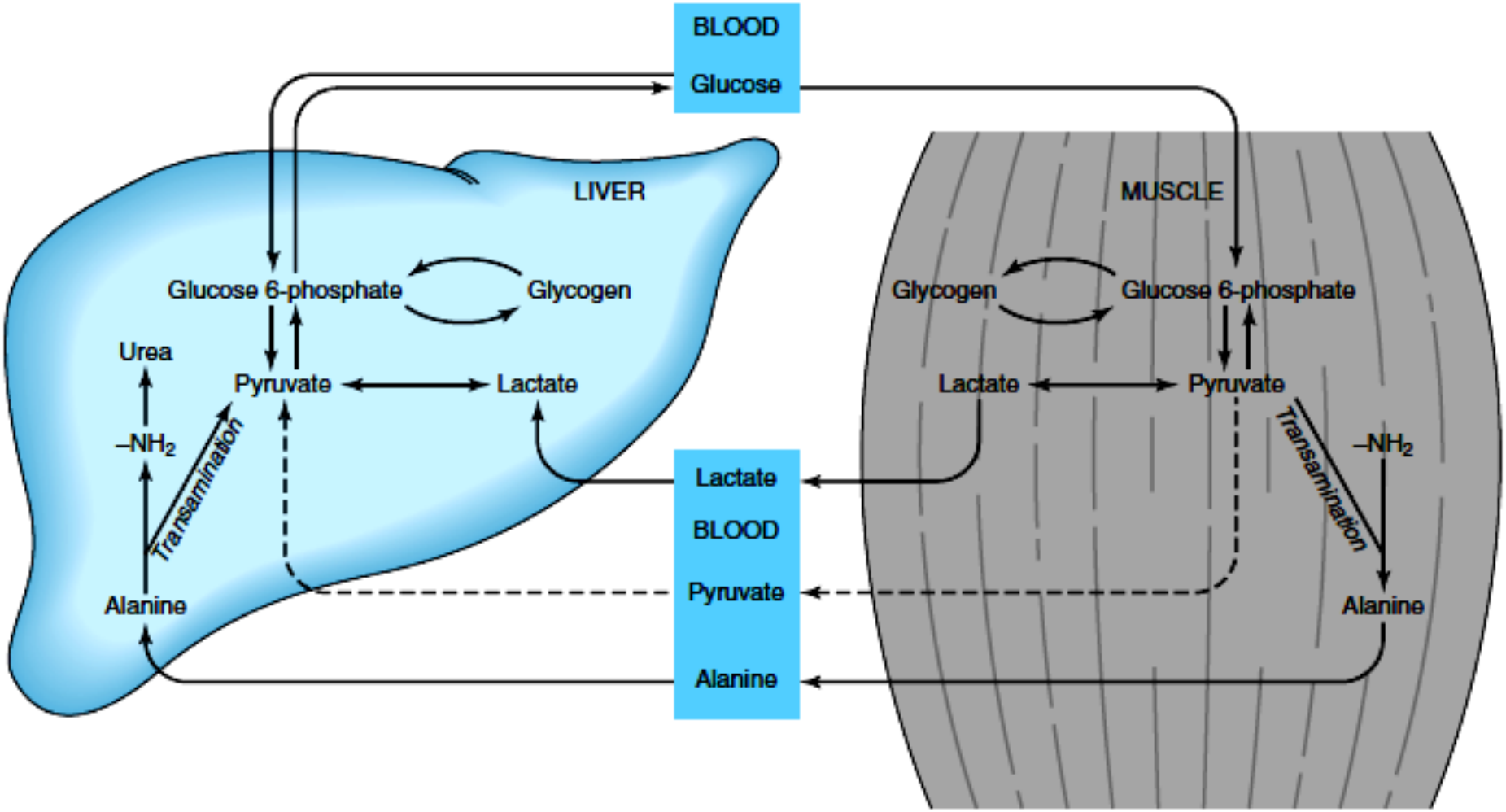


عدد جزيئات ATP= 38 جزيئة

