

تابع أيض الكربوهيدرات

دورة كريس

تحلل السكريات الأحادية

بعد تحلل السكريات العديدة إلى سكريات أحادية تتحول الأحادية إلى جلوكوز أو فركتوز 6- فوسفات اللذان يدخلان في سلسلة من التفاعلات للتحلل:

