

الافعال الحيوية Metabolism

الايض يتمثل بالمجموعة الكلي لجميع التغيرات والتفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل جسم الكائن الحي او داخل الخلية الحية. حيث ان هناك سؤالان رئيسيان في الكيمياء الحياتية وهما:-

١- كيف تتمكن الخلايا من استخلاص الطاقة من بيئتها؟

٢- كيف تتمكن الخلايا من تصنيع وحدات البناء الصغيرة (الجزينات الصغيرة) اللازمة لبناء الجزينات الكبيرة التي تحتاجها.

والجواب هو ان هذه العمليات تحدث من خلال شبكة او سلسلة متكاملة من التفاعلات الكيميائية والتي مجموعها تسمى بالافعال الحيوية (الايض) (Metabolism)

ويكون الغذاء الذي يتناوله الكائن الحي هو المصدر لجميع مواد بناء الجزينات التي تحتاجها الخلية ومصدر طاقة الخلية فعند ما تتحلل هذه الاغذية تتحرر وتُستغل الطاقة المخزونة في اواصرها لتنفيذ جميع الافعال الحيوية المتعلقة لحياة ذلك الكائن الحي. وتحرر الطاقة من خلال سلسلة من عمليات (تفاعلات) الاكسدة والاختزال.

ويتضمن الايض عمليتين رئيسيتين هما عملية الهدم او التحلل (Catabolism) (وهي عادة تفاعلات اكسدة) للمواد الممتصة من قبل الخلية وتكون هذه العمليات مرتبطة بعمليات بناء (Anabolism) لمواد جديدة وضرورية لحياة الخلية وذلك باستخدام الطاقة المتحررة من الخطوة الاولى (الهدم) والجزينات الصغيرة الناتجة منها.

ايض الكاربوهيدرات (السكريات) Metabolism of Carbohydrates

قبل البدء بعمليات ايض الكاربوهيدرات سوف نتطرق الى عملية هضم وامتصاص السكريات في الغذاء ثم تعود الى عمليات الايض الخاصة بها وستكون هذه العمليات بالنسبة للإنسان.

هضم وامتصاص الكاربوهيدرات الغذائية Digestion and absorption of food Carbohydrates

أ- هضم السكريات المتعددة Digestion of polysaccharides

ان جزء صغير من الكاربوهيدرات النباتية تستعمل كغذاء للإنسان وذلك لافتقار خلايا الجسم للانزيمات الخاصة بهضم السليلوز، والزيلان والبكتين وغيرها، حيث ان الفتاة الهضمية للإنسان تحتوي فقط على انزيمات الكلايكوسيديز Glycosidases والتي تحلل الاواصر الكلايكوسيدية من نوع الفا 1-4 و الفا 1-6 فقط والموجودة في النشأ، الكلايكوجين، السكرز، المالتوز، واللاكتوز. اما السليلوز فانه لا يهضم ويخدم في زيادة حجم الفضلات (الغانط) وعلى تحفيز حركة الامعاء التي تساعد في دفع الفضلات.

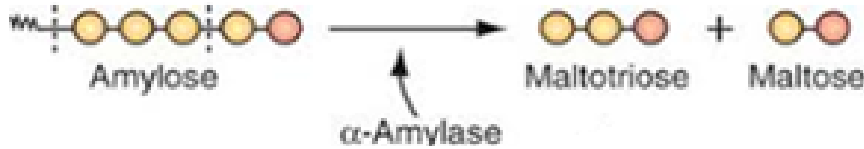
تبدأ عملية تحلل النشأ في الفم بواسطة انزيم الفـا- اميليز (α -amylase) المسمى الاميليز اللعابي) بنسبة قليلة وذلك لقلّة الوقت الذي يخضع فيه الطعام للهضم في الفم ويعمل هذا الانزيم في محيط الفم المتعادل الى القاعدي الضعيف $pH=7-7.2$.

عند وصول الطعام للمعدة يُعطل عمل الانزيم α -amylase لكون محيط المعدة حامضي قوي $pH=1-2$. ففي المعدة لا يحدث اي هضم للكربوهيدرات لانعدام الأنزيمات الخاصة بهضم الكربوهيدرات.

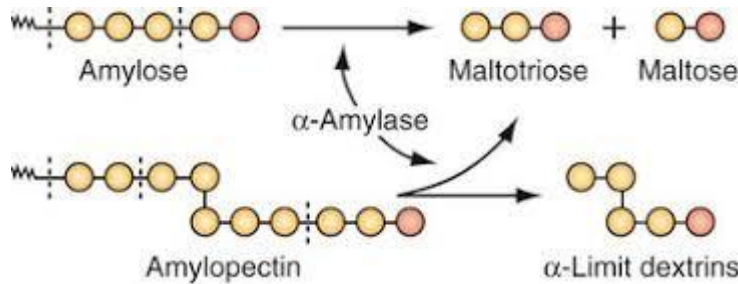
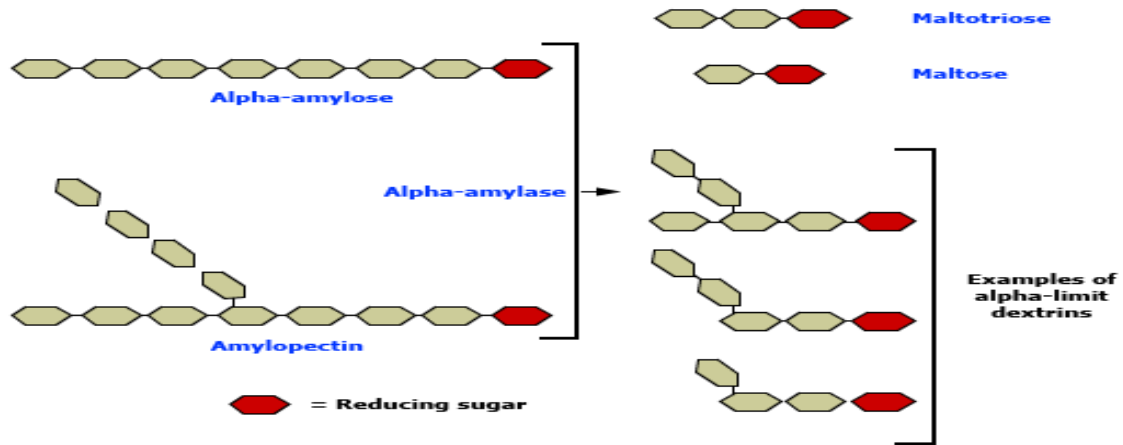
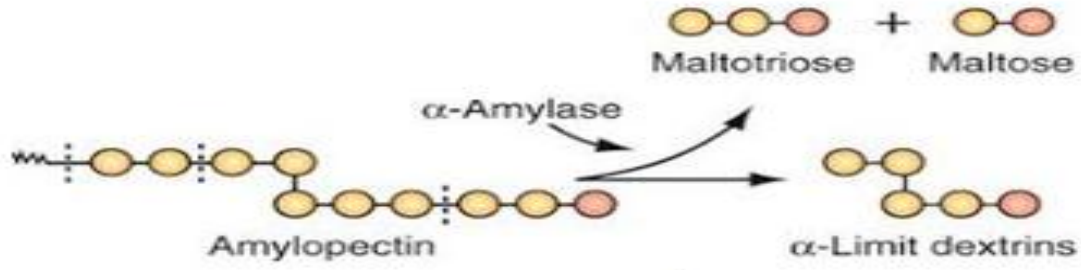
بعدها وعند عبور الكربوهيدرات الغذائية من المعدة الى الامعاء تبدأ عملية هضم الكربوهيدرات الرئيسية حيث يعمل انزيم الاميليز البنكرياسي **Pancreatic amylase** القادر على التحلل المائي الداخلي لاواصر الفـا 1-4 في السكريات المتعددة (وهو يشابه الاميليز اللعابي من حيث الحاجة الى ايونات الكلور Cl^- ولكنه يعمل في pH اقل من 7.1 اضافة الى ان ايونات الكالسيوم Ca^{+2} تساعد على ثباته).

يتم عمل انزيم الفـا-اميليز البنكرياس بشكلين رئيسيين حسب سلاسل النشأ. حيث يتكون النشأ من نوعين من متعدد الكلوكوز هما الاميلوز Amylose والاميلوبكتين:

1- الاميلوز Amylose والذي هو عبارة عن سلاسل مستقيمة لمتعددة الكلوكوز (ويحتوي نوع واحد من الاواصر الكلايكوسيدية وهي اواصر الفـا 1-4) ويُنتج جزيئات المالتوز Maltose والمالتوترايوز Maltotriose عند عمل انزيم الاميليز على تحليته



2- اما النوع الثاني من متعدد الكلوكوز الموجود في النشأ هو الاميلوبكتين amylopectin والذي يشكل (80%) من النشأ وهو ذو سلسلة متفرعة وبذلك يحتوي على نوعين من الاواصر الكلايكوسيدية الفـا 1-4 والفـا 1-6 وهنا انزيم الاميليز لا يهاجم الاواصر الفـا 1-4 المجاورة لاواصر التفرع الفـا 1-6 وهو لا يحلل الاواصر الفـا 1-6 ولكن عمله يقتصر على تحرير المالتوز ، المالتوترايوز، الايزومالتوز والفـا دكسترين محدودة وحدات الكلوكوز

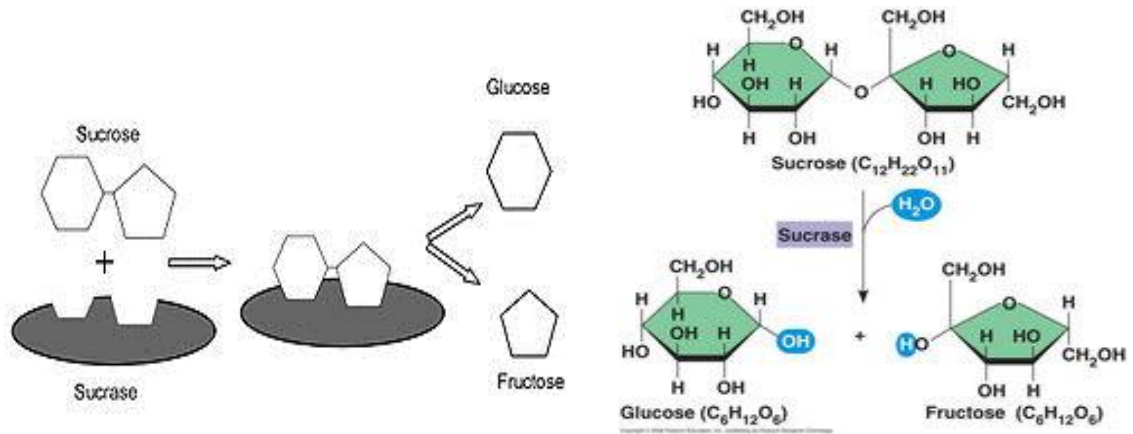


وعمل انزيم الاميليز البنكرياسي يكون سريعاً ويكمل في وقت تنتقل فيه محتويات الامعاء من الاثنى عشري الى الجزء الصائم للامعاء.

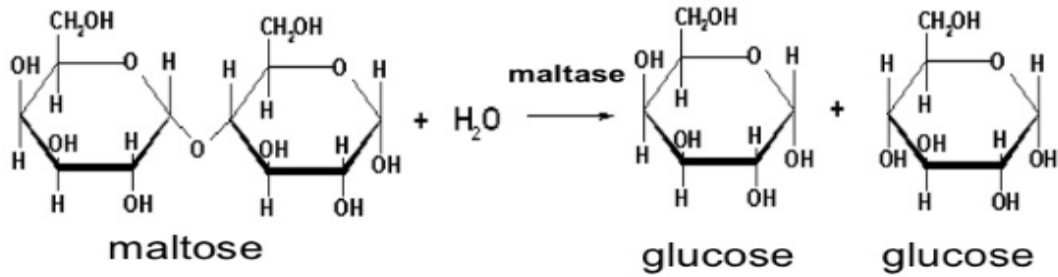
ب- هضم السكريات المعودة Digestion of Oligosaccharides

وهنا يتم هضم السكريات الثنائية (السكروز، المالتوز، اللاكتوز) اضافة الى السكريات محدود العدد Oligosaccharides (3-10 وحدات) الناتجة من فعل انزيم الاميليز ويتهم الهضم في الامعاء الدقيقة على الاخص في الجزء الصائم من الامعاء على الخلايا المخاطية Mucosal Cells ويتم التحلل بفعل انزيمات اوليكوسكارايديز Oligosaccharidases

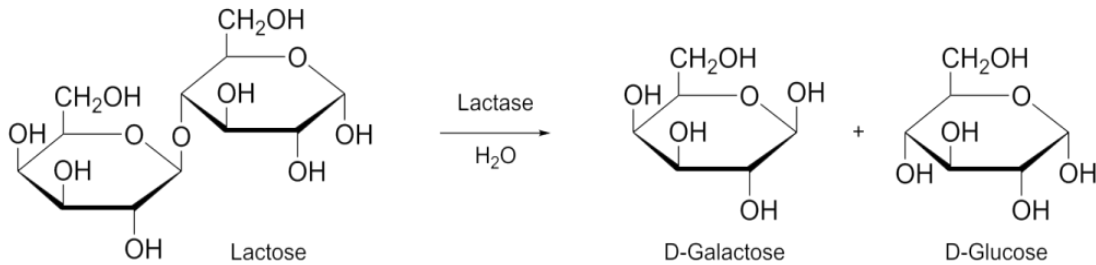
- فالسكروز يتحلل مائيا بفعل انزيم السكريز **sucrase** منتجا الكلوكوز والفركتوز



- المالتوز يتحلل بفعل انزيم المالتيز **Maltase** منتجا جزيئين من الكلوكوز

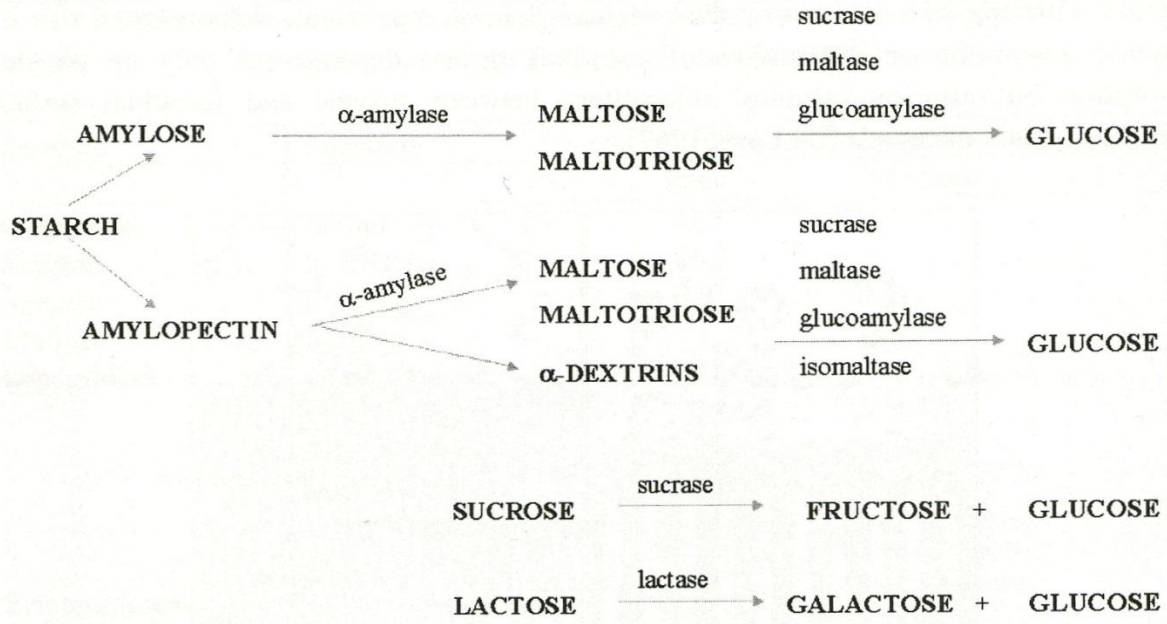


- اللاكتوز يتحلل بفعل انزيم اللاكتيز **lactase** منتجا الكلوكوز والكالكتوز.



- اما الدكستريينات **Dextrines** فأنها تتحلل بفعل انزيم الفا دكستريينز **α-dextrinase** والمالتوز **Maltase** وانزيم الازومالتيز **IsoMaltase**

*يلاحظ ان النواتج النهائية لتحلل النشا والسكريت الثنائية هي جزيئات الكلوكوز، الفركتوز، والكالكتوز. تمتص هذه الجزيئات من قبل خلايا الامعاء وتنتقل الى خلايا الجسم عبر الدم.



ايض السكريات Metabolism of carbohydrates

بعد امتصاص الكلوكوز يذهب الى مجرى الدم وبعد ان يدخل الكلوكوز الى الدم يكون امام السكر ثلاث طرق، تنظم حسب حاجة الجسم فهو:-

- ١- اما يدخل خلايا الانسجة ويتأكسد الى CO_2 وماء مع تحرير طاقة وذلك حسب حاجة خلايا الجسم للطاقة او يتحول الى جزيئات اخرى تحتاجها الخلية.
- ٢- او انه يدخل الى الكبد ليتحول (يخزن) على شكل كلايوجين Glycogen
- ٣- او يتحول الى دهون حسب حاجة الجسم لذلك وحسب الفائض.

حيث يجب ان يحافظ هرمون الانسولين (والكلوكاكون) على نسبة حوالي غرام واحد من الكلوكوز لكل لتر دم (اي ما بين 80-120mg/dl , 75-109 mg/dl) حسب المسارات السابقة.

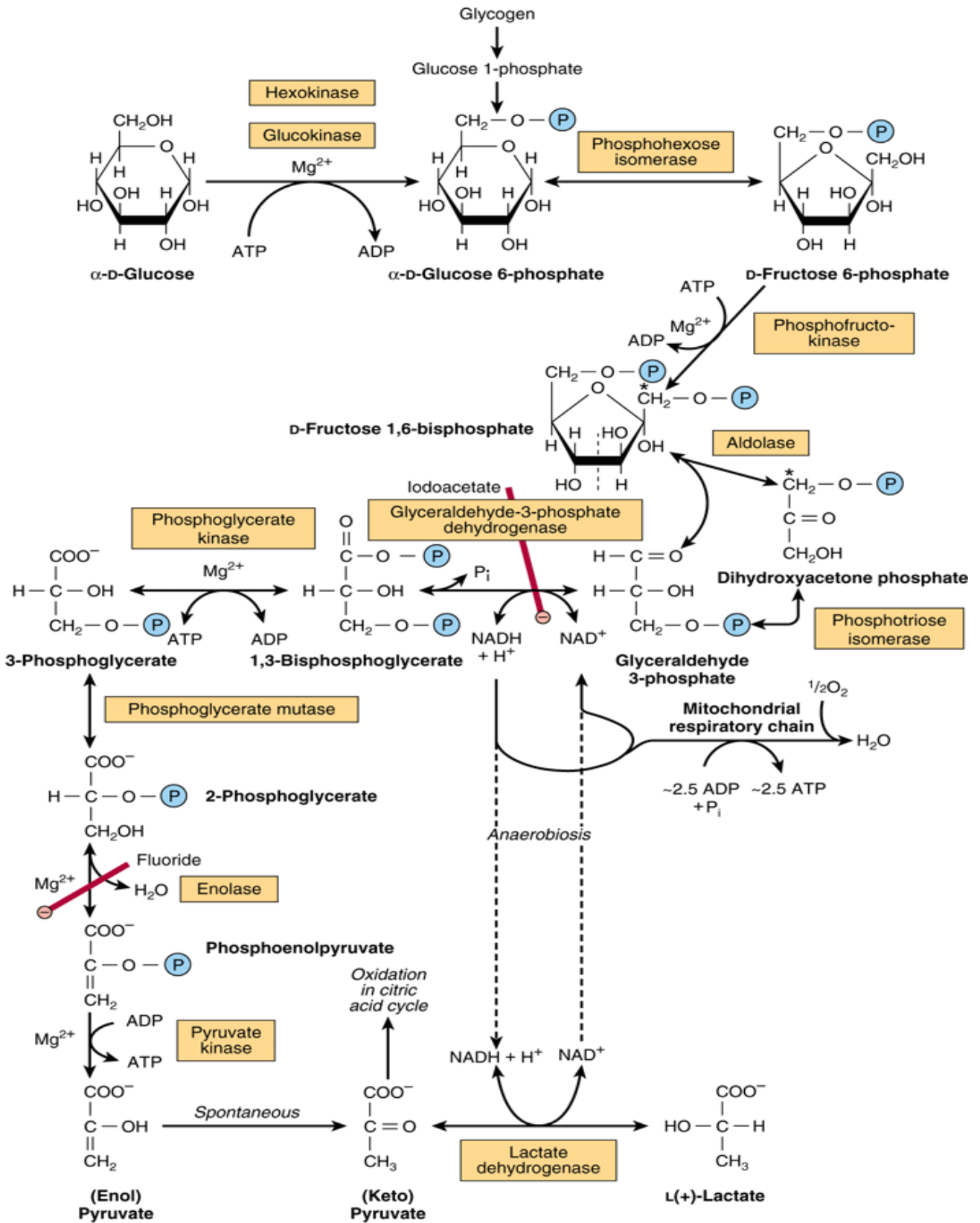
اكسدة الكلوكوز Oxidation of Glucose

عند دخول الكلوكوز الى الخلايا فانه يتأكسد الى ثاني اوكسيد الكربون وماء وان الخطوة الاولى في عملية تأكسد الكلوكوز هي عملية انحلال السكر Glycolysis

أ- انحلال السكر Glycolysis:-

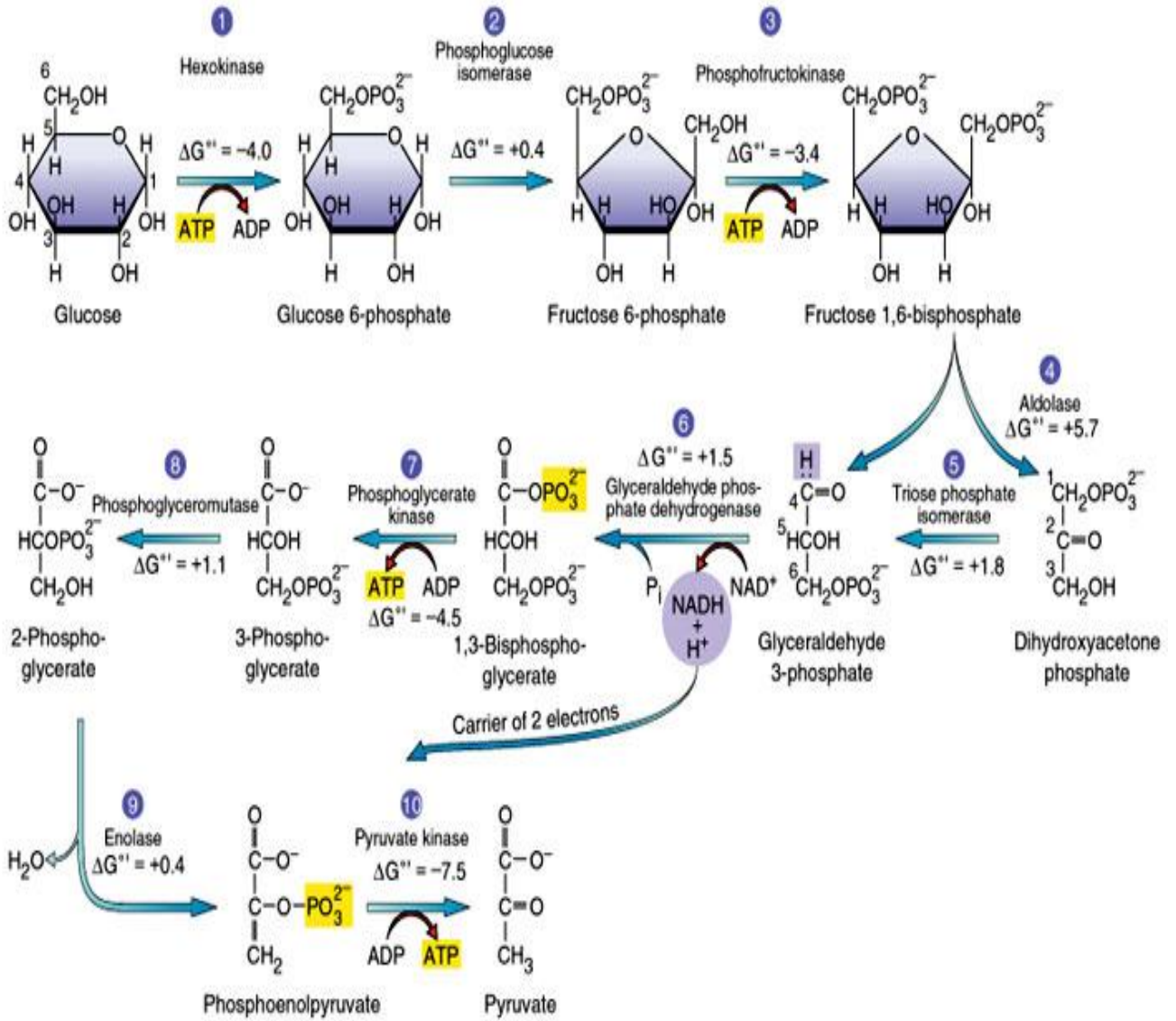
تسمى سلسلة العمليات (التفاعلات) التي يتحول فيها الكلوكوز الى مركب البايروفيت (بالكلايكولايسس Glycolysis) او انحلال السكر كما ان للمسار اسم اخر هو مسار امبيدن -

مابرهوف Embden - Meyerhof pathway of Glycolysis



Source: Murray RK, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Rodwell VW, Weil PA: *Harper's Illustrated Biochemistry*, 29th Edition: www.accessmedicine.com

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.



*بعد الخطوة الرابعة يتم الحصول على جزيئين من glyceraldehyde-3-phosphate حيث يتحول الDihydroxyacetone phosphate الى glyceraldehyde-3-phosphate

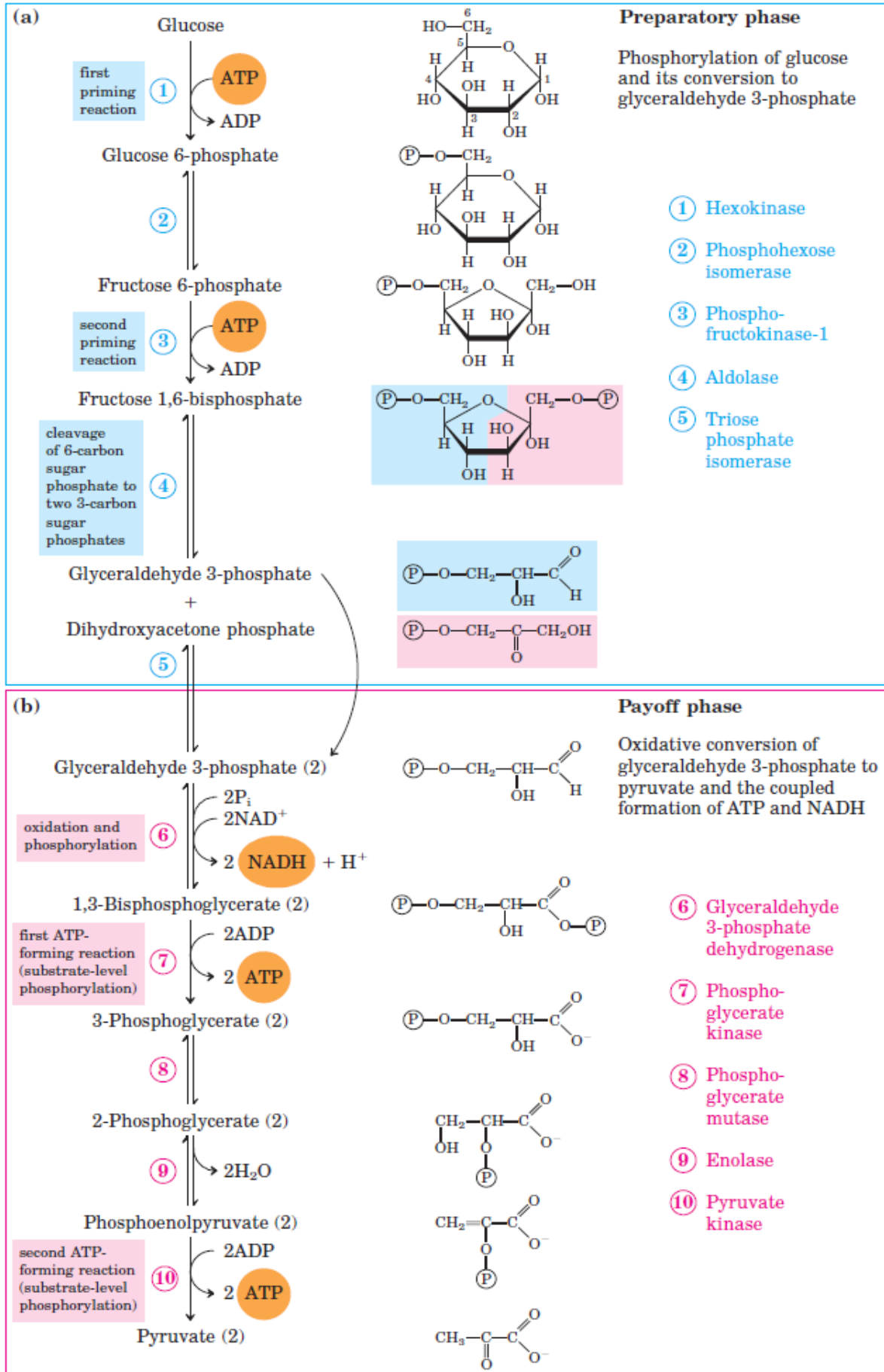
وملخص صافي العملية



بإمكان تقسيم مسار تحلل السكر الى طورين:-

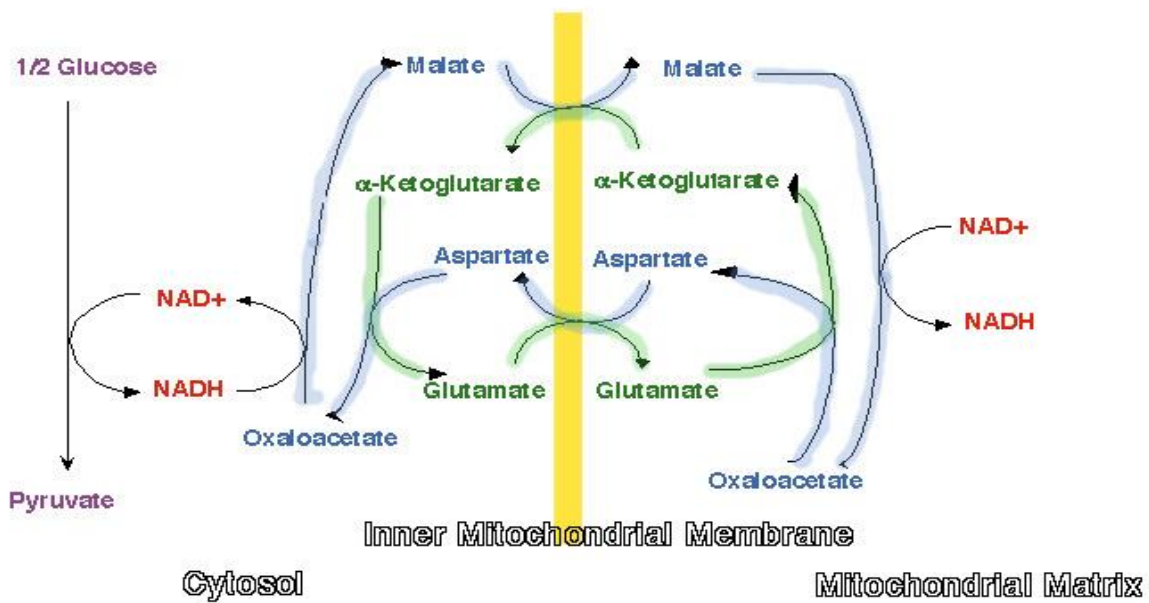
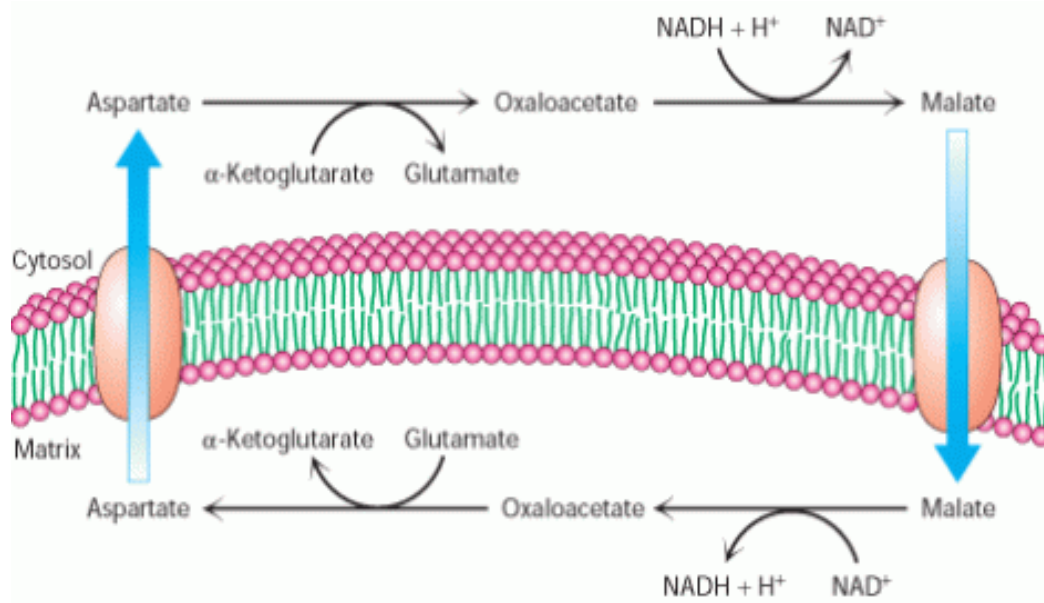
١- طور يستهلك الطاقة:- تفاعل رقم (1) و (3) حيث يستهلك في كل خطوة جزيئة ATP مع تحول الكلوكوز الى جزيئين من السكر ثلاثي الكربون المفسفر Glyceraldehyde-3-phosphate

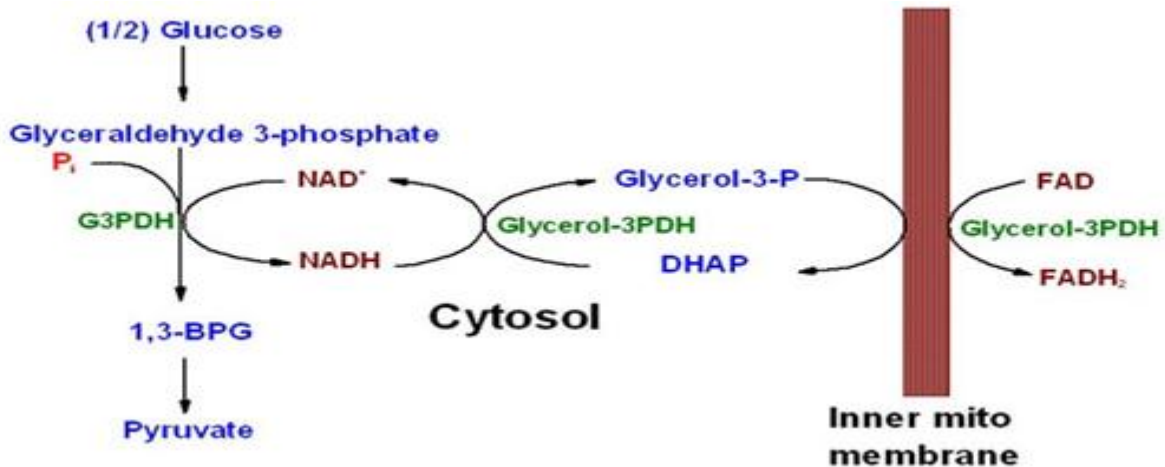
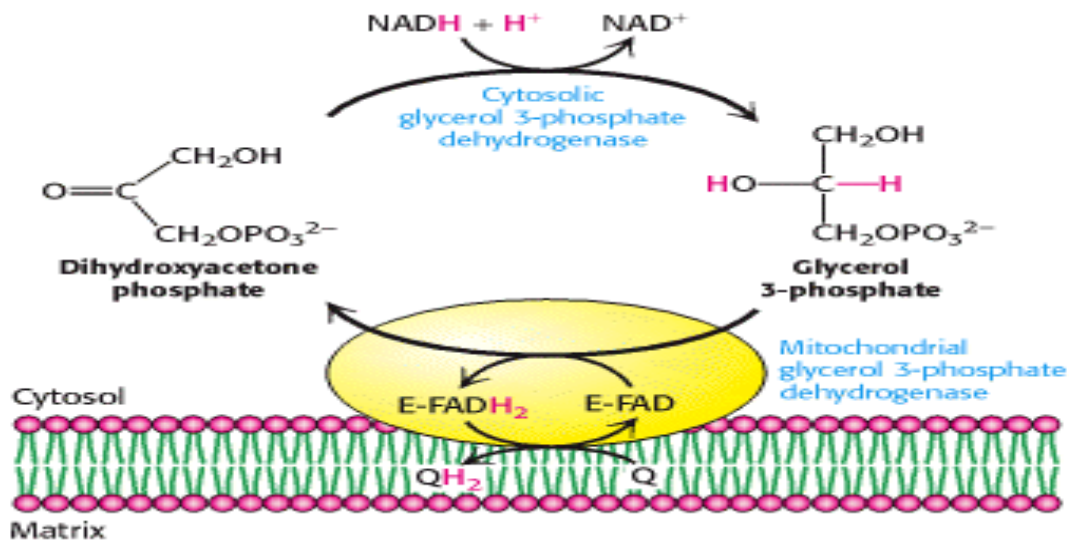
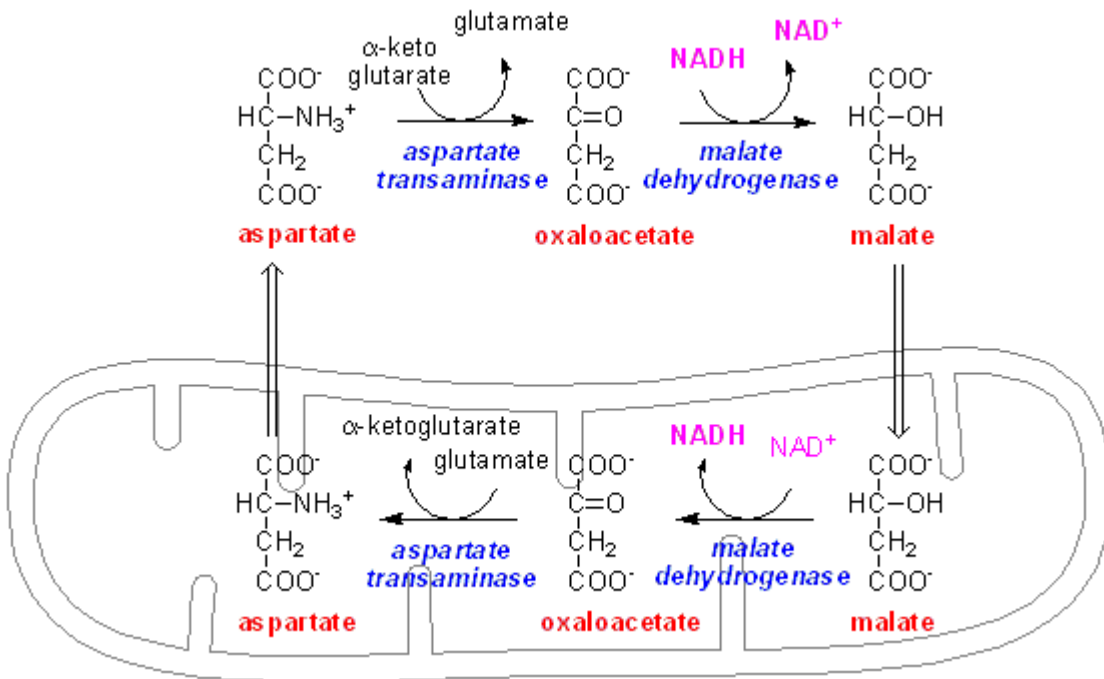
٢- طور منتج الطاقة وهي التفاعلات (٦) وتنتج 2NADH و(7) تنتج 2XATP و(10) وتنتج 2XATP



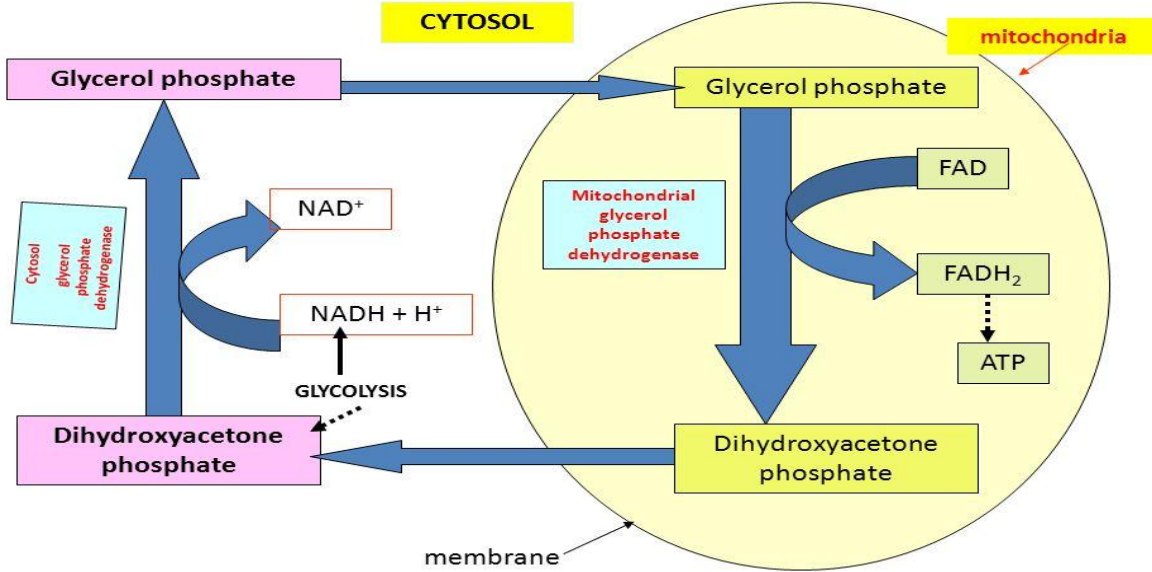
بما ان العملية استهلكت 2ATP و انتجت 4ATP اذن صافي جزيئات الطاقة بشكل ATP هي 2ATP

كمية NADH الناتجة من العملية هي اثنان وفي حال التنفس الهوائي اي وجود وفرة من الهواء فان كل جزيئة من الNADH يجب ان تدخل السلسلة التنفسية في المايتركونديريا لكن الNADH الناتج من الكلايكوليسس (انحلال السكر) لا يستطيع ان يدخل المايتركونديريا مباشرة لذلك يحتاج الى ناقل لا دخاله من السايتركونديريا الى المايتركونديريا لتحرير الطاقة لذلك هناك طريقتين لا دخاله وكما يلي





Glycerol phosphate shuttle



ملاحظات عن انحلال السكر:

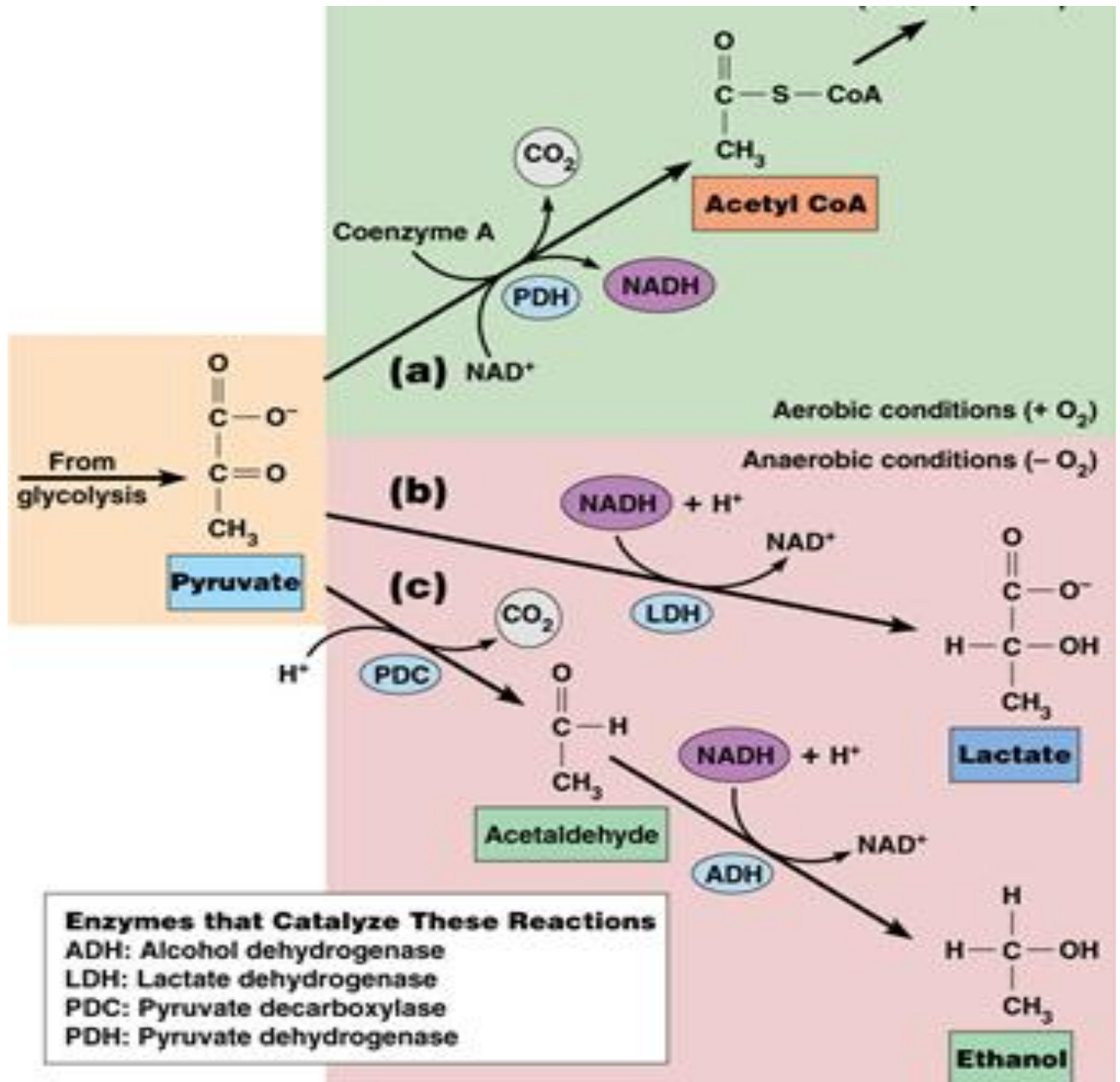
- ١- يجري المسار في الساييتوبلازم للخلايا
- ٢- المسار خطي وليس حلقي
- ٣- المواقع الفعالة في السكريات السداسية هي الموقع على الكربون الاول والسادس
- ٤- يجب فسفرة جزيئة الكلوكوز الى كلوكوز-٦-فوسفات G-6-P وتتم العملية (بمساعدته هرمون الانسولين) بواسطة الانزيم
- أ- Hexokinase وهو موجود في جميع الانسجة
- ب- Glucokinase وهو موجود في الكبد
- ٥- الانزيم phosphofruktokinase هو الانزيم المنظم allosteric enzyme أيضا
- الكلوكوز لان فعالية هذا الانزيم تزداد او تنخفض حسب وجود عدد من نواتج الايض حيث تزداد فعالية الانزيم (يحفز) عند زيادة F-6-P, ADP, AMP اي عندما تستنفذ الخلية ال ATP ويصبح ADP هو السائد في الخلية.
- بينما تثبط فعالية الانزيم عند زيادة حامض الستريك، ATP فيتوقف الانزيم عند فسفرة F-6-P الى P الى F-1,6-bis-P وبذلك يحدد هذا الانزيم الالوستيري نقطة الانطلاق لسرعه التفاعل
- ٦- الخطوة الخامسة في التفاعل والتي تتضمن تحويل Glyceraldehyde-3-P الى 1,3-Diphosphoglycerate هي فسفرة تأكسدية.
- ٧- تفاعلات هذا المسار هي تفاعلات عكسية باستثناء تفاعلات الخطوة الاولى والثالثة الاخيرة (العاشرة) والتي تتم بمساعدة الانزيمات hexo or glucokinase phosphofruktokinase, Pyruvate kinase وهي تجري بصورة غير عكسية.

مصير البايروفيت الناتج من عملية انحلال السكر:-

هناك ثلاث احتمالات لمصير البايروفيت المتكون وحسب الظروف وهي كالآتي:

- ١- في حالة وفرة الاوكسجين يتحول البايروفيت الى استيل Acetyl-coA والذي يدخل في دورة كريبس Krebs cycle
 - ٢- في حالة نقصان الاوكسجين (الهواء) Anaerobic يتحول الى Lactate
 - ٣- في بعض الخمائر والاشنات يتحول الى كحول (تخمير كحولي) Fermentation
- والمخطط التالي يبين مصير البايروفيت

Krebs cycle

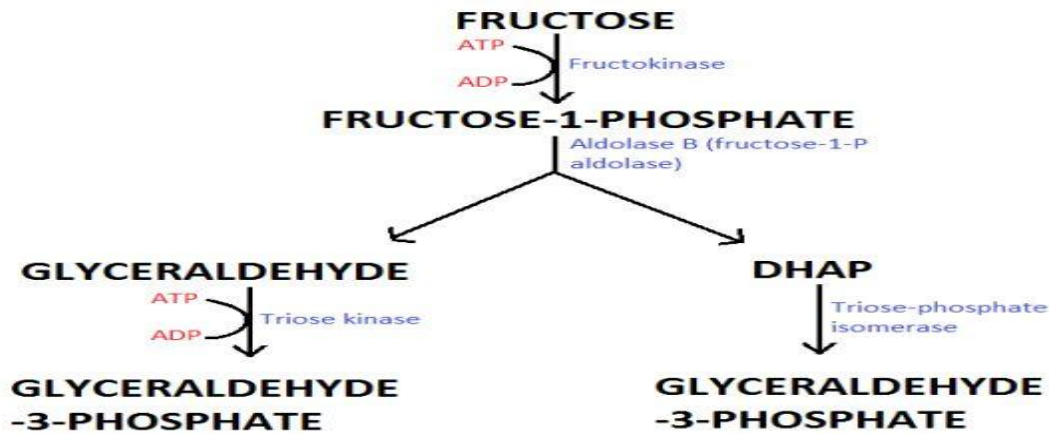


مصير الفركتوز والكالكتوز:-

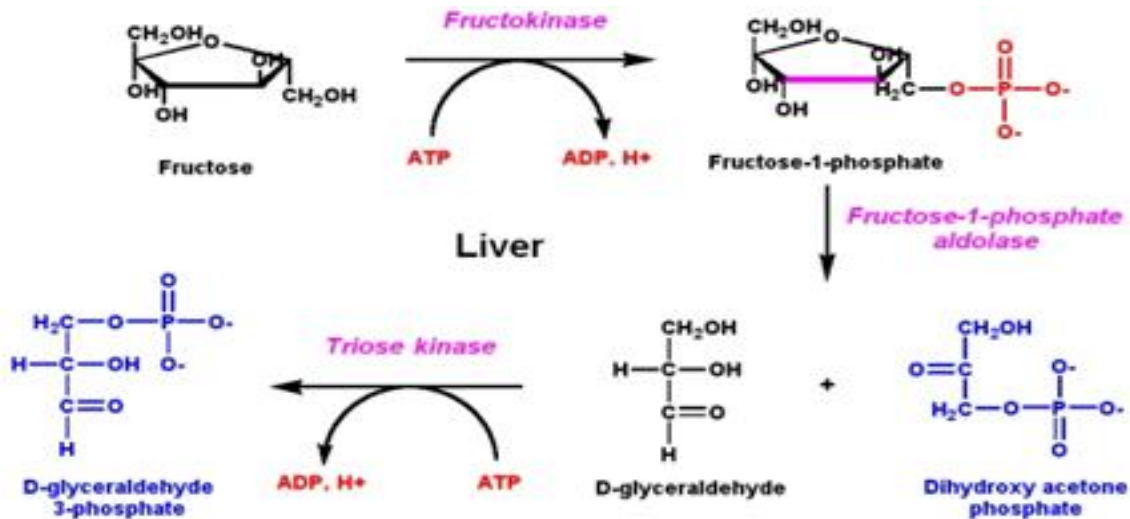
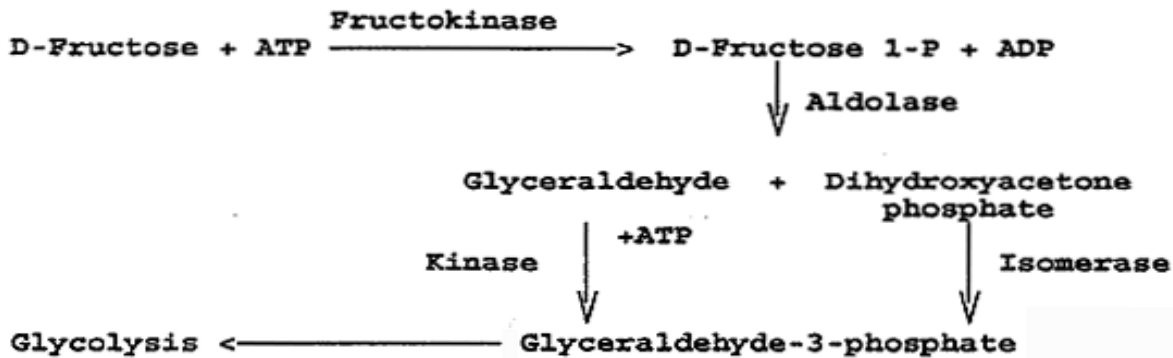
ينتج الفركتوز من هضم وتحلل السكروز الى فركتوز وكلوكوز اما الكالكتوز فينتج من هضم وتحلل السكر الثنائي اللاكتوز. وعندما يمتص من قبل الامعاء تذهب الى مجرى الدم اما المصير الايض لهذه السكريات فهو كما يلي ادناه علما ان كلاهما يتهدم في خلايا الكبد.

مسار تحلل الفركتوز:-

FRUCTOSE METABOLISM



(c) Not From A Packet Mix, 2014



الناتج هو **glyceraldehyde-3-phosphate** و **Dihydroxy acetone phosphate** والتي تدخل في مسار السكر من الخطوة السادسة.

*في الكلية يتحول الفركتوز الى فركتوز-6- فوسفات والذي يدخل في مسار انحلال السكر **glycolysis** من انحلال السكر من الخطوة الثالثة.

مسار تحلل الكالكتوز:

