



كيمياء حيوية 2

الأيض (التمثيل الغذائي)

طلاب الفرقة الرابعة عام بكلية التربية بالغردقة

شعبة العلوم البيولوجية

الترم الثاني 2023/2022

د/ حسين حسن عباس تميرك



الايض

اعداد: (Ass. Prof. Dr. Hussien Temerk)

كلية العلوم

قسم الكيمياء

العام الجامعي

2022/2021

بيانات الكتاب

الكلية: التربية

الفرقة: الثالثة

التخصص: كيمياء

تاريخ النشر: 2021

عدد الصفحات: 41

المحتوى

<u>الصفحات</u>	<u>الموضوعات</u>
4	مقدمه
4	تقسيم العمليات الايضيه
5	هضم الكربوهيدرات
7-6	ايض السكريات
13-8	خطوات تحلل الجلوكوز
14	التفاعلات اللاهوائية للبيروفيت
15	التفاعلات الهوائية للبيروفيت
20-16	دورة كيربس
21	محصلة الطاقة الناتجة من دورة كريس
22	بناء الجلايوجين
23	استحداث الجلايوجين
26-23	تحليل الجلايوجين
28-27	هضم البروتينات
29	اهمية الاحماض الامينيه
32-29	ايض الاحماض الامينيه
35-32	دورة اليوريا
38-36	التمثيل الغذائي للبيدات
41-39	الفيتامينات

Metabolism (الأيض)

• تُعرف العمليات الأيضية : التمثيل الغذائي على أنها مجموع كل التفاعلات الكيميائية للجزيئات الحيوية التي تحدث داخل الخلية.



عملية الهدم: هي عملية تكسير الجزيئات الحيوية الكبيرة كالبروتينات، الكربوهيدرات، الدهون، والأحماض النووية إلى جزيئات أصغر منها كالأحماض الأمينية، السكريات الأحادية، الأحماض الدهنية، والنيوكليوتيدات.

عملية البناء: في هذه العملية تُستخدم الجزيئات الصغيرة كمواد أولية تدخل في تفاعلات عديدة لإنتاج جزيئات أكبر وأكثر تعقيداً .

ملاحظة: عمليتا الهدم والبناء عمليتان منفصلتان وغير متعاكستان، فعملية الهدم تتم لإنتاج الطاقة وعملية البناء تحتاج إلى الطاقة.

هضم الكربوهيدرات

في الفم:

- يتم تحلل النشا إلى مالتوز وسلاسل من السكريات العديدة بواسطة إنزيم أميليز اللعاب وذلك بكسر الرابطة الجلايكوسيدية ($\alpha-1 \rightarrow 4$)
- يتوقف عمل هذا الإنزيم عند وصوله مع الطعام إلى المعدة بسبب درجة حموضتها الشديدة.

في المعدة:

- لا يوجد هضم للمواد السكرية.

في الأمعاء:

- يُكمل إنزيم أميليز البنكرياس ما بدأه أميليز اللعاب ويُحطم المزيد من الروابط الجلايكوسيدية لينتج خليط من السكريات الثنائية.
- تُفرز الإنزيمات الخاصة بهضم السكريات الثنائية مثل إنزيم اللاكتيز، السكريز، والمالتيز ليكون الناتج النهائي خليط من السكريات الأحادية.
- يتم إمتصاص السكريات الأحادية من خلال الغشاء الطلائي المبطن للأمعاء الدقيقة.
- وبعد الإمتصاص يتم نقلها في الدم إلى الكبد، حيث يعمل الكبد على تحويل السكريات الأحادية المتنوعة مثل الفركتوز والجلالكتوز إلى جلوكوز لتستفيد منه باقي الخلايا.
- يتم نقل الجلوكوز بواسطة الدم إلى أنسجة الجسم المختلفة ليتم إستغلاله بالطرق الآتية:

1 - أكسدة الجلوكوز لإنتاج الماء، ثاني أكسيد الكربون، والطاقة عن طريق تحلل الجلوكوز ودورة كريس.

2 -تحويل الجلوكوز إلى مكونات أخرى ذات أهمية بيولوجية مثل:

- الريبوز والديوكسي رايبوز لتصنيع الأحماض النووية.

- الفركتوز يدخل في تكوين السائل المنوي.

- حمض الجلوكيورونك في الكبد وهو هام للتفاعلات التي يتم فيها تحويل المواد السامة إلى مواد غير سامة.

- سكريات أمينية لصنع السكريات المتعددة المخاطية.

تخزين الفائض منه:

• يتم تخزين الجلوكوز في الكبد والعضلات على هيئة جلايكوجين بواسطة عملية تسمى الجليكو جينيسس .
Glycogenesis .

• يتم تخزينه في الكبد والنسيج الشحمي على هيئة دهون متعادلة عن طريق عملية تسمى ليبوجينيسس
Lipogenesis

أيض السكريات

Glycolysis	- تحليل الجلوكوز
Krebs Cycle	- دورة كربس
Glycogenesis	- بناء الجلايكوجين
Gluconeogenesis	- إستحداث الجلايكوجين
Glycogenolysis	- تحليل الجلايكوجين

تحلل الجلوكوز Glycolysis

هو عبارة عن تحلل (تكسر) سكر الجلوكوز 6 ذرات كربون إلى جزيئين من البيروفيت (Pyruvate) 2 جزيء 3 X ذرات كربون من خلال 10 تفاعلات إنزيمية محفزة.

أهمية عملية تحلل الجلوكوز:

- تُعتبر هذه العملية بمثابة المرحلة الممهدة للأكسدة الكاملة لجزيء الجلوكوز ليعطي: ماء + ثاني أكسيد الكربون + طاقة (ATP)

- تزويد الخلية ببعض المركبات الحيوية اللازمة لعمليات البناء.

• تتم جميع التفاعلات الإنزيمية لعملية الجليكوليسيس في سيتوبلازم جميع خلايا الكائنات الحية.

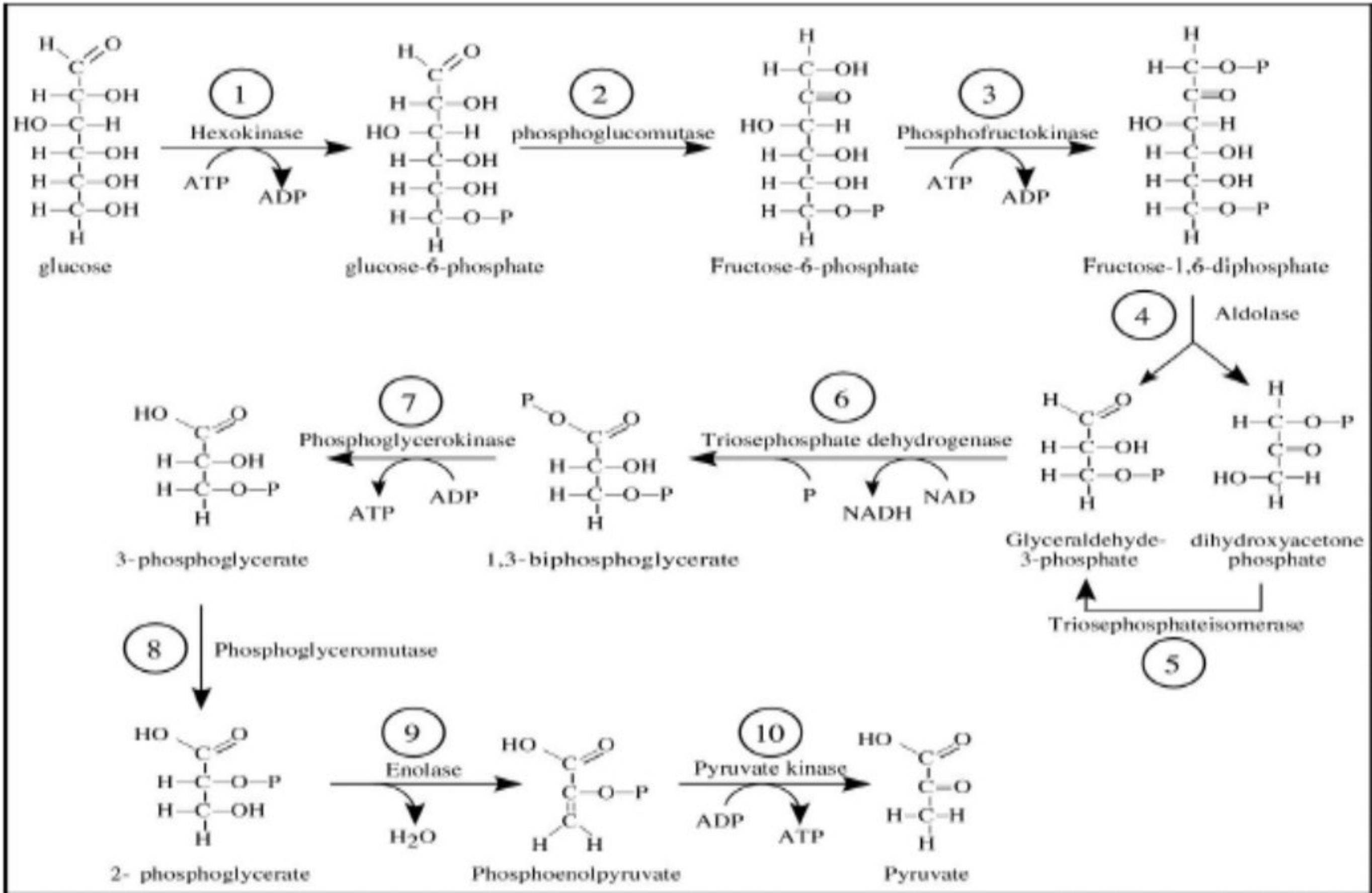
مراحل تحلل الجلوكوز:



• المرحلة الأولى : المرحلة التحضيرية (تتكون من خمسة تفاعلات إنزيمية) 1 إلى 5 تبدأ بالجلوكوز وتنتهي بالجليسر أدهيد 3- فوسفات ويتم في هذه التفاعلات إستهلاك للطاقة.

• المرحلة الثانية :مرحلة حفظ الطاقة تتكون من خمسة تفاعلات إنزيمية 6 إلى 10 (تبدأ بتحول الجليسر أدهيد

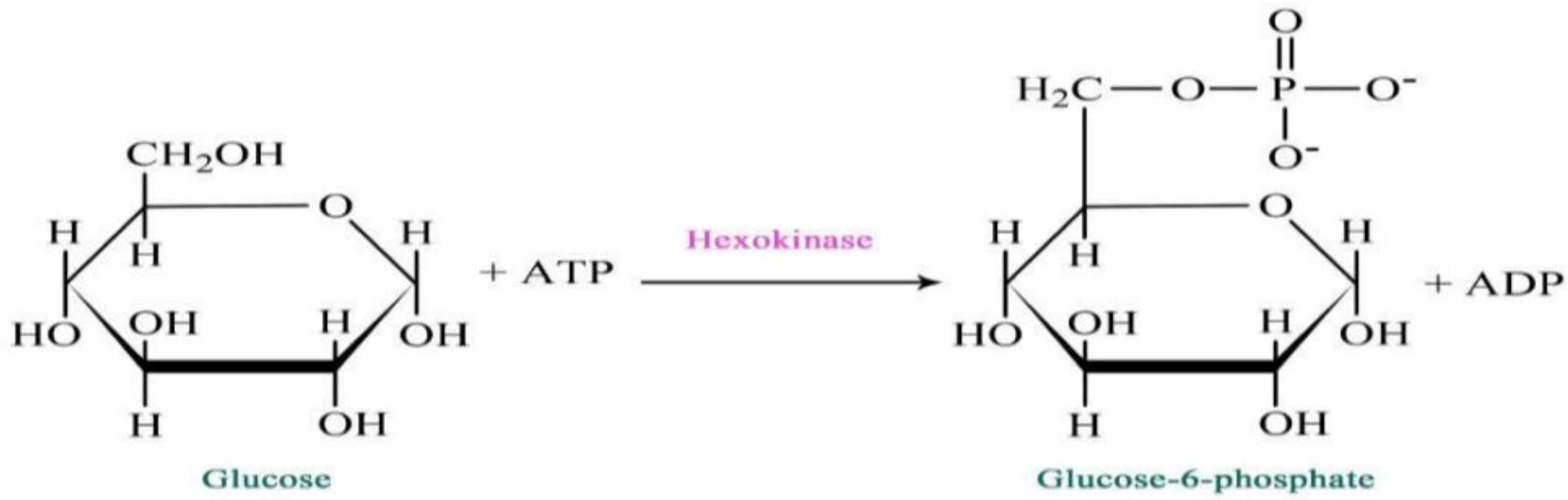
3- فوسفات وتنتهي بتكوين البيروفيت ويتم فيها إنتاج الطاقة



خطوات تحلل الجلوكوز

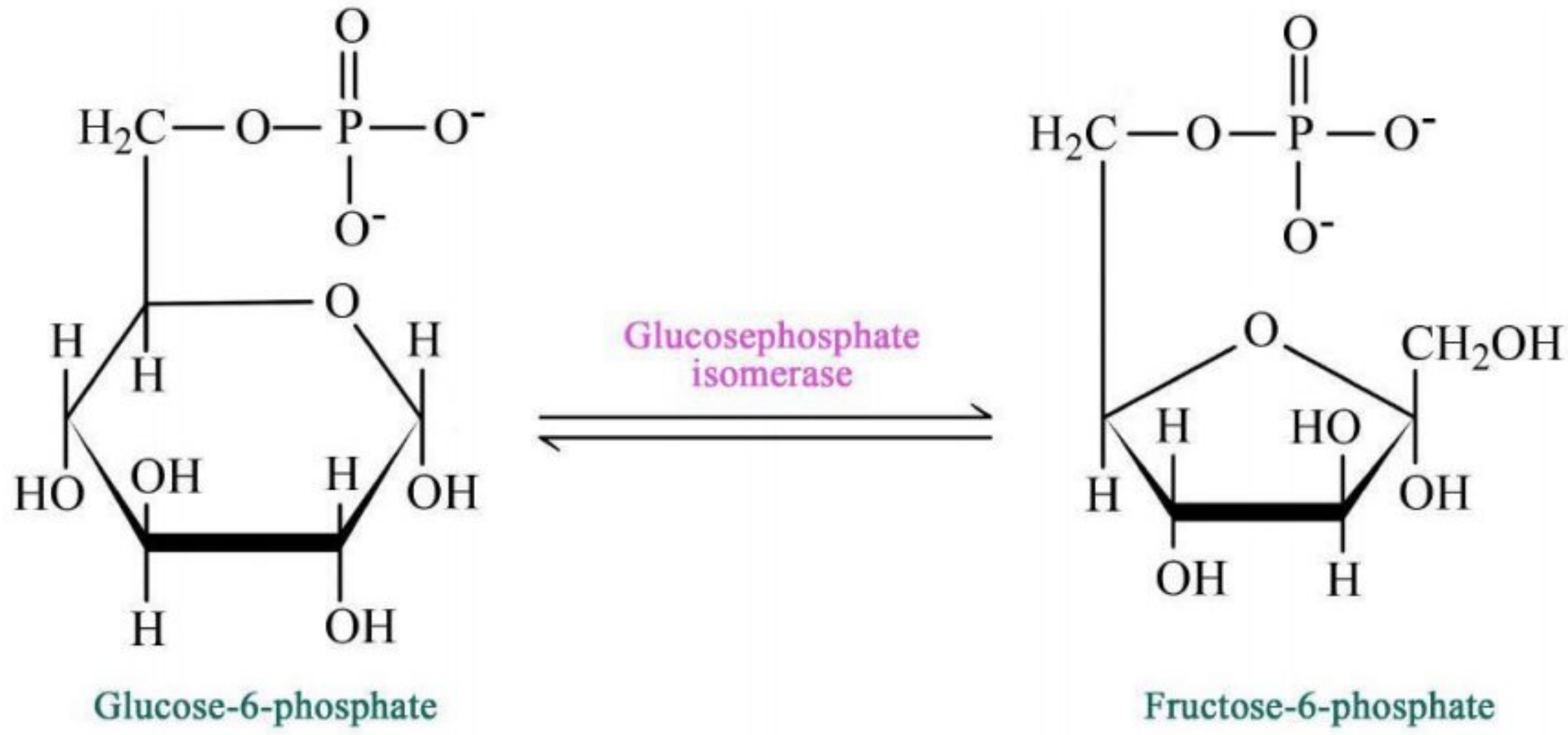
(١) تحويل الجلوكوز إلى جلوكوز 6 -فوسفات:

- يتم إستهلاك جزيء ATP لتحويل جزيء جلوكوز إلى جلوكوز 6 -فوسفات بواسطة إنزيم الهكسوكينيز (Hexokinase) (في تفاعل غير عكسي في وجود أيون الماغنسيوم (Mg^{+2}) أو المنجنيز (Mn^{+2}))
- إذا زاد تركيز الجلوكوز 6 -فوسفات المنتج فإنه يُثبِّط عمل إنزيم الهكسوكينيز، لذلك فهو يُمثِّل أحد نقاط التحكم في عملية تحلل الجلوكوز



(٢) تحويل الجلوكوز 6 -فوسفات إلى فركتوز 6 -فوسفات:

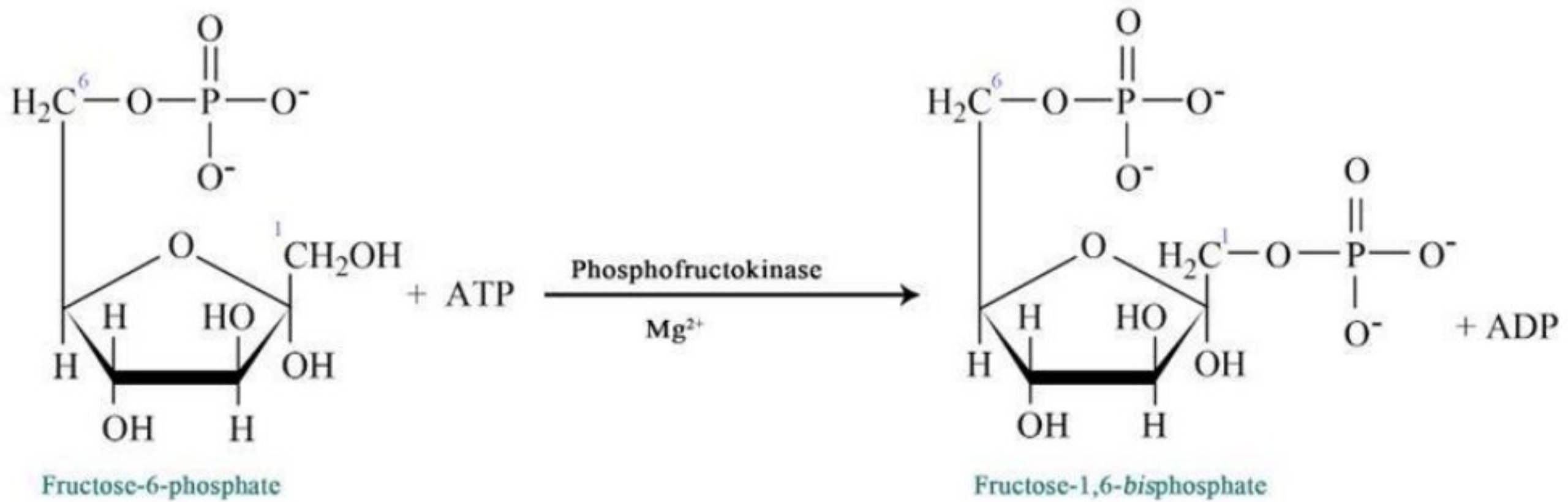
- يُحفز إنزيم الفوسفوجلوكوز أيسومريز (Phosphoglucoseisomerase) تحويل الجلوكوز 6 -فوسفات إلى فركتوز 6 -فوسفات في تفاعل عكسي.
- يحتاج هذا الإنزيم إلى أيونات الماغنسيوم (Mg^{+2}) أو المنجنيز (Mn^{+2})



3- تحويل الفركتوز 6-فوسفات إلى فركتوز 1،6 ثنائي الفوسفات:

• يحتاج إنزيم الفوسفوفركتو كايبيز إلى أيونات الماغنسيوم (Mg^{+2}) حيث يُستهلك جزيء واحد من الطاقة (ATP) لإنتاج الفركتوز 1،6 ثنائي الفوسفات.

