الكيمياء الحياتية / م4

المحاضرة -2-

الايض Metabolism

مجموعة من التفاعلات الكيميائية المتسلسلة المحفزة بالإنزيمات التي تحدث داخل الكائن الحي لإنتاج الطاقة او بناء الانسجة وهذه العمليات تشمل عمليات الهدم (التقويض) **Catabolism** وعمليات البناء **Anabolism**.

المسارات التقويضية Catabolic pathways: والتي تتضمن عمليات تحطيم الجزيئات الكبيرة الى جزيئات صغيرة كالبروتينات الى الأحماض الأمينية للاستفادة منها، في عملية البناء للحصول على طاقة وقوى مختزلة.

جزيئات كبيرة (مثل الكلايكوجين) ← (مسارات التقويض) جزيئات صغيرة (مثل الكلوكوز) + طاقة

المسارات البنائية Anabolic pathways: والتي تتم من خلالها عمليات بناء جزيئات كبيرة من جزيئات صغيرة على سبيل المثال بناء البروتينات من الأحماض الأمينية أو الكلايكوجين من سكر الكلوكوز وتحتاج هذه المسارات الى طاقة.

جزيئات صغيرة (مثل الكلوكوز) + طاقة ← (مسارات البناء) جزيئات كبيرة (مثل الكلايكوجين)

ايض الكربوهيدرات Metabolism of carbohydrates

هضم الكربوهيدرات Digestion of carbohydrates

- في الفم: يعمل إنزيم الأميليز اللعابي Salivary amylase(pH≈6.5) على تحليل الكربوهيدرات كالنشأ والكلايكوجين الى سكريات ثنائية اضافة الى سلاسل فليلة من السكريات المتعددة حيث يحطم الاواصر الكلايكوسيدية α(1→4).
- في المعدة: لا يحدث هضم للسكريات (يتوقف انزيم الاميليز عن العمل بسبب الحموضة العالية).
- في الأمعاء: يقوم إنزيم ألاميليز البنكرياسي Pancreatic amylase بنفس عمل إنزيم الاميليز اللعابي حيث يحطم الاواصر الكلايكوسيدية للسكريات المتعددة التي لم يكتمل تحطيمها في الفم، لنحصل على خليط من السكريات الثنائية. بعدها تفرز الأنزيمات الخاصة بهضم السكريات الثنائية مثل أنزيم Lactase, Sucrase Maltase للحصول على مزيج من السكريات الاحادية لتمتص من قبل بطانة الامعاء (ينتقل الكلوكوز الى الدم ويدخل المسارات الايضية).
- اما السليلوز فلا يمكن هضمه لعدم وجود الأنزيمات المخصصة لذلك لدى الانسان.

مصير الكلوكوز

- بعد امتصاص السكريات الأحادية خلال الغشاء المبطن للأمعاء الدقيقة يتم نقلها عبر الدم الى الكبد، حيث يقوم الكبد بتحويل السكريات الأحادية مثل الفركتوز والكلاكتوز الى الكلوكوز لتستفيد منه الخلايا. بعدها :

١. يُنقل عبر الدم الى الأنسجة المختلفة في الجسم.
٢. يتم استغلاله في الأنسجة المختلفة بالطرق التالية:
   - اكسدة الكلوكوز لإنتاج الطاقة والماء وثاني اكسيد الكربون عن طريق الكلايكولايسز ودورة كربس.
   - تحويل الكلوكوز الى مكونات اخرى ذات اهميه بيولوجية مثل الرايبوز والرابيوز منقوص الاوكسجين لتصنيع الاحماض النووية وحامض الكلوكورونيك في الكبد والفركتوز والسكريات الامينية...
٣. تخزينه في الكبد والعضلات على هيئة جلايكوجين بواسطة عملية الكلايكوجنسيز Glycogenesis وعمليات حيوية اخرى.

مسارات ايض الكربوهيدرات

١- تحلل الكلوكوز Glycolysis

٢- دورة كربس Krebs Cycle

٣- دورة كلايوكسليت Glyoxylate cycle

٤- مسار فوسفوكلوكونيت Phosphogluconate pathway

٥- انتقال الالكترونات والفسفرة التاكسدية Electron transport and oxidative phosphorylation

٦- تحلل الجلايكوجين Glycogenolysis

٧- بناء الكلايكوجين Glycogenesis

٨- بناء الكلوكوز Gluconeogenesis

التحلل السكرى Glycolysis

المسار الرئيسي لهدم الكربوهيدرات، تتم تفاعلات (١٠ تفاعلات) هذا المسار في سايتوبلازم جميع الخلايا الحية في الانسان والحيوان والنبات، ويتضمن هذا المسار اكسدة الكلوكوز الى جزيتين من البايروفات. هذه التفاعلات العشرة تكون ممهدة للأكسدة الكاملة للكلوكوز (الى طاقة وماء وثاني اوكسيد الكربون) عبر دورة كربس.

Glycolysis Chemical Equation

$$\text{Glucose} + 2\ NAD^+ + 2\ ADP + 2\ Pi \xrightarrow{\text{Enzymes}} 2\ \text{pyruvate} + 2\ NADH + 2\ ATP + 2\ H_2O$$

الاهمية الحيوية:

- انتاج الطاقة .
- انتاج جزيتين من Pyruvate الضرورية لدورة كربس.
- تكوين مركبات وسطية تستخدم لبناء مركبات اخرى مهمة للخلية (الدهون، الاحماض الامينية).

تفاعلات التحلل السكرى Glycolysis

ان تحلل الكلوكوز يكون على مرحلتين:

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

وهي التفاعلات الخمس الاولى والتي تبدأ بالكلوكوز وتنتهي بالكليسيرالديهايد -٣-فوسفات ويتم فيها استهلاك طاقة (جزيئتين من ATP).

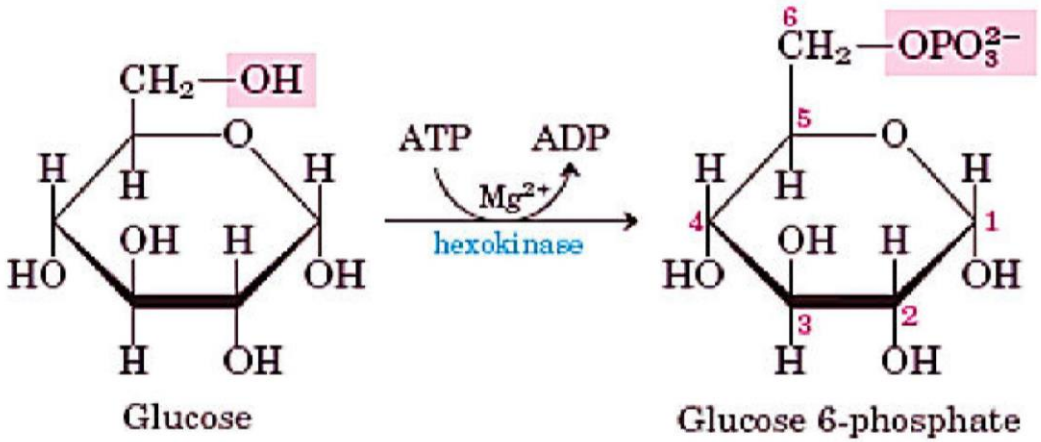
- **المرحلة الثانية: مرحلة التفاعلات المنتجة للطاقة (Payoff Phase)**

وهي ايضاً خمس تفاعلات (٦-١٠) والتي تبدأ بالكليسيرالديهايد - ٣- فوسفات وتنتهي بتكوين البايروفات ويتم فيها إنتاج طاقة (اربع جزيئات من ATP).

تفاعلات التحلل السكرى Glycolysis

المرحلة التحضيرية (Preparatory phase)

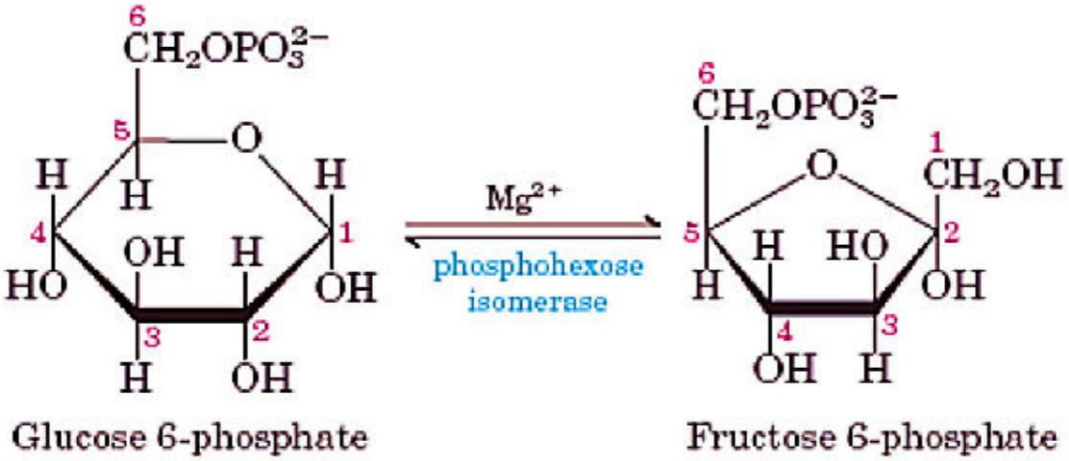
التفاعل الاول: فسفرة الكلوكوز الى كلوكوز-٦- فوسفات



- التفاعل يستهلك طاقة (1 ATP) وهو غير عكسي.
- يحفز هذا التفاعل إنزيم Hexokinase.
- يتم تثبيط انزيم Hexokinase عند زيادة تركيز الكلوكوز-٦-فوسفات.
- يحتاج الانزيم الى وجود ايونات المغنسيوم او المنغنيز (مرافق انزيمي).

تفاعلات التحلل السكرى Glycolysis

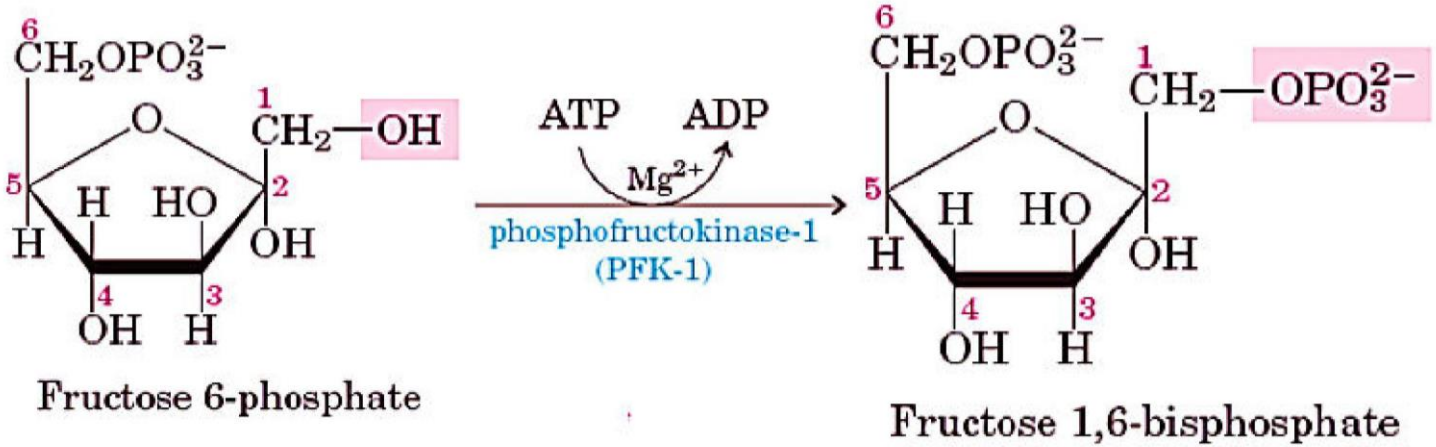
التفاعل الثاني: تحول الكلوكوز-٦- فوسفات الى الفركتوز-٦- فوسفات



- في هذا التفاعل يتحول السكر السداسي من Aldose الى Ketose بواسطة إنزيم Phosphohexose isomerase.
- التفاعل عكسي.
- يحتاج الانزيم الى وجود ايونات المغنسيوم او المنغنيز (مرافق انزيمي).

تفاعلات التحلل السكري Glycolysis

التفاعل الثالث: تحول الفركتوز ـ ٦ـ فوسفات إلى الفركتوز – ١,٦ـ ثنائي الفوسفات



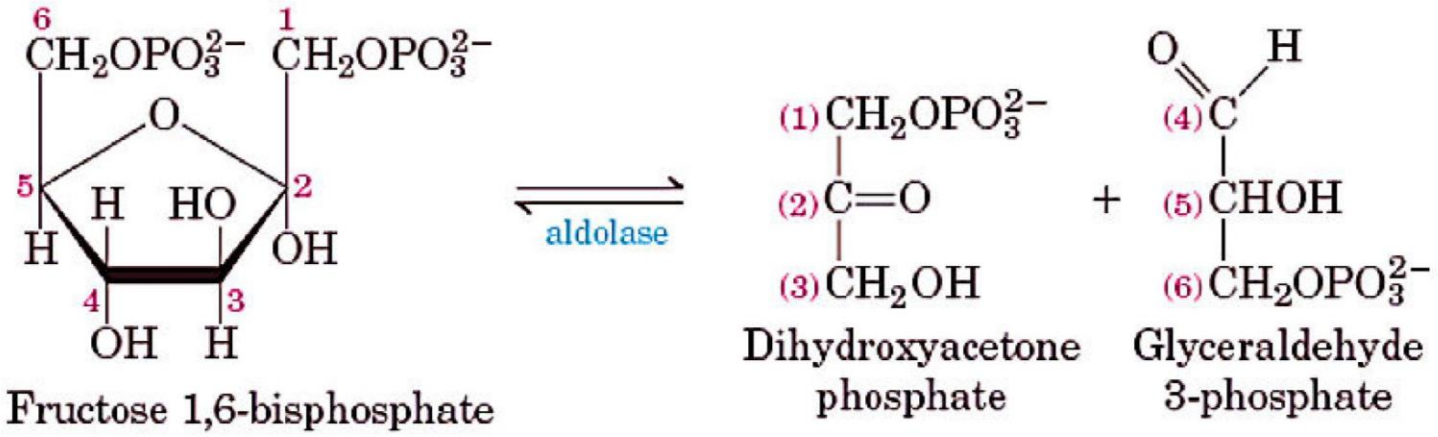
Fructose 6-phosphate

Fructose 1,6-bisphosphate

- التفاعل يستهلك طاقة (1 ATP) وهو غير عكسي.
- يحفز التفاعل بإنزيم Phosphofructokinase ، حيث تمنح الـ ATP مجموعتها الفوسفاتية لتضاف للفركتوز في الموقع ١.
- يحتاج الانزيم الى ايونات المغنسيوم .

تفاعلات التحلل السكرى Glycolysis

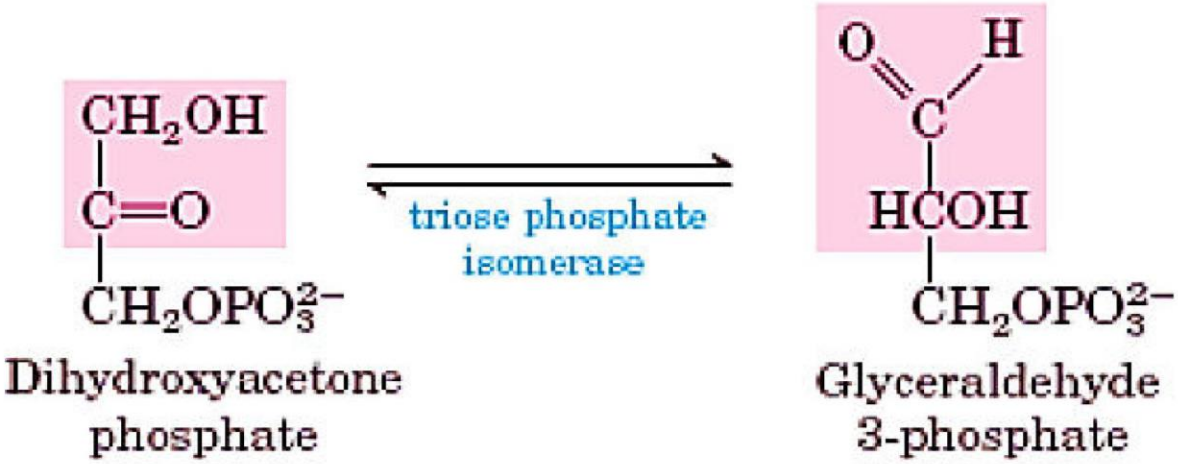
التفاعل الرابع: انشطار الفركتوز – ١,٦- ثنائي الفوسفات إلى ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات وكليسرالدهايد - ٣- فوسفات



- حيث يتحول الفركتوز المفسفر الى جزيئتين مفسفرتين من (Trioses) احدهما Aldose والاخر Ketose بواسطة إنزيم Aldolase.
- التفاعل عكسي.

تفاعلات التحلل السكرى Glycolysis

التفاعل الخامس: تحول ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات إلى كليسرالديهايد- ٣- فوسفات



Dihydroxyacetone phosphate

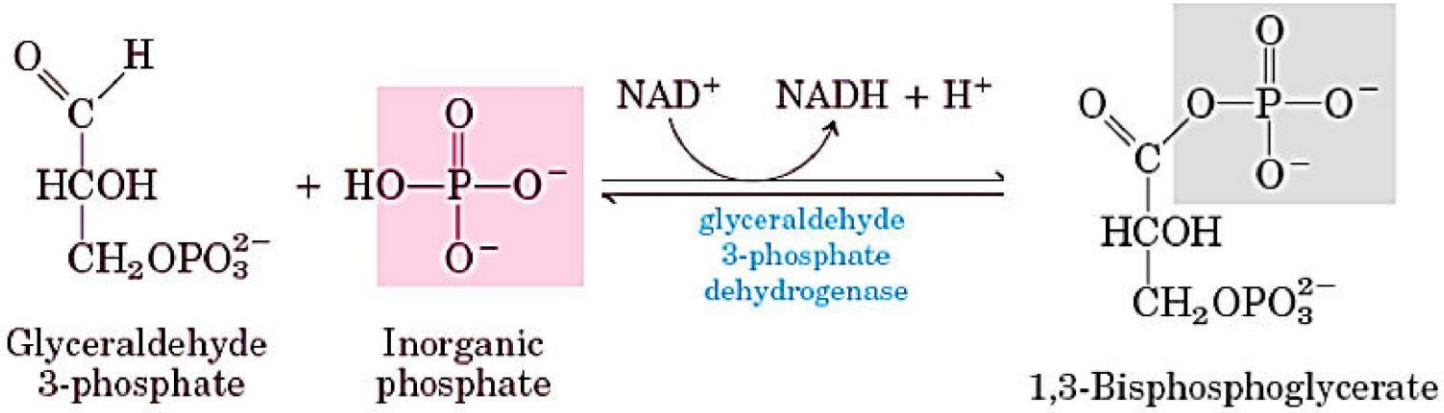
Glyceraldehyde 3-phosphate

❖ لكي يستطيع ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات إكمال مسار Glycolysis يتوجب عليه التحول الى كليسرالديهايد- ٣- فوسفات وهذا التفاعل العكسي يتم بواسطة إنزيم Triose Phosphate Isomerase

تفاعلات التحلل السكرى Glycolysis

التفاعل السادس: تحول جزيئتان من الكليسرالديهايد -٣- فوسفات إلى جزيئتين من ١,٣-ثنائي فوسفوكليسرات

(بما ان جزيئة واحدة من الكلوكوز تكوّن اثنين من الكليسر الديهايد -٣- فوسفات في المرحلة الاولى، فإن كلاً من جزيئتي الكليسرالديهايد- ٣- فوسفات سوف تسلك نفس المسار)



- المركب الناتج هو مركب فوسفاتي يملك طاقة عالية .
- يحفز إنزيم Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase هذا التفاعل.
- التفاعل عكسي (يؤثر تركيز الكليسيرالديهايد على اتجاه التفاعل فلو كان التركيز منخفضاً يكون التفاعل باتجاه اليمين.
- هذا التفاعل منتج للطاقة (هو اول تفاعل اكسدة واختزال في المسار) .

ملخص المحاضرة الثانية

1. توقف عمل إنزيم الأميليز في المعدة

السؤال: لماذا يتوقف هضم الكربوهيدرات (السكريات) في المعدة؟

الجواب: يتوقف هضم السكريات في المعدة بسبب **الحموضة العالية** ، حيث أن إنزيم الأميليز اللعابي (*Salivary amylase*) الذي يبدأ الهضم في الفم يتوقف عن العمل في هذه البيئة الحامضية.

2. مصير السليلوز في جسم الإنسان

السؤال: لماذا لا يمكن هضم السليلوز لدى الإنسان؟

الجواب: لا يمكن هضم السليلوز لدى الإنسان لعدم وجود **الإنزيمات المخصصة** لذلك.

3. استهلاك الطاقة في بداية التحلل السكري

السؤال: لماذا يستهلك التفاعل الأول في مسار التحلل السكري (*Glycolysis*) جزيء طاقة (*ATP*)؟

الجواب: يستهلك هذا التفاعل جزيء *ATP* لأنه تفاعل **غير عكسي** ، ويحفزه إنزيم **Hexokinase**.

4. اتجاه التفاعل السادس في التحلل السكري

السؤال: متى يتجه التفاعل السادس في التحلل السكري (*Glycolysis*) نحو اليمين (نحو تكوين الناتج)؟

الجواب: هذا التفاعل هو تفاعل **عكسي** ، ولكنه يتجه نحو اليمين إذا كان تركيز جزيء **جليسيرالديهايد-3-فوسفات منخفضاً** ، بالإضافة إلى أنه أول تفاعل **أكسدة واختزال منتج للطاقة** في المسار.

5. أهمية نقل الجلوكوز إلى الكبد بعد الامتصاص

السؤال: لماذا يتم نقل السكريات الأحادية الممتصة من الأمعاء الدقيقة إلى الكبد؟

الجواب: يتم نقل السكريات الأحادية الممتصة إلى الكبد، حيث يقوم الكبد بتحويل السكريات الأحادية الأخرى (مثل **الفركتوز والجلاكتوز**) إلى **جلوكوز** ، ليمكن استغلاله والاستفادة منه في الخلايا بعد ذلك.

1. الأيض (*Metabolism*)

هي مجموعة من التفاعلات الكيميائية المتسلسلة المحفزة بالإنزيمات التي تحدث داخل الكائن الحي لإنتاج **الطاقة** وبناء **الأنسجة**. وتشتمل هذه العمليات على عمليات الهدم (*Catabolism*) وعمليات البناء (*Anabolism*).

2. مسارات الهدم (*Catabolic pathways*)

هي العمليات التي تتضمن **تحطيم الجزيئات الكبيرة** إلى جزيئات صغيرة (مثل تحطيم جزيئات الكربوهيدرات والبروتينات) للاستفادة منها والحصول على **طاقة وقوى مختزلة**.

3. مسارات البناء (*Anabolic pathways*)

هي العمليات التي يتم من خلالها **بناء جزيئات كبيرة** من جزيئات صغيرة (مثل بناء البروتينات من الأحماض الأمينية أو الجلايكوجين من سكر الجلوكوز). وتحتاج هذه المسارات إلى **طاقة**.

4. التحلل السكري (*Glycolysis*)

هو المسار الرئيسي لهدم الكربوهيدرات ، ويحدث في **سيتوبلازم** جميع الخلايا الحية في الإنسان والحيوان والنبات. ويتضمن هذا المسار أكسدة الجلوكوز إلى **جزيئتين من البايروفات** خلال 10 تفاعلات.

5. بناء الجلايكوجين (*Glycogenesis*)

هي عملية حيوية يتم من خلالها **تخزين الجلوكوز** في الكبد والعضلات على هيئة **جلايكوجين**.