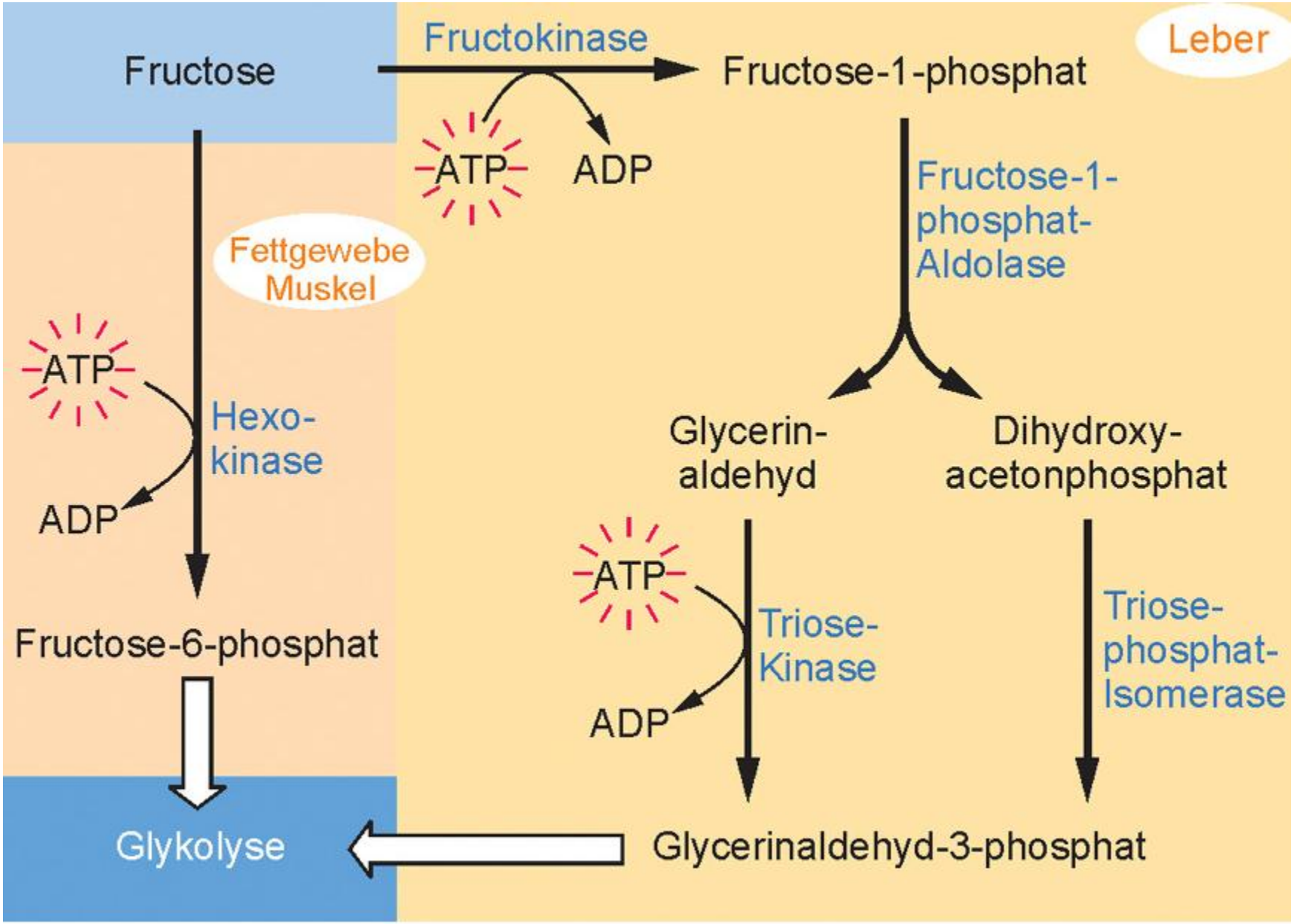
الاستقلاب في الشروط اللاهوائية



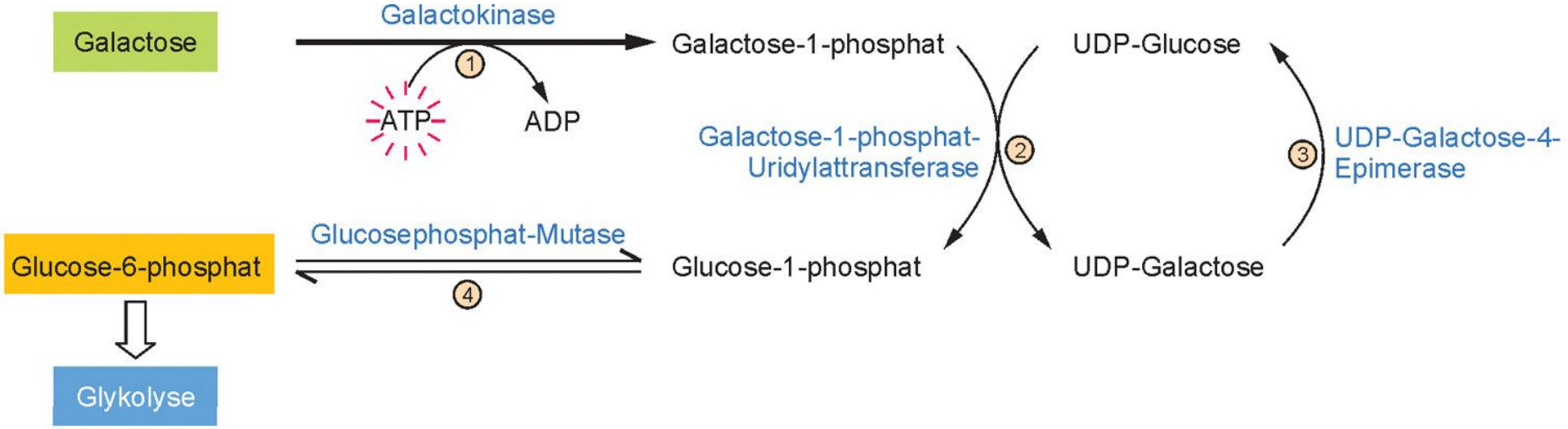
الاستقلاب في الشروط اللاهوائية

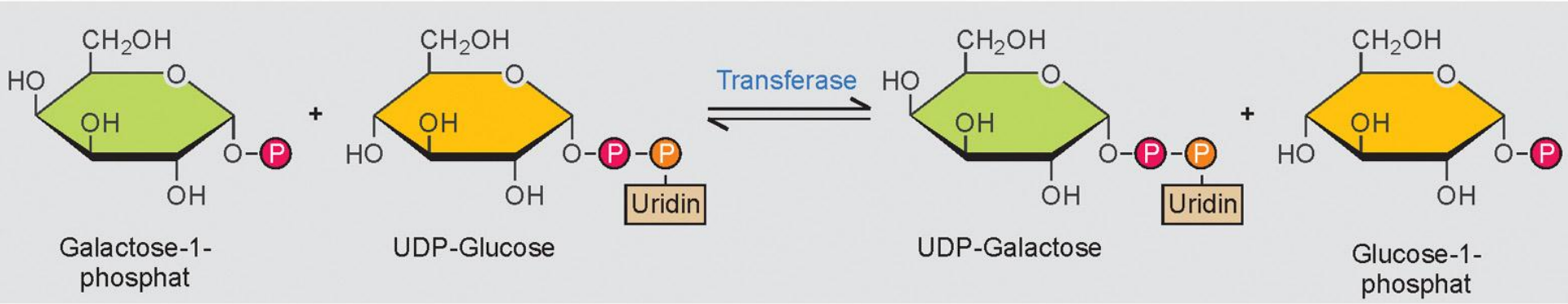


استقلاب الفركتوز



استقلاب الغالاكتوز

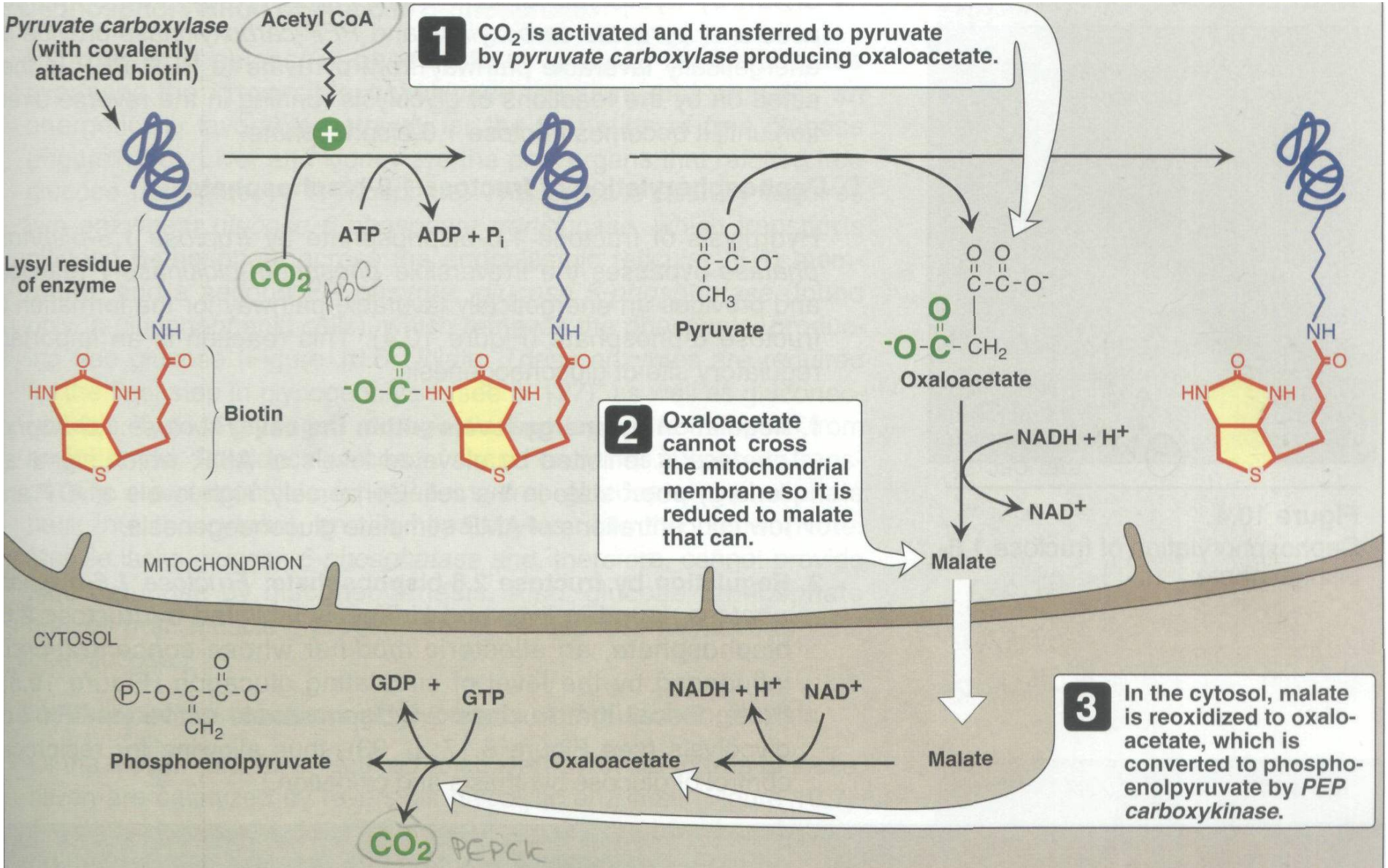