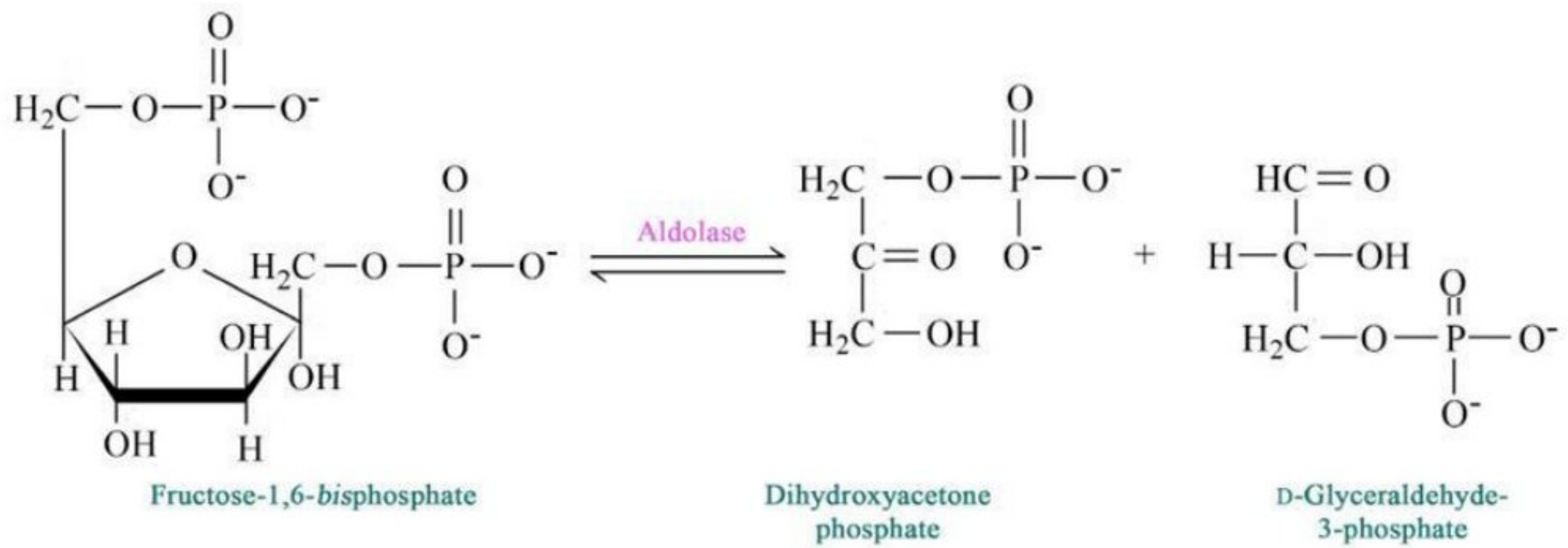
• يُعتبر هذا التفاعل تفاعل غير عكسي حيث يُمثل هذا الإنزيم أحد نقاط التحكم في عملية تحلل الجلوكوز.



4) إنشطار مركب الفركتوز 1،6 ثنائي الفوسفات:

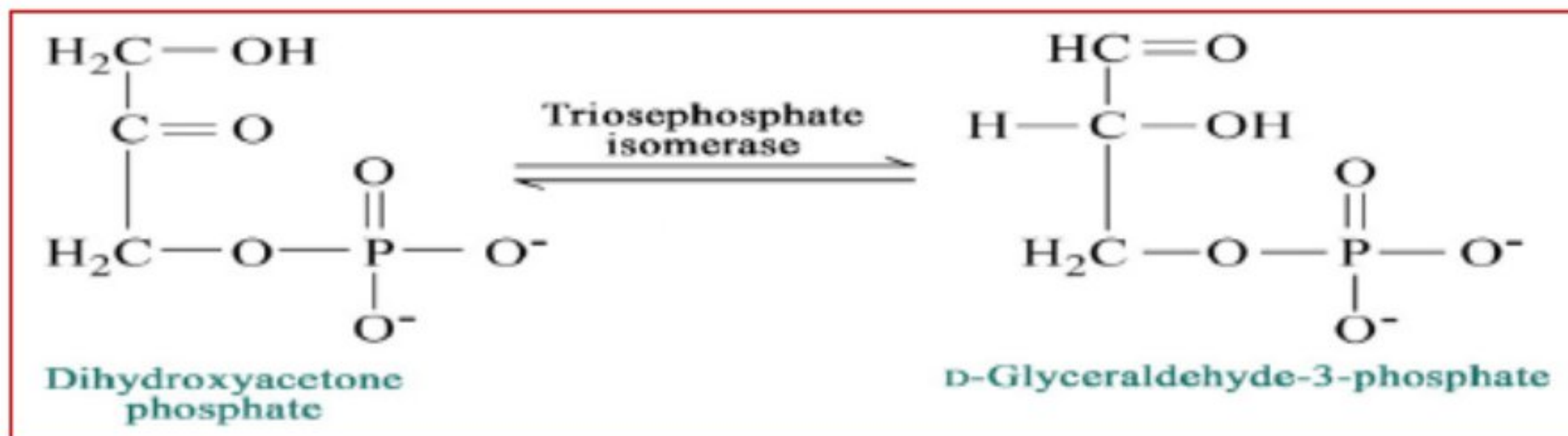
• ينشطر الفركتوز 1،6 ثنائي الفوسفات (6 ذرات كربون) ليعطي جزيئين سكر ثلاثي وهما ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات (3 ذرات كربون) وجليسر ألدهيد

3- فوسفات (3 ذرات كربون) بواسطة إنزيم الألدوليز Aldolase



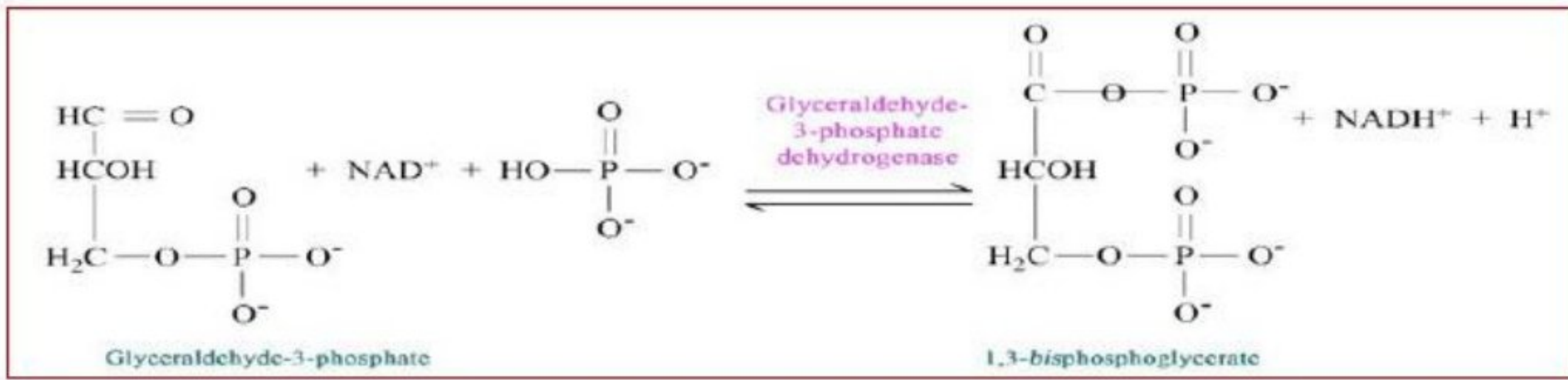
(5) تحول السكريات الثلاثية الفوسفاتية:

- بواسطة إنزيم الترايوز فوسفات أيزوميراز (Triose Phosphate Isomerase) يتم تحويل ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات إلى جليسر ألدهيد 3 -فوسفات الذي يقوم بدوره بإكمال عملية تحلل الجلوكوز.
- وبهذا تكون حصيلة المرحلة التحضيرية هي تحلل جزيء جلوكوز إلى جزيئين من الجليسر ألدهيد 3 -فوسفات وإستهلاك جزيئين من الطاقة ATP



(6) تحول الجليسر ألدهيد 3 -فوسفات إلى 1،3 ثنائي فوسفوجليسيريت:

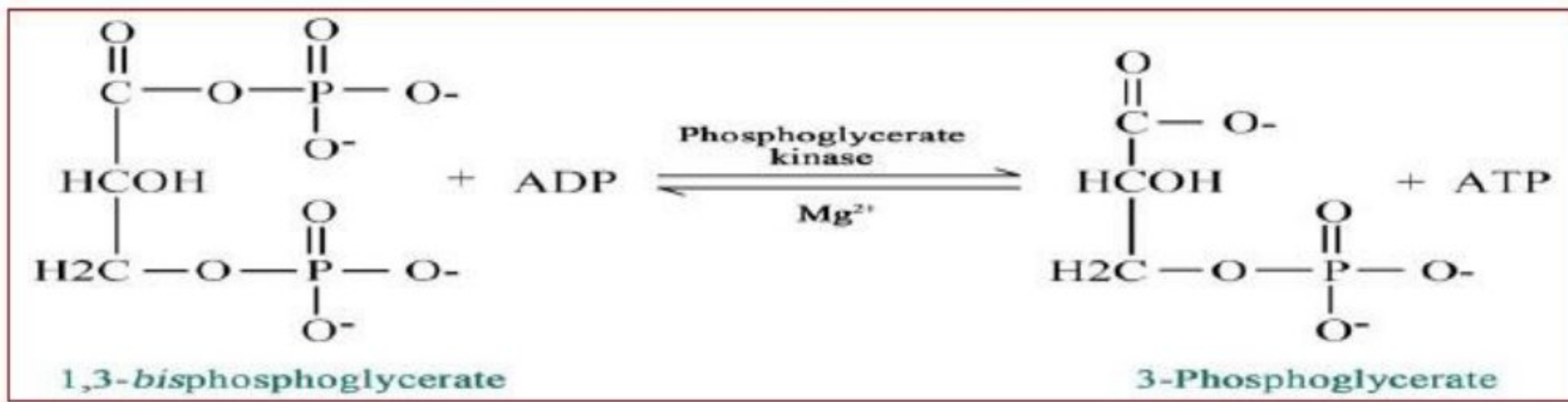
- يُحفز إنزيم الجليسر ألدهيد 3 -فوسفيت ديهيدروجينيز تحويل جزيئين من جليسر ألدهيد 3 -فوسفات إلى جزيئين من 1،3 ثنائي فوسفوجليسيريت (مركب عالي الطاقة).
- هذا التفاعل يتم في وجود العامل المساعد نيكوتين أميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد NAD^+ حيث ينتقل إلكترون من الجليسر ألدهيد 3 -فوسفات إلى ال NAD^+



(7) تحول 3،1 ثنائي فوسفوجليسيريت إلى 3-فوسفوجليسيريت:

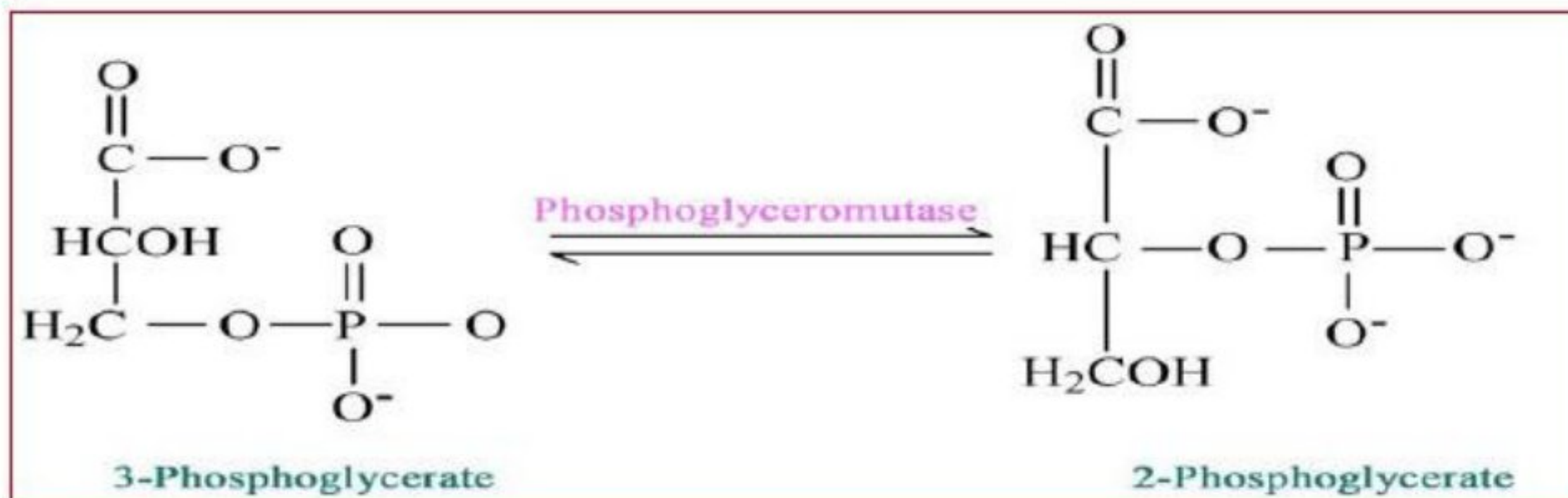
- يُحفز إنزيم فوسفوجليسيريد كينيز (Phosphoglycerate Kinase) تحويل جزيئين من 3،1 ثنائي فوسفوجليسيريت إلى 3-فوسفوجليسيريت وتكوين جزيئين من ال ATP .

ملاحظة: تنتقل مجموعة الفوسفات من المادة الأساس إلى ال ADP بدون نقل إلكترونات



(8) تحول 3-فوسفوجليسيريت إلى 2-فوسفوجليسيريت:

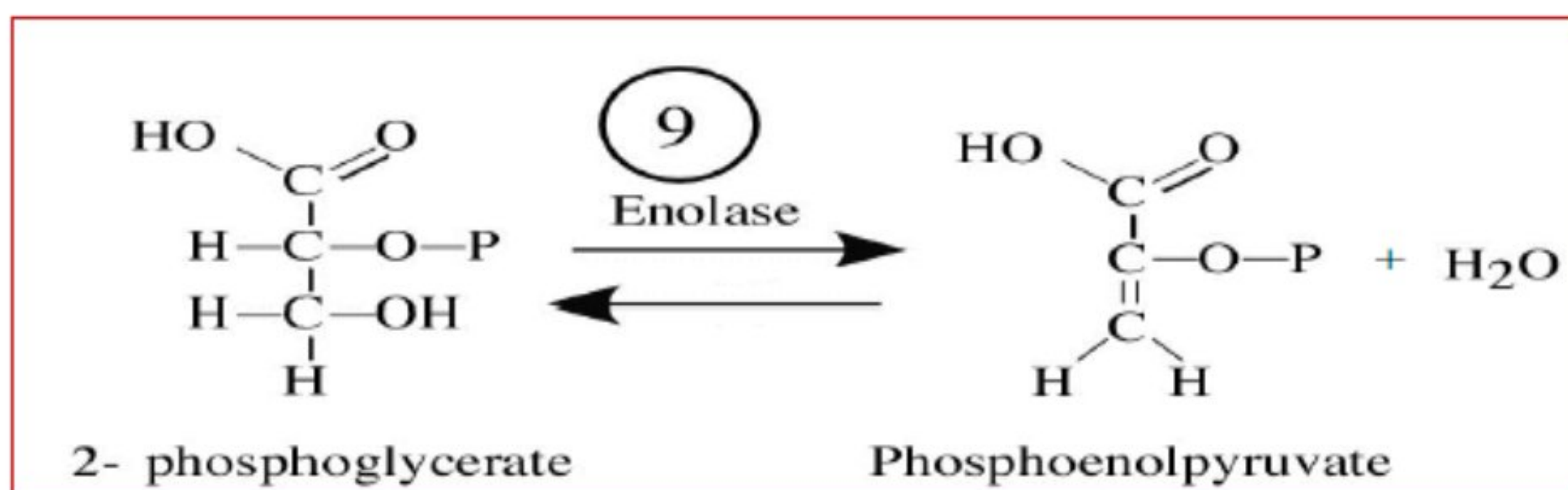
- يُحفز إنزيم فوسفوجليسروميوتيز (Phosphoglyceromutase) تحويل -فوسفوجليسيريت إلى 2 -فوسفوجليسيريت عن طريق نقل مجموعة الفوسفات من ذرة الكربون رقم 3 إلى رقم 2 في وجود أيونات الماغنسيوم



9) إزالة جزيء ماء من 2- فوسفوجليسيريت:

• يُحفز إنزيم الإنوليز (Enolase) إزالة جزيء ماء من 2- فوسفوجليسيريت وتكوين الفوسفواينول بايروفيت (مركب عالي الطاقة).

• يحتاج هذا الإنزيم إلى وجود أيون الماغنسيوم (Mg^{+2}) أو المنجنيز (Mn^{+2})

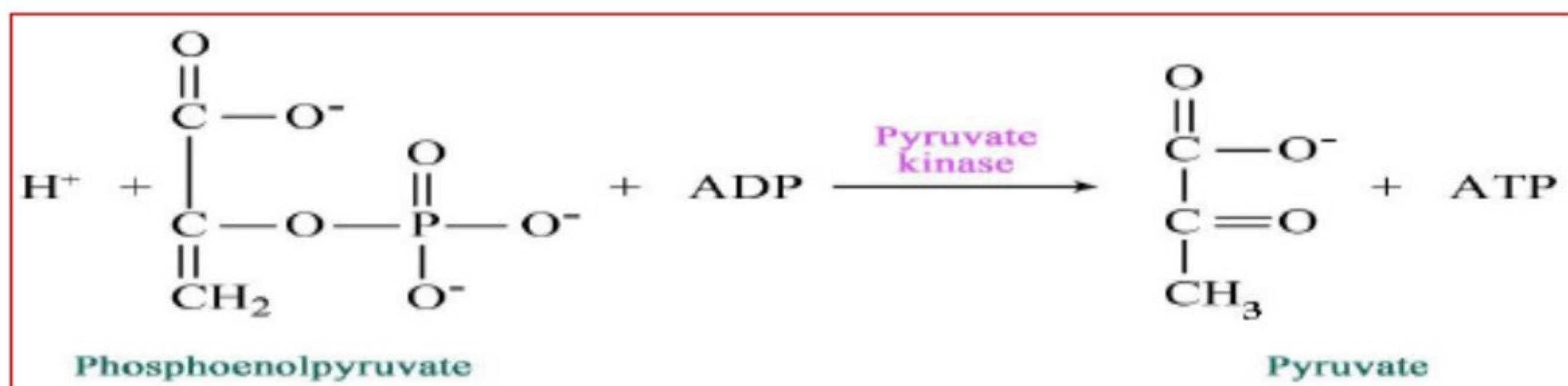


10) تكوين البيروفيت:

• يُحفز إنزيم البيروفيت كايينيز (Pyruvate Kinase) إنتقال مجموعة الفوسفات ذات الطاقة العالية من مركب الفوسفواينول بايروفيت إلى ال ADP وإنتاج البيروفيت في تفاعل غير عكسي.

• يحتاج هذا الإنزيم إلى وجود أيون البوتاسيوم ($+K$) بالإضافة إلى الماغنسيوم

(Mg^{+2}) والمنجنيز (Mn^{+2}).



محصلة الطاقة الناتجة من تحلل جزيء من الجلوكوز إلى جزيئين من البيروفيت

- إستهلاك 1 ATP في الخطوة رقم 1 .
- إستهلاك 1 ATP في الخطوة رقم 3 .

- إنتاج جزئيين من ال (NADH) باعتبار أن الجلوكوز إنشطر إلى جزئيين في الخطوة رقم 6 . كل جزيء من ال NADH عند أكسدته يعطي 3 ATP .
- إنتاج 2 ATP في الخطوة رقم 7 باعتبار أن الجلوكوز إنشطر إلى جزئيين من الجليسر ألدهيد 3 -فوسفات وكل جزء يعطي 1 ATP .
- إنتاج 2 ATP في الخطوة رقم 10 باعتبار وجود جزئيين من 3 -فوسفو إنول بيروفيت ليعطي كلا منهما 1 ATP .

