البناء الحيوي للكربوهيدرات
Carbohydrates biosynthesis

البناء الحيوي للكربوهيدرات

Carbohydrates biosynthesis

المركبات الحيوية الهامة التى تدخل فى عملية الميتابولزم لانتاج الطاقة وبناء أنسجة جسم الكائن الحى هى الكربوهيدرات والبروتينات والدهون وتتعرض فى الحيوانات والإنسان لعمليات الهضم الانزيمى خلال مرورها بالقناة الهضمية حيث تتحلل الى وحدات أبسط وتمتص بواسطة خلايا الامعاء الى تيار الدم وسنتناول اهم التحولات الحيوية التى تحدث للمركبات الكربوهيدراتية والبروتينية والدهنية

وتشمل كلمة التمثيل الغذائي (الأيض) Metabolism:

1- الهضم

2- الامتصاص

3- البناء أو التصنيع Anabolism = synthesis

والهدم Catabolism = Breakdown

وقد تكلمنا قبل ذلك عن عملية هدم الجلوكوز فى دورة الجليكوليسس

أولاً: أيض الجلوكوز Glucose Metabolism

- **من المعروف أن البناء الحيوي للجلوكوز من ثانى أكسيد الكربون والماء يتم فى النباتات الخضراء عن طريق عملية البناء الضوئى والتي تتطلب كمية من الطاقة تقدر بحوالي 670 كيلو كالورى لكل مول من الجلوكوز ومن الجلوكوز يصنع النبات ما يحتاجه من أصناف الكربوهيدرات الأخرى**
- **وتعتمد الحيوانات في غذائها على النبات، فمن جزيئاته تستخلص الطاقة اللازمة لنموها، كما تصنع ما يخصها من جزيئات.**

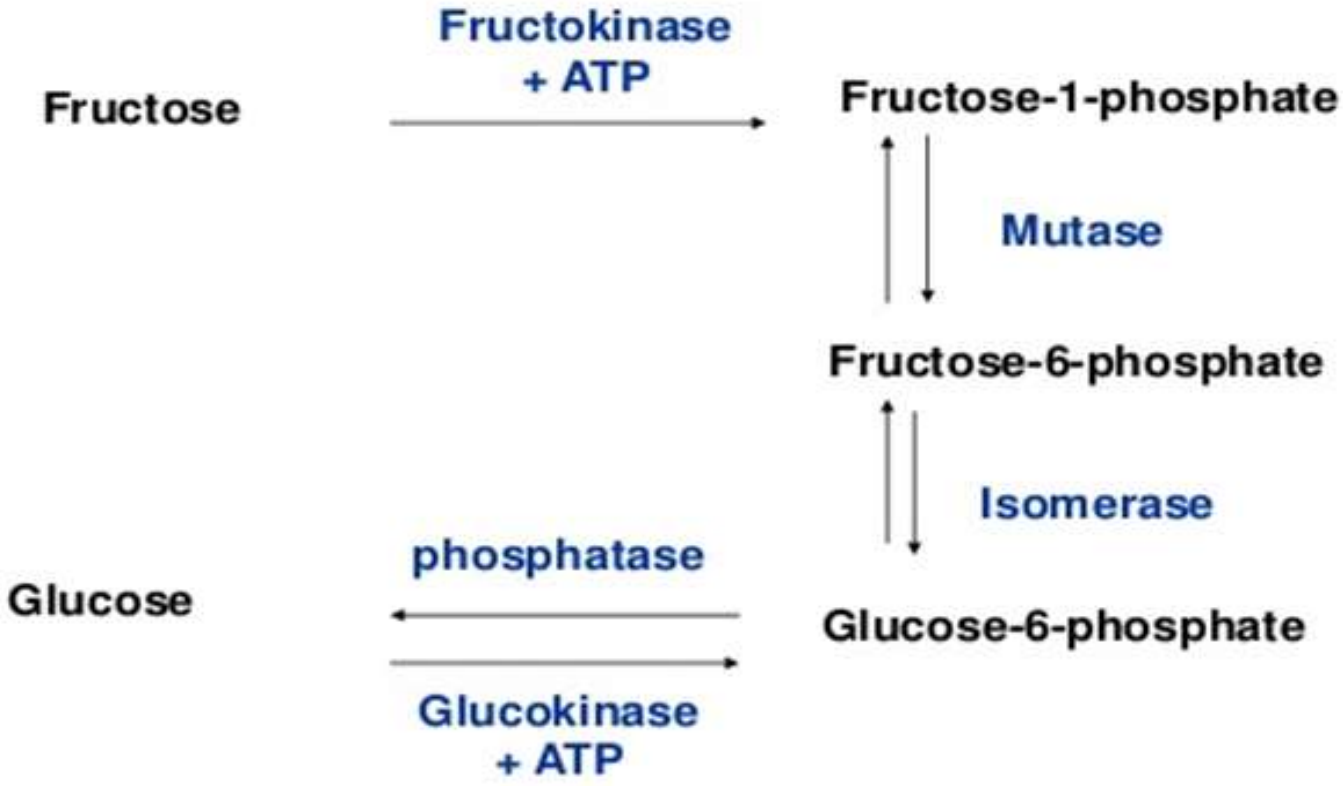
الحيوانات لها القدرة أيضا على بناء الجلوكوز ولكن من مواد أولية بسيطة غير كربوهيدراتية مثل البيروفات pyruvate. ويعتبر البناء الحيوي للجلوكوز في الحيوانات الراقية ضروري وذلك لأن كلا من كريات الدم الحمراء والمخ تعتمد بدرجة كبيرة على الجلوكوز كمصدر للوقود، كما تبنى المواد الكربوهيدراتية الأخرى من مواد أولية بسيطة التي تتحول أولا إلى الجلوكوز، ومنها الجليكوجين الذي يتم تخزينه في الكبد والعضلات، واللاكتوز الذي يبنى في الغدد الثديية ، كما يعتبر تكوين الجلوكوز من البروبيونات من العمليات النشطة في الحيوانات المجترة مثل الأبقار، فالبروبيونات وهي الناتج الرئيسي لعملية التخمر في المعدة الأولي تمتص بواسطة الحيوانات المجترة حيث يتم تحويلها إلى جلوكوز والمواد الكربوهيدراتية الأخرى.

بعض السكريات الأحادية تمر من الكبد إلى الدورة الدموية لكى تصل إلى خلايا الأنسجة لتقوم بالوظائف التالية:

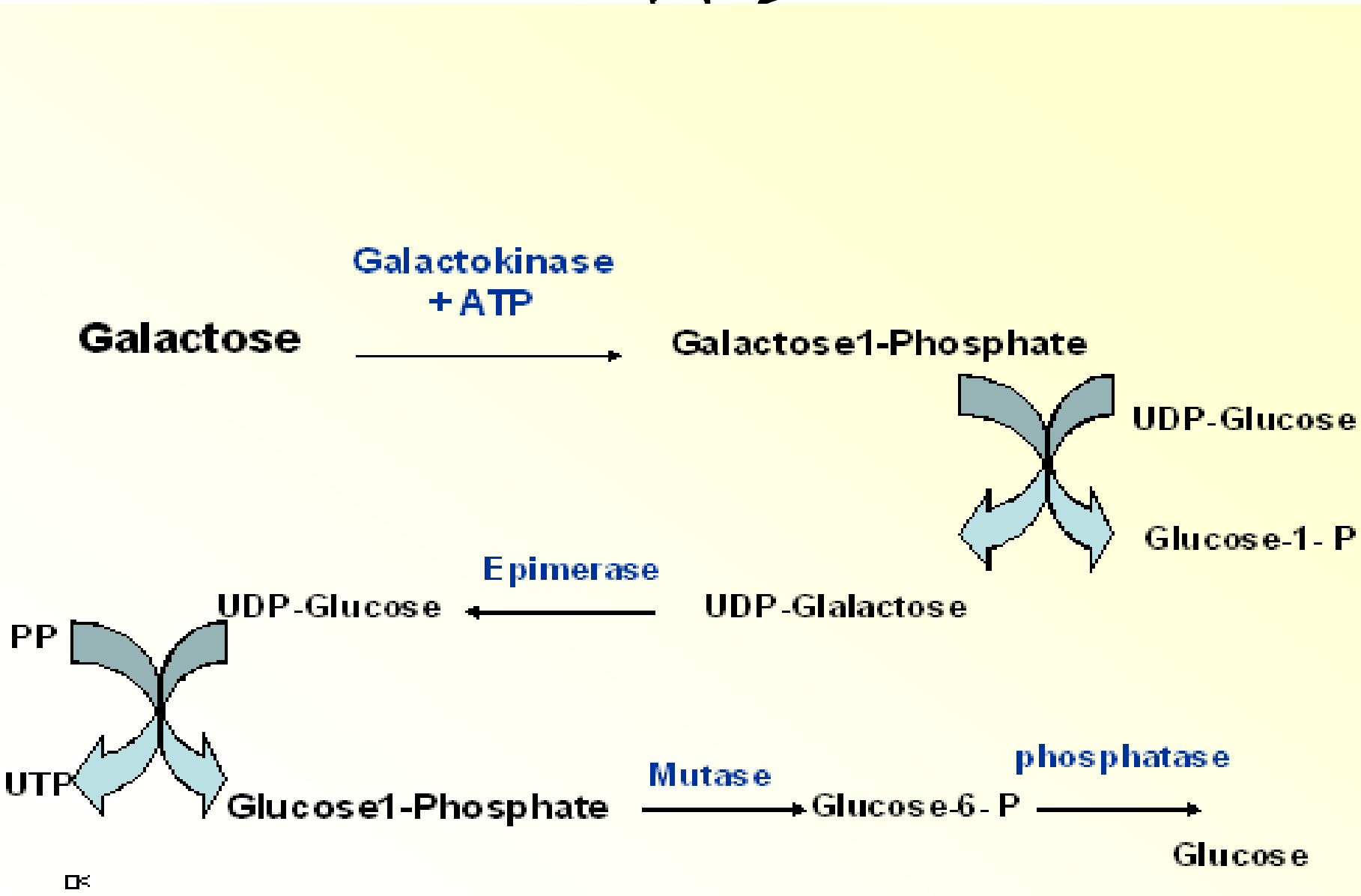
- أكسدة كاملة لإنتاج الطاقة والماء وثاني أكسيد الكربون
- الجلوكوز والجالاكتوز يكونان اللاكتوز في الغدد الثديية المفرزة للحليب
- - الجلوكوز يتحول إلى دهون ويخزن تحت الجلد

المسارات التالية تبين تحول الجلوكوز في الكبد والعكس

1- يتحول الفركتوز إلى جلوكوز في الكبد والعكس



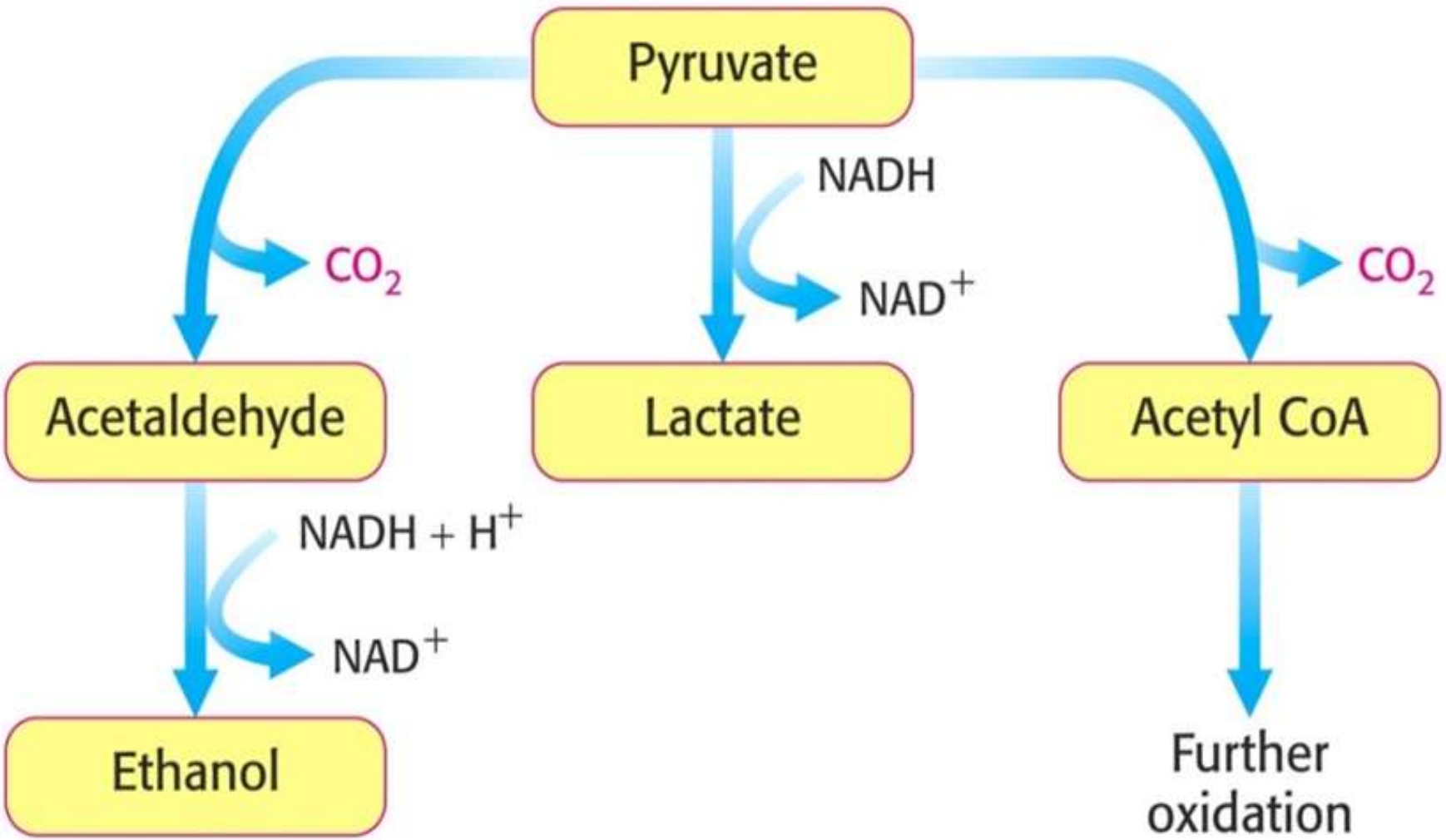
2- يتحول الجالاكتوز إلى جلوكوز في الكبد والعكس



عملية التخمر Fermentation

أبسط صورالتخمر هو التخمر اللاكتيكي Lactic fermentationحيث يتحول حمض البيروفيك إلى حمض لاكتيك. ولا يعرف هذا النوع من التخمر في النباتات الراقية ولكنة منتشر في الكائنات الدقيقة وتستطيع كثير من أنسجة النباتات الراقية بعملية التخمر الكحولي Alcoholic fermentationوفيه يتحول البيروفات إلى استيالدهيد وينفرد CO_2 بتأثيرإنزيم Carboxylase ثم يختزل الاستيالدهيد إلى كحول ايثانول في وجود إنزيم Alcohol dehyrogenase

شكل يوضح مسارات و تحولات حامض البيروفيك فى الخلايا الحية



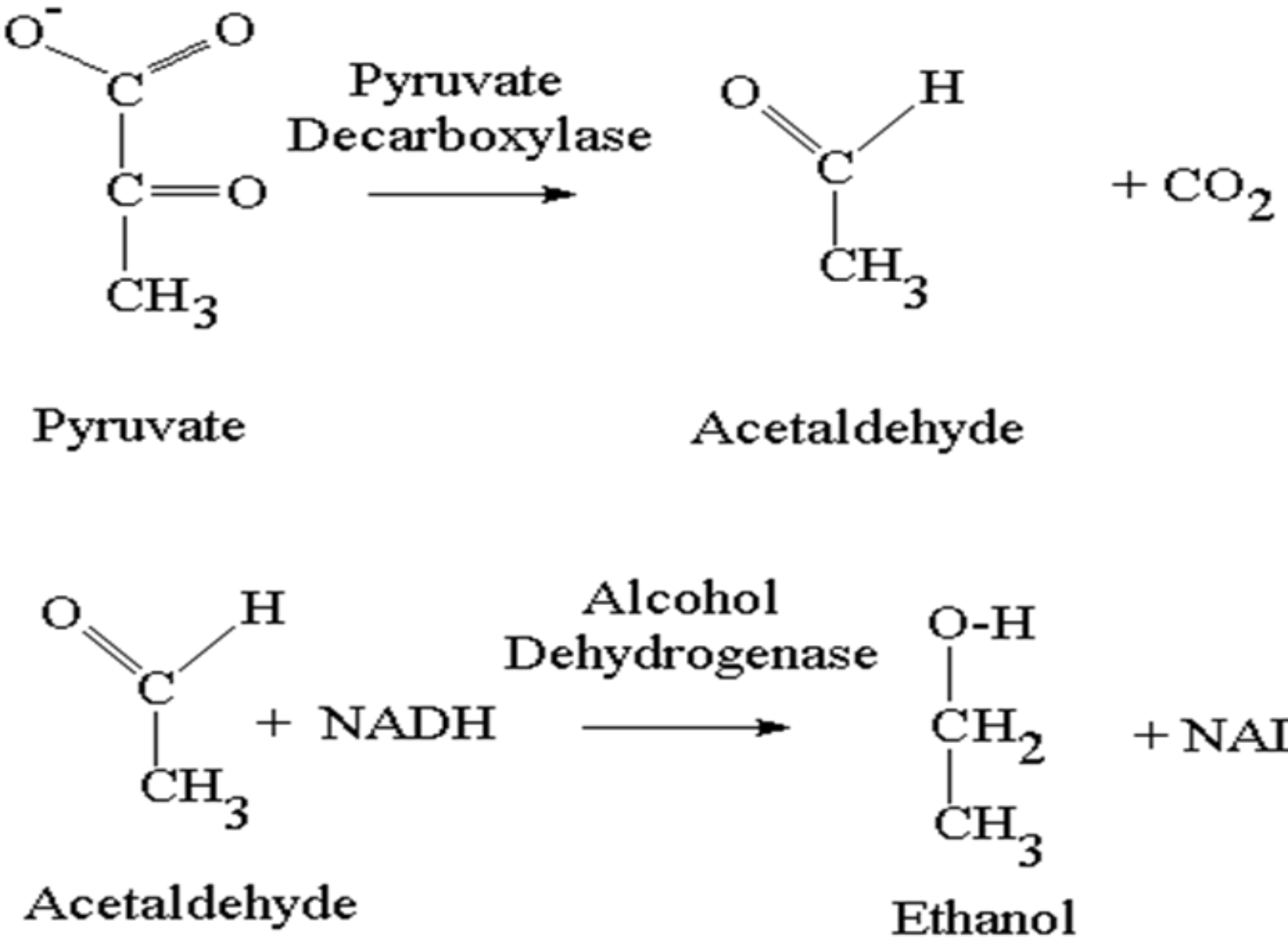
وعملية التخمر تنقسم الى نوعين:

التخمر الكحولى Alcoholic Fermentation

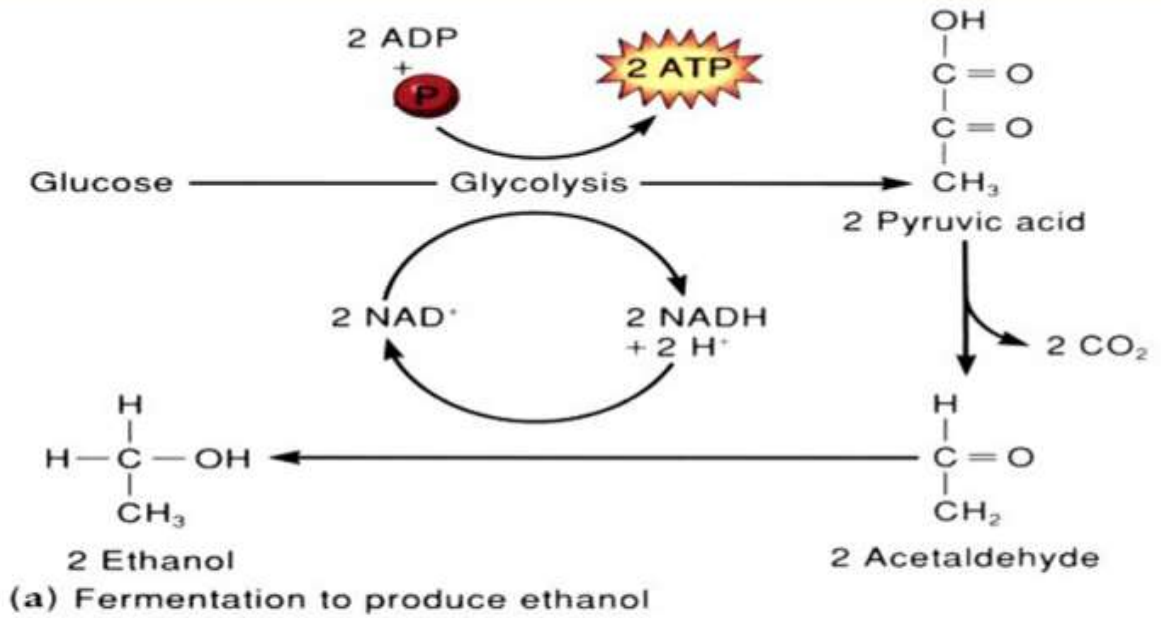
التخمر اللاكتيكى Lactic Acid Fermentation

اولا: التخمر الكحولى Alcoholic Fermentation

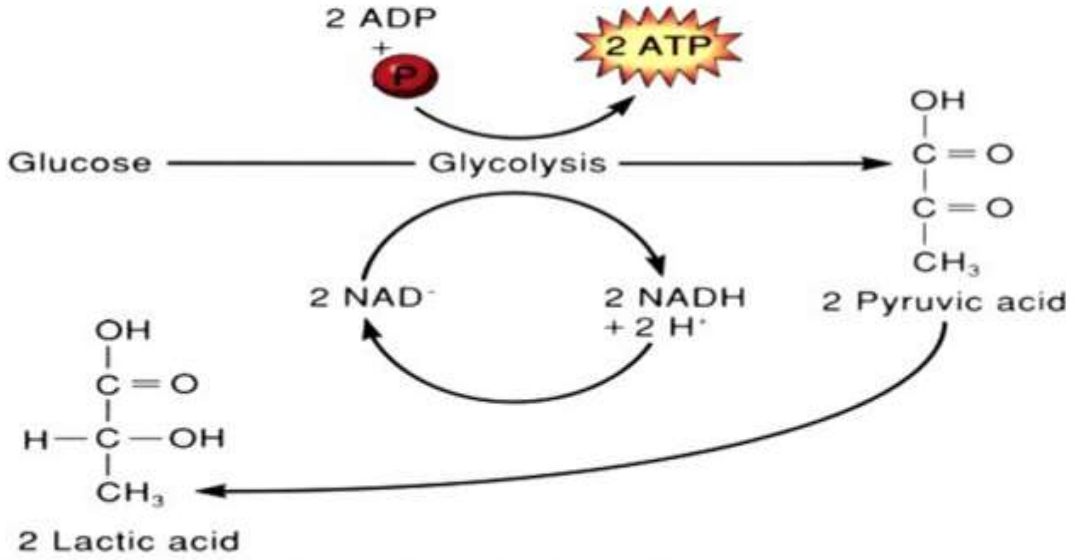
ويحدث تحت الظروف اللاهوائية كما فى حالة استخدام الخميرة فى انتاج الكحول الاثيلى بتخمير السكريات الموجودة بالمولاس وهو احد النواتج الثانوية فى صناعة السكر ولا ينتج عن هذا التحول طاقة أي لا تتكون مركبات ATP وبالتالى فإن عملية التنفس اللاهوائي بداية من تفتيت السكر حتي تكون حمض اللاكتيك وكحول الايثانول لا ينتج عنها سوي جزيئان من ATP وهما الناتجان أثناء عملية الجليكوليسس كما هو موضح فى المعادلات التالية


Pyruvate
Decarboxylase
+ CO2
Pyruvate
Acetaldehyde
Alcohol
Dehydrogenase
+ NADH
+ NAD+
Acetaldehyde
Ethanol

كميات الطاقة الناتجة من هدم الجلوكوز فى التخمر الكحولى والتخمر اللاكتيكى



(a) Fermentation to produce ethanol



انتاج الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية:

عملية الجلوكونيوجينسس Gluconeogenesis

يصنع الكبد الجلوكوز في حالة أخرى وهي التمارين العضلية الشديدة، وأن العضلات تعاني من نقص نسبي في الأكسجين الوارد اليها في هذه الحالة وينتج عن ذلك أن تسير تفاعلات تحلل الجلوكوز في المسار اللاهوائي الذي ينتهي بتكون حمض اللاكتيك Lactate وتنتقل اللاكتات في الدم إلى الكبد ليصنع منها الجلوكوز لذلك يعاد تصيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية

وهناك مصادر عديدة يمكن تصنيع الجلوكوز منها أهمها

1- تخليق الجلوكوز من حامض اللاكتيك Synthesis of glucose from lactic acid-

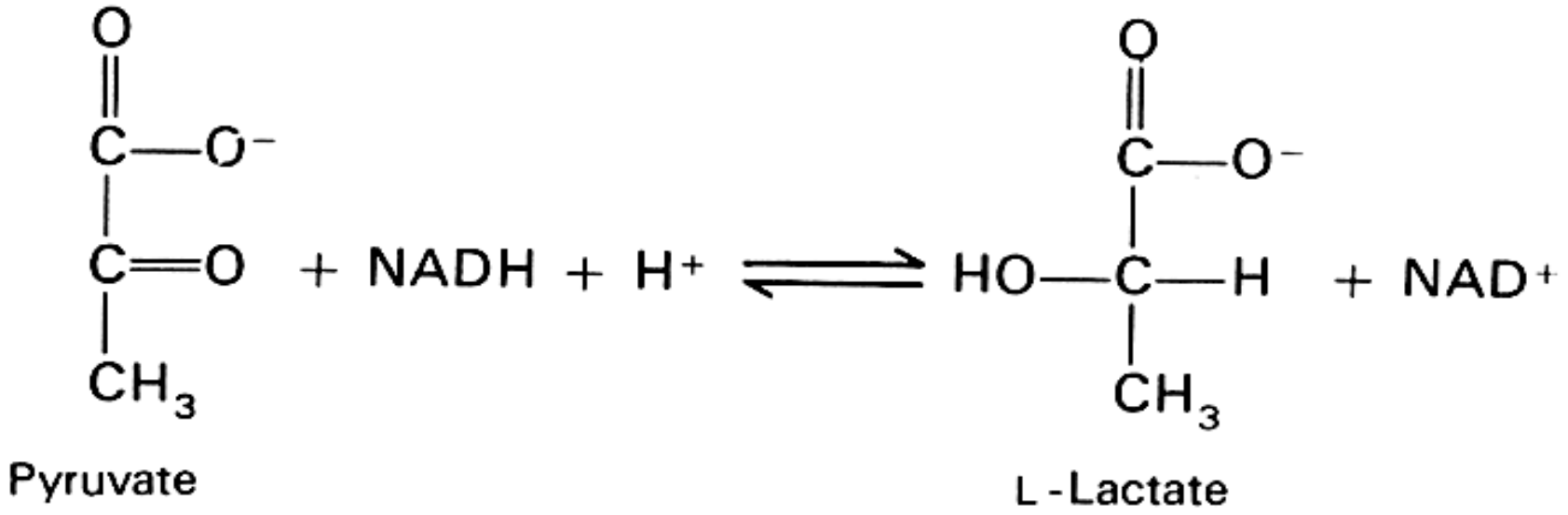
2- تخليق الجلوكوز من الجلسرول الناتج تتحلل وهضم الأحماض الدهنية

3- تخليق الجلوكوز من الأحماض الأمينية Synthesis of glucose from Amino acids

اولا بناء الجوكوز من حامض اللاكتيك

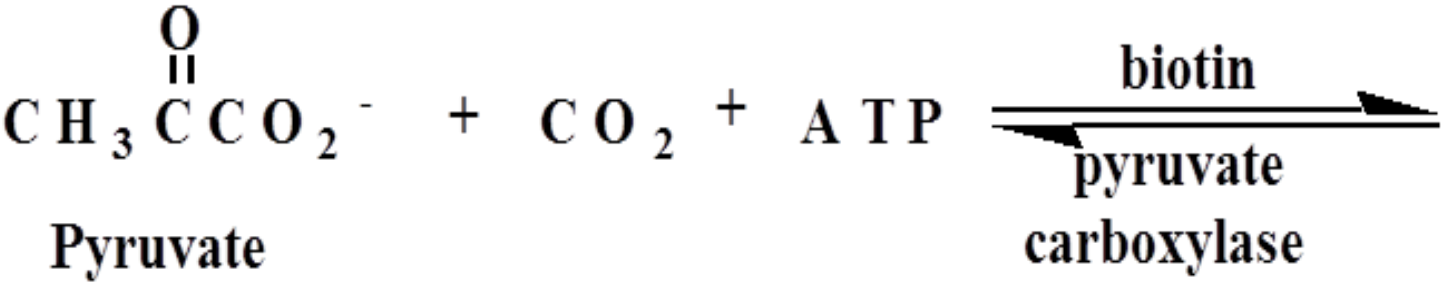
هذه العملية ماهى الا عملية عكسية لهدم الجلوكوز او بمعنى اخر عكس الجليكوليسس وتتم هذه العملية فى الكبد وهى عملية معقدة عكس دورة الجليكوليسس ولكن بتحكم انزيمى خاص حيث يتكون الجلوكوز مرة اخرى وينطلق إلى الدم ثانية ثم يتحول الى جليكوجين ويطلق على هذه الدورة اسم دورة الـ Gluconeogenesis وتتم بمجموعة من التفاعلات الانزيمية كما يلى:

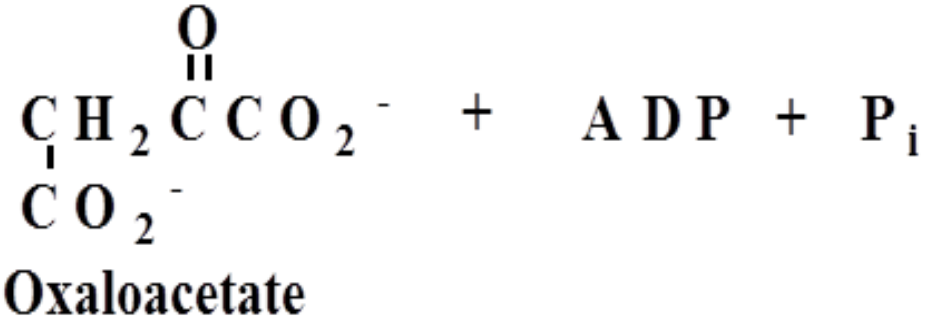
1- يتحول حامض اللاكتيك الى حمض البيروفيك بواسطة انزيم Lactate dehydrogenase ويخرج NADH+H



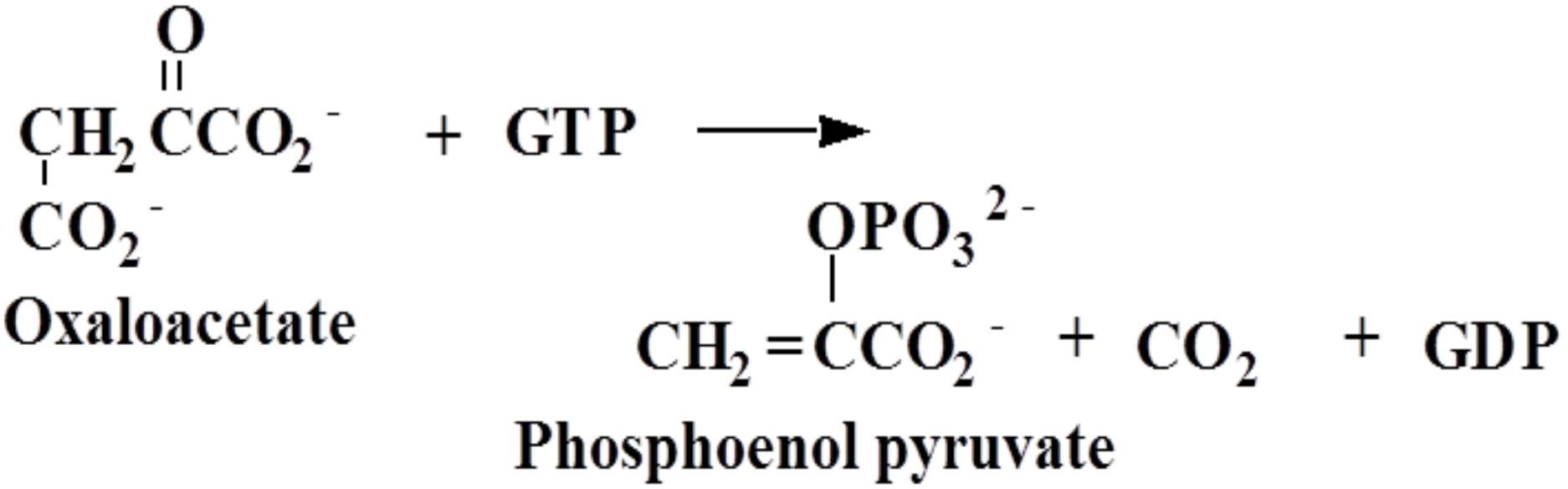
لايمكن لحامض البيروفيك ان يتحول عكسيا الى Phosphoenol pyruvate نظرا لأنه يطلب طاقة عالية (6.41- كيلوكالورى)

لذلك يتحول الى مركب Oxaloacetate بواسطة انزيم Pyruvate carboxylase والمرافق الانزيمى له فيتامين الـ Biotin وهذا المركب لايسطيع النفاذ من الميتوكوندريا لذلك يتحول الى مركب Malate اولا الذى له القدرة على النفاذ خارج الميتوكوندريا





الـ Oxaloacetate يتحول الى Phosphoenol pyruvate بواسطة انزيم Phosphoenol pyruvate carboxy kinase كما يلى:



Oxaloacetate

Phosphoenol pyruvate

بعد هذ التفاعل السابق تكون كل التفاعلات عكسية حتى تكوين الجلوكوز ماعدا تفاعلين اثنين هما:

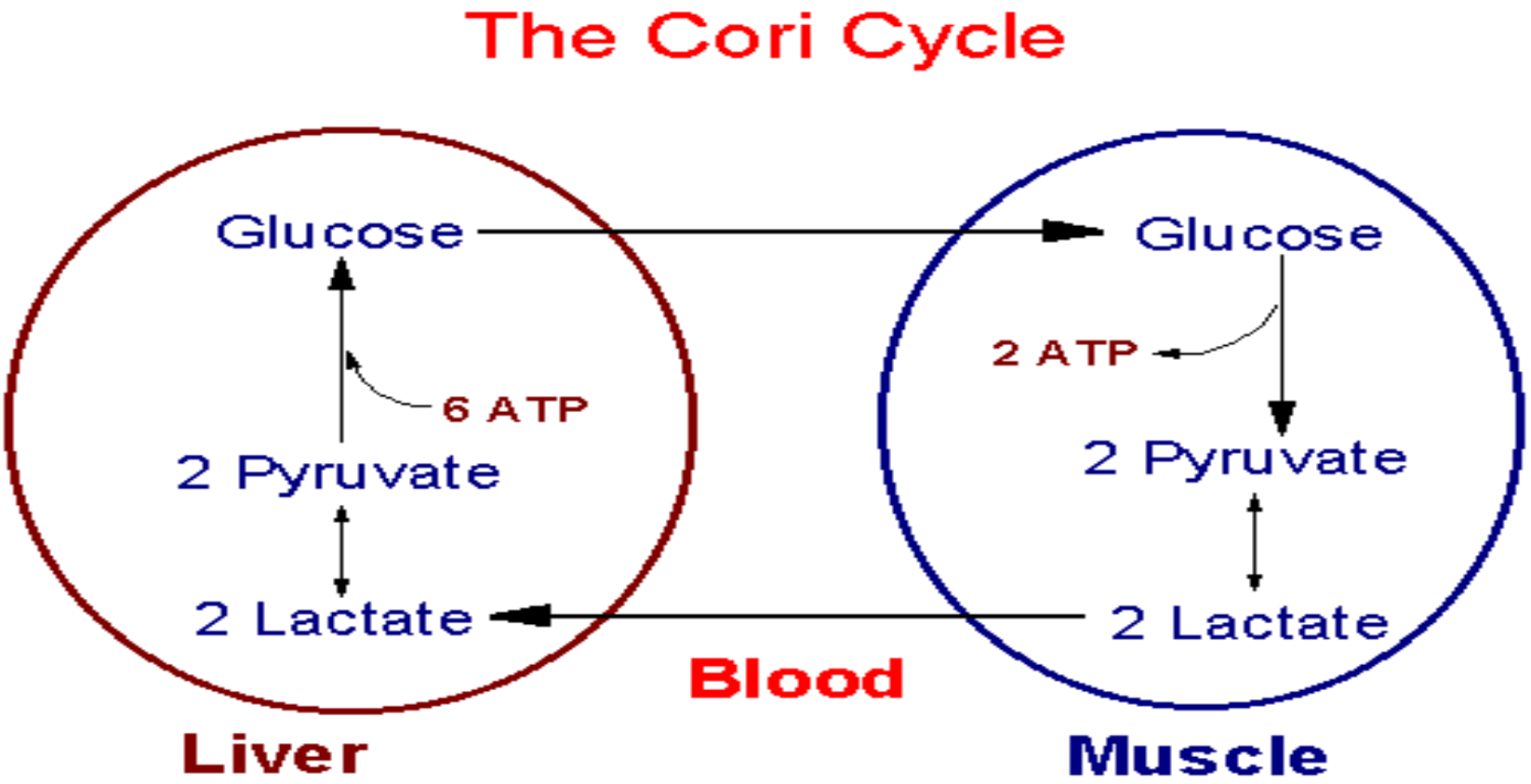
الاول: تفاعل تحول Fructose1,6 diphosphate الى Fructose 6 –phosphate بواسطة انزيم Fructose1,6 diphosphatase

الثاني: تفاعل تحول الجلوكوز 6 –فوسفات الى جلوكوز بواسطة انزيم Glucose 6- phosphatase وقد يبدو ظاهرياً أن هذا هو عكس مسار تحلل الجلوكوز الذي يبدأ بالجلوكوز وينتهي بالبيروفات لكن المسارين مختلفان وإن اشتركا في معظم التفاعلات

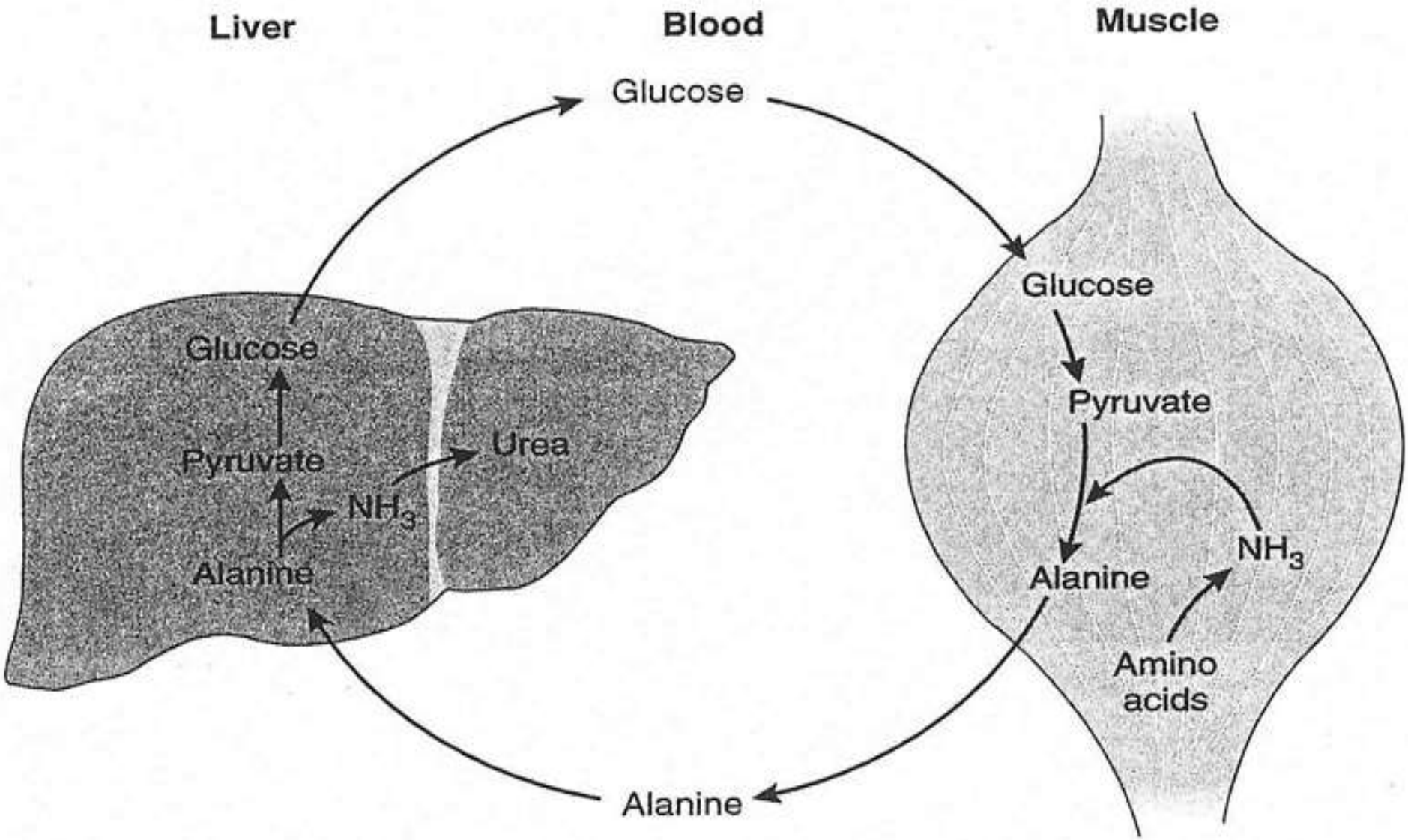
انظر المذكرة

Kori cycle دورة كورى

حامض اللاكتيك المتكون فى العضلات تحت الظروف اللاهوائية ينقل الى الدم ومنه الى الكبد حيث يتم تحويله الى جليكوجين وفى نفس الوقت يتم انتقال الجلوكوز الناتج من هدم الجليكوجين الى الدم ومنه الى العضلات وتعرف هذه الدورة بدورة كورى



Kori cycle دورة كورى



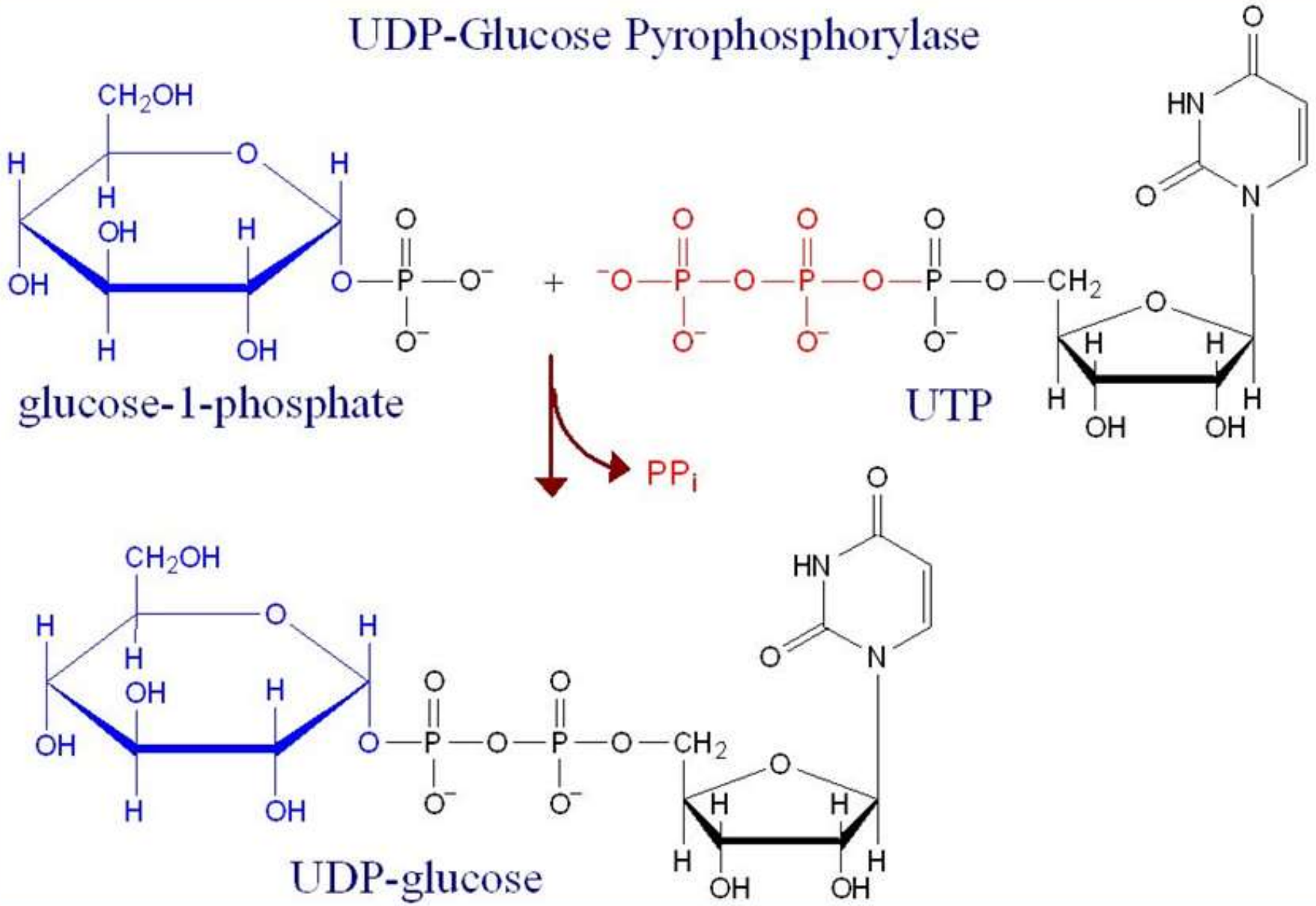
تصنيع الجليكوجين Glycogen synthesis:

يساعد على نمو جزيء الجليكوجين إنزيمان هما :

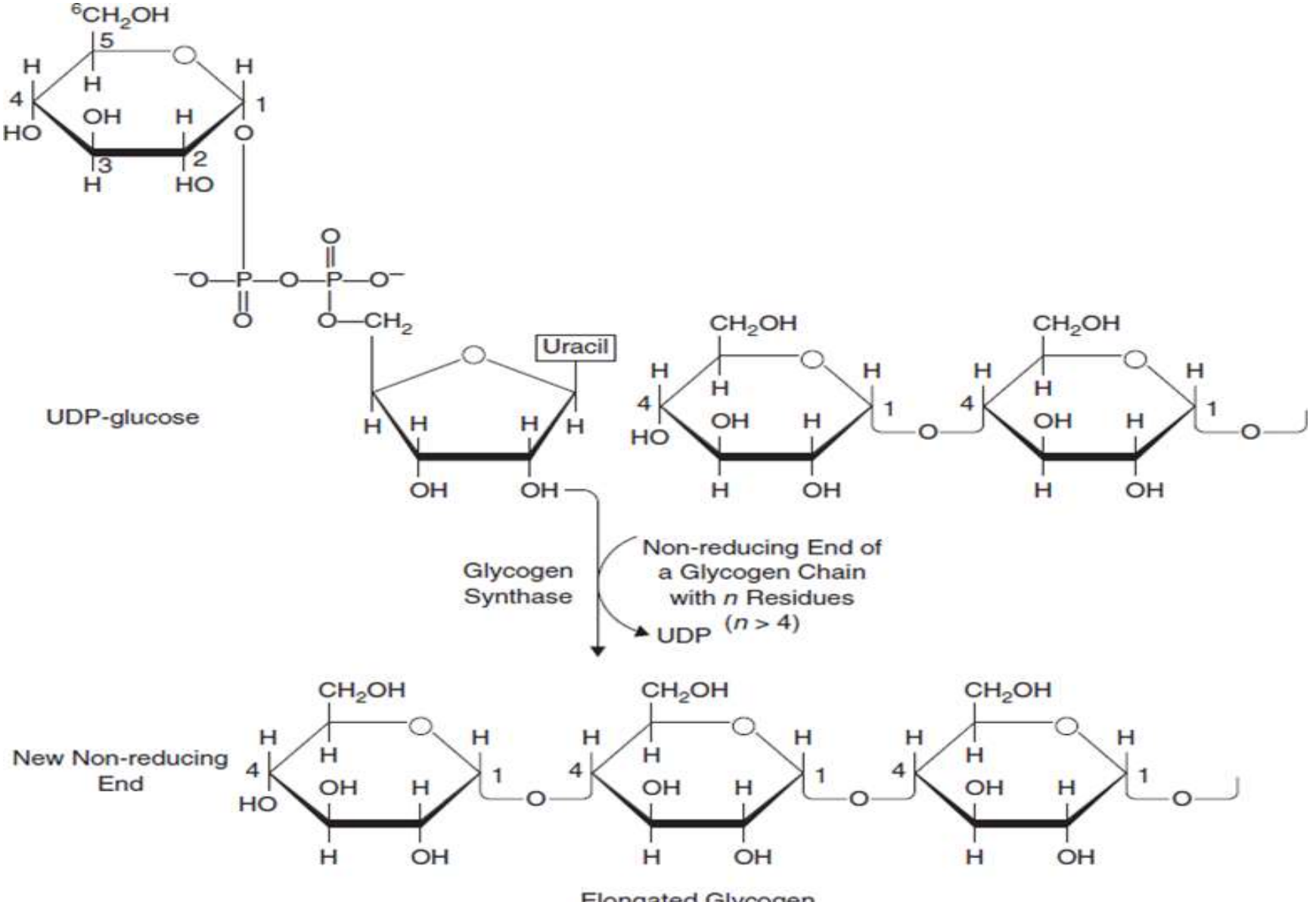
الانزيم الأول يحفز إضافة جزيء الجلوكوز إلى النهاية الحرة لإحدى السلاسل الفرعية الكثيرة في جزيء الجليكوجين والارتباط المتكون في هذه الحالة هو ارتباط جليكوسيدي (α -1,4) ويسمى الإنزيم جليكوجين سيثتيز Glycogen synthetase ويعمل الأنسولين على تنشيط هذا الإنزيم.

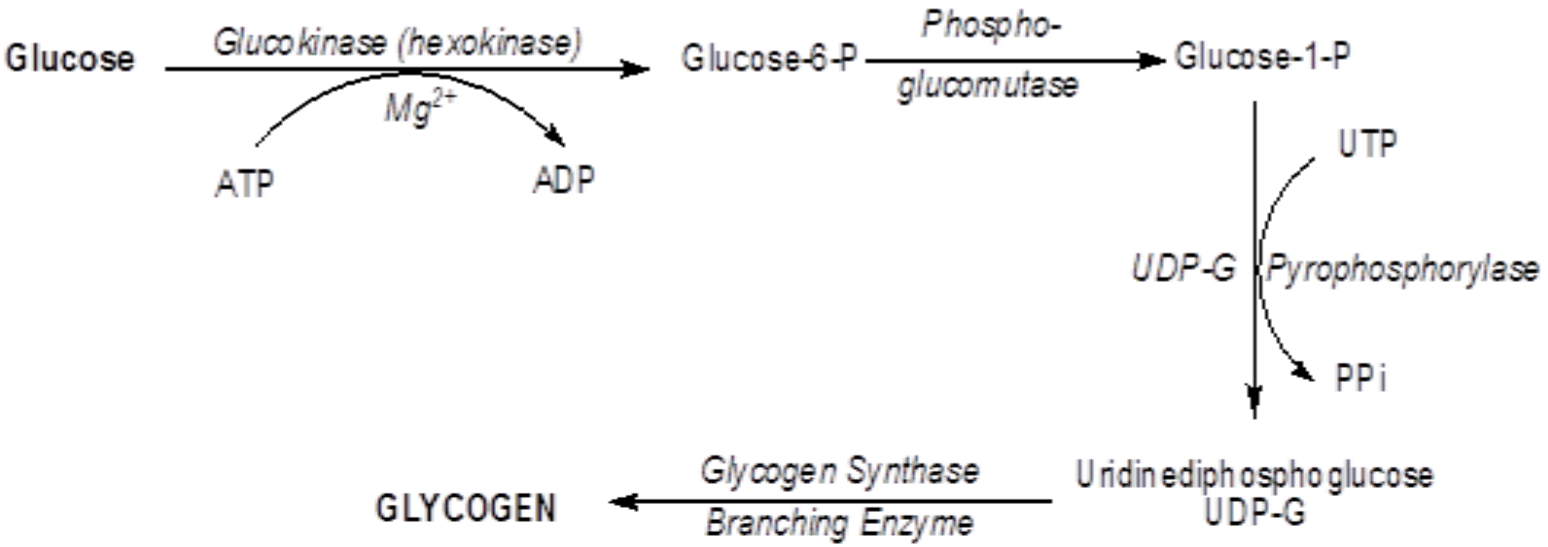
وأما الإنزيم الثانى فيعمل على تكوين السلاسل الفرعية أي تشعيب الجليكوجين، ويعرف بإنزيم التشعيب Branching enzyme، وطريقة عمله تتلخص بنقل قطعة من إحدى السلاسل (مؤلفة من عدة جزيئات من الجلوكوز)، وربطها بارتباط جليكوسيدي (α -1,6) مع ذرة الكربون السادسة لأحد جزيئات الجلوكوز في السلسلة الأصلية وبفعل هذين الإنزيمين ينمو جزيء الجلايكوجين ويزداد تفرعا.

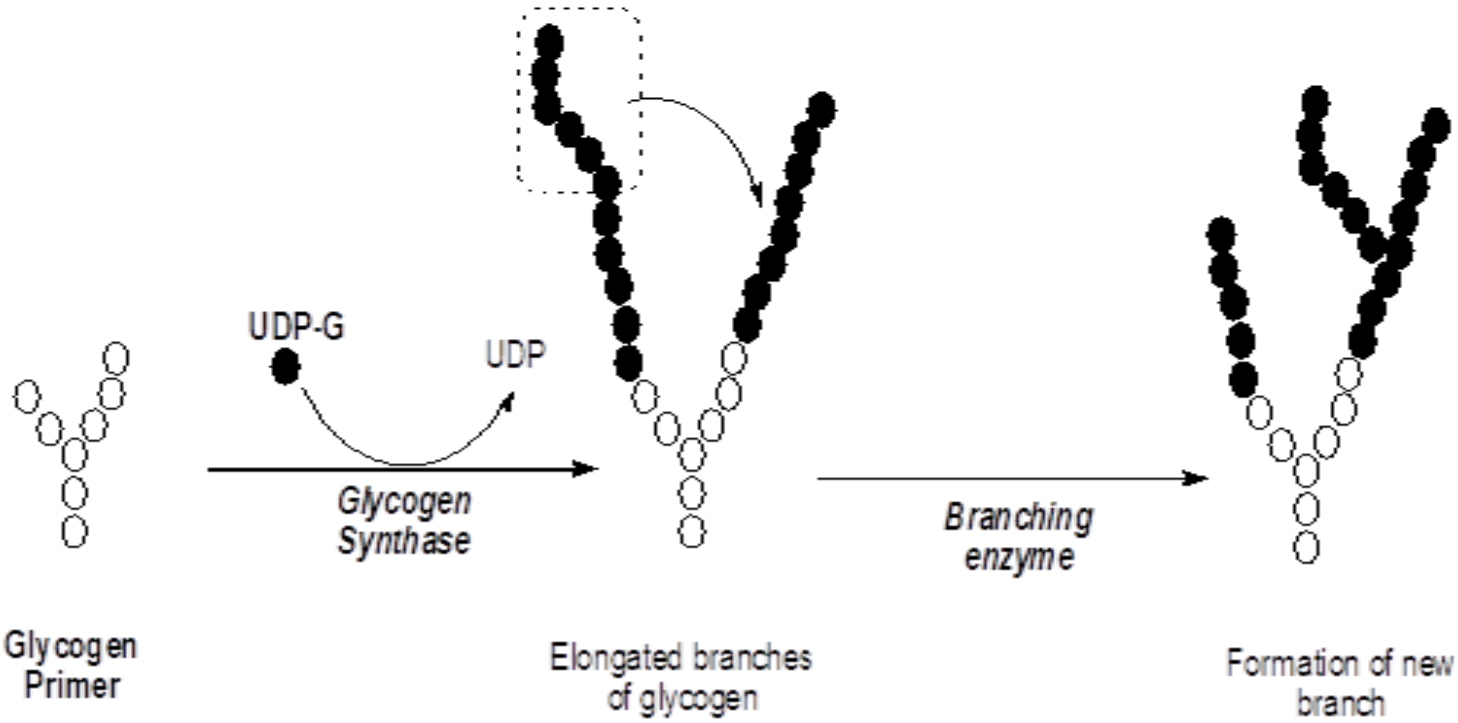
UDP-Glucose Pyrophosphorylase



بعد ذلك ينتقل الجلوكوز المنشط هذا إلى نهاية إحدى السلاسل الفرعية في جزيء الجلايكوجين تاركاً النيوكليوتيد يوريدين ثنائي




Glucose
Glucokinase (hexokinase)
Mg2+
ATP
ADP
Glucose-6-P
Phospho-
glucomutase
Glucose-1-P
UTP
UDP-G
Pyrophosphorylase
PPi
Uridinediphosphoglucose
UDP-G
Glycogen Synthase
Branching Enzyme
GLYCOGEN


UDP-G
UDP
Glycogen
Synthase
Branching
enzyme
Glycogen
Primer
Elongated branches
of glycogen
Formation of new
branch

الفرق بين جليكوجين الكبد والعضلات

جليكوجين الكبد	جليكوجين العضلات
١- يتركز الجليكوجين في الكبد أكثر من العضلات	١- يتركيز الجليكوجين في العضلات أقل منه في الكبد
٢- يشتق من كربوهيدرات الوجبة، ١٠% من الدهون، ٥٨% من البروتين	٢- يشتق من جلوكوز الدم
٣- يمكنه أن يعطي الجلوكوز مباشرة بسبب وجود إنزيم الفوسفاتيز الذي يحول الجلوكوز-٦-فوسفات إلى جلوكوز	٣- يعطي حمض اللاكتيك في البداية والذي يمر إلى الكبد ثم يتحول إلى جليكوجين في الكبد
٤- تستخدم الطاقة الناتجة منه بواسطة كل أنسجة الجسم	٤- الطاقة الناتجة منه تستخدم بواسطة العضلات فقط

بناء حامض الاسكوربيك(فيتامين C) من اليوريدين داى فوسفات