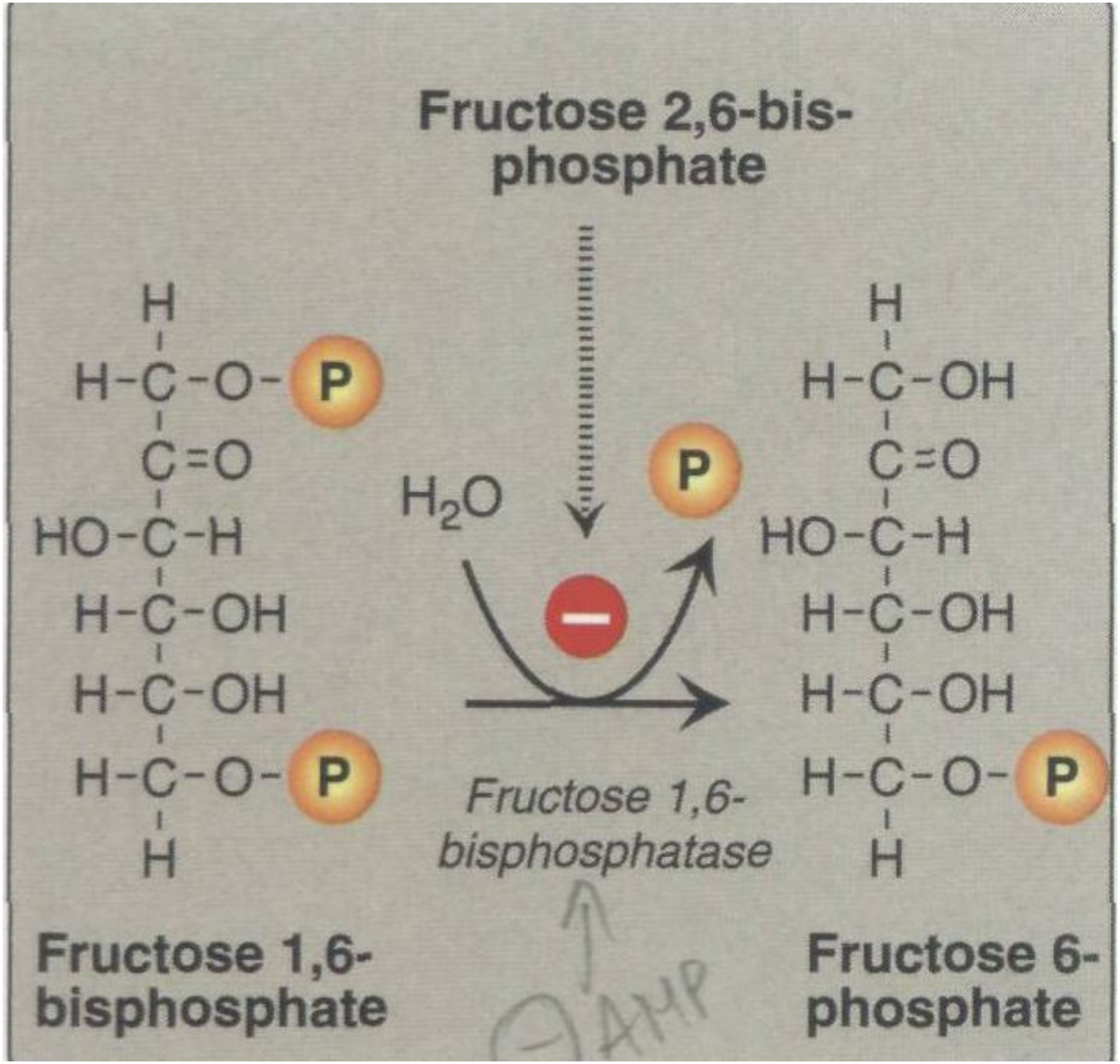
Aus Müller-Esterl, *Biochemie*, © 2004 Elsevier GmbH

