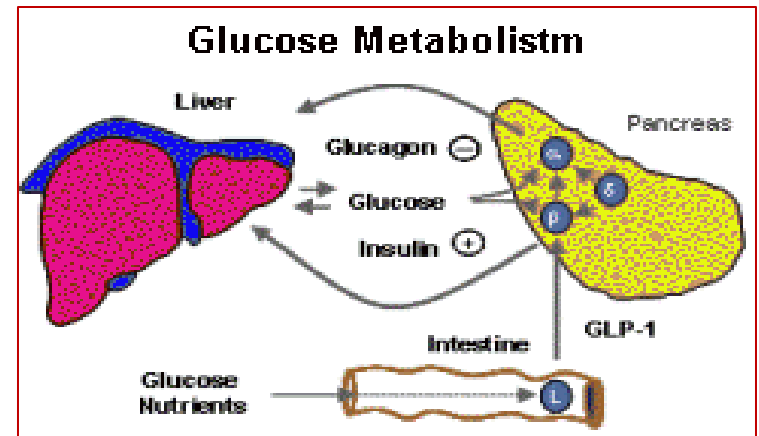


أيض الكربوهيدرات

Carbohydrate Metabolism

مقرر 101 كيج
محاضرات رقم 24 - 26
إعداد: أ. عاتكة الشمري

T. Atika AL-Shammari



العمليات الأيضية (Metabolism)

- تُعرف العمليات الأيضية (التمثيل الغذائي) على أنها مجموع كل التفاعلات الكيميائية للجزيئات الحيوية التي تحدث داخل الخلية.

تقسم العمليات الأيضية إلى:

عمليات البناء
Anabolism

عمليات الهدم
Catabolism

العمليات الأيضية (Metabolism)

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.

هضم الكربوهيدرات

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 والجالاكتوز إلى جلوكوز لتستفيد منه باقي الخلايا.

مصير الجلوكوز

- يتم نقل الجلوكوز بواسطة الدم إلى أنسجة الجسم المختلفة ليتم إستغلاله بالطرق الآتية:
- 1. أكسدة الجلوكوز لإنتاج الماء، ثاني أكسيد الكربون، والطاقة عن طريق تحليل 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 الجلوكيرونك في الكبد وهو هام للتفاعلات التي يتم فيها تحويل المواد السامة إلى مواد غير سامة.
 - سكريات أمينية لصنع السكريات المتعددة المخاطية.

مصير الجلوكوز

3. تخزين الفائض منه:

- يتم تخزين الجلوكوز في الكبد والعضلات على هيئة جلايكوجين بواسطة عملية تسمى الجلايكوجينيسس 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 كريس

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) (2جزيء X 3 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.

تحلل الجلوكوز (Glycolysis)

مراحل تحلل الجلوكوز:



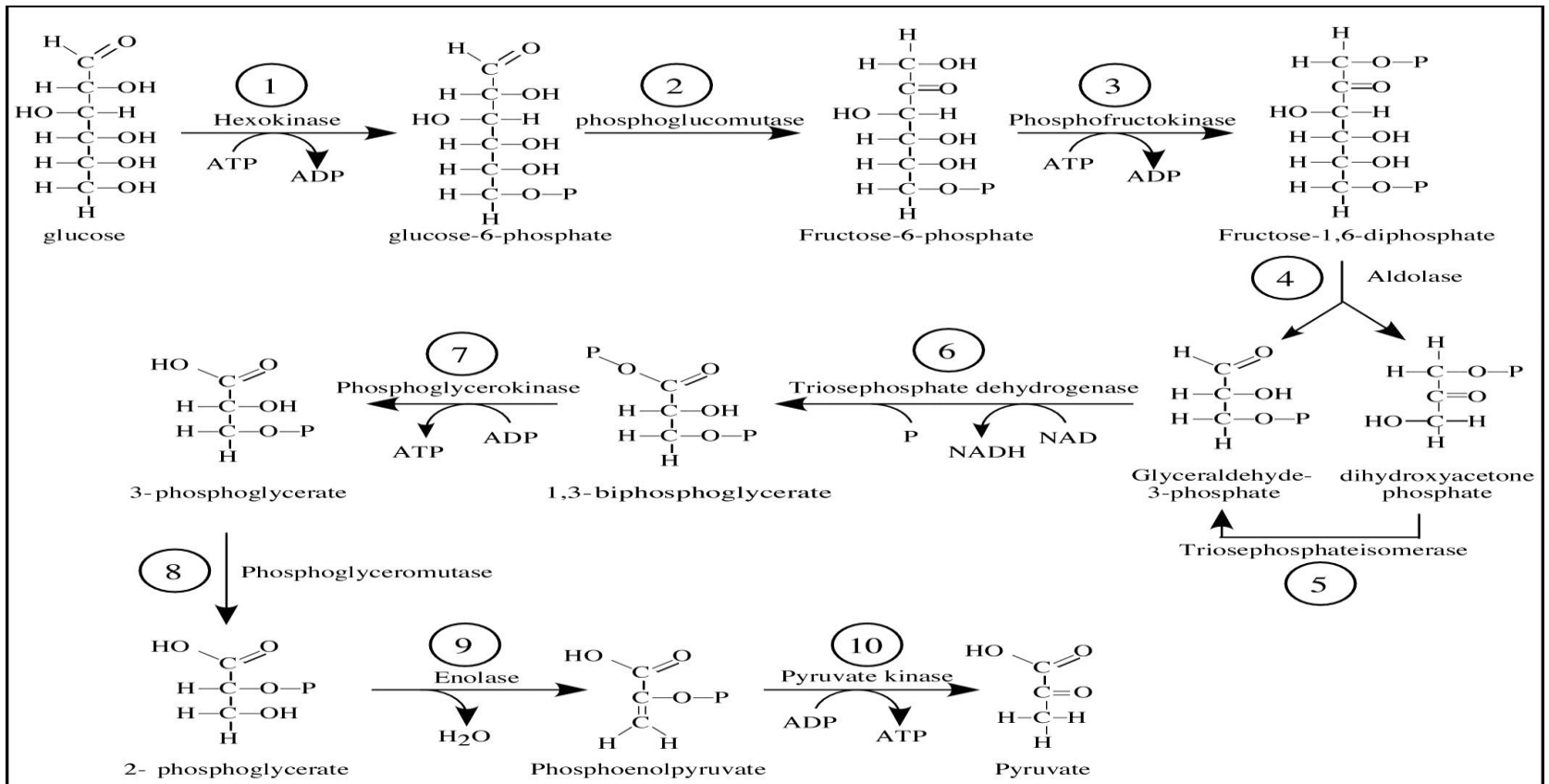
- **المرحلة الأولى (المرحلة التحضيرية):**

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.

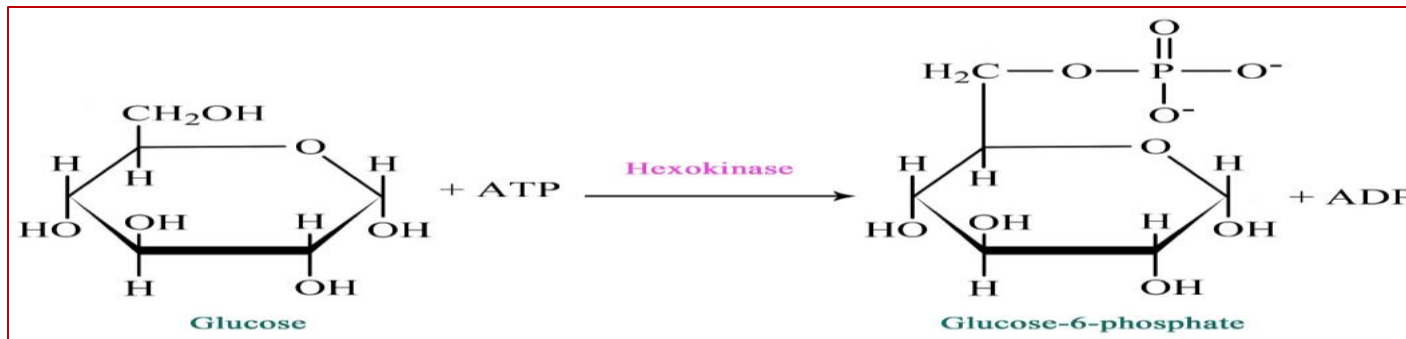
تحلل الجلوكوز (Glycolysis)



خطوات تحليل الجلوكوز (Glycolysis)

1) تحويل الجلوكوز إلى جلوكوز 6-فوسفات:

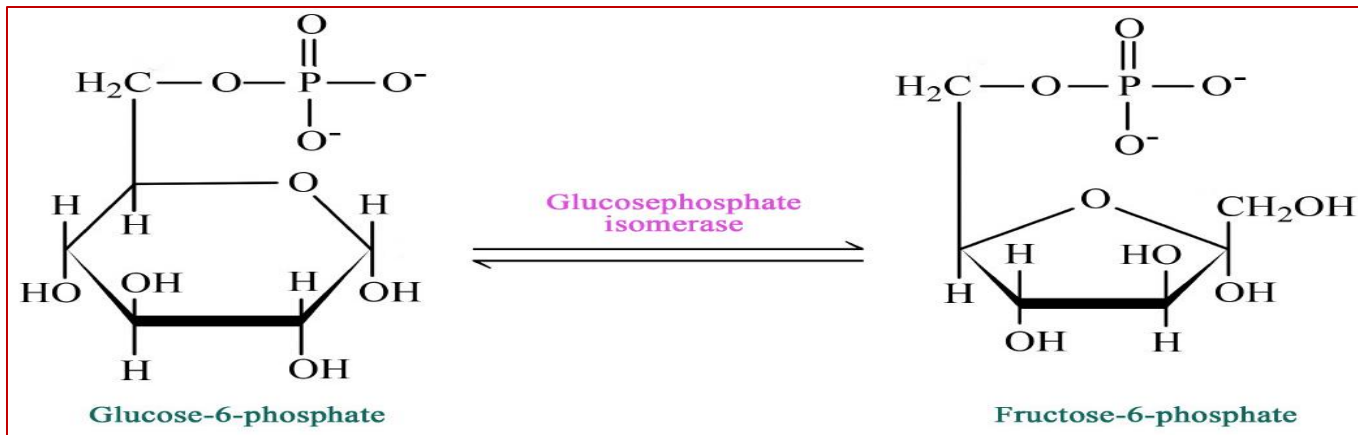
- يتم إستهلاك جزيء ATP لتحويل جزيء جلوكوز إلى جلوكوز 6-فوسفات بواسطة إنزيم الهكسوكينيز (Hexokinase) في تفاعل غير عكسي في وجود أيون الماغنسيوم (Mg^{+2}) أو المنجنيز (Mn^{+2}).
- إذا زاد تركيز الجلوكوز 6-فوسفات المنتج فإنه يُثبِّط عمل إنزيم الهكسوكينيز، لذلك فهو يُمثِّل أحد نقاط التحكم في عملية تحليل الجلوكوز.