وبالتالي يكون الناتج: $ATP\ 8 = 6+2+2+1-1$

تنظيم عملية تحلل الجلوكوز

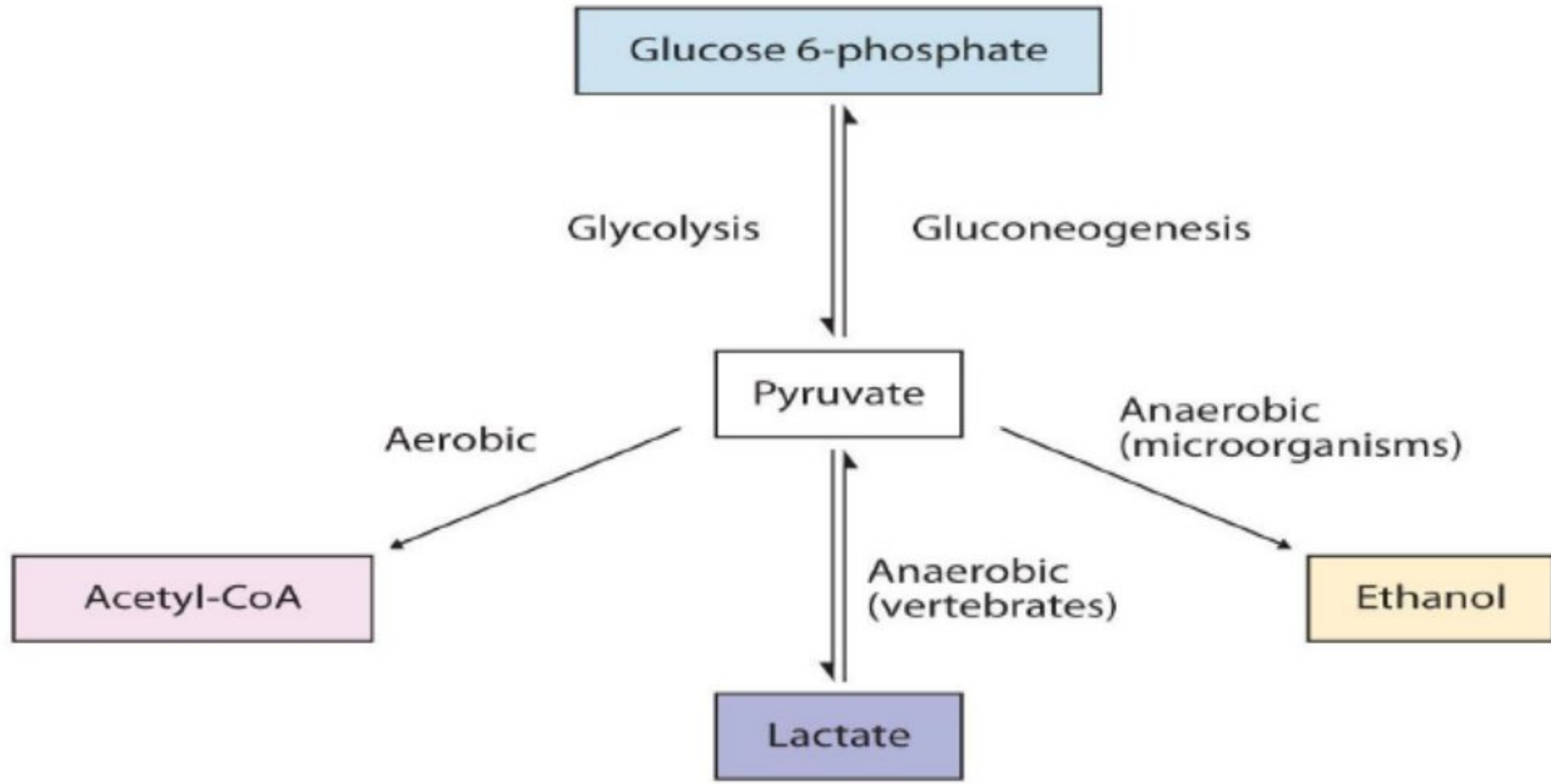
- يُلاحظ أن جميع المركبات الوسيطة بين الجلوكوز والبيروفيت هي مركبات مفسفرة.
- أي أنها متأينة عند درجة حموضة الخلية مما يجعلها مشحونة بشحنة سالبة تمنعها من المرور خلال الأغشية الخلوية لتظل في سيتوبلازم الخلية.
- أما البيروفيت أو اللاكتيت المتكون يمكن أن يمر خلال الأغشية الخلوية؛ فنظرًا لعدم فسفرة البيروفيت فإنه يمتلك القدرة على الانتقال من السيتوبلازم إلى الميتوكوندريا ليبدأ الأكسدة الهوائية (دورة كريبس).
- يُلاحظ أن جميع التفاعلات الإنزيمية في الجليكوليسيس هي تفاعلات عكسية ماعدا ثلاثة تفاعلات غير عكسية.
- هذه التفاعلات الثلاث هي تفاعلات منظمة لعملية تحلل الجلوكوز و تُسمى بالتفاعلات المحددة لمعدل التفاعل (Rate-Limiting-Steps) .
- هذه التفاعلات المنظمة تتم بواسطة الإنزيمات التالية :

- هكسوكاينيز

- فوسفو فركتوكاينيز

- بيروفيت كاينيز

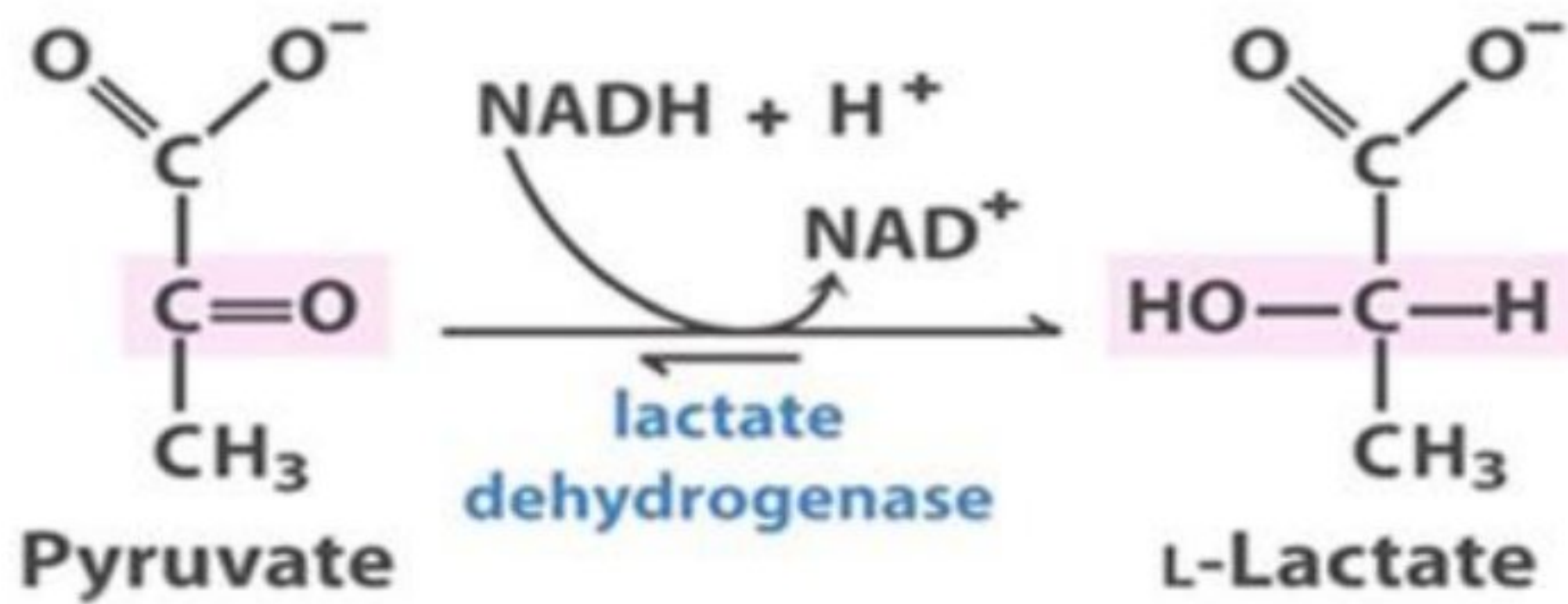
مصير البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز



التفاعلات اللاهوائية للبيروفيت

يُحول إلى لاكتيت:

- في العضلات أو في البكتيريا وعند غياب الأوكسجين يتحول البيروفيت إلى حامض اللاكتيت بواسطة إنزيم اللاكتيت ديهيدروجينيز (LDH).



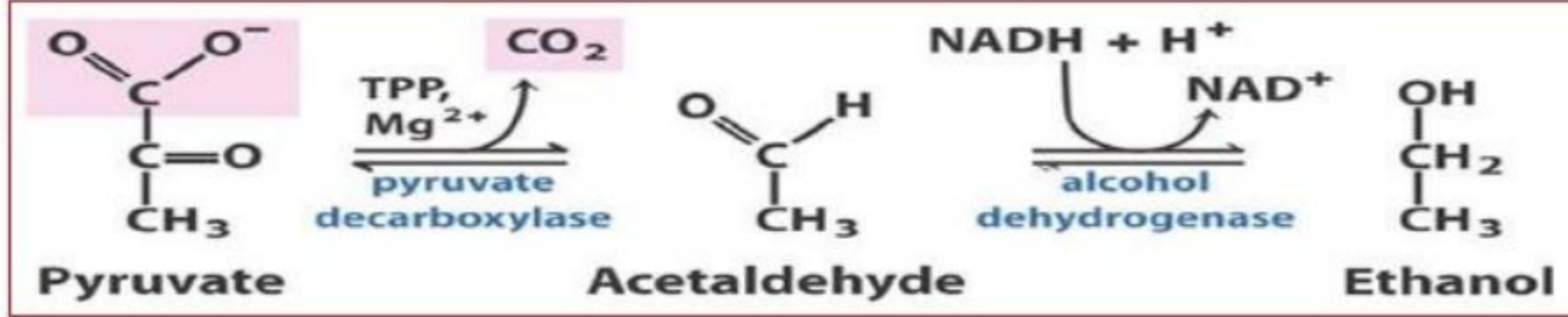
يُحول إلى إيثانول:

- في بعض الكائنات الدقيقة (مثل الخميرة) وفي غياب الأوكسجين يتم تحويل

تخمر البيروفيت إلى كحول الإثانول في خطوتين:

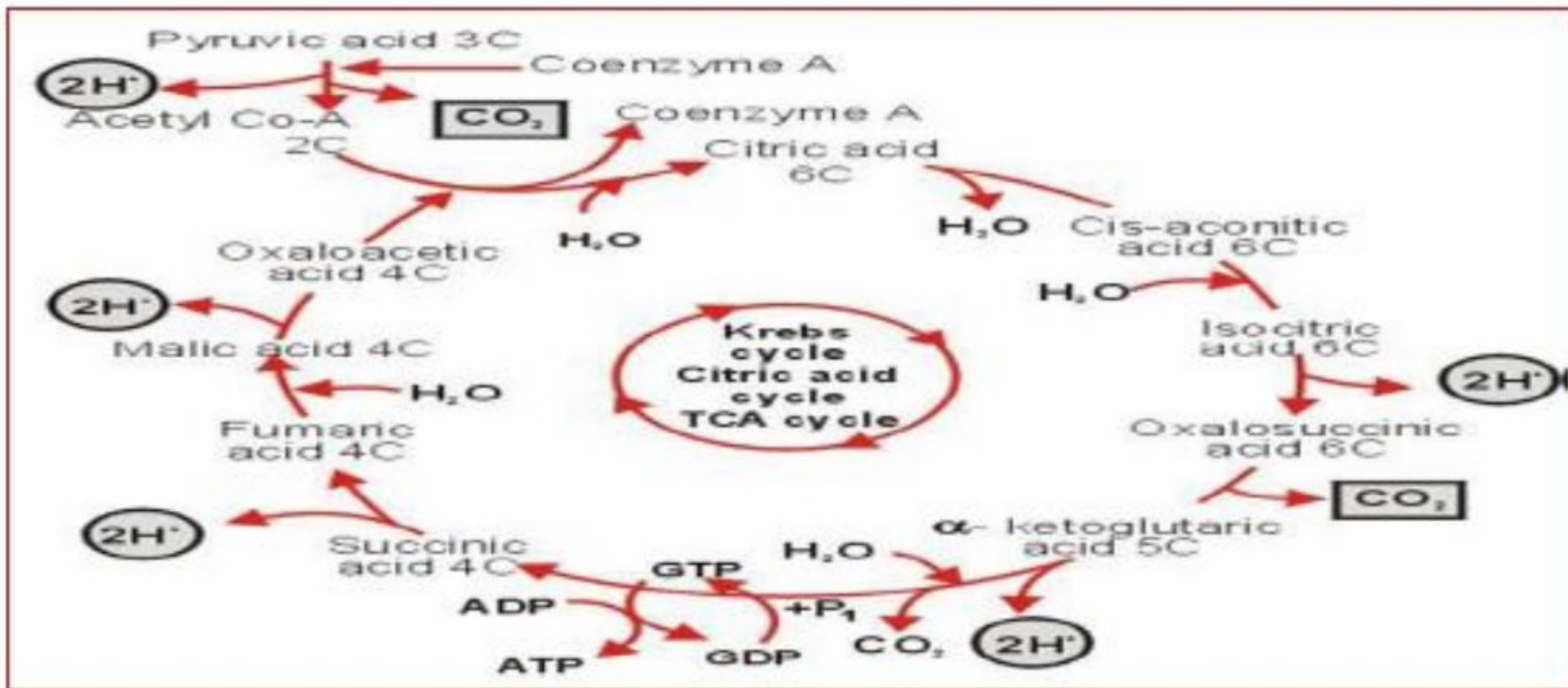
1 تحويل البيروفيت إلى أسيتلدهيد بفقد ثاني أكسيد الكربون بواسطة إنزيم بيروفيت ديكربوكسيليز في وجود أيونات المغنيسيوم.

2- إختزال الأسيتلدهيد إلى كحول إيثيلي مع أكسدة ال NAD^+ إلى $NADH$



التفاعلات الهوائية للبيروفيت

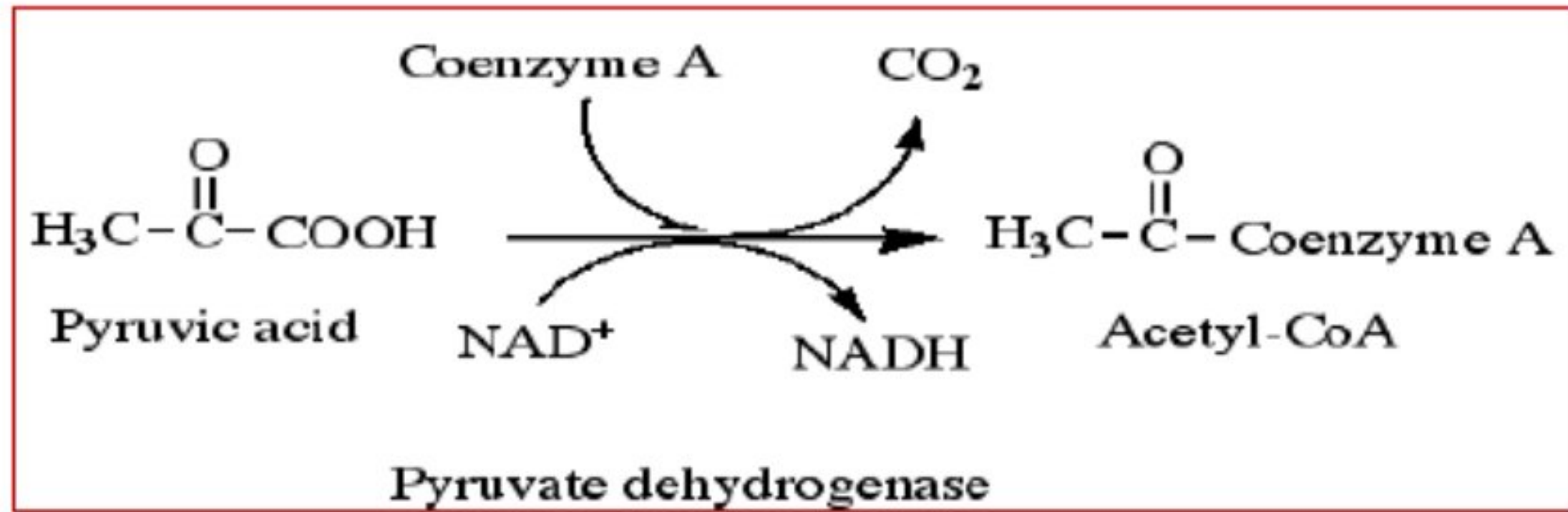
في وجود الأوكسجين ينتقل البيروفيت من السيتوبلازم إلى الميتوكوندريا ليبدأ سلسلة من تفاعلات الأكسدة (دورة كربس) والتي تنتهي بإنتاج ثاني أكسيد الكربون، ماء، و طاقة



دورة كريس Krebs Cycle

تُمثل دورة كريس المسار الأخير في أكسدة الكربوهيدرات، الليبيدات، والبروتينات حيث يتم فيها أكسدة أستيل المرفق الإنزيمي أ (Acetyl Co A) إلى ثاني أكسيد الكربون + ماء + إنتاج طاقة.

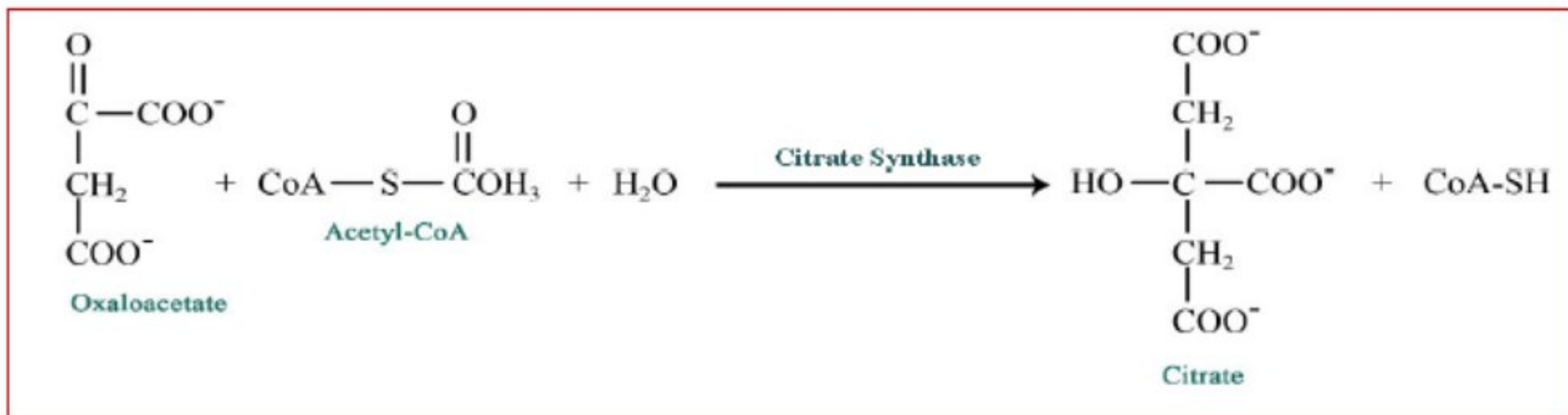
- في وجود الأكسجين، ينتقل البيروفيت إلى الميتوكوندريا ليتحول إلى أستيل المرفق الإنزيمي أ الذي بدوره يبدأ سلسلة تفاعلات دورة كريس



خطوات دورة كريس

(١) تفاعل الأستيل مرفق الإنزيمي أ لتكوين السترات:

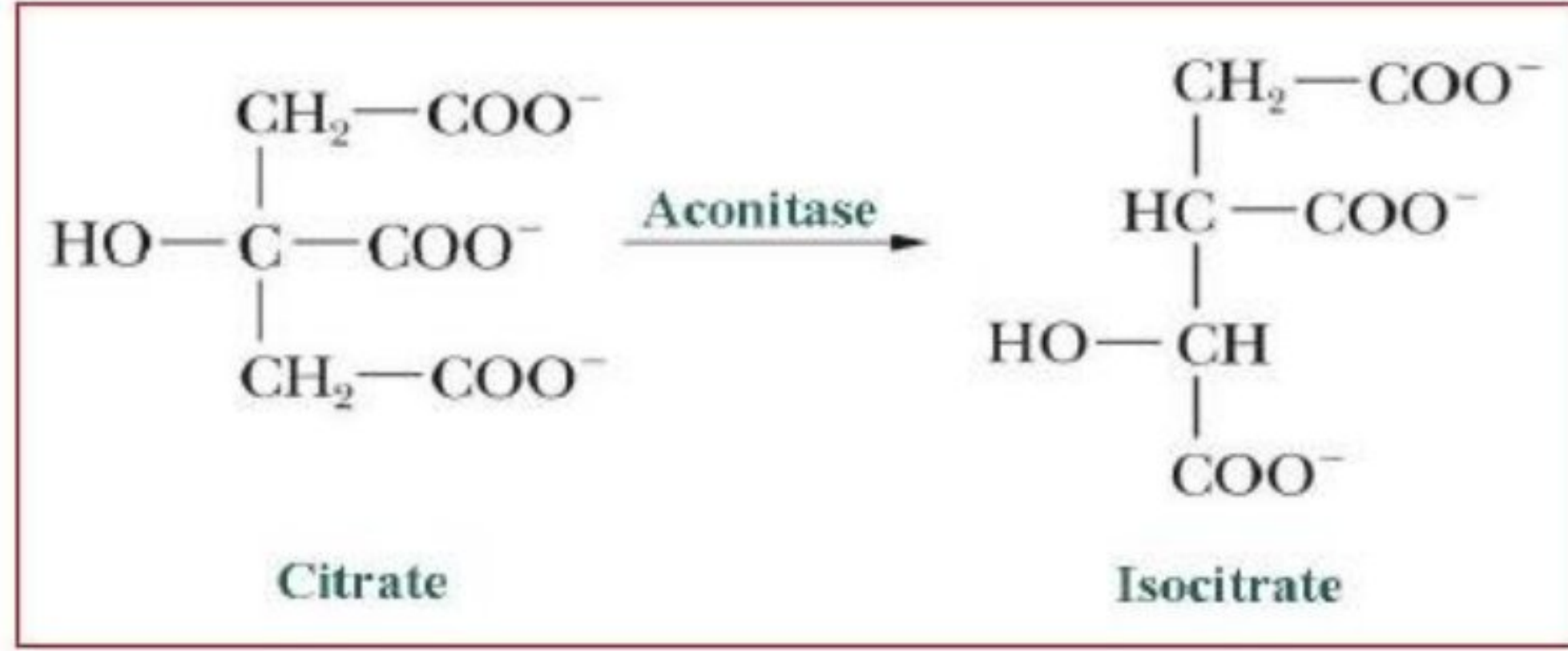
- يُحفز إنزيم سترات سينثيز (Citrate Synthase) تفاعل الأستيل مرفق الإنزيمي أ مع أوكسالو أسيتات لتكوين السترات.
- يُثبط هذا الإنزيم بواسطة ال NADH أو ال ATP



٢) تحول السترات إلى أيزوسيترات:

• يُحفز إنزيم أكونيتاز (Aconitase) تحول السترات إلى أيزوسيترات عن طريق إزاحة جزيء ماء.