استحداث السكر

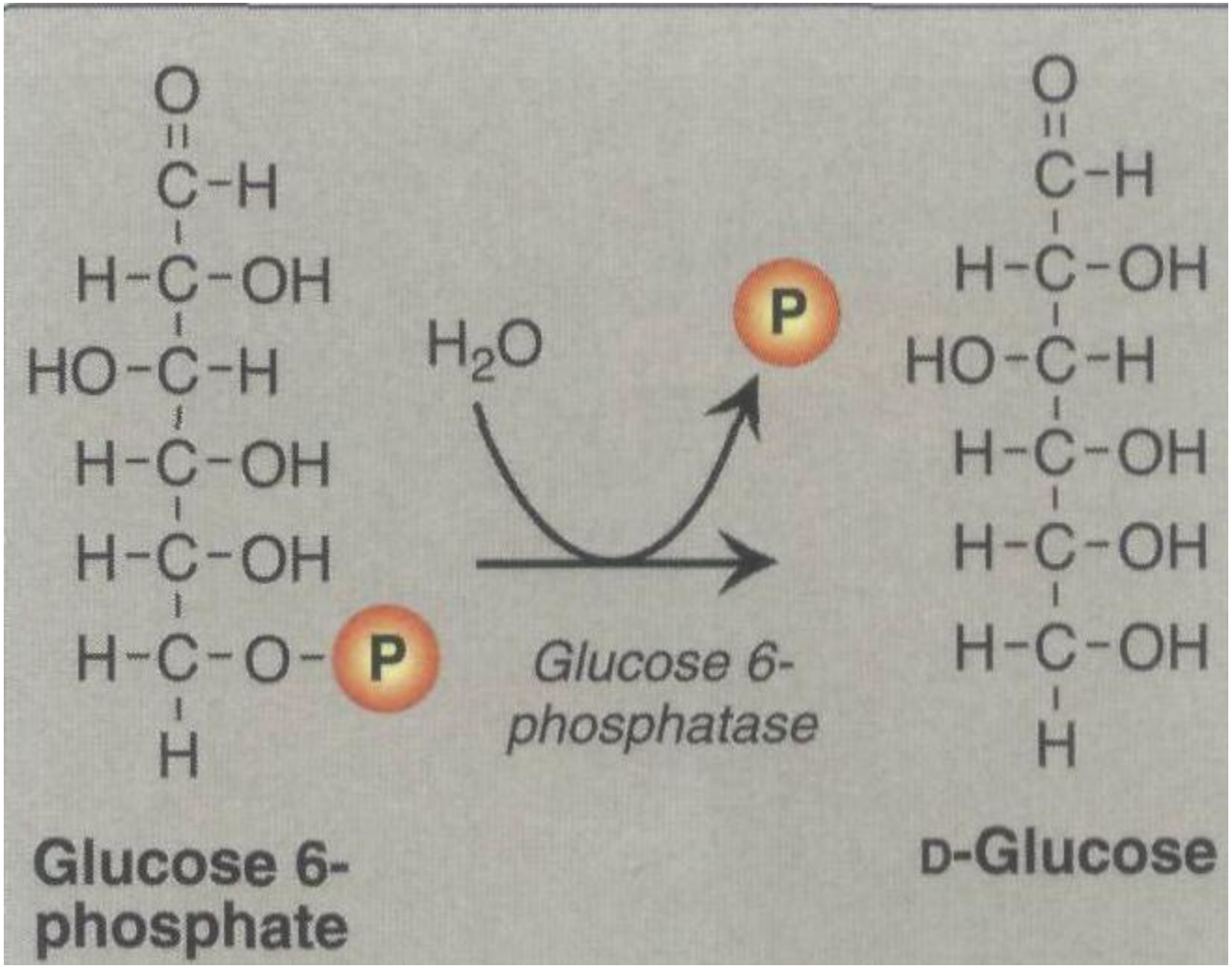
استحداث السكر



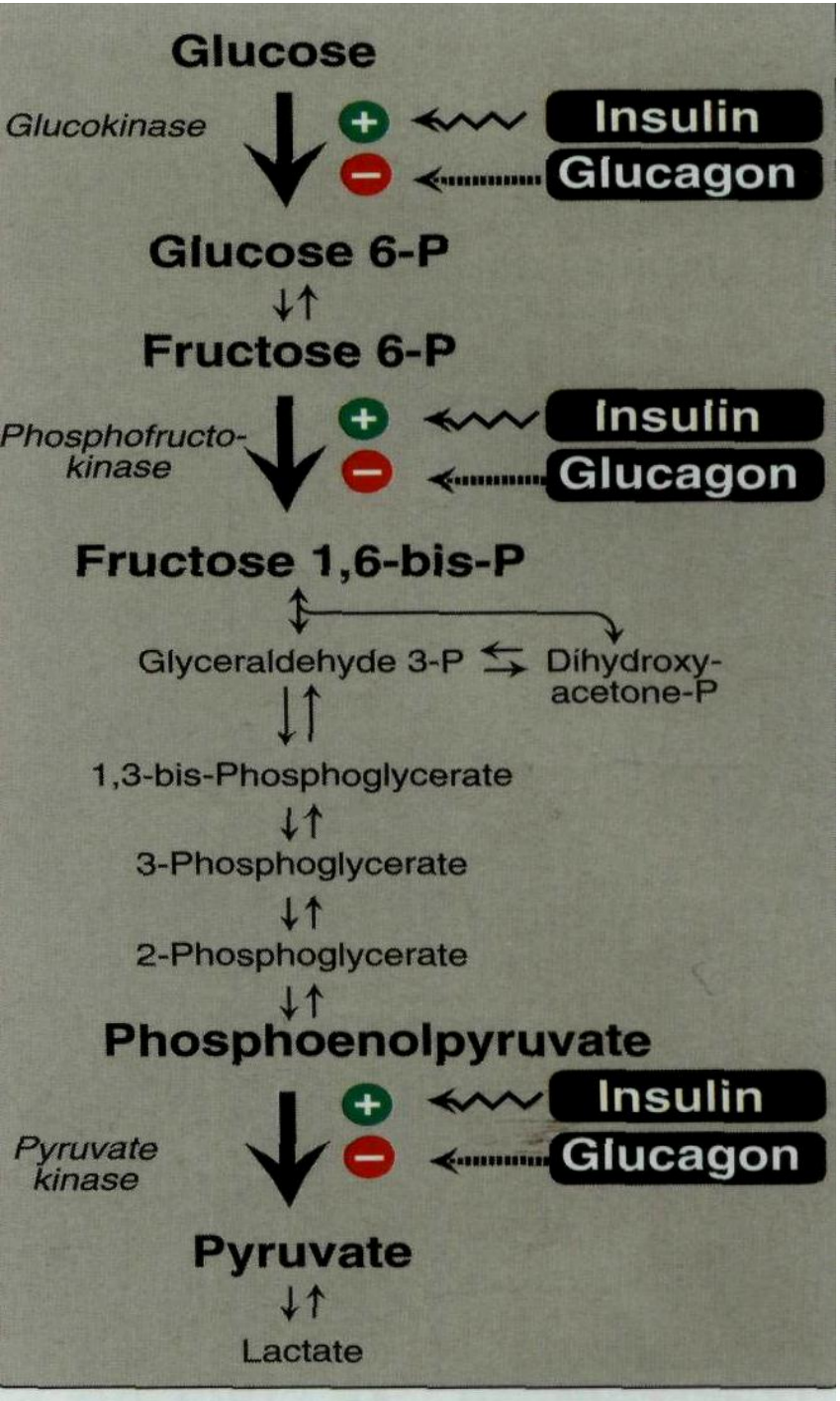