خطوات تحليل الجلوكوز (Glycolysis)

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

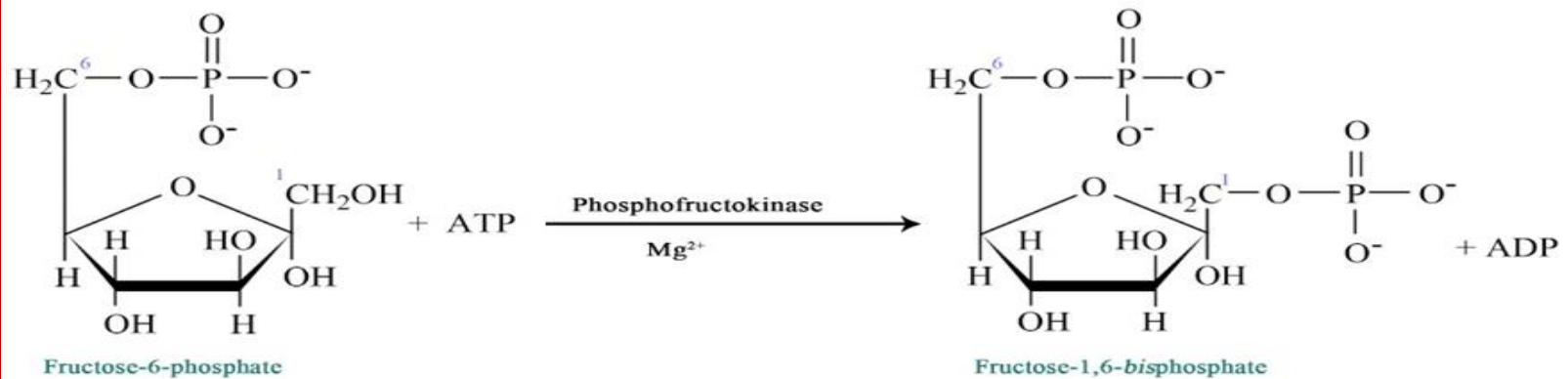
- يُحفز إنزيم الفوسفوجلوكوز أيسومريز (Phosphoglucose isomerase) تحويل الجلوكوز 6-فوسفات إلى فركتوز 6-فوسفات في تفاعل عكسي.
- يحتاج هذا الإنزيم إلى أيونات الماغنسيوم (Mg^{+2}) أو المنجنيز (Mn^{+2}).



خطوات تحليل الجلوكوز (Glycolysis)

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

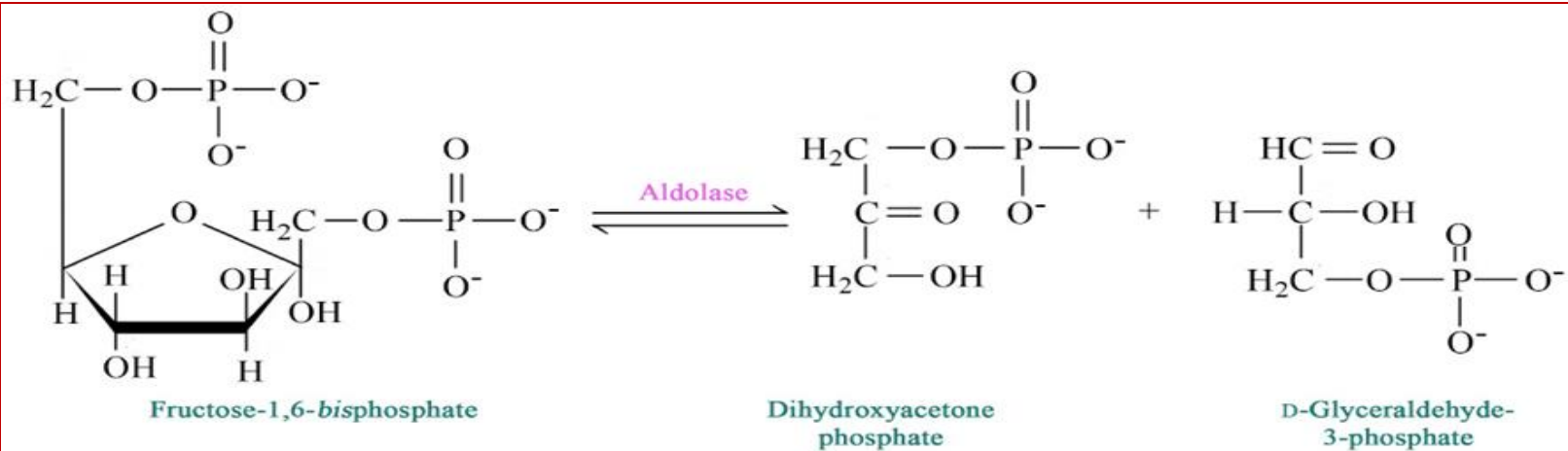
- يحتاج إنزيم الفوسفوفركتو كائيز إلى أيونات الماغنسيوم (Mg^{+2}) حيث يُستهلك جزيء واحد من الطاقة (ATP) لإنتاج الفركتوز 1،6 ثنائي الفوسفات.
- يُعتبر هذا التفاعل تفاعل غير عكسي حيث يُمثل هذا الإنزيم أحد نقاط التحكم في عملية تحليل الجلوكوز.



خطوات تحليل الجلوكوز (Glycolysis)

(4) إنشطار مركب الفركتوز 1،6 ثنائي الفوسفات:

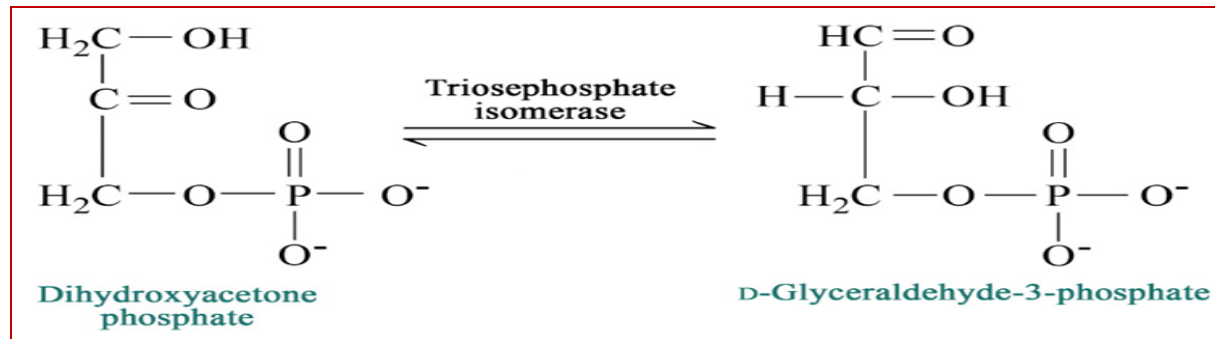
- ينشطر الفركتوز 1،6 ثنائي الفوسفات (6 ذرات كربون) ليعطي جزيئين سكر ثلاثي وهما ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات (3 ذرات كربون) وجليسر ألدهيد 3-فوسفات (3 ذرات كربون) بواسطة إنزيم الألدوليز (Aldolase).



خطوات تحلل الجلوكوز (Glycolysis)

(5) تحول السكريات الثلاثية الفوسفاتية:

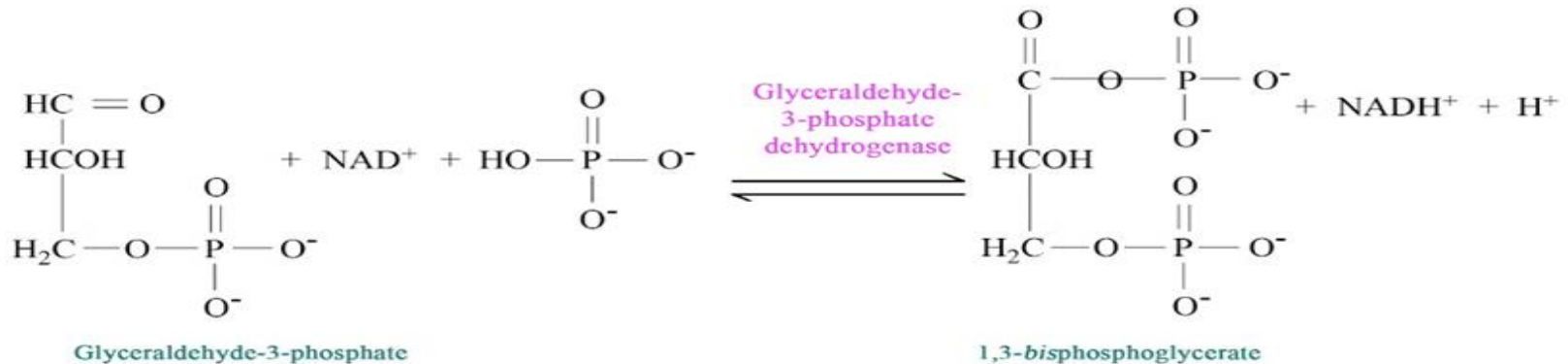
- بواسطة إنزيم الترايوز فوسفات أيزوميراز (Triose Phosphate Isomerase) يتم تحويل ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات إلى جليسر ألدهيد 3-فوسفات الذي يقوم بدوره بإكمال عملية تحلل الجلوكوز.
- وبهذا تكون حصيلة المرحلة التحضيرية هي تحلل جزيء جلوكوز إلى جزيئين من الجليسر ألدهيد 3-فوسفات وإستهلاك جزيئين من الطاقة (ATP).



خطوات تحليل الجلوكوز (Glycolysis)

(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 NAD^+ .

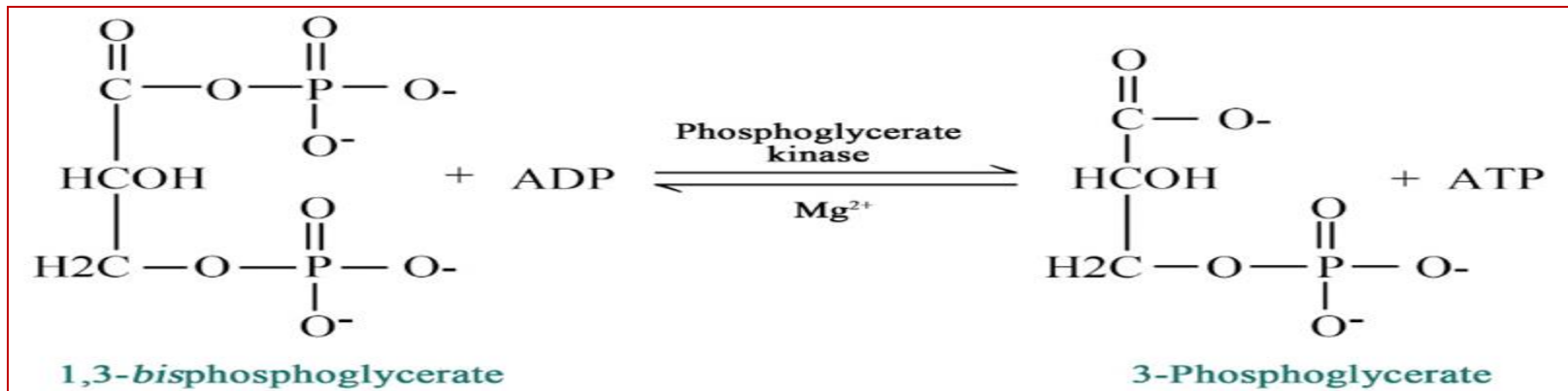


خطوات تحليل الجلوكوز (Glycolysis)

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

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

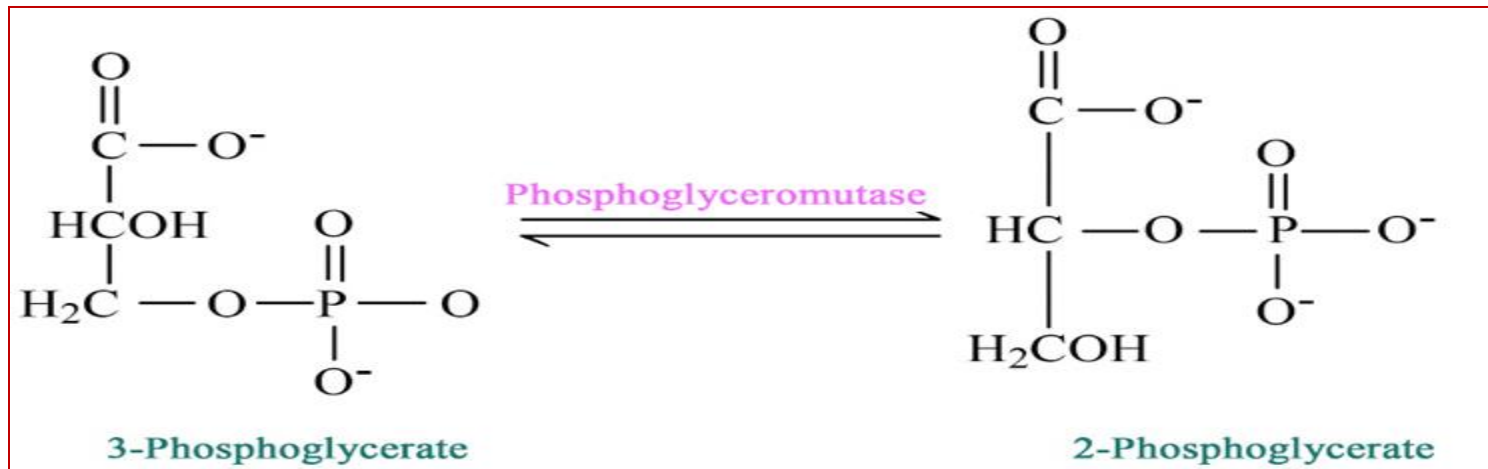
ملاحظة: تنتقل مجموعة الفوسفات من المادة الأساس إلى الـ ADP بدون نقل إلكترونات.



خطوات تحليل الجلوكوز (Glycolysis)

8) تحول 3-فوسفوجليسيريت إلى 2-فوسفوجليسيريت:

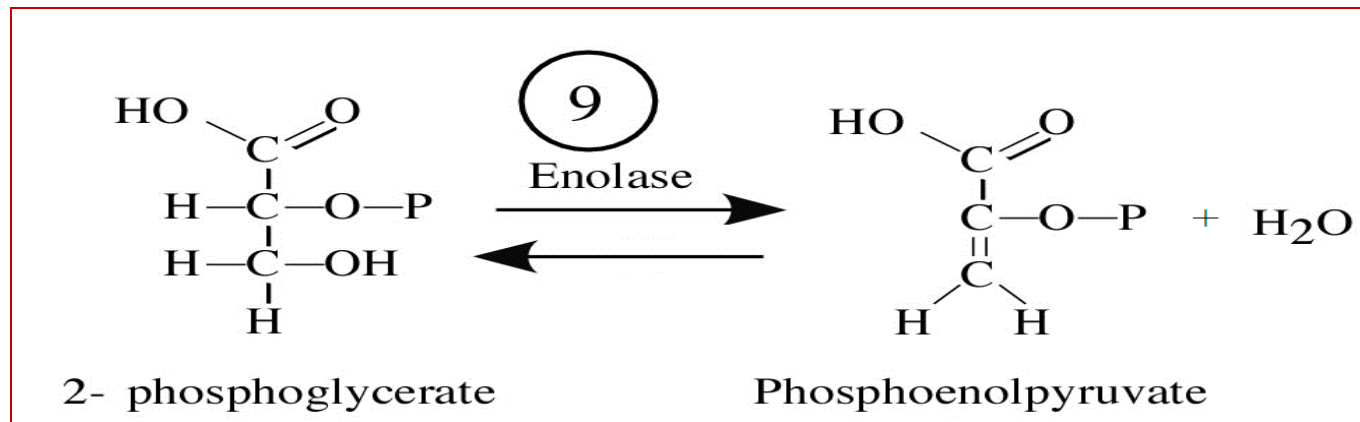
- يُحفز إنزيم فوسفوجليسروميوتيز (Phosphoglyceromutase) تحويل 3-فوسفوجليسيريت إلى 2-فوسفوجليسيريت عن طريق نقل مجموعة الفوسفات من ذرة الكربون رقم 3 إلى رقم 2 في وجود أيونات الماغنسيوم.



خطوات تحلل الجلوكوز (Glycolysis)

(9) إزالة جزيء ماء من 2-فوسفوجليسيريت:

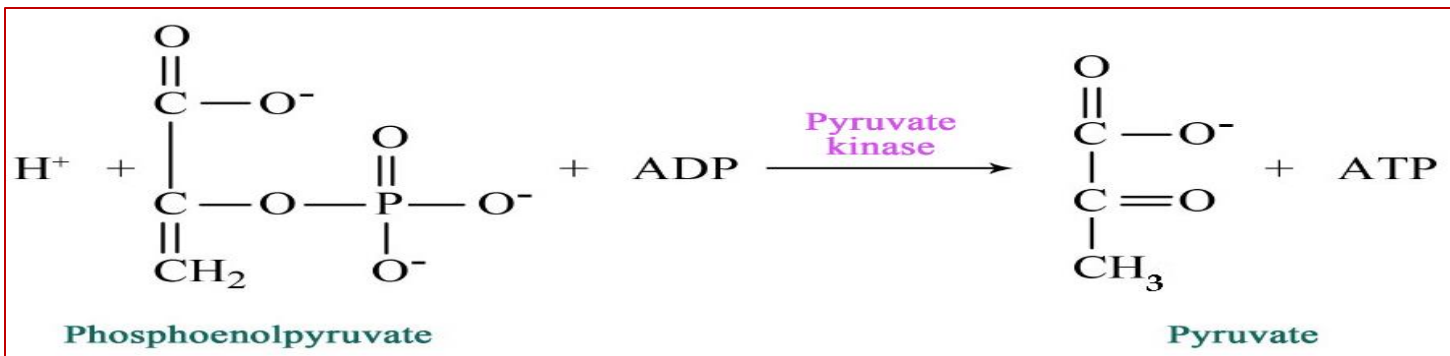
- يُحفز إنزيم الإنوليز (Enolase) إزالة جزيء ماء من 2-فوسفوجليسيريت وتكوين الفوسفواينول بايروفيت (مركب عالي الطاقة).
- يحتاج هذا الإنزيم إلى وجود أيون الماغنسيوم (Mg^{+2}) أو المنجنيز (Mn^{+2}).



خطوات تحلل الجلوكوز (Glycolysis)

(10) تكوين البيروفيت:

- يُحفز إنزيم البيروفيت كينيز (Pyruvate Kinase) انتقال مجموعة الفوسفات ذات الطاقة العالية من مركب الفوسفواينول بايروفيت إلى الـ 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 جزيئين من الـ NADH (باعتبار أن الجلوكوز ينشط إلى جزيئين) في الخطوة رقم 6. كل جزيء من الـ NADH عند أكسدته يعطي 3 ATP.
- إنتاج 2 ATP في الخطوة رقم 7 (باعتبار أن الجلوكوز ينشط إلى جزيئين من الجليسر ألدهيد 3-فوسفات وكل جزء يعطي 1 ATP).
- إنتاج 2 ATP في الخطوة رقم 10 (باعتبار وجود جزيئين من 3-فوسفو إنول بيروفيت ليعطي كلاً منهما 1 ATP).

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

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؛ فنظراً لعدم فسفرة البيروفيت فإنه يمتلك القدرة على الانتقال من السيتوبلازم إلى الميتوكوندريا ليبدأ الأكسدة الهوائية (دورة كربس).

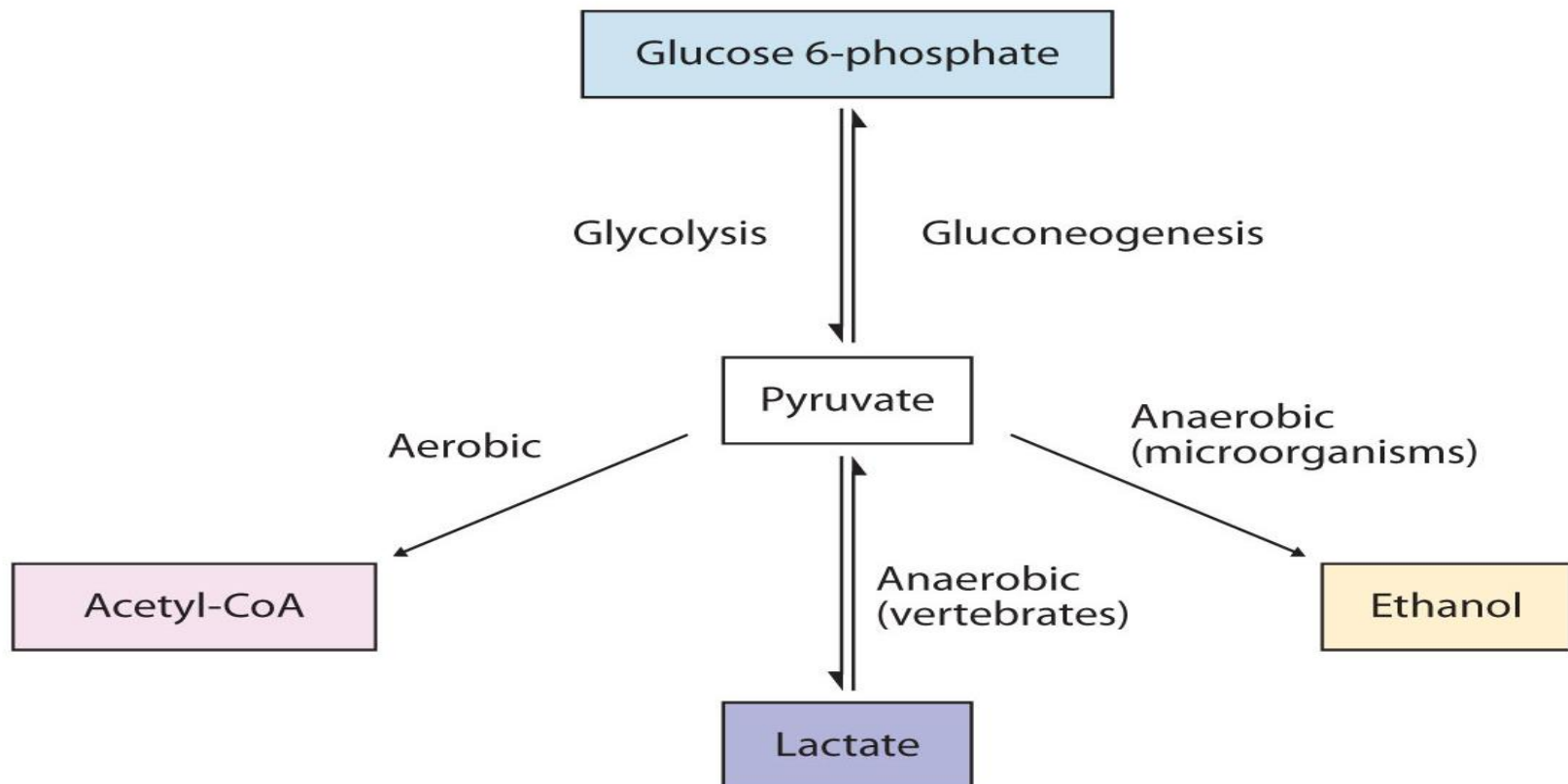
تنظيم عملية تحليل الجلوكوز

- يُلاحظ أن جميع التفاعلات الإنزيمية في الجليكوليسيس هي تفاعلات عكسية ماعدا ثلاثة تفاعلات غير عكسية.
- هذه التفاعلات الثلاث هي تفاعلات منظمة لعملية تحليل الجلوكوز وتُسمى بالتفاعلات المحددة لمعدل التفاعل (Rate-Limiting-Steps).

هذه التفاعلات المنظمة تتم بواسطة الإنزيمات التالية:

- ✓ هكسوكاينيز
- ✓ فوسفوفركتوكاينيز
- ✓ بيروفيت كاينيز

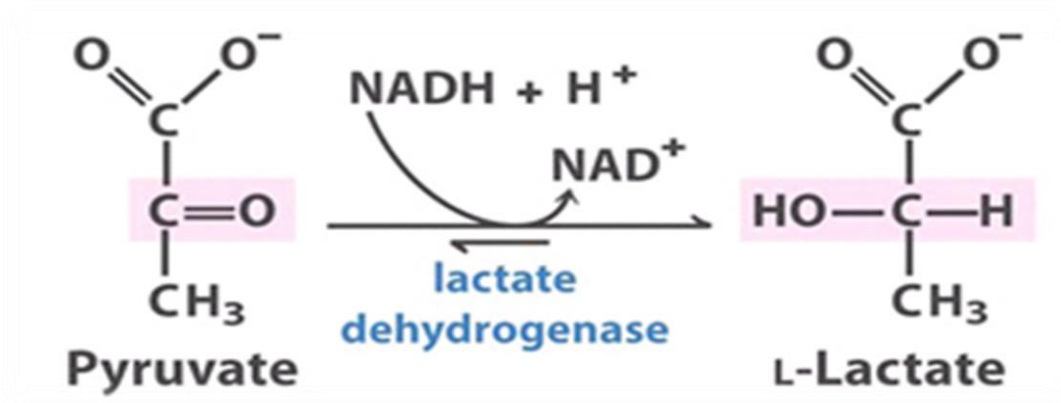
مصير البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز



التفاعلات اللاهوائية للبيروفيت

يُحول إلى لaktيت:

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

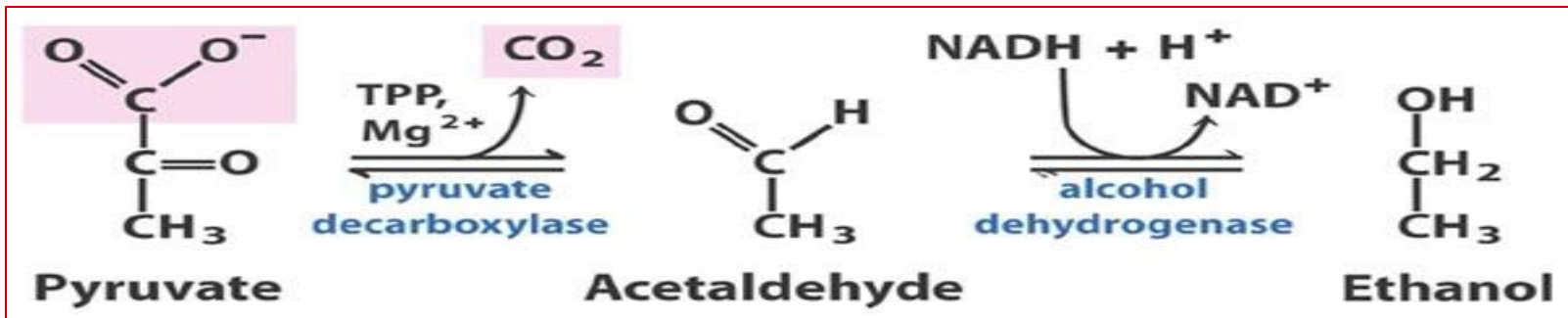


التفاعلات اللاهوائية للبيروفيت

يُحول إلى إيثانول:

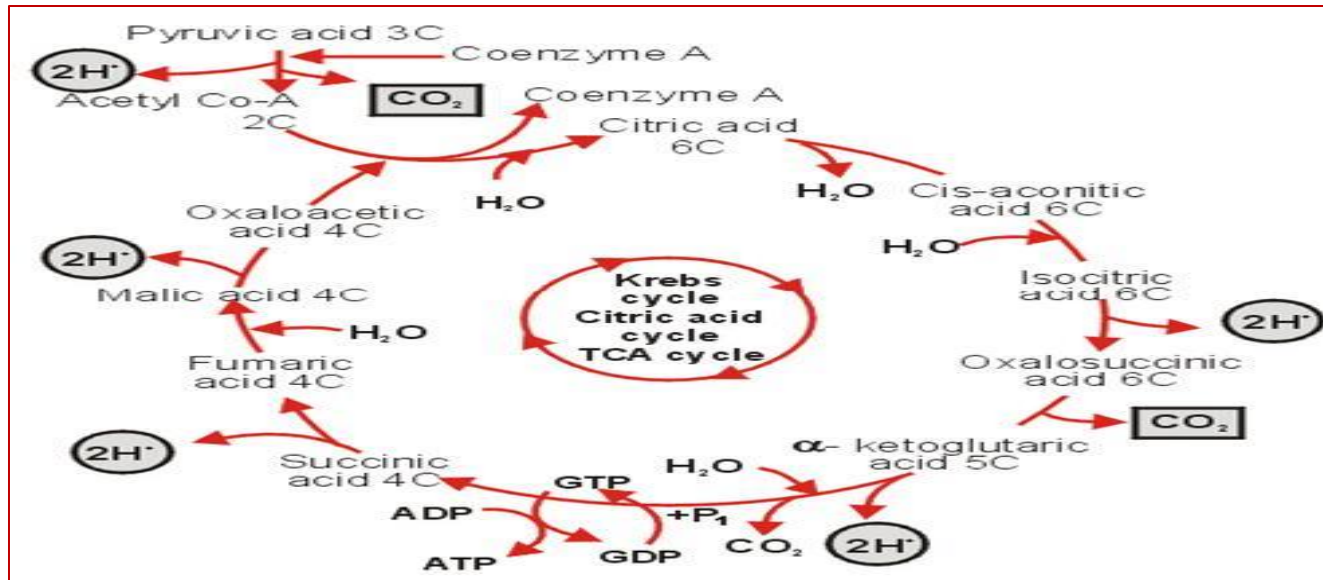
- في بعض الكائنات الدقيقة (مثل الخميرة) وفي غياب الأكسجين يتم تحويل (تخمّر) البيروفيت إلى كحول الإيثانول في خطوتين:

1. تحويل البيروفيت إلى أسيتلدهيد بفقد ثاني أكسيد الكربون بواسطة إنزيم بيروفيت ديكربوكسيليز في وجود أيونات المغنيسيوم.
2. اختزال الأسيتلدهيد إلى كحول إيثيلي مع أكسدة الـ NADH إلى NAD^+ .