• يحتاج هذا الإنزيم إلى أيونات الحديد كعامل مساعد

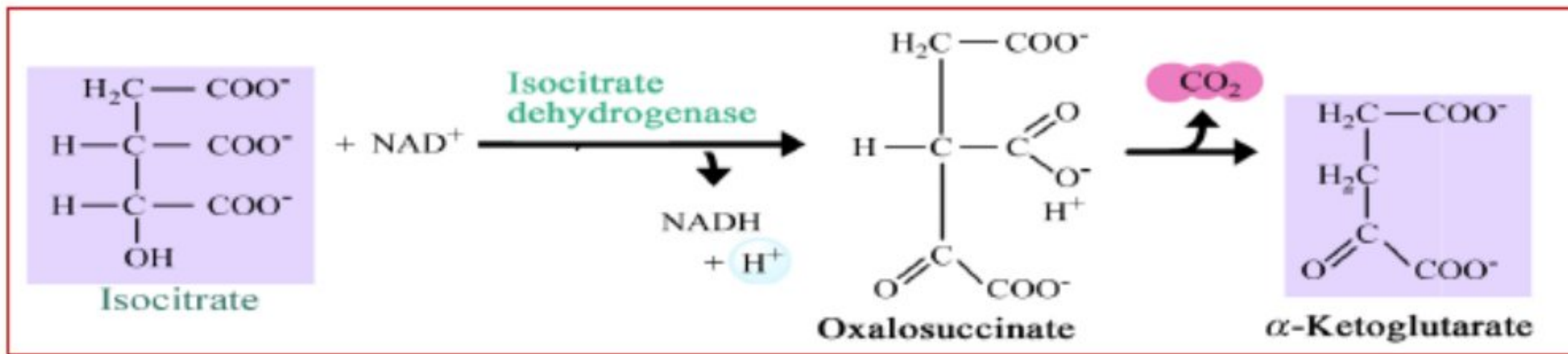


٣) نزع مجموعة كربوكسيل من الأيزوسيترات:

• يُحفز إنزيم الأيزوسيترات ديهيدروجيناز (Isocitrate Dehydrogenase)

نزع مجموعة الكربوكسيل من الأيزوسيترات 6 ذرات كربون ليكون الألفا كيتوجلوتاريت 5 ذرات كربون.

• أثناء التفاعل يتكون مركب وسيط وهو أوكسالوسكسينيت الذي يتحلل بسرعة ليعطي الألفا كيتوجلوتاريت.

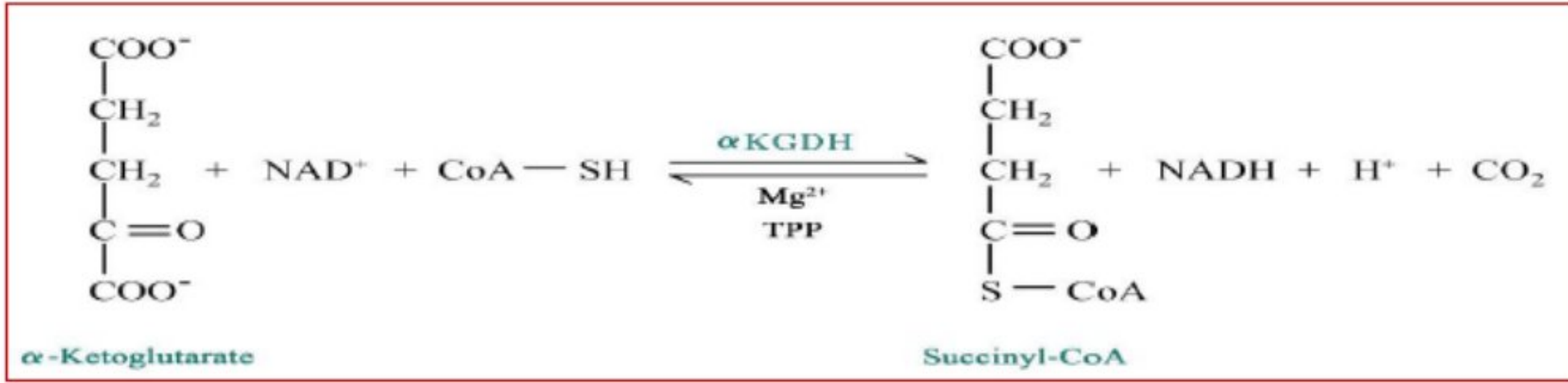


٤) نزع مجموعة كربوكسيل من الألفا كيتوجلوتاريت:

• يُحفز إنزيم الألفا كيتوجلوتاريت ديهيدروجيناز (Alpha ketoglutarate Dehydrogenase)

(نزع مجموعة الكربوكسيل من الألفا كيتوجلوتاريت (5 ذرات كربون) ليتحول إلى ساكسينيل مرفق إنزيمي أ (4 ذرات كربون).

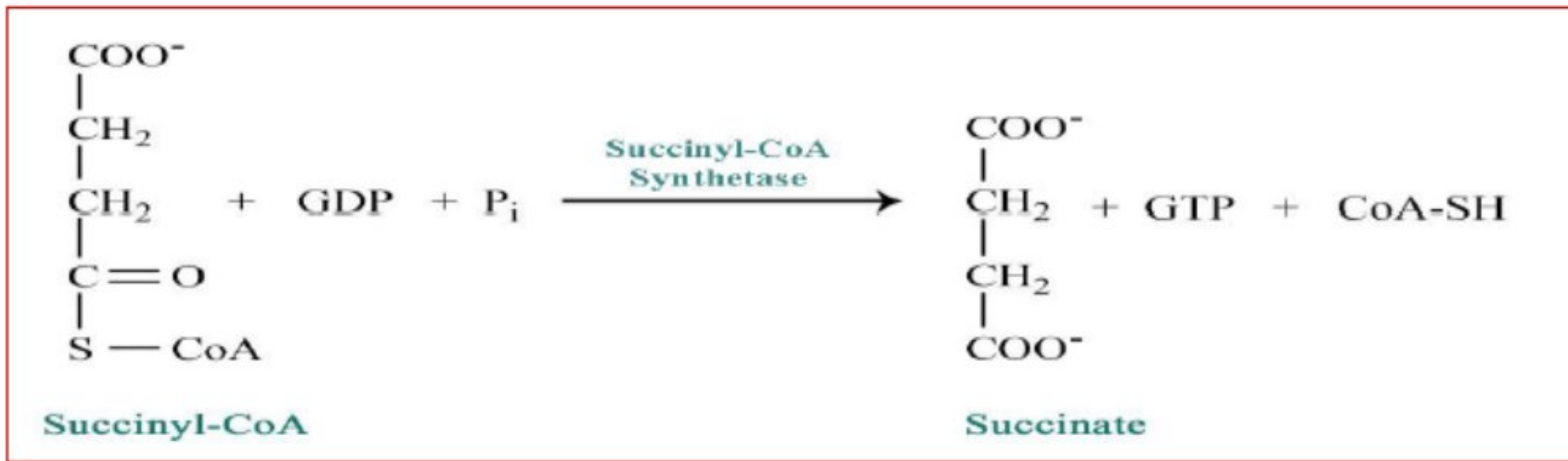
• هذا التفاعل يُنتج طاقة في شكل NADH



٥) تكوين مركب الساكسينات وتوليد جزيء طاقة (GTP):

• يُحفز إنزيم الساكسينات ثايوكينيز (Succinate Thiokinase) كسر رابطة الثيوإستر (عالية الطاقة) في مركب الساكسينيل مرفق إنزيمي أ يعطي مركب الساكسينات وتوليد طاقة بصورة ال

GTP

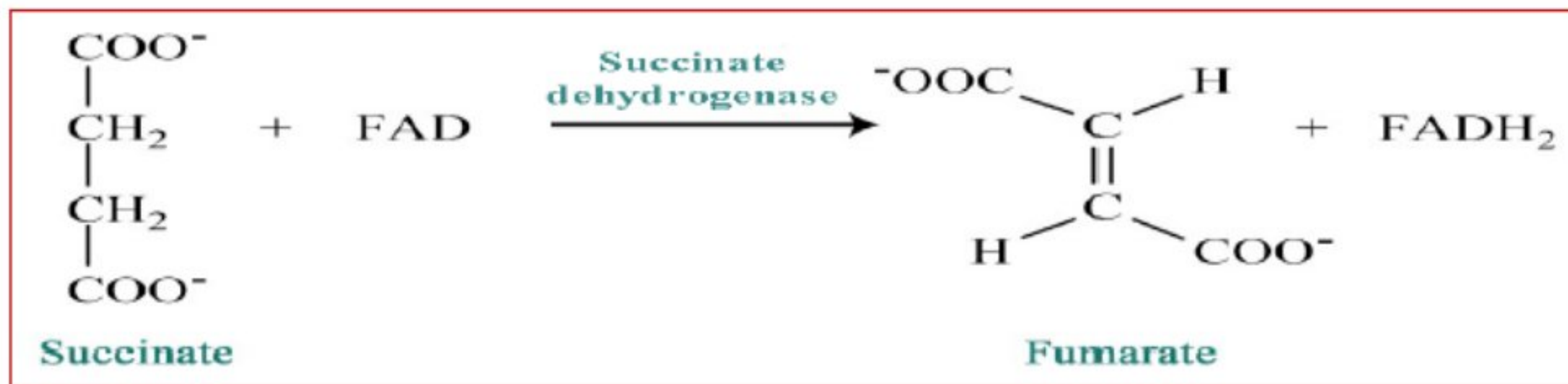


٦) أكسدة الساكسينات إلى فيوماترات:

• يُحفز إنزيم الساكسينات ديهيدروجينيز (Succinate Dehydrogenase) أكسدة الساكسينات وتحويله إلى فيوماترات.

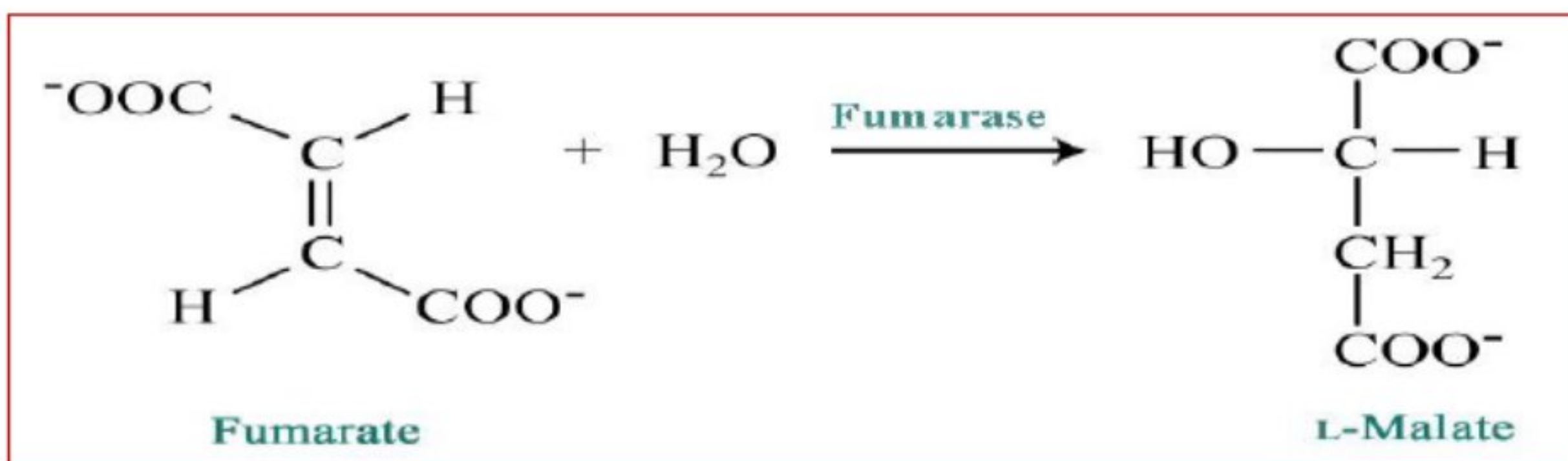
• يحتاج هذا الإنزيم لل FAD كعامل مساعد والذي يستقبل جزيء من الهيدروجين المزاح من مركب

الساكسينات ليُختزل ويعطي ال FADH₂



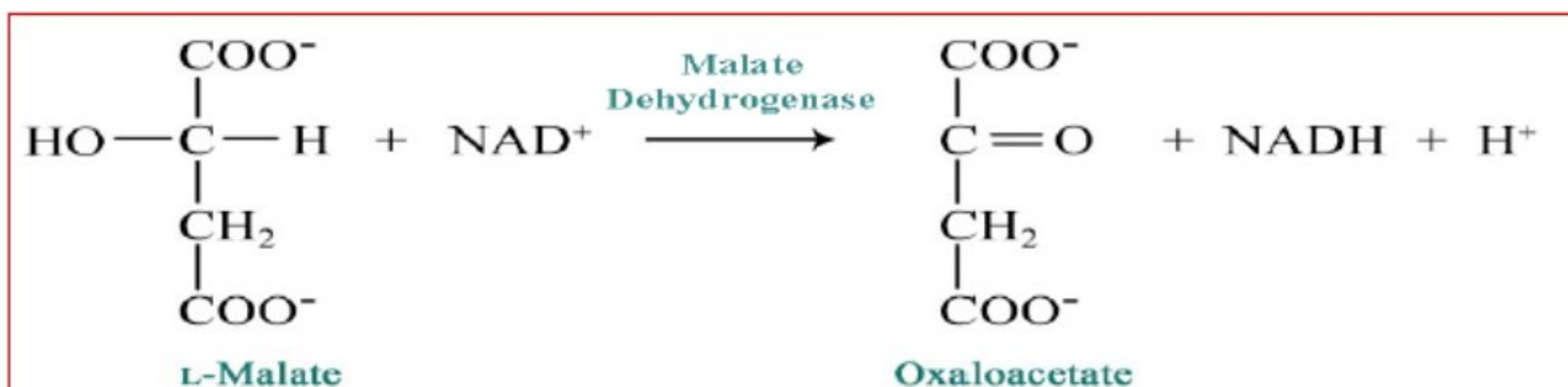
(٧) إنتاج المالات:

- يُحفز إنزيم الفيومارات هيدراتيز (Fumarate Hydratase) ويُطلق عليه الفيوماريز (Fumarase) إضافة جزيء ماء للفيومارات ليعطي المالكب اليساري المالات (L-malate)



(٨) أكسدة المالات إلى أوكسالوأسيتات:

- يُحفز إنزيم المالات ديهيدروجينيز (Malate Dehydrogenase) أكسدة جزيء من المالات ليعطي أوكسالوأسيتات.
- يُستخدم هذا الإنزيم العامل المساعد الـ NAD^+ كمستقبل للهيدروجين ليتحول بدوره إلى NADH .



محصلة الطاقة الناتجة من دورة كربس

- إنتاج جزيء واحد من ال NADH في الخطوة رقم 3 ليعطي 3 ATP .
- إنتاج جزيء واحد من ال NADH في الخطوة رقم 4 ليعطي 3 ATP .
- إنتاج جزيء واحد من ال GTP في الخطوة رقم 5 والذي يتحول إلى جزيء واحد من ال ATP .
- إنتاج جزيء واحد من ال FADH₂ في الخطوة رقم 6 ليعطي 2 ATP .
- إنتاج جزيء واحد من ال NADH في الخطوة رقم 8 ليعطي 3 ATP .
- وبالتالي يكون ناتج تحول جزيء واحد من البيروفيت إلى ثاني أكسيد الكربون وماء تساوي:

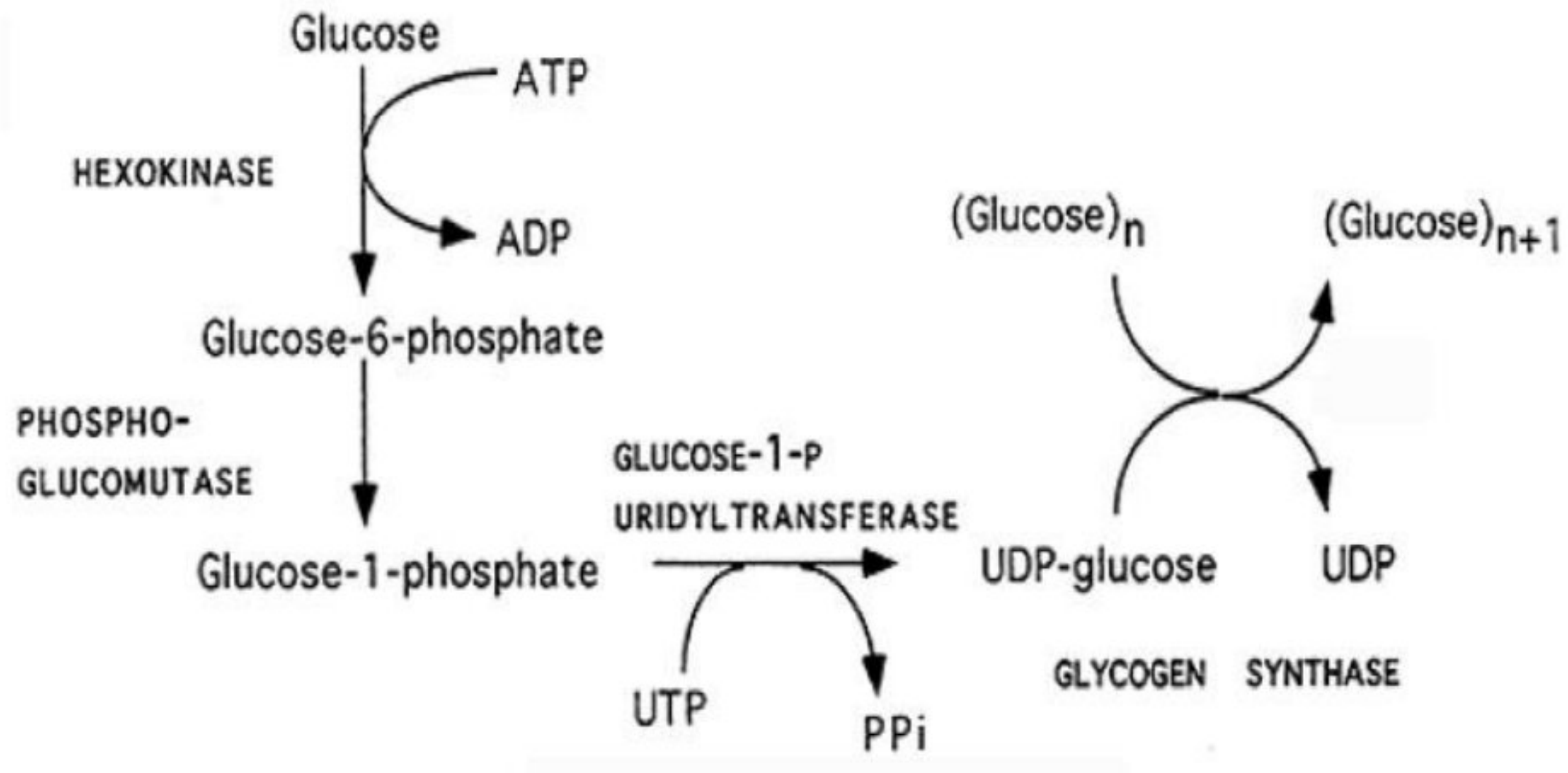
$$\text{ATP } 12 = 3 + 2 + 1 + 3 + 3$$

- خطوات تحول جزيئين من البيروفيت إلى جزيئين من الأستيل المرفق الإنزيمي أ تنتج 6 ATP .
- ويكون ناتج تحول جزيء الجلوكوز إلى 2 جزيء بيروفيت يساوي 8 ATP .
- وبالتالي تحلل جزيء من جلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون وماء تساوي:

$$\text{ATP } 38 = (2 \times 12) + 6 + 8$$

بناء الجلايكوجين (Glycogenesis)

- يتم تحويل الجلوكوز إلى جلوكوز -6- فوسفات بواسطة إنزيم الجلوكوكيناز (Glucokinase) أو إنزيم الهكسوكيناز (Hexokinase) .
- يتحول الجلوكوز -6- فوسفات إلى جلوكوز -1- فوسفات عن طريق إنزيم فوسفوجلوكوميوتيز (Phosphoglucomutase) .
- يُحول إنزيم اليوريديل ترانسفيراز (Uridyl Transferase) الجلوكوز -1- فوسفات إلى يوريدين ثنائي فوسفات الجلوكوز (UDP-Glucose) .
- يقوم الإنزيم الصانع للجلايكوجين (Glycogen Synthase) بتجميع جزيئات الجلوكوز على شكل سلاسل (روابط $\alpha-1 \rightarrow 4$) .
- تتفرع السلسلة بواسطة إنزيم ال ($\alpha-1 \rightarrow 4 : \alpha-1 \rightarrow 6$ Transglycosylase) والذي يقطع 6 وحدات من الجلوكوز ونقلها في سلسلة طرفية برابطة ($\alpha-1 \rightarrow 6$) .



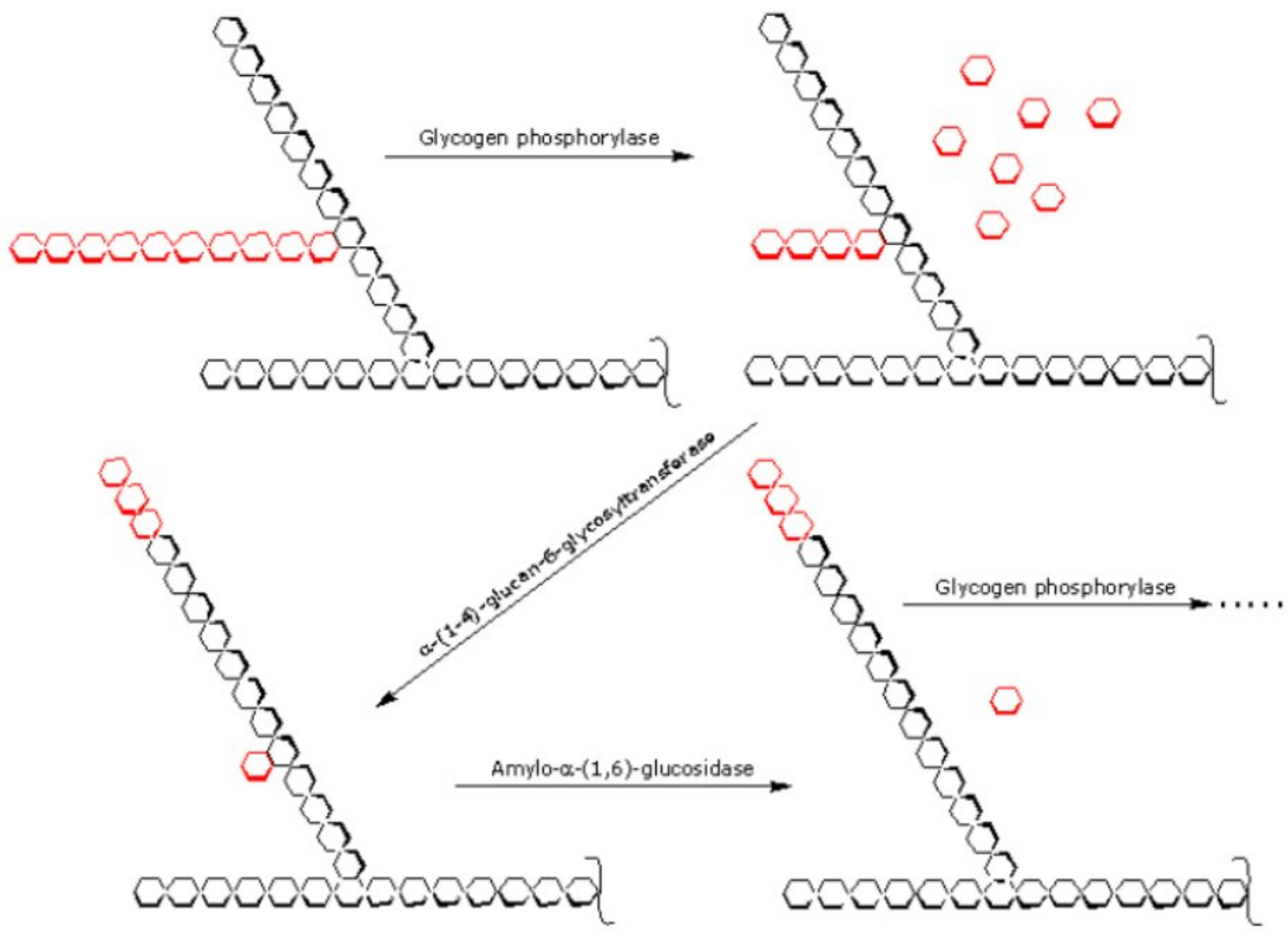
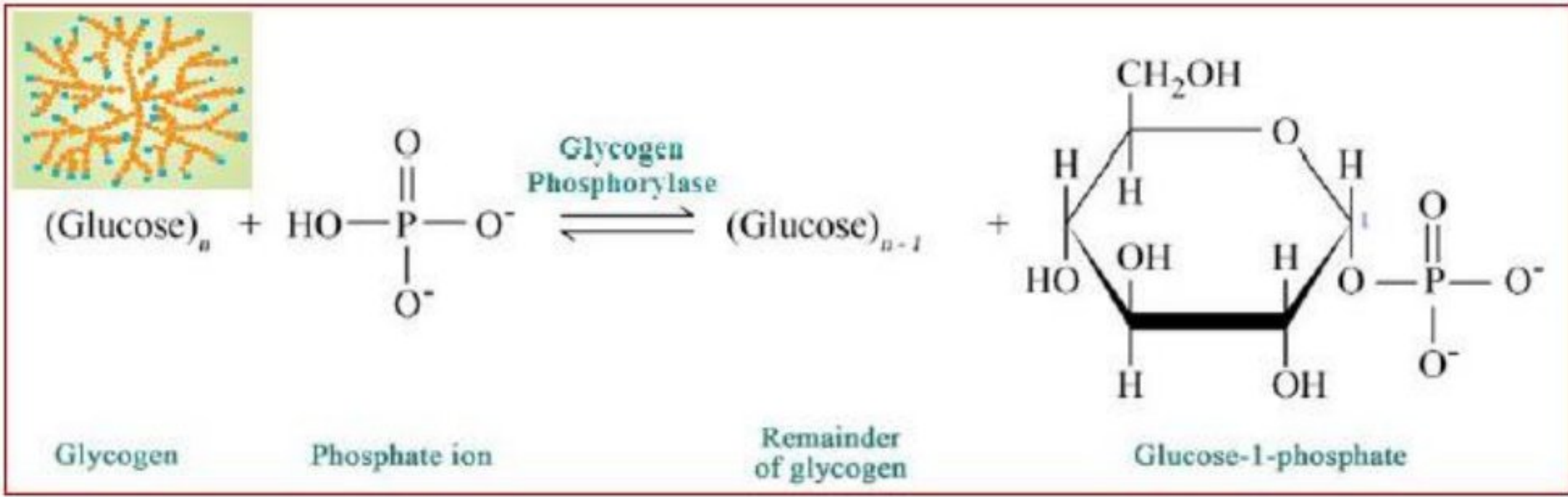
إستحداث الجلايكوجين (Gluconeogenesis)

- هي عملية تكوين الجلوكوز أو الجلايكوجين من مصادر غير كربوهيدراتية مثل الأحماض الأمينية، حمض اللاكتيت، البيروفيت، والجليسرول.
- تحدث في السيتوبلازم وليس في الميتوكوندريا، ويحدث 90 % من هذه العملية في الكبد و 10 % في الكليتان.

تحليل الجلايكوجين (Glycogenolysis)

- في هذه العملية يتم تكسير الجلايكوجين إلى وحدات متكررة من الجلوكوز والتي تدخل بدورها في عملية تحلل الجلوكوز (Glycolysis) لإنتاج الطاقة.
- الجلايكوجين الموجود في الكبد والعضلات يتم تكسيره بواسطة إنزيم جلايكوجين فوسفورايليز في الحالات التالية :
 - في حالات الجوع الشديد حيث يقل الجلوكوز الذي يؤخذ من الطعام .
 - في حالة داء السكري حيث لا يتم الإستفادة من الجلوكوز الموجود في الغذاء .
- يُعتبر هذا الإنزيم مُنظم ومُتحكم بعملية تحلل الجلوكوز حيث أن هذا الإنزيم يحدد كمية جزيئات الجلوكوز الناتجة من تحلل الجلايكوجين والداخله في عملية إنتاج الطاقة (Glycolysis)

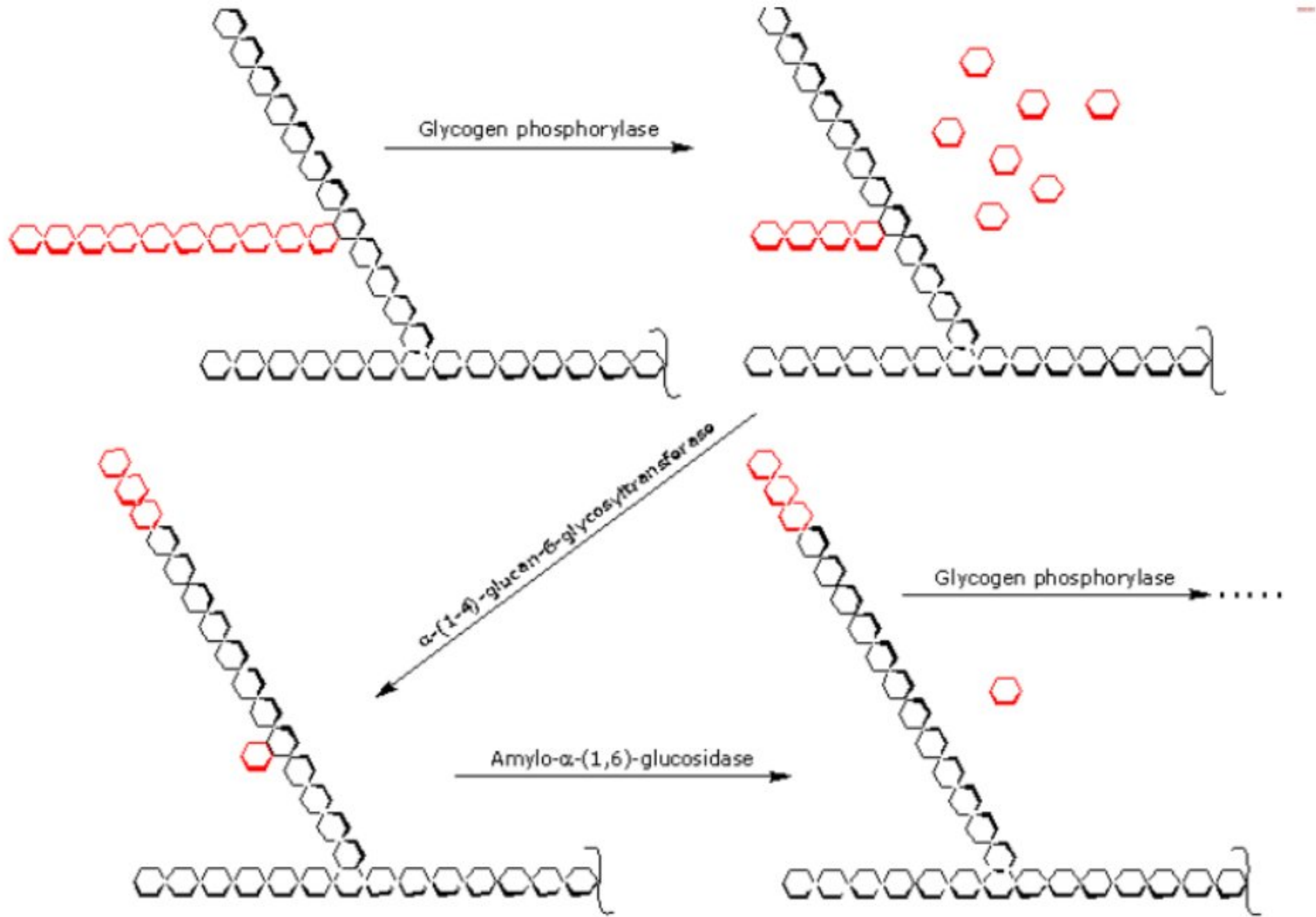
- يتم تحليل الجلايكوجين بفعل إنزيم الجلايكوجين فوسفورايليز (Glycogen Phosphorylase)، والذي يزيح جزيء جلوكوز من طرف السلسلة عن طريق ربطه بمجموعة فوسفات عند ذرة الكربون رقم 1 حتى يتبقى 4 جزيئات من الجلوكوز قبل نقطة التفرع



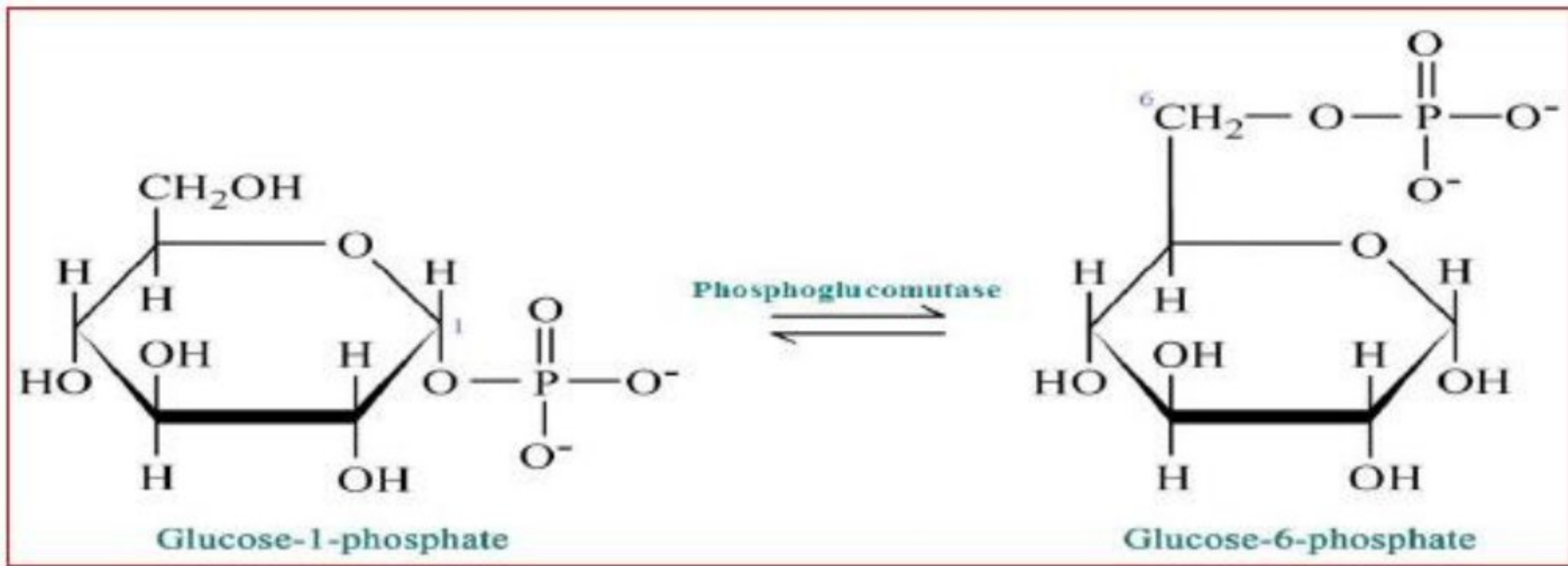
يقوم إنزيم جلوكوز ترانسفيريز (Glucose transferase) بنقل وحدات السكر الثلاثة المتبقية قبل موضع التفرع إلى سلسلة أخرى تاركاً جزيء جلوكوز واحد مرتبطاً برابطة $\alpha-1 \rightarrow 6$ موضع التفرع.

• يتم تحليل جزيء الجلوكوز في موضع التفرع بواسطة إنزيم أميلو-ألفا

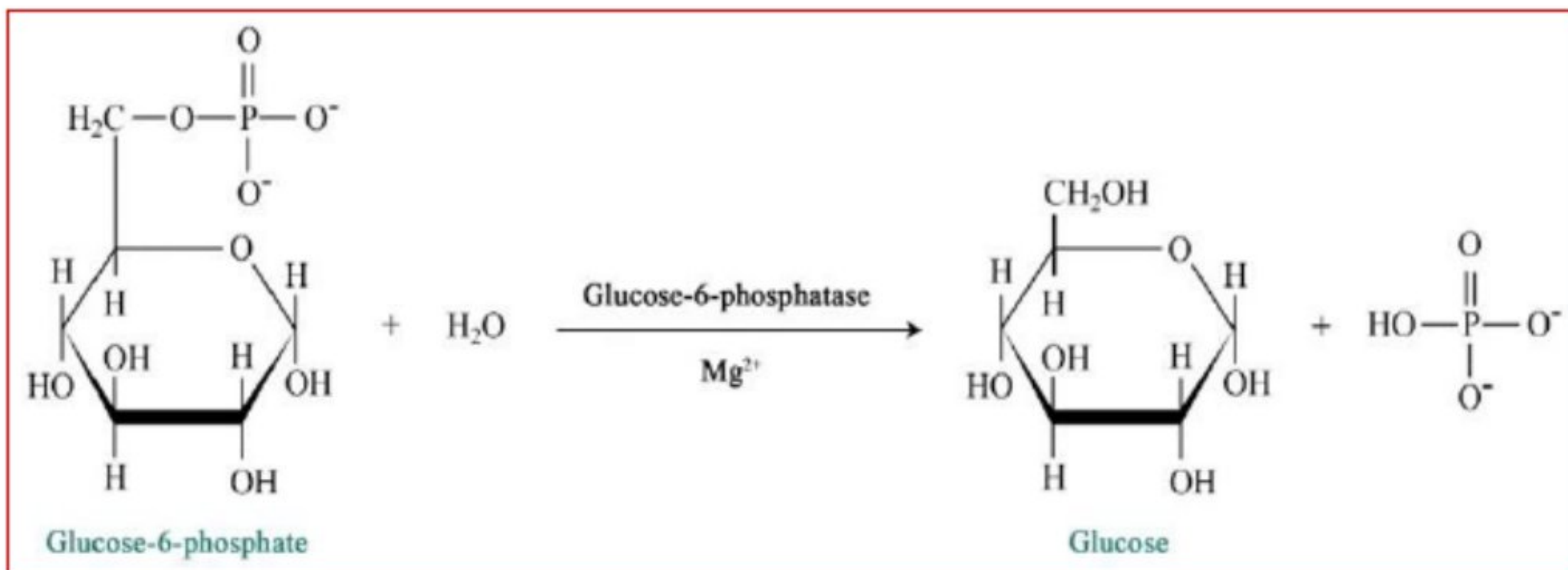
$1 \rightarrow 6$ جلوكوسيداز Amylo- $\alpha-1 \rightarrow 6$ Glucosidase



- يتم تحويل جميع وحدات الجلوكوز - 1 فوسفات الناتجة من عملية تحلل الجلايكوجين إلى جلوكوز - 6 فوسفات عن طريق إنزيم الفوسفوجلوكوميوتيز (Phosphoglucomuta)



- تحول وحدات جلوكوز-6 فوسفات إلى جلوكوز عن طريق إنزيم الجلوكوز-6 فوسفاتيز (Glucose-6-phosphatase) والذي له القدرة على الخروج من الخلية إلى مجرى الدم



هضم البروتينات

في الفم:

لا يحدث هضم للمواد البروتينية

في المعدة:

- في هذه العملية تنشط انزيمات المعدة والامعاء المسؤله عن هضم البروتينات حيث تحول من صورته غير نشطه (زيموجين) الي صورته نشطه (انزيم).
- يوجد ثلاث انزيمات في المعدة تعمل علي تحطيم الروابط الببتيديه في البروتينات لتحويلها الي ببتيدات وهي:
 - الببسين
 - الرنين
 - الجيلاتينيز
- بالاضافه الي هذه الانزيمات يساعد حمض HCl الموجود في المعدة علي هضم البروتينات وتحويلها الي عديد ببتيد حمضي.

الببسين

- ينشط انزيم الببسين بواسطه حمض الهيدروكلوريك الموجود في المعدة الرقم الهيدروجيني 1 و5 ويحول من ببسينوجين الي ببسين
- يكسر الببسين الروابط الببتيديه في البروتينات ويحولها الي عديده الببتيد

الرينين

- يفرز هذا الانزيم من خلال جدار المعدة الداخلي ويعمل علي هضم بروتين الحليب في وجود ايونات الكالسيوم
- يوجد في وسط متعادل لذلك لا يوجد في معدة الكبار نظرا للحموضه ولكن يوجد في معدة الاطفال لان الوسط متعادل.

الجلاتينيز

- يعمل هذا الانزيم علي هضم بروتين الجيلاتين وتحويله الي عديد الببتيد

في الاثني عشر

يستكمل هضم البروتينات بواسطة العصارة البنكرياسيه في الاثني عشر والتي تحتوي علي اربع انزيمات وهي:

التربسين

الكيموتربسين

الكربوكسي ببتيدايز

الكولاجينايز

تقوم هذه الانزيمات بتكسير الرابطة الببتيديه في عديد الببتيدات المختلفه وتحويلها الي ببتيدات صغيره ثنائيه وثلاثيه واحماض امينيه.

في الامعاء الدقيقة

يتم هضم البروتين وعديد الببتيد والببتيدات الثنائيه والثلاثيه وتحويلها الي الناتج النهائي من الاحماض الامينيه.

انزيمات الامعاء الهاضمه للبروتين هي:-

الامينوببتيدايز: يعمل علي كسر الرابطة الببتيديه الاولي من طرف مجموعه الامين.

الدايببتيدايز: يعمل علي كسر الرابطة الببتيديه بين ثنائيات الببتيد الناتجه من عمل انزيم الببسين.

امتصاص الاحماض الامينيه

تمتص الاحماض الامينيه حيث انها تذوب في الماء في الاجزاء العلويه من الامعاء الدقيقة بواسطة النقل النشط الذي يحتاج الي طاقه.

تنتقل الاحماض الامينيه بعد امتصاصها من خلال جدار الامعاء الي الدم وتنقل من خلاله الي الكبد حيث يخزن 80 % منها في الكبد حتي يحتاجها الجسم في عملياته المختلفه.

اهمية الاحماض الامينية الناتجة من هضم البروتينات

- ١- تصنيع البروتينات مثل البروتينات الموجودة في الانسجة والبلازما والانزيمات
- ٢- تصنيع بعض الهرمونات مثل هرمون الانسولين
- ٣- بناء المركبات النيتروجينية مثل القواعد النيتروجينية في الاحماض النووية والكرياتين وبعض الناقلات العصبية
- ٤- اكسدة الاحماض الامينية للحصول على الطاقة او تحويلها الي جلوكوز او احماض دهنية
- ٥- يتم تكسيرها الي امونيا وهيكل كربوني ليستفيد منها الجسم في عمليات اخري

ايض الاحماض الامينية

عمليات البناء:

- تستخدم الاحماض الامينية كمواد اولية لبناء البروتينات المختلفة
- تستخدم لبناء سكر الجلوكوز من مصدر غير كربوهيدراتي

عمليات الهدم:

- تتأكسد الاحماض الامينية لانتاج الطاقة عند تناول كميته كبيره منها او عند الامتناع عن الاكل او في حالة الاصابه بمرض السكر
- في هذه العملية يتأكسد الهيكل الكربوني في الحمض الاميني الي ثاني اكسيد الكربون وماء وتحول مجموعات الامين الي يوريا او مركبات نيتروجينية اخر
- تتم عملية هدم الاحماض الامينية في الكبد وبصوره اقل في الكليتين.

ايض مجموعة الالف-امينو للاحماض الامينية

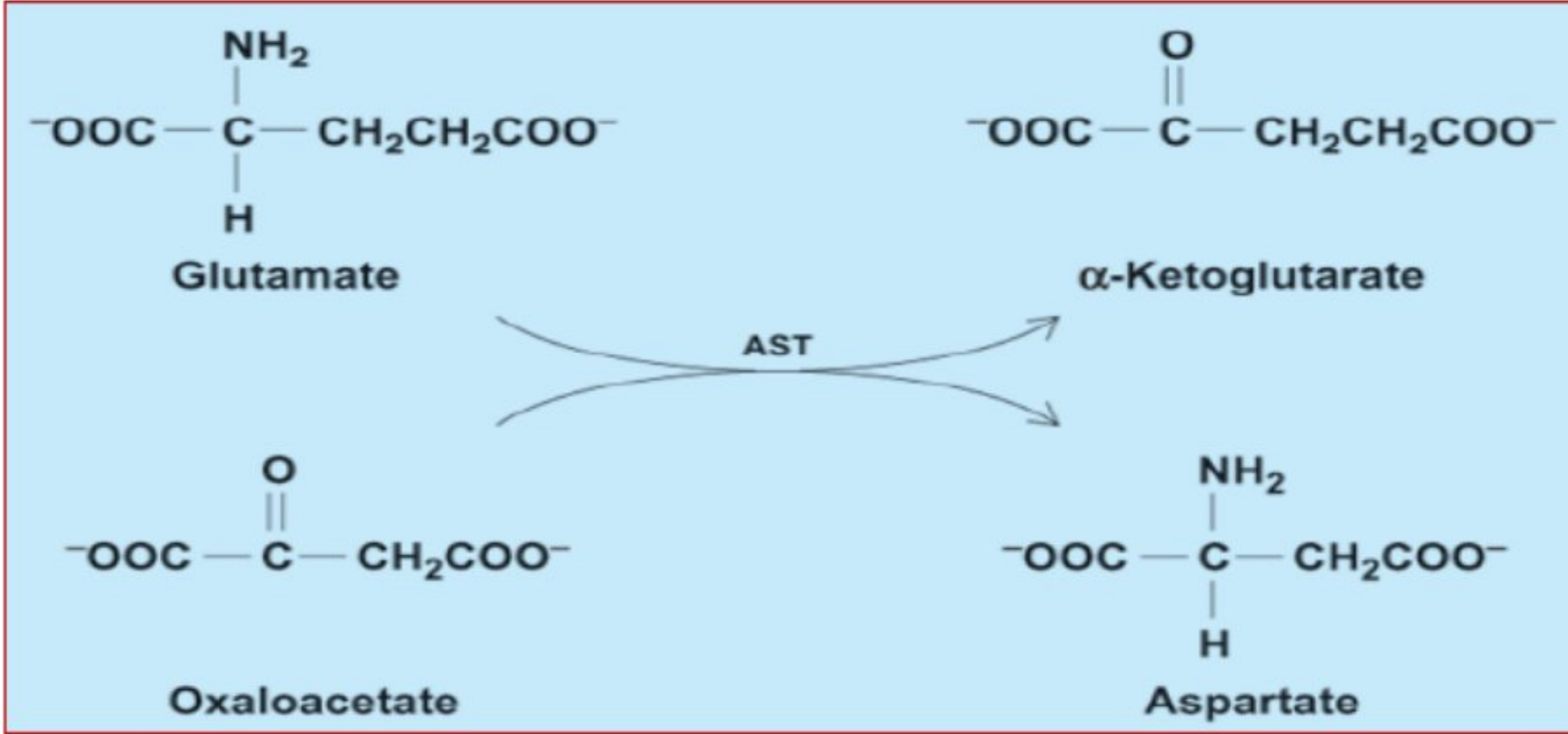
- تفاعل نقل مجموعة الامين **Trans amination**
- تفاعل النزع التاكسدي لمجموعة الامين **Oxidative Deamination**
- تفاعل النزع غير التاكسدي لمجموعة الامين **Non-oxidative**

Deamination

- تفاعل نزع مجموعة الكربوكسيل **Decarboxylation**

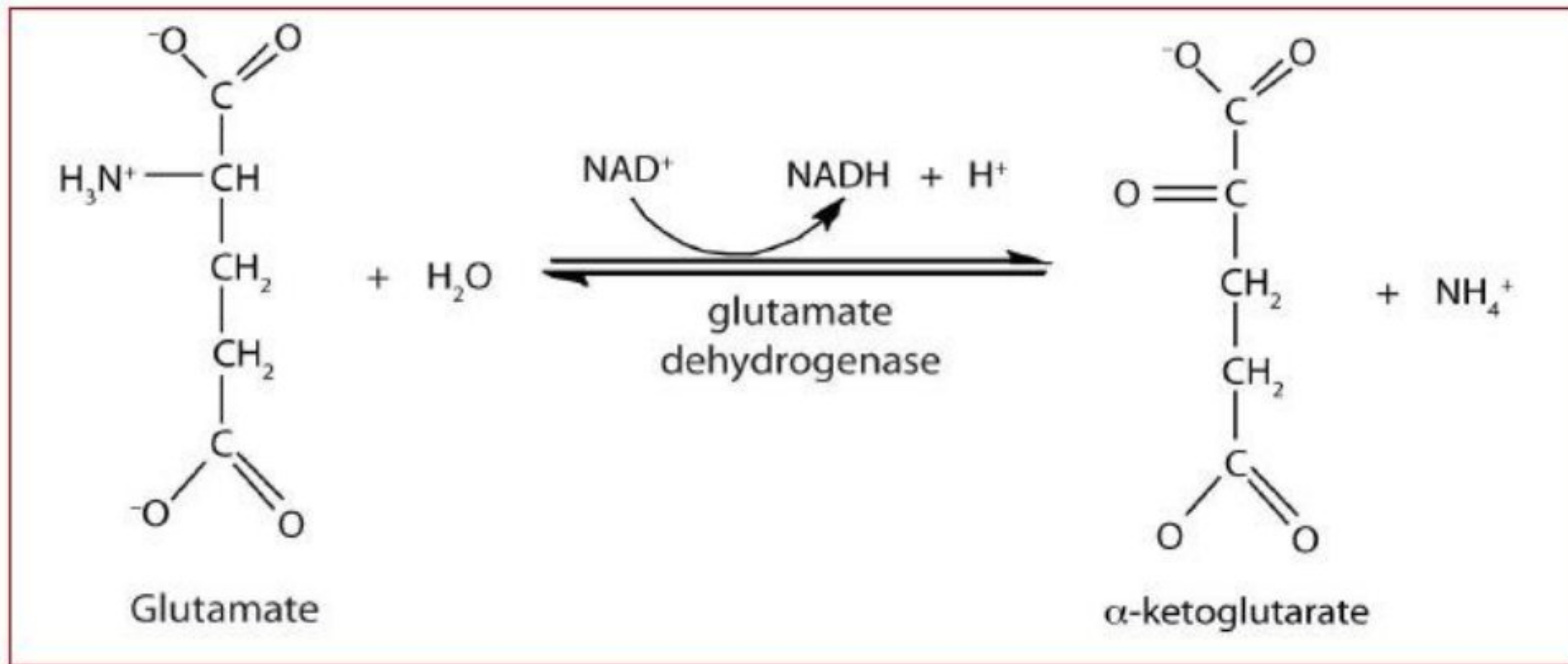
١- نقل مجموعة الامين

- هي عملية نقل مجموعة الالف امين من حمض اميني الي هيكل حمض كيتوني لتكوين حمض اميني جديد.
- تحدث هذه العملية في سيتوبلازم وميتوكوندريا خلايا الكبد
- يحفز هذا التفاعل العكسي بواسطة انزيم الترانس امينيز الذي يلعب دور هام في عملية هدم وبناء الاحماض الامينية



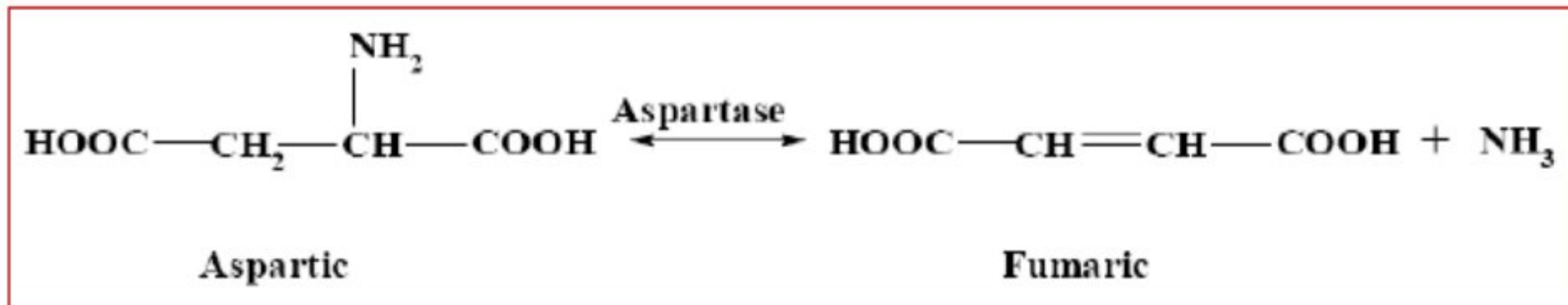
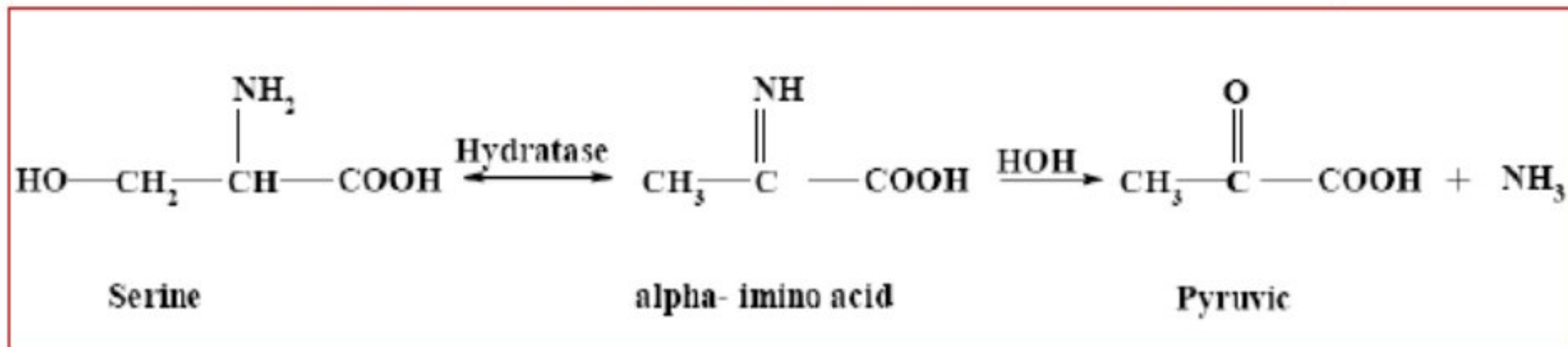
2. تفاعل النزع التاكسدي لمجموعة الامين:

- هي عملية إزالة مجموعة الألفا أمين من الحمض الأميني الجلوتاميت لتبقى السلسلة الكربونية لهذا الحمض.
- تنتقل مجموعة الأمين المنزوعة إلى دورة اليوريا (Urea Cycle)، أما السلسلة الكربونية المتبقية تتحول إلى حمض كيتوني ليتحول بعدها لمركب وسيط يدخل في دورة كريبس.
- تحدث هذه العملية في ميتوكوندريا خلايا الكبد.
- يُحفز هذا التفاعل العكسي وفي وجود الـ NAD^+ بواسطة إنزيم الجلوتاميت ديهيدروجينيز (Glutamate Dehydrogenase) الذي يلعب دوراً هاماً في عملية تنظيم مستوى الطاقة في الخلية.



3. تفاعل النزع غير التأكسدي لمجموعة الأمين:

هي عملية إزالة مجموعة الألفا أمين من الحمض الأميني مشبعة بواسطة إنزيمات ألفا دي أميناز (deaminases) ليعطي الأمونيا والأحماض الغير مشبعة.



4. تفاعل نزع مجموعة الكربوكسيل:

- يحفز تلك التفاعلات إنزيمات دي كربوكسيليز (decarboxylase)
- ينتج من نزع مجموعة الكربوكسيل المرتبطة بذرة الكربون ألفا إلى تكوين مركبات ذات أهمية كبيرة.

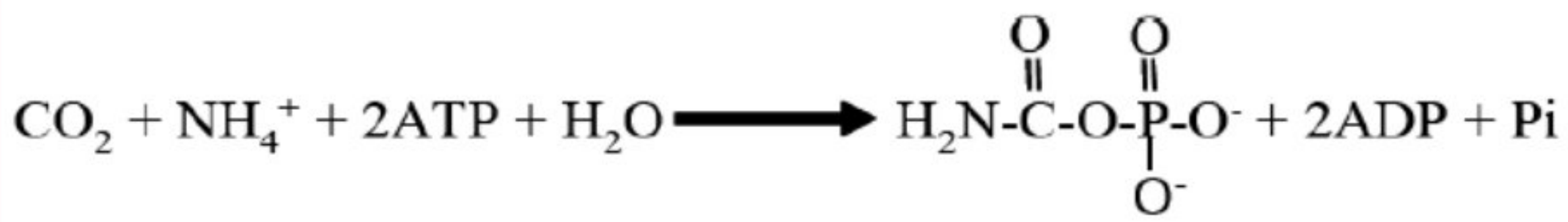
مثال:

- ✓ يتم إنتاج مركب الهيستامين بواسطة نزع مجموعة الألفا كربوكسيل من الحمض الأميني الهستيدين.
- ✓ يتم إنتاج مركب الجاما أمينو بيوتريك (ناقل عصبي) بواسطة نزع مجموعة الألفا كربوكسيل من الحمض الأميني الجلوتاميك.
- ✓ يتم إنتاج مركب السيروتونين (ناقل عصبي) بواسطة نزع مجموعة الألفا كربوكسيل من الحمض الأميني التريبتوفان.

دورة اليوريا

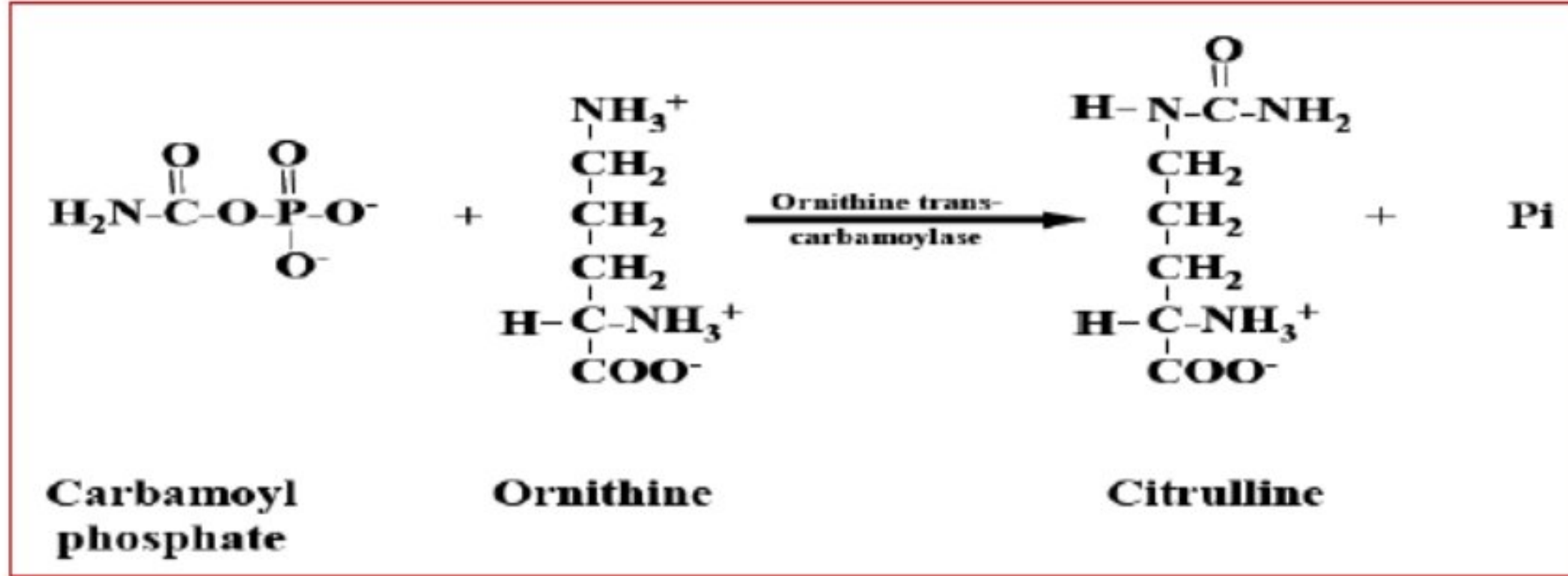
التفاعل الأول:

- يتم هذا التفاعل في الميتوكوندريا ويكون مركب الكربوميل فوسفات (Carbonyl Phosphate) من إتحاد الأمونيا (من الجلوتاميت) مع ثاني أكسيد الكربون (من سلسلة التنفس في دورة كربس) + ماء + 2ATP.
- يُحفز هذا التفاعل إنزيم الكارباميل فوسفيت سينثيز-1 (Carbonyl Phosphate Synthase 1).



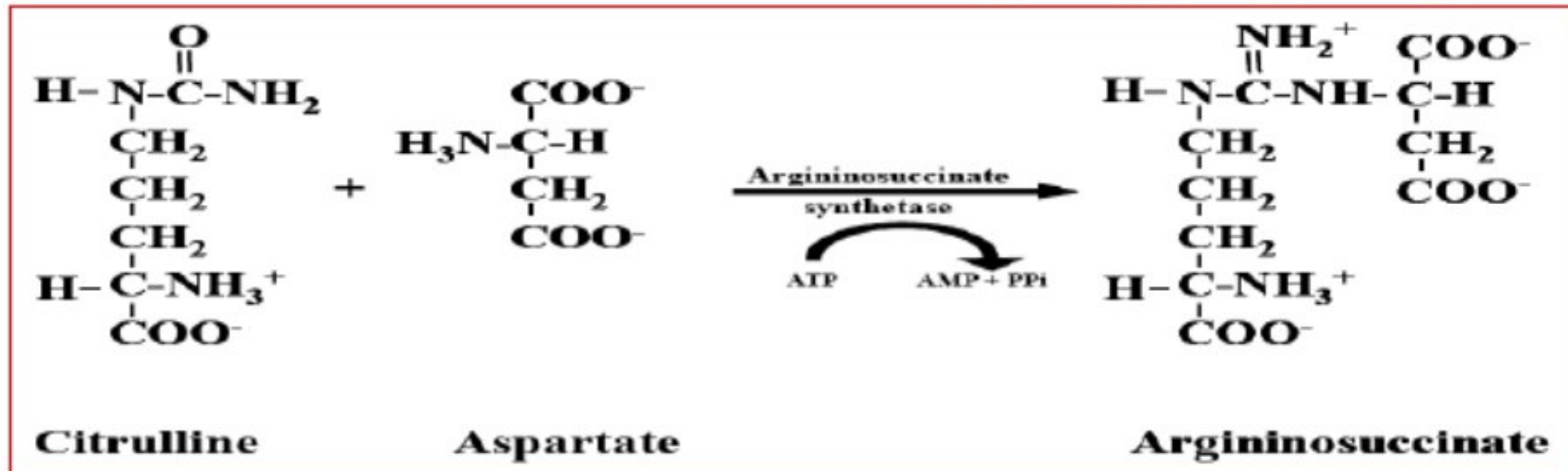
التفاعل الثاني:

- يتم هذا التفاعل في الميتوكوندريا حيث يُحفز إنزيم أورنيثين ترانزكارباميليز (Ornithine Transcarbamylase) نقل مجموعة الكرباميل إلى مركب الأورنيثين لتعطي الستروولين.



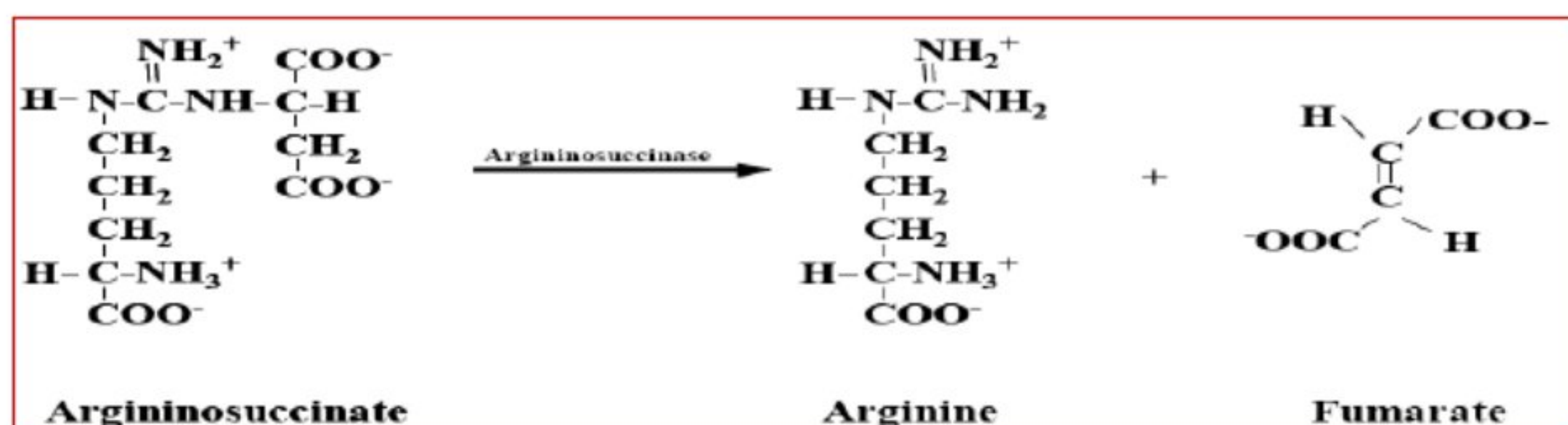
التفاعل الثالث:

- يتم هذا التفاعل في السيتوبلازم حيث يُحفز إنزيم الأرجينينوسكسينيت سينثيز (Argininosuccinate Synthetase) اندماج مركب الستروولين مع الحمض الأميني الأسبارتيت (بالتالي إضافة مجموعة الأمين الثانية المكونة لليوريا) ليُعطي مركب الأرجينينوسكسينيت.



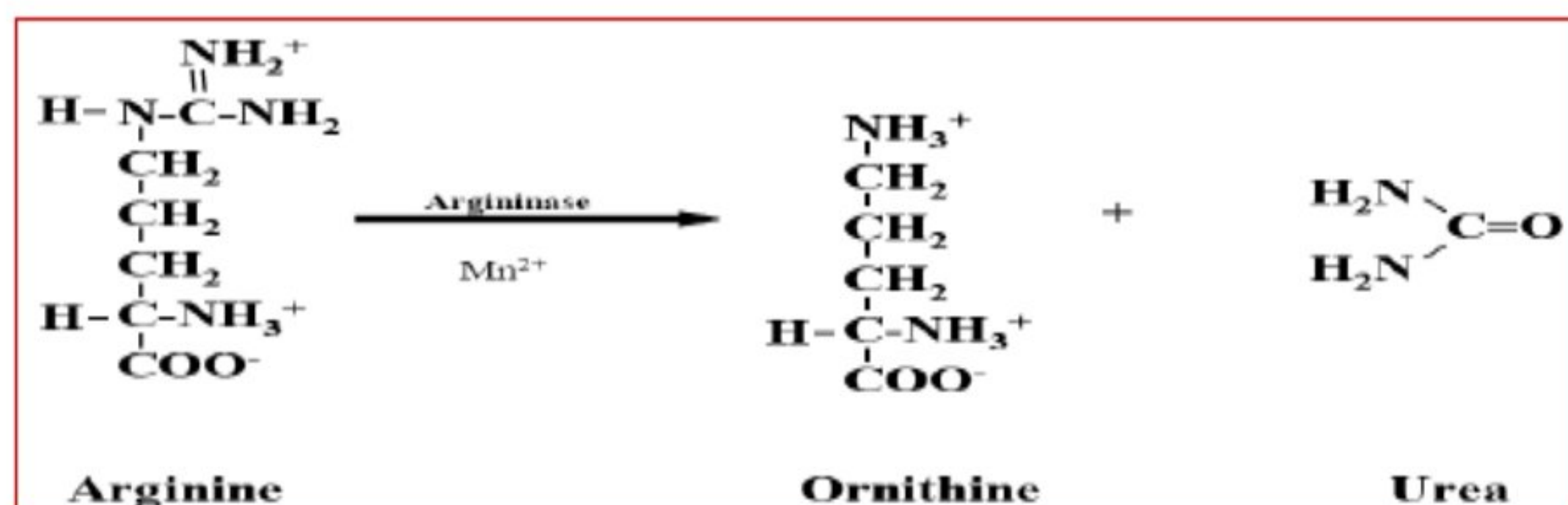
التفاعل الرابع:

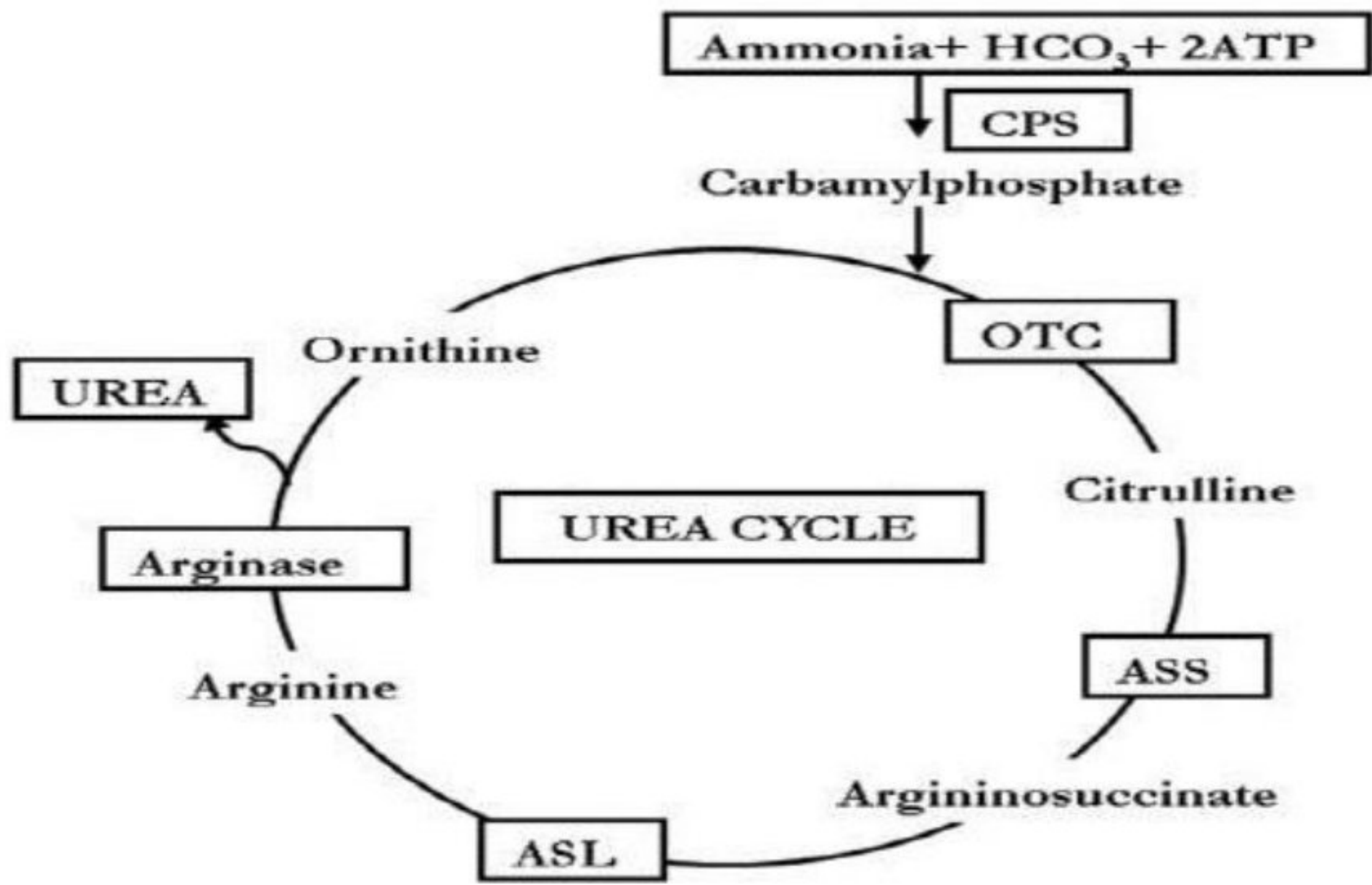
- يتم هذا التفاعل في السيتوبلازم حيث يحفز إنزيم الأرجينينوسكسينيت لاييز (Argininosuccinate Layase) تحلل مركب الأرجينينوسكسينيت وتكوين الحمض الأميني الأرجينين والفيوماريت.
- يتحول الفيوماريت إلى الأوكسالوأسيتيت الذي يتحول بدوره إلى الأسبارتيت.



التفاعل الخامس:

- يتم هذا التفاعل في الميتوكوندريا حيث يُحفز إنزيم الأرجينيز (Arginase) تحلل الحمض الأميني الأرجينين إلى يوريا والأورنيثين.
- هذا الإنزيم لا يوجد إلا في الكبد، أي أن الكبد هو العضو الوحيد القادر على تكوين اليوريا والتي تنتقل بعد تصنيعها في الكبد إلى الكلية (عن طريق الدم) للتخلص منها بواسطة تكوين البول.

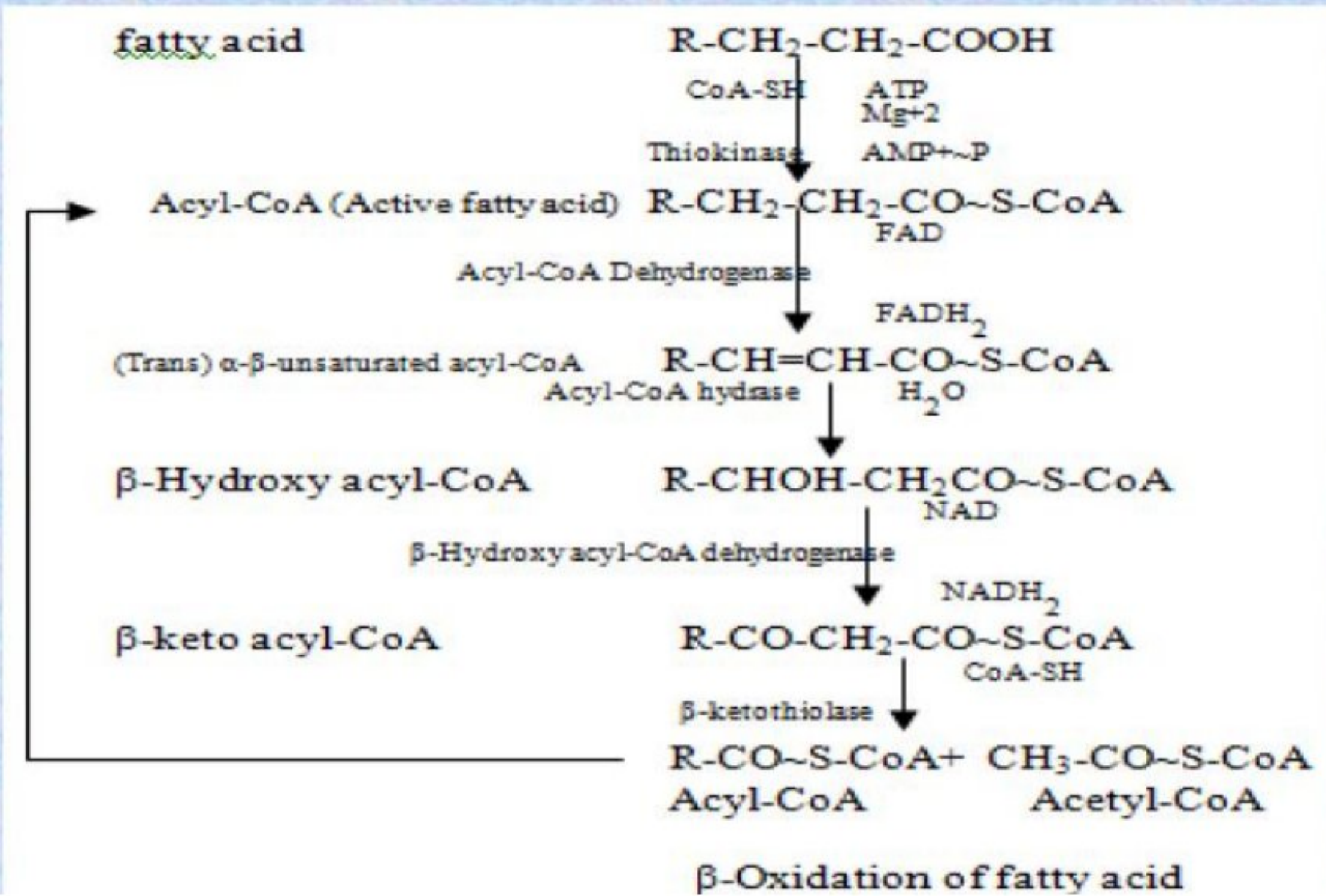




التمثيل الغذائي للليبيدات Metabolism of lipids

- تخزن الزيوت والدهون على صورة مركبات متعادلة Glycerides في النباتات والحيوان وهذه توجد في الخلية الحية لإنتاج الطاقة حيث تعتبر الليبيدات من المصادر الغنية في الطاقة المخزونه داخل الجسم. فعند تناول مادة غذائية تحتوي على دهون فانها تمر من المعدة الى الامعاء حيث يقوم انزيم الـ Lipase المفرز من البنكرياس بتحليل الدهون او الزيوت الى احماض دهنية وجلسرول التي تمتص خلال جدر الامعاء وتنتقل بصور مختلفة الى حيث استخدامها. وتخزن الزيادة من الدهون في مواضع مختلفة من جسم الحيوان اهمها تجويف البطن وتحت الجلد وبين العضلات. والجلسرول يتحول الى جليكوجين في الكبد ويمثل الى كربوهيدرات ويتم الحصول على الطاقة المخزونه في المواد الدهنية عن طريق عملية الاكسدة للأحماض الدهنية طويلة السلسلة.
- وهناك نوعان من الاكسدة :-

اولا : الاكسدة في الوضع بيتا: - β -oxidation وتسمى ايضا (Knoop's oxidation)

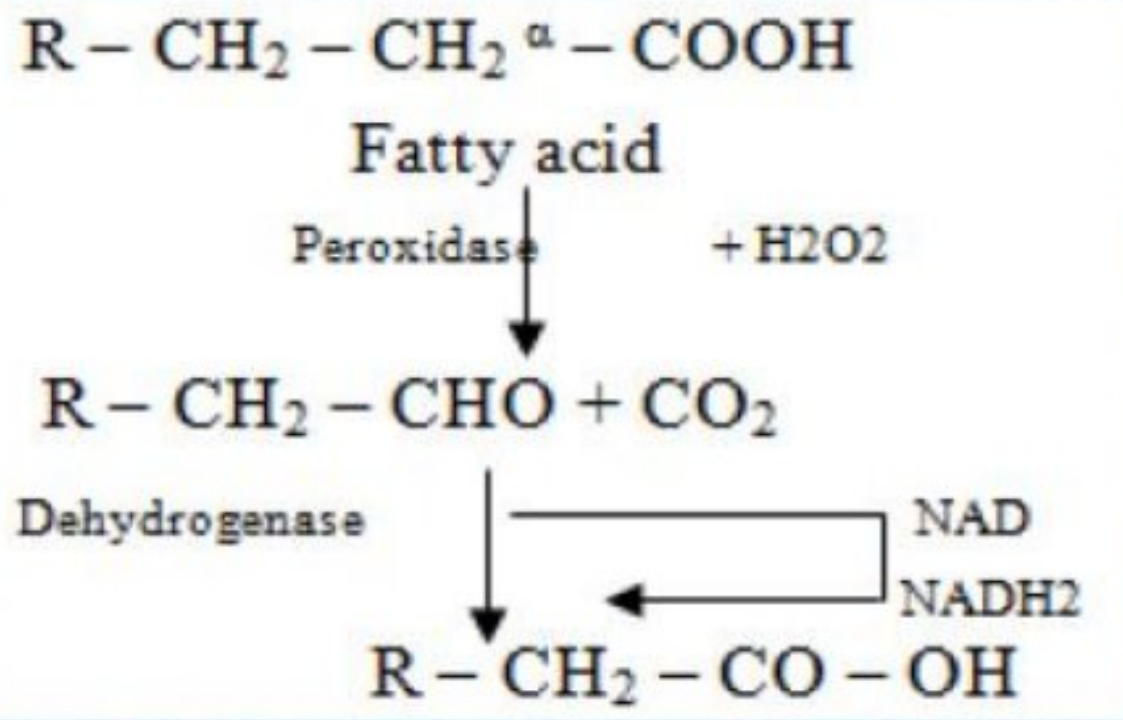


• ويلاحظ في هذه التفاعلات مايلي:

- 1- في الخطوة الاولى يلزم جزيء واحد فقط من ATP لتنشيط الحمض الدهني في بدأ β -oxidation وفي وجود مرافق انزيمي Co-enzyme A-SH فنحصل على مشتق معاون للحمض الدهني في صورة نشطة Acyl Co-A ويتبع ذلك استمرار الاكسدة لهذا المركب النشط بصرف النظر عن عدد ذرات الكربون في السلسلة الكربونية للحمض الدهني 0 يعمل مركب ATP على تنشيط الحمض الدهني فقط لتكوين مركب Acyl Co-A.
- 2- يتبع الخطوة السابقة عملية نزع ايدروجين بين ذرتي الكربون α, β ويحدث ذلك في وجود FAD الذي يتحول الى الصورة المختزلة $FADH_2$ وينتج خلال هذه الخطوات جزيئات من الـ ATP.
- 3- عند تحويل المركب β -Hydroxy acyl Co-A الى المركب β -Keto acyl Co-A ويحتاج هذا التفاعل الى NAD الذي يتحول الى $NADH_2$ وينتج خلال ذلك 3 جزيئات من الـ ATP. وعلى ذلك فان كل β -Oxidation ينتج خلالها 5 جزيئات من الـ ATP.
- 4- يلاحظ ايضا انه في كل β -Oxidation ينقص ذرتين كربون من الحمض الدهني على صورة acetyl-CoA والتي يدخل دورة كرب للاحماض ثلاثية الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (Krebs cycle) حيث يتأكسد الى $H_2O + CO_2$.
- 5- اما باقى جزيء الحمض الدهني فيكون على صورة acyl Co-A الذي يحدث له β -Oxidation ليخرج منه ذرتين كربون على صورة acetyl CoA وهكذا حتى يتم اكسدة الحمض الدهني كله وهكذا فتكون النتيجة النهائية هي :-
- Fatty acid Acetyl CoA $CO_2 + H_2O$
- وعلى ذلك فحمض دهني يحتوى على 18 ذرة كربون يحدث له ثمانى مرات β -Oxidation.
- 6- يلاحظ ان هذه الدورة لا هوائية حيث تتم الاكسدة والاختزال بواسطة انزيمات dehydrogenase.

ثانيا : الاكسدة في الوضع (α - oxidation) :

- يتم هذا النوع من الاكسدة في احوال خاصة في البذور والاجنه وبعض الانسجة كالمخ وتتم كالاتى :-



- وهكذا تتكرر العملية من جديد

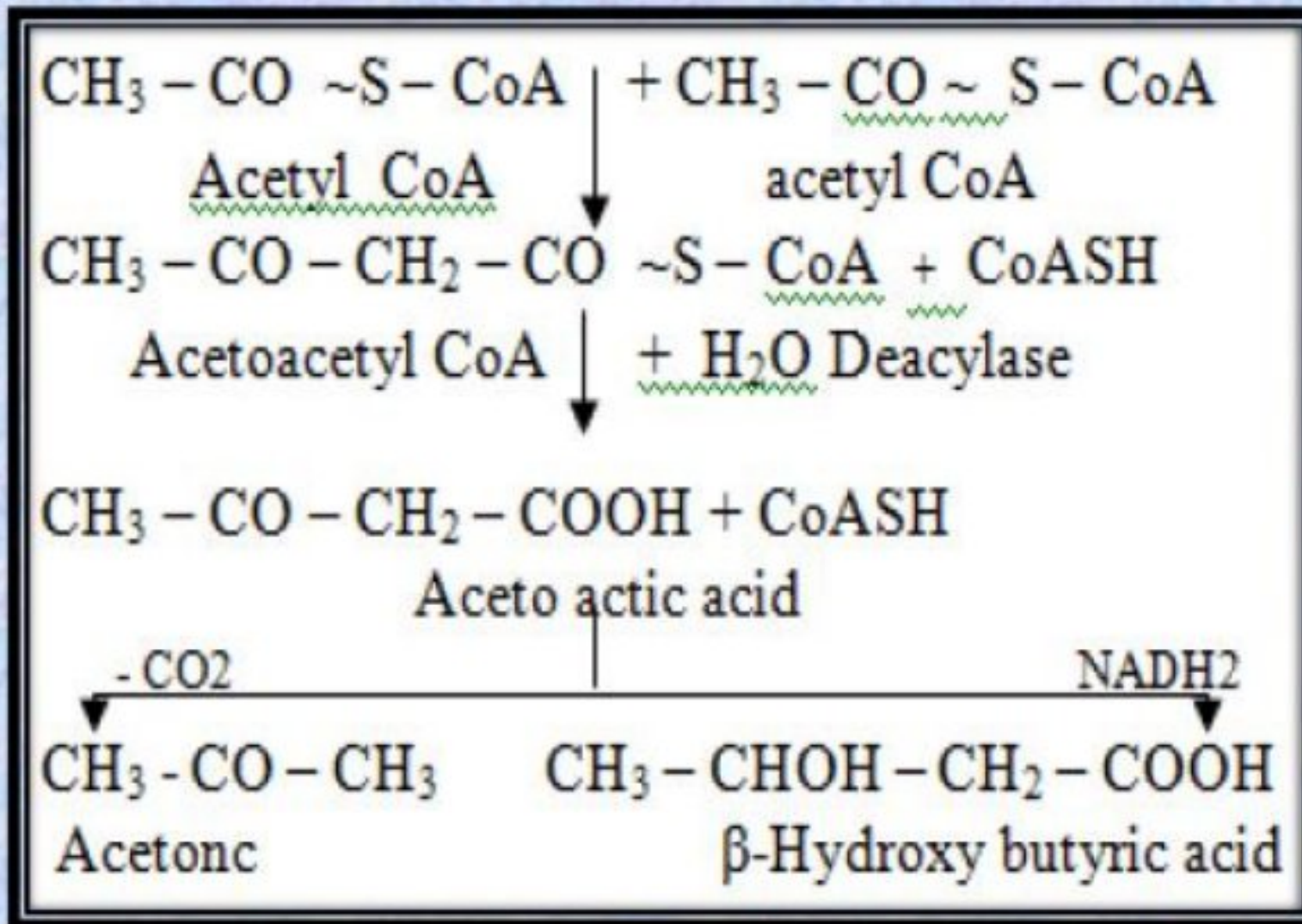
- يلاحظ في هذا النوع من الاكسدة استخدام الـ NAD الذي يتحول الى $NADH_2$ (مختزل) وينطلق ثلاثة روابط غنية في الطاقة وينقص الحمض الدهني ذرة كربون واحدة تخرج على صورة CO_2 ويلاحظ ان الطاقة الناتجة من عملية الـ β -Oxidation تكون اكبر منها في حالة الـ α - oxidation كما ان عملية الاكسدة في النوع الاول تتم في بطء عن النوع الثاني ولذا تحدث الـ α - oxidation في البذور النابتة لانتاج طاقة بسرعة تساعد على عملية الانبات.

تكوين اجسام كيتونية من الاحماض الدهنية

Formation of Ketone bodies (Ketogenesis)

- تتكون هذه الاجسام اذا كانت كمية الدهن فى الغذاء كبيرة جدا او اذا حدث اضطراب فى دورة كرب لظروف معينة مما يؤدي الى انتاج كميات كبيرة من مركب Acetyl CoA حيث تتراكم لعدم امكان اكسدته فى دورة كرب وينتج عن ذلك ان حرق الدهون فى الجسم يسلك طريق اخر اذ ينتج مركبات تسمى بالاجسام الكيتونية Ketone bodies وتسمى هذه العملية بعملية الـ Ketogenesis وهذه المركبات هى :-
 - β -acetoacetic acid, β -hydroxybutyric acid , acetone

وتتلخص التفاعلات الخاصة بتكوين هذه المركبات فيما يلى:



وبعد تكوين الـ Aceto acetic acid فاما ينزع منه CO_2 ليتكون الإسيتون او يحدث له اختزال بواسطة NADH_2 ليتكون المركب β -Hydroxy butyric acid.

الفيتامينات Vitamins

- تقسم المواد الغذائية الى الاقسام الرئيسية الاتية :-
- **الكربوهيدرات** : كأغذية طاقة.
- **الليبيدات** : كأغذية طاقة مركزة. حيث تستخدم الدهون والزيوت بجانب الكربوهيدرات فى توليد الحرارة اللازمة للكائن الحى.
- **البروتينات** : وهى المسؤلة عن بناء الخلايا وتجديدها سواء للنمو او لتعويض ما يفقد منها.
- **الماء والاملاح المعدنية** : حيث تدخل فى جميع العمليات الفسيولوجية بجميع الكائن الحى.
- **وقد وجد ان تغذية حيوانات التجارب على المركبات الغذائية السابقة فى صورة تامة وبنسب صحيحة يودى الى اعراض مرضية على الحيوانات ثم يتبعه نقص فى النمو ثم الموت. بينما تستمر الحيوانات الاخرى التى تتغذى على علائق كاملة التركيب بصحة جيدة ومع استمرار تجارب التغذية وتعددتها امكن توصيفها وتقسيمها واطلق عليها اسم الفيتامينات Vitamins.**

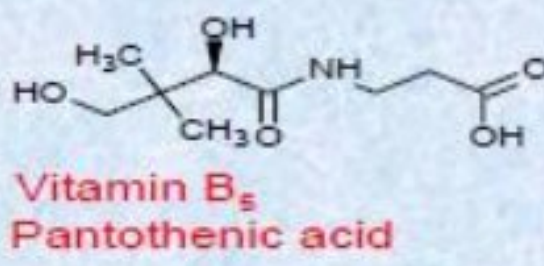
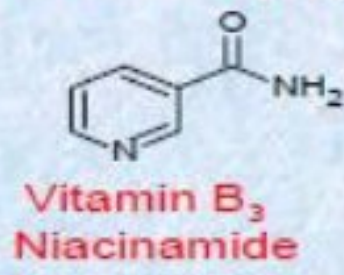
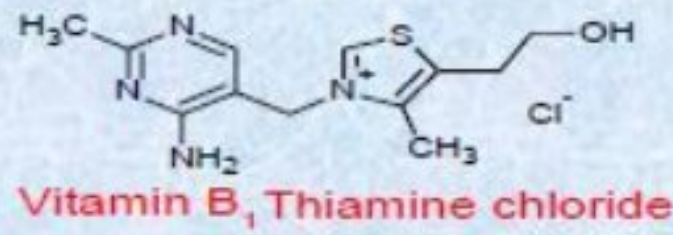
الفيتامينات عبارة عن مركبات كيميائية عضوية لا تتكون عادة بواسطة اعضاء الجسم وتوجد عادة فى المواد الغذائية المختلفة ويحتاج اليها الجسم بكميات صغيرة لى يحتفظ بصحة جيدة ونمو سليم. **ولا تتدخل الفيتامينات فى بناء الانسجة ولا يتولد عنها طاقة مثل المواد الغذائية الاخرى.** وتختلف احتياجات الحيوان من الفيتامينات باختلاف نوعه ويتسبب نقصها فى ظهور اعراض مرضية على الكائن الحى وتتكون الفيتامينات فى انسجة النبات وفى انواع معينة من البكتريا وقد توجد فى صورة نشطة او ما يسمى مولد الفيتامينات Precursors.

تقسم الفيتامينات بالنسبة للذوبان

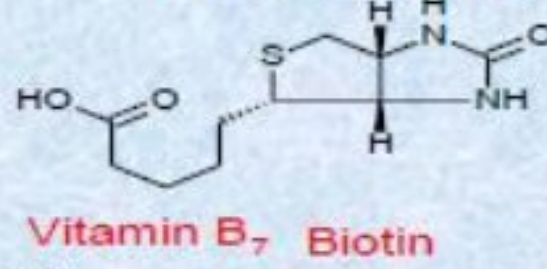
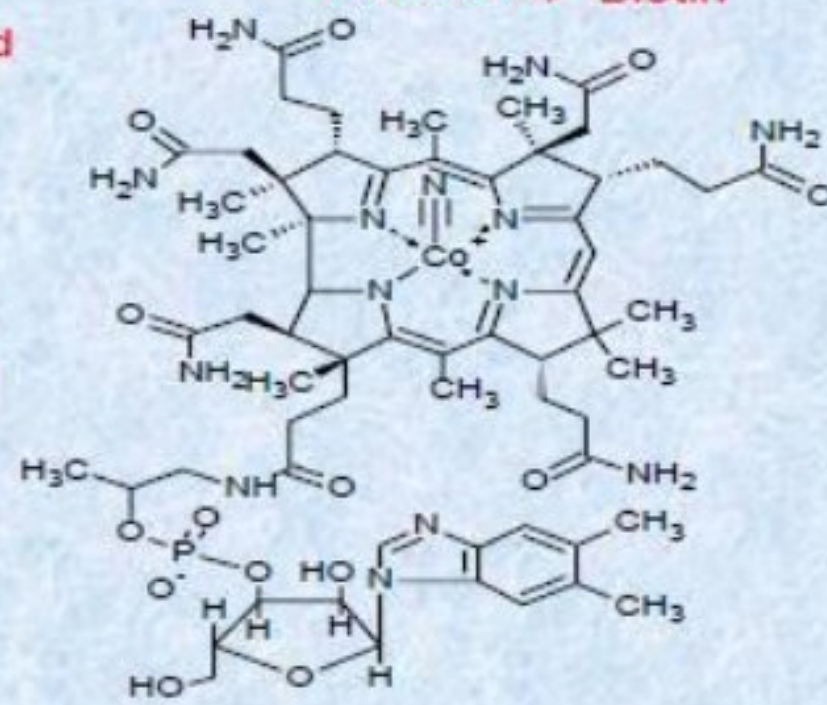
• أولاً : فيتامينات قابلة للذوبان في الماء **Water Soluble Vitamins** - وهي تشمل مجموعه فيتامينات B ، C

• ثانياً : فيتامينات قابلة للذوبان في الدهون **Fat soluble Vitamins** - وبالتالي تذوب في مذيبيات الدهون وتشمل فيتامينات A, K, E, D.

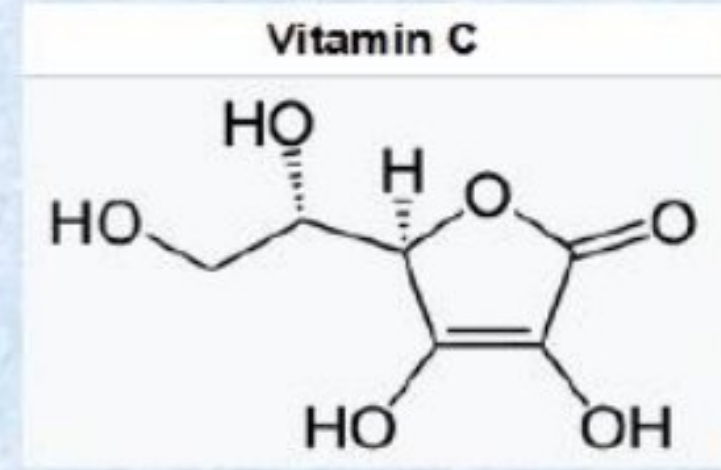
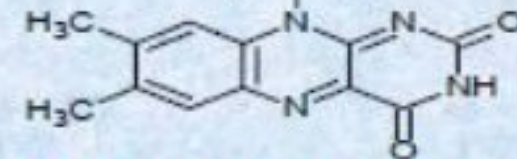
الفيتامينات الذائبة في الماء



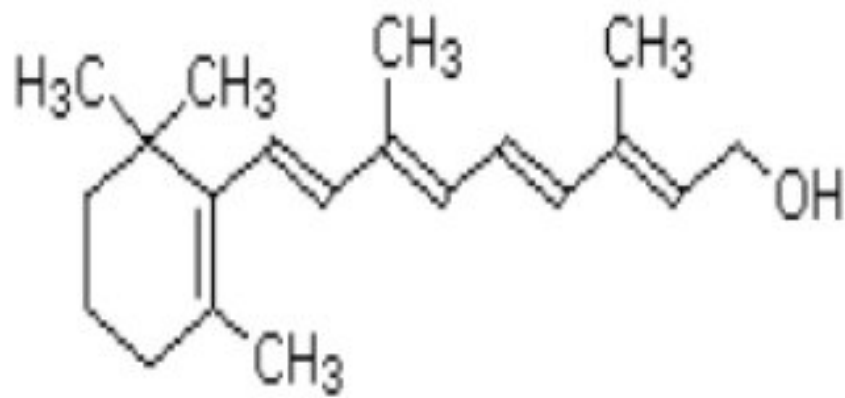
Vitamin B₁₂



Vitamin B₂ Riboflavin

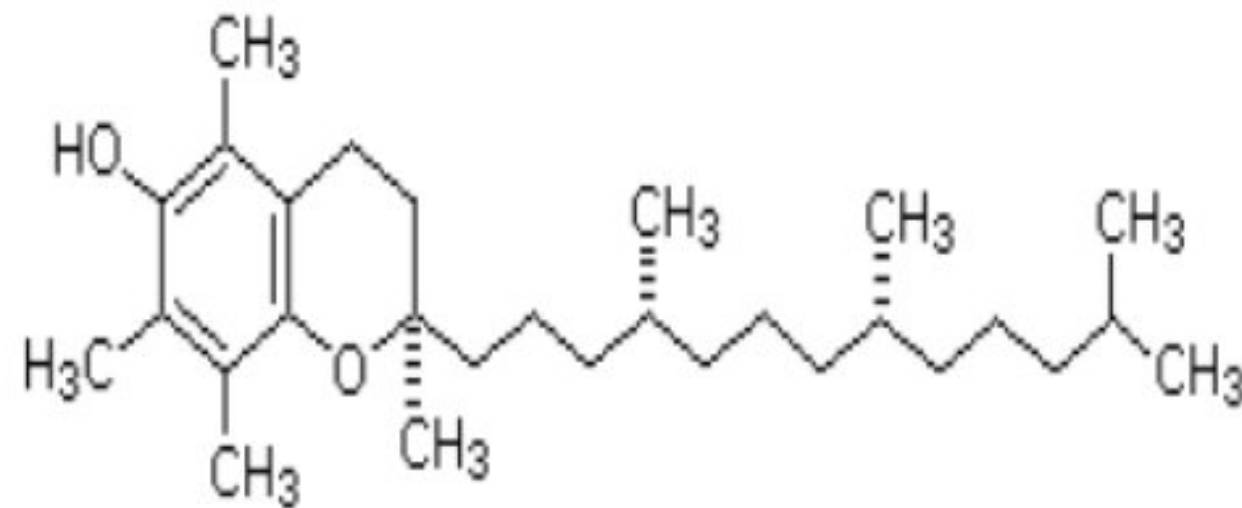


Lipid Soluble Vitamins

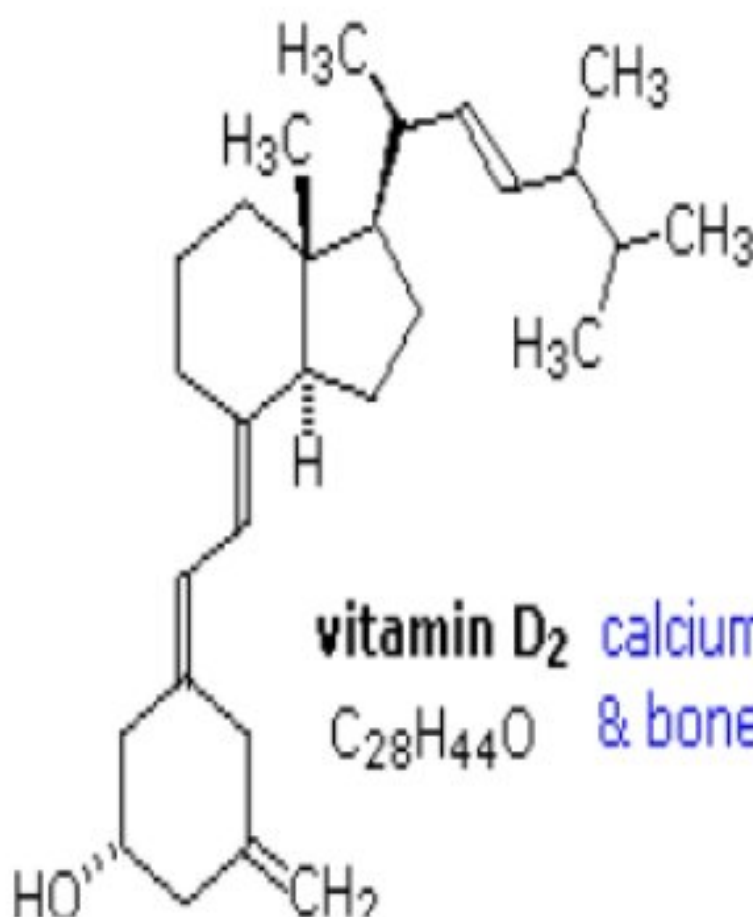


vitamin A

$C_{20}H_{30}O$ part of the visual pigment

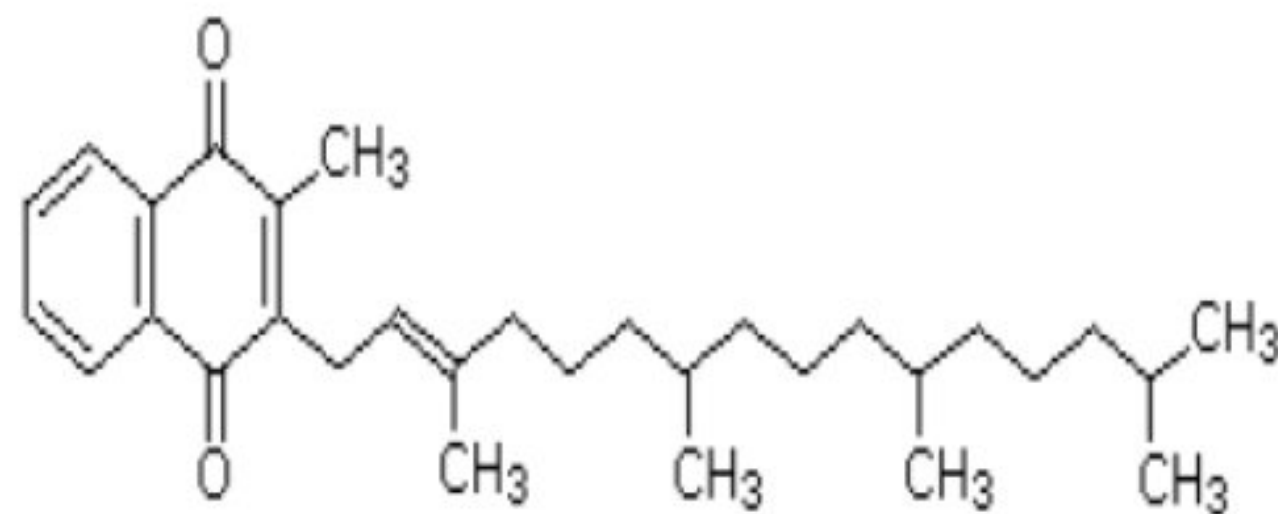


$C_{29}H_{50}O_2$ **vitamin E** an antioxidant



vitamin D₂ calcium metabolism & bone growth

$C_{28}H_{44}O$



vitamin K₁ a blood clotting factor

$C_{31}H_{46}O_2$