استحداث السكر



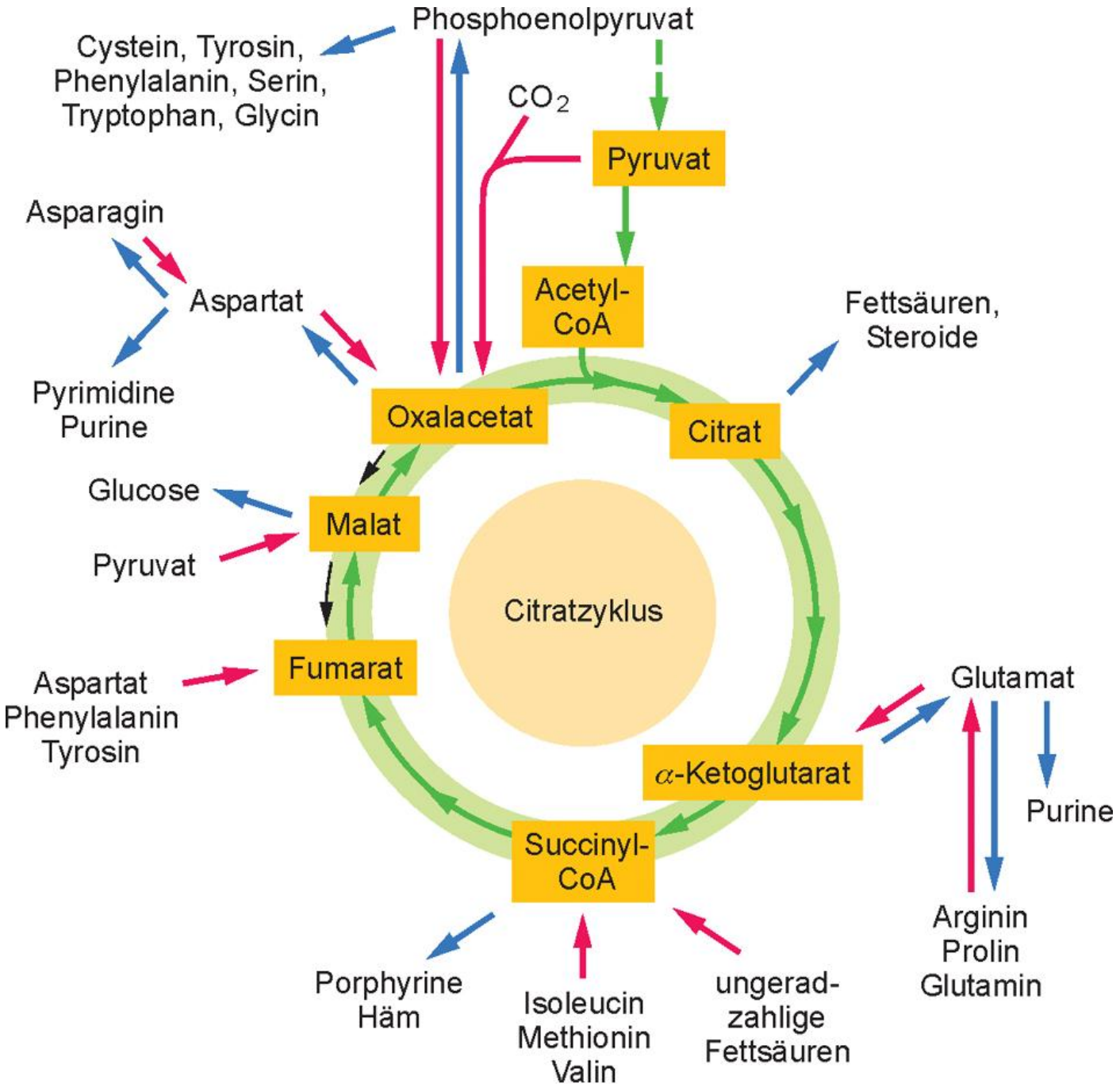
استحداث السكر



تنظيم استقلاب السكريات ودور الهرمونات



- الانسولين
- الغلوكانون
- الأدرينالين
- هرمونات القشرية السكرية



Aus Müller-Esterl, *Biochemie*, © 2004 Elsevier GmbH