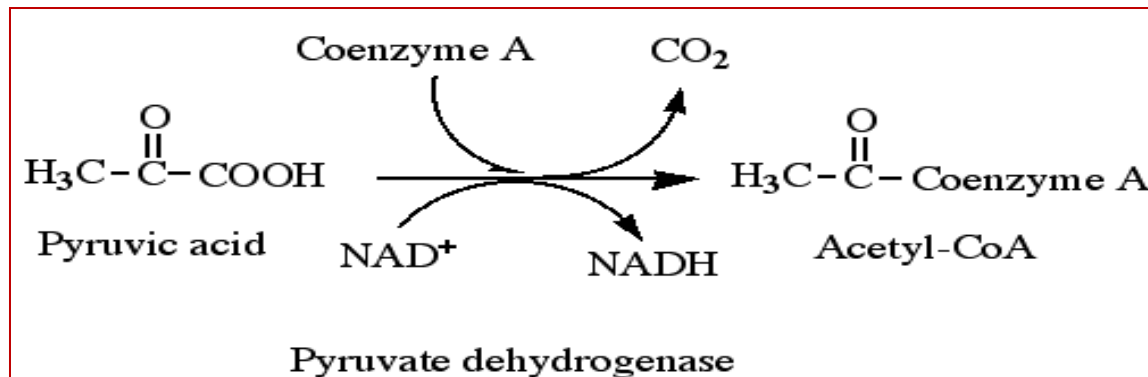
التفاعلات الهوائية للبيروفيت

- في وجود الأكسجين ينتقل البيروفيت من السيتوبلازم إلى الميتوكوندريا ليبدأ سلسلة من تفاعلات الأكسدة (دورة كربس) والتي تنتهي بإنتاج ثاني أكسيد الكربون، ماء، وطاقة.



دورة كربس (Krebs Cycle)

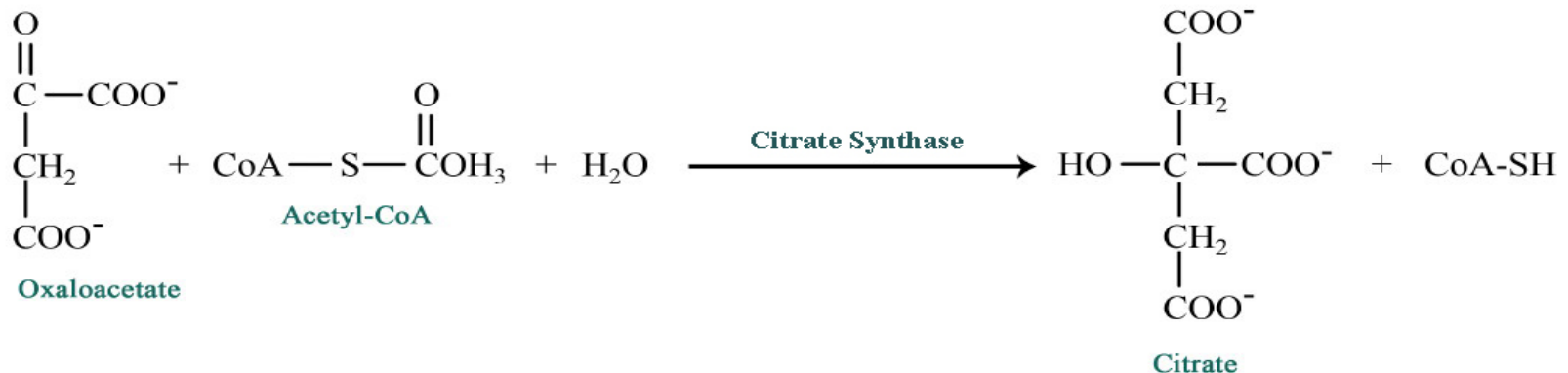
- تُمثل دورة كربس المسار الأخير في أكسدة الكربوهيدرات، الليبيدات، والبروتينات حيث يتم فيها أكسدة أستيل المرفق الإنزيمي **(Acetyl Co A)** إلى ثاني أكسيد الكربون + ماء + إنتاج طاقة.
- في وجود الأكسجين، ينتقل البيروفيت إلى الميتوكوندريا ليتحول إلى أستيل المرفق الإنزيمي الذي بدوره يبدأ سلسلة تفاعلات دورة كربس.



خطوات دورة كربس

(1) تفاعل الأستيل مرفق الإنزيمي أ لتكوين السترات:

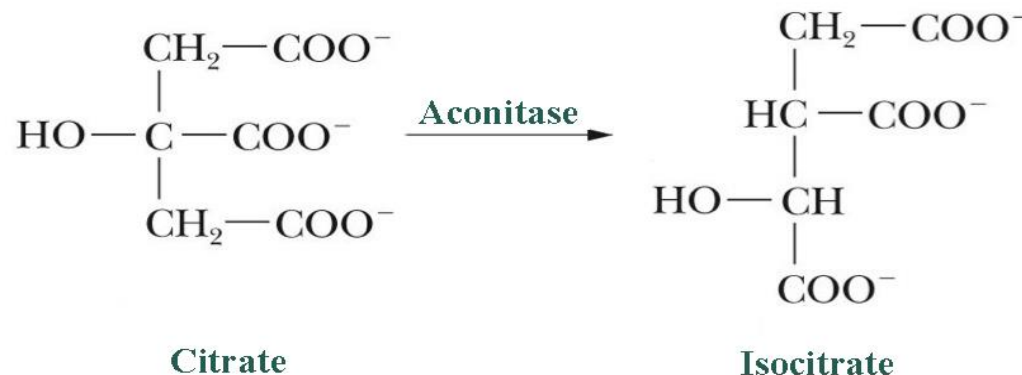
- يُحفز إنزيم سترات سينثيز (Citrate Synthase) تفاعل الأستيل مرفق الإنزيمي أ مع أوكسالو أسيتات لتكوين السترات.
- يُثبط هذا الإنزيم بواسطة الـ NADH أو الـ ATP.



خطوات دورة كربس

(2) تحول السترات إلى أيزوسيترات:

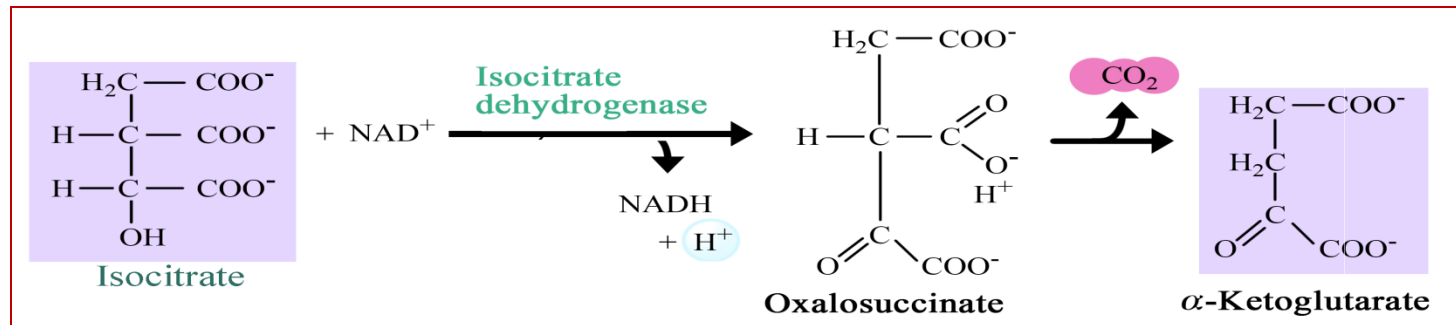
- يُحفز إنزيم أكونيتاز (Aconitase) تحول السترات إلى أيزوسيترات عن طريق إزاحة جزيء ماء.
- يحتاج هذا الإنزيم إلى أيونات الحديد كعامل مساعد.

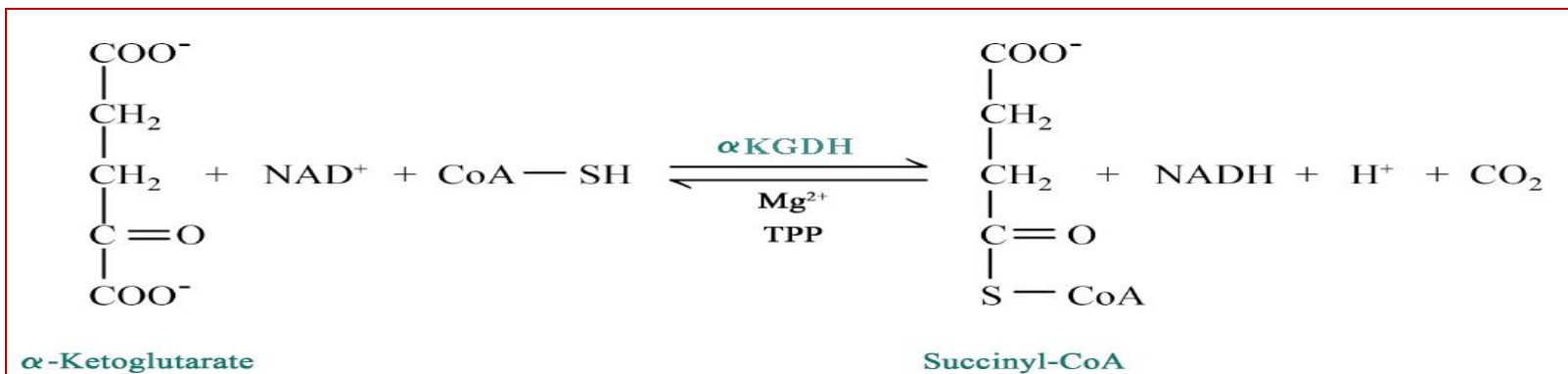


خطوات دورة كربس

(3) نزع مجموعة كربوكسيل من الأيزوسيترات:

- يُحفز إنزيم الأيزوسيترات ديهيدروجينيز (Isocitrate Dehydrogenase) نزع مجموعة الكربوكسيل من الأيزوسيترات (**6 ذرات كربون**) ليكون الألفا كيتوجلوتاريت (**5 ذرات كربون**).
- أثناء التفاعل يتكون مركب وسيط وهو أوكسالوسكسنيث الذي يتحلل بسرعة ليعطي الألفا كيتوجلوتاريت.

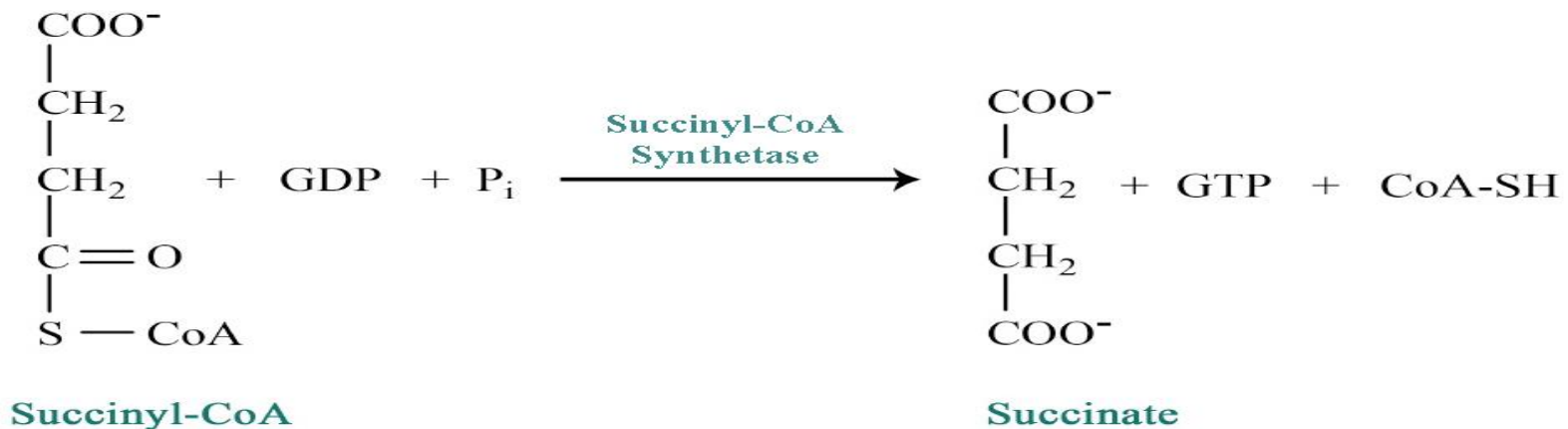




خطوات دورة كربس

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

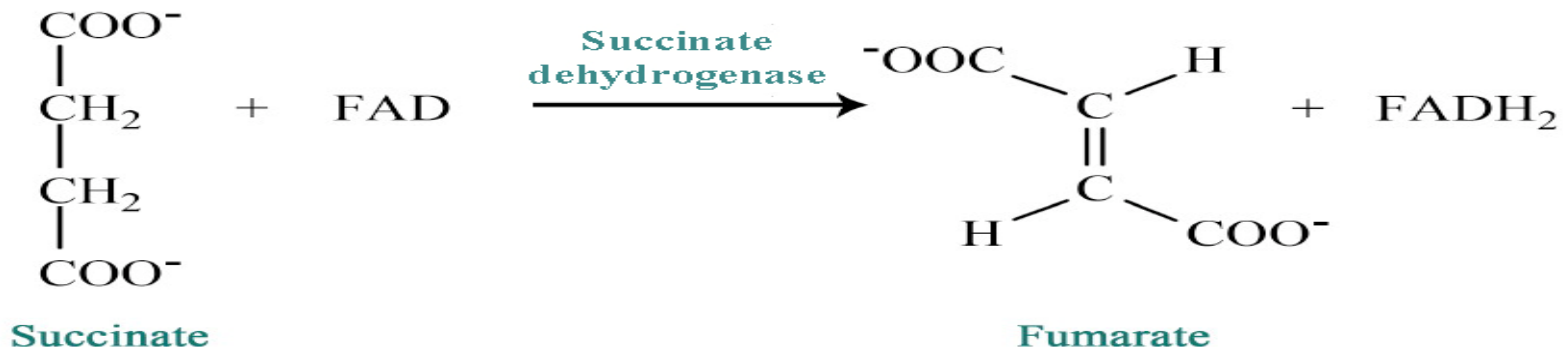
- يُحفز إنزيم الساكسينات ثايوكينيز (Succinate Thiokinase) كسر رابطة الثيوإستر (عالية الطاقة) في مركب الساكسينيل مرفق إنزيمي أليعطي مركب الساكسينات وتوليد طاقة بصورة الـ GTP.



خطوات دورة كربس

(6) أكسدة الساكسينات إلى فيوماترات:

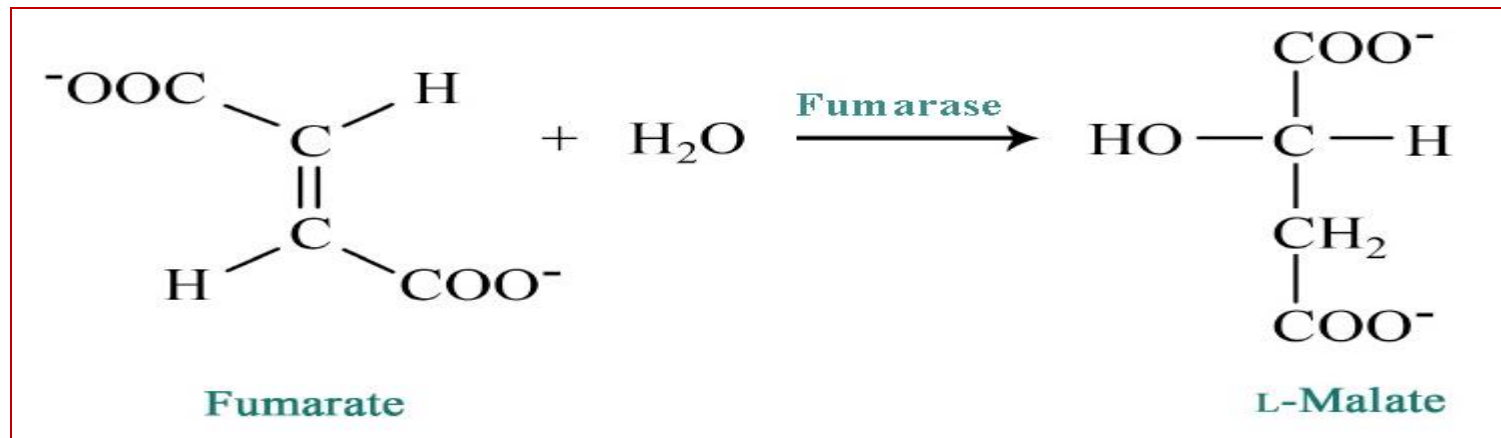
- يُحفز إنزيم الساكسينات ديهيدروجينيز (Succinate Dehydrogenase) أكسدة الساكسينات وتحويله إلى فيوماترات.
- يحتاج هذا الإنزيم للـ FAD كعامل مساعد والذي يستقبل جزيء من الهيدروجين المزاح من مركب الساكسينات ليُختزل ويعطي الـ FADH_2 .



خطوات دورة كربس

(7) إنتاج المالات:

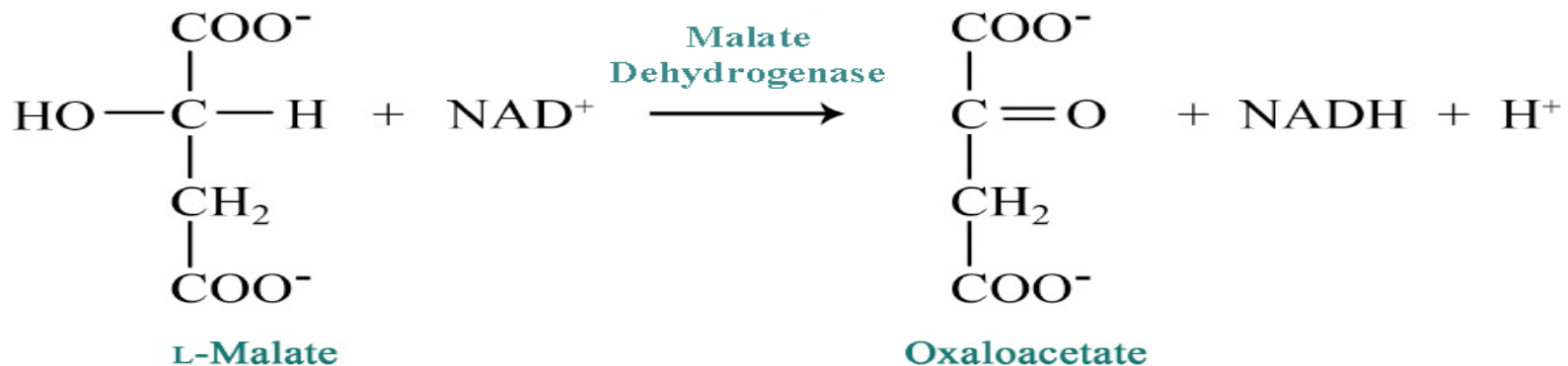
- يُحفز إنزيم الفيومارات هيدراتيز (Fumarate Hydratase) ويُطلق عليه الفيوماريز (Fumarase) إضافة جزيء ماء للفيومارات ليعطي الماكب اليساري المالات (L-malate).



خطوات دورة كربس

(8) 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 كريس

- إنتاج جزيء واحد من الـ NADH في الخطوة رقم 3 ليعطي 3 ATP.
- إنتاج جزيء واحد من الـ NADH في الخطوة رقم 4 ليعطي 3 ATP.
- إنتاج جزيء واحد من الـ GTP في الخطوة رقم 5 والذي يتحول إلى جزيء واحد من الـ ATP.
- إنتاج جزيء واحد من الـ $FADH_2$ في الخطوة رقم 6 ليعطي 2 ATP.
- إنتاج جزيء واحد من الـ NADH في الخطوة رقم 8 ليعطي 3 ATP.
- وبالتالي يكون ناتج تحول جزيء واحد من البيروفيت إلى ثاني أكسيد الكربون وماء تساوي:

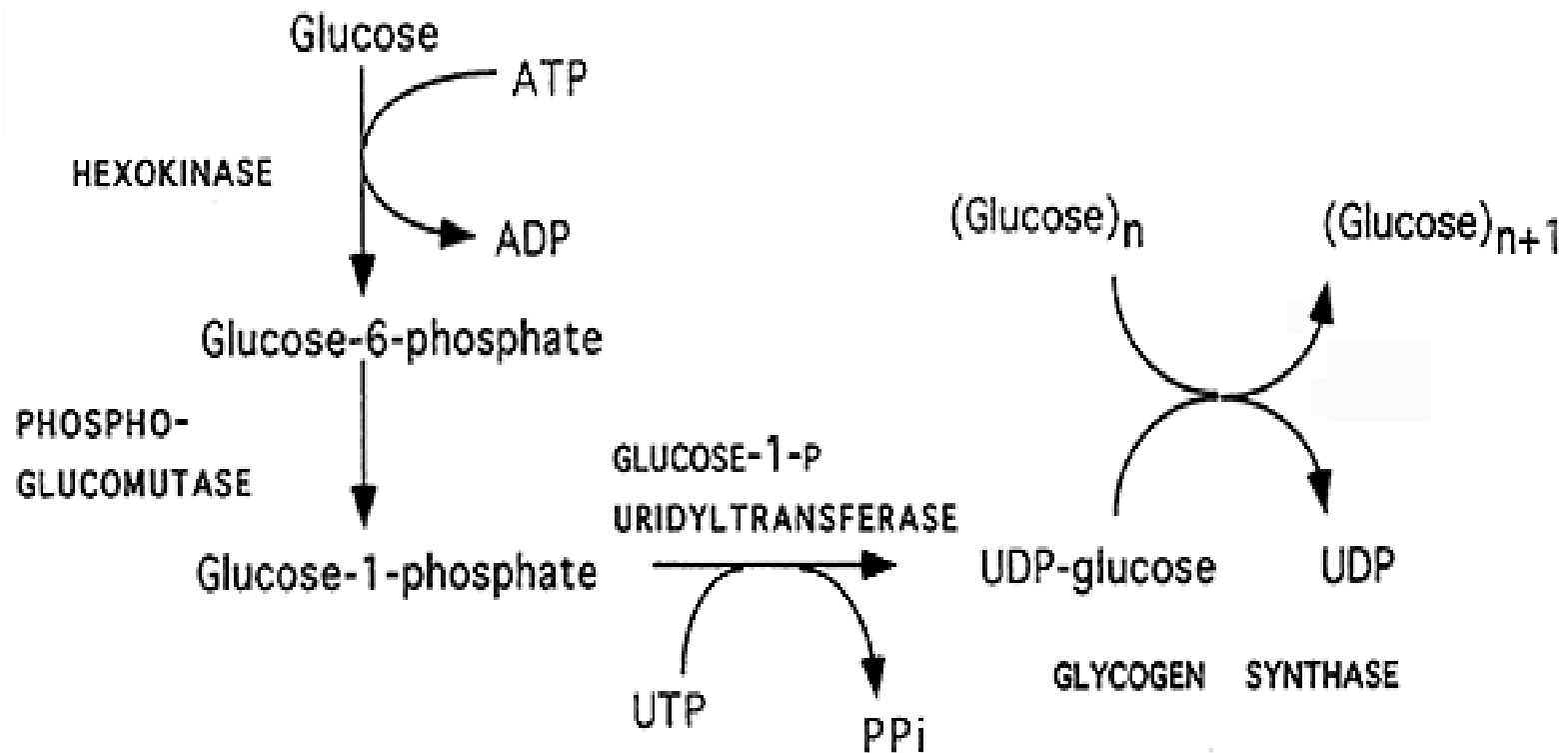
$$3 + 3 + 1 + 2 + 3 = 12 \text{ ATP}$$
- خطوات تحول جزيئين من البيروفيت إلى جزيئين من الأستيل المرفق الإنزيمي أ تنتج 6 ATP.
- ويكون ناتج تحول جزيء الجلوكوز إلى 2 جزيء بيروفيت يساوي 8 ATP.
- وبالتالي تحلل جزيء من جلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون وماء تساوي:

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

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 الـ ($\alpha-1 \rightarrow 4 : \alpha-1 \rightarrow 6$ Transglycosylase) والذي يقطع 6 وحدات من الجلوكوز ونقلها في سلسلة طرفية برابطة ($\alpha-1 \rightarrow 6$).

بناء الجلايكوجين (Glycogenesis)



إستحداث الجلايكوجين (Gluconeogenesis)

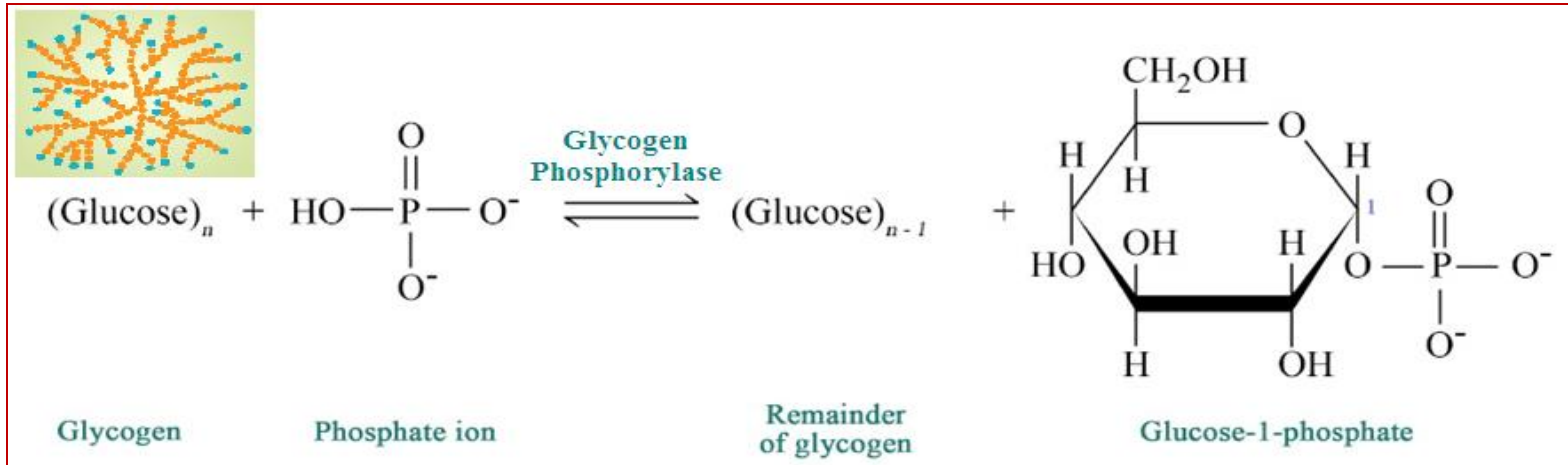
- هي عملية تكوين الجلوكوز أو الجلايكوجين من مصادر غير كربوهيدراتية مثل الأحماض الأمينية، حمض اللاكتيت، البيروفيت، والجليسرول.
- تحدث في السيتوبلازم وليس في الميتوكوندريا، ويحدث 90% من هذه العملية في الكبد و 10% في الكليتان.

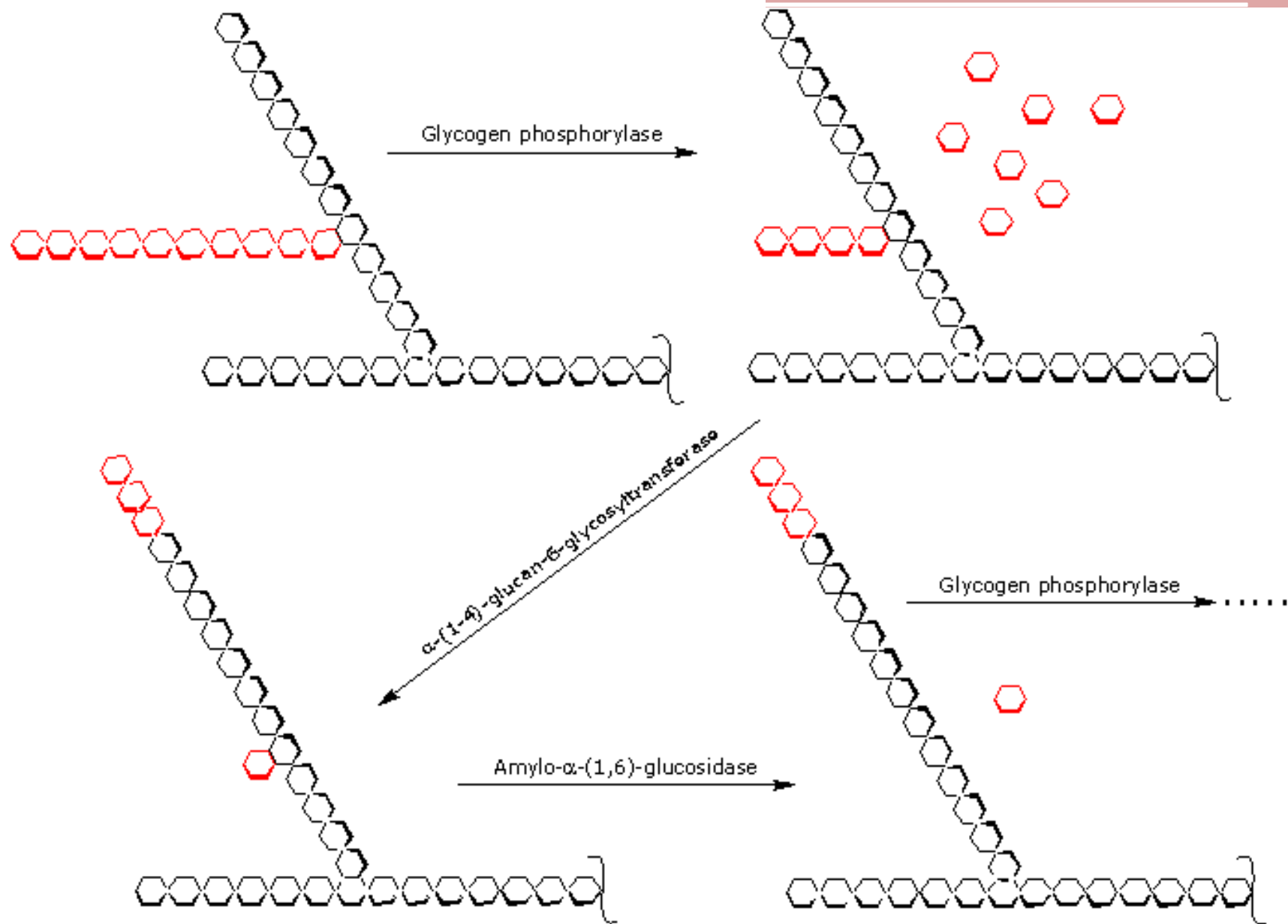
تحليل الجلايكوجين (Glycogenolysis)

- 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 تكسيده 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 الاستفادة 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).

تحليل الجلايكوجين (Glycogenolysis)

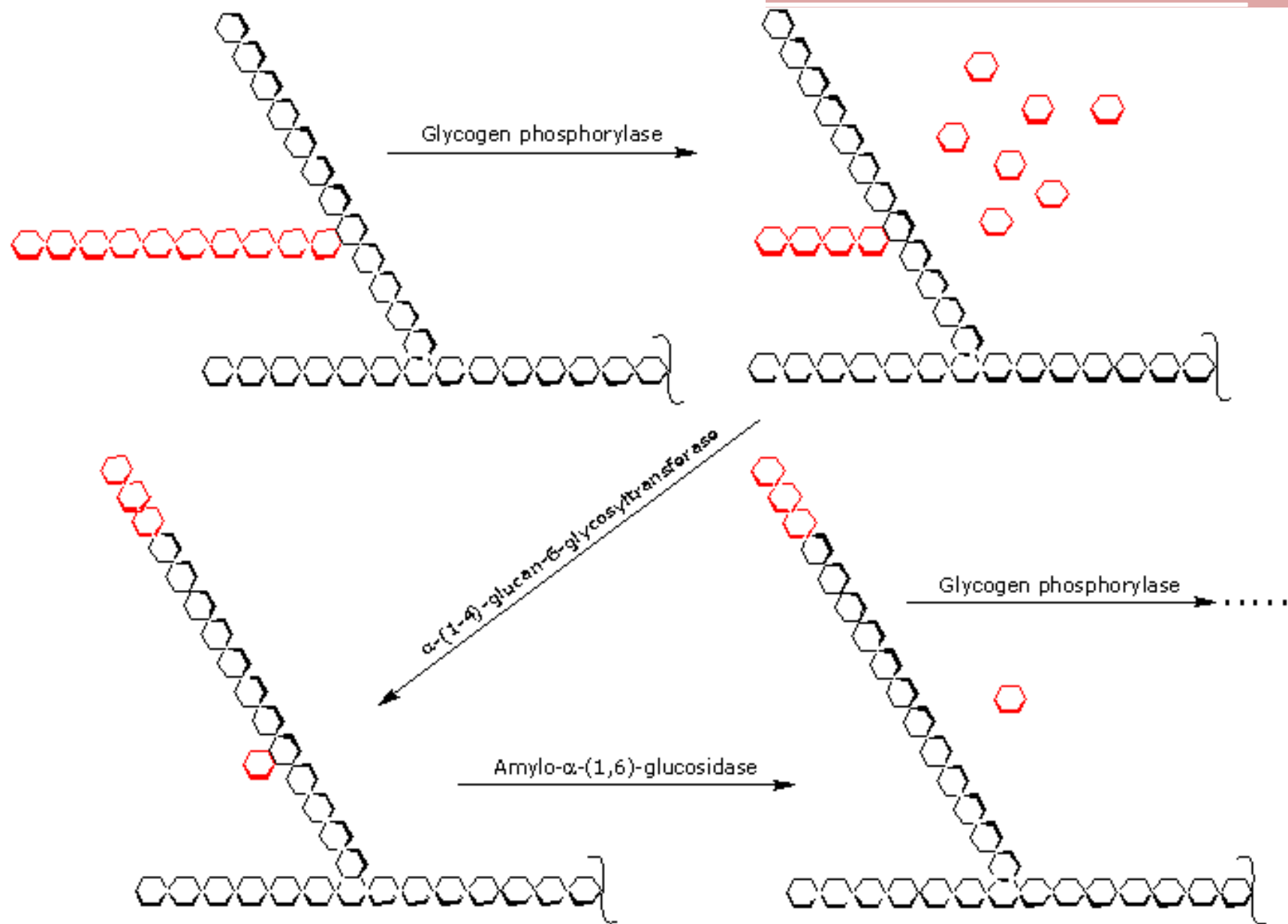
- يتم تحليل الجلايكوجين بفعل إنزيم الجلايكوجين فوسفورايليز (Glycogen Phosphorylase)، والذي يزيح جزيء جلوكوز من طرف السلسلة عن طريق ربطه بمجموعة فوسفات عند ذرة الكربون رقم 1 حتى يتبقى 4 جزيئات من الجلوكوز قبل نقطة التفرع.





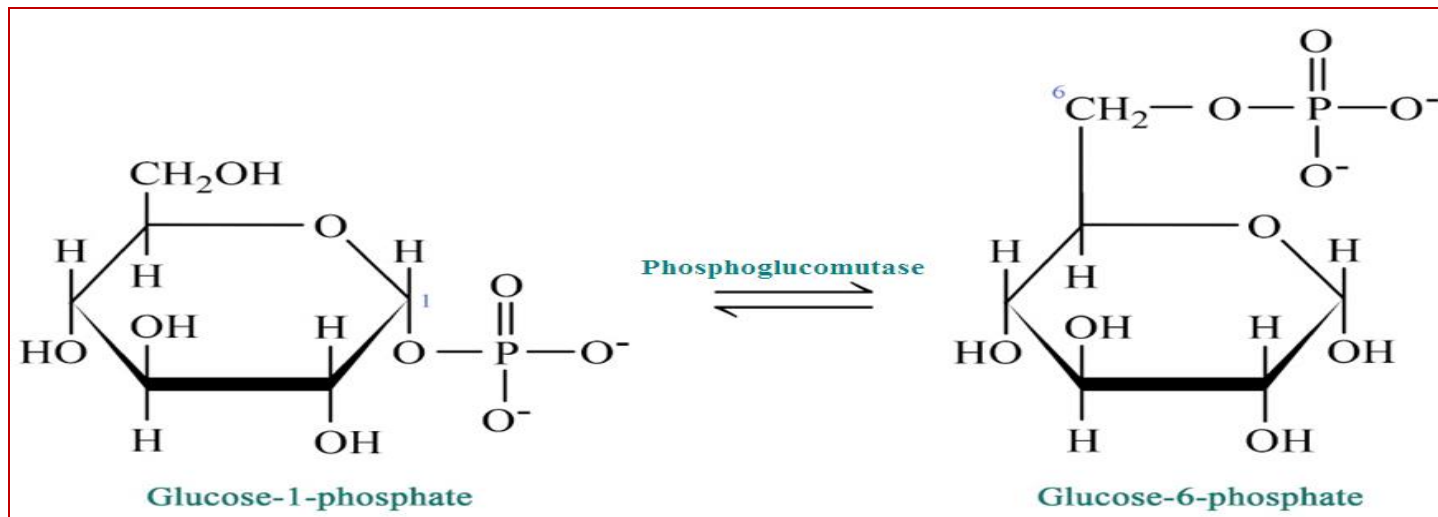
تحليل الجلايكوجين (Glycogenolysis)

- يقوم إنزيم جلوكون ترانسفيريز (Glucose transferase) بنقل وحدات السكر الثلاثة المتبقية قبل موضع التفرع إلى سلسلة أخرى تاركاً جزيء جلوكون واحد مرتبط برابطة ($\alpha-1 \rightarrow 6$) (موضع التفرع).
- يتم تحليل جزيء الجلوكوز في موضع التفرع بواسطة إنزيم أميلو-ألفا $1 \rightarrow 6$ جلوكونسيداز (Amylo- $\alpha-1 \rightarrow 6$ Glucosidase).



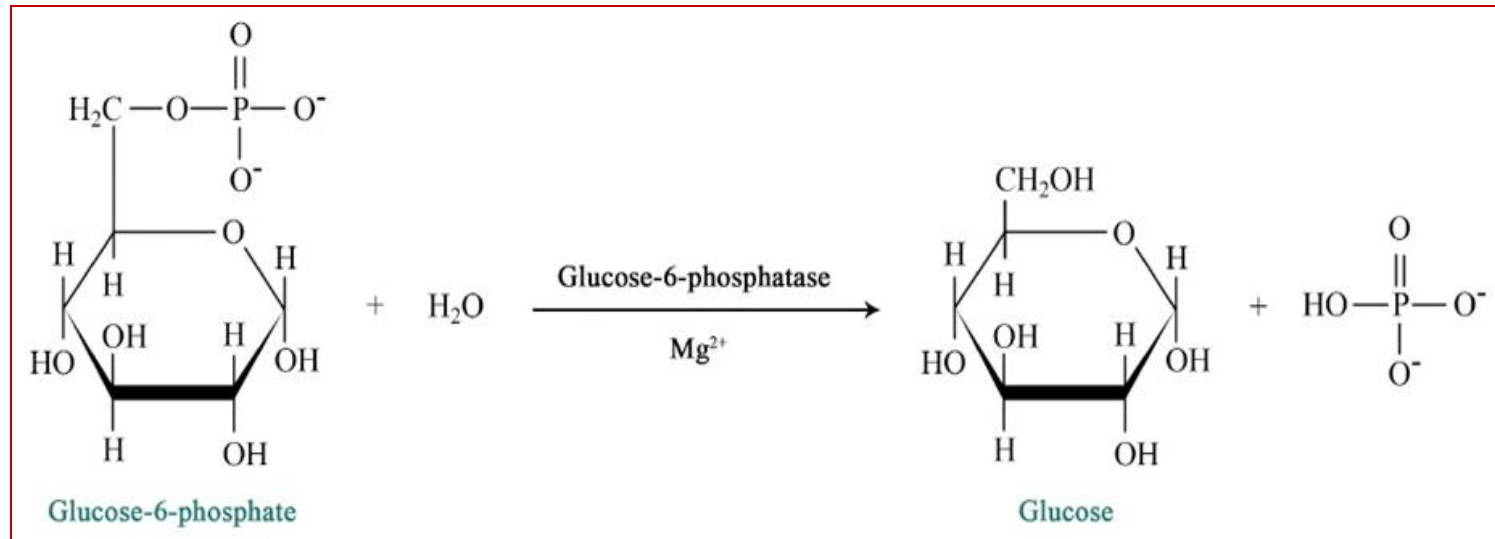
تحليل الجلايكوجين (Glycogenolysis)

- يتم تحويل جميع وحدات الجلوكوز-1 فوسفات الناتجة من عملية تحليل الجلايكوجين إلى جلوكوز-6 فوسفات عن طريق إنزيم الفوسفوجلوكوميوتاز (Phosphoglucomutase)



تحليل الجلايكوجين (Glycogenolysis)

- 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.



***Do you have any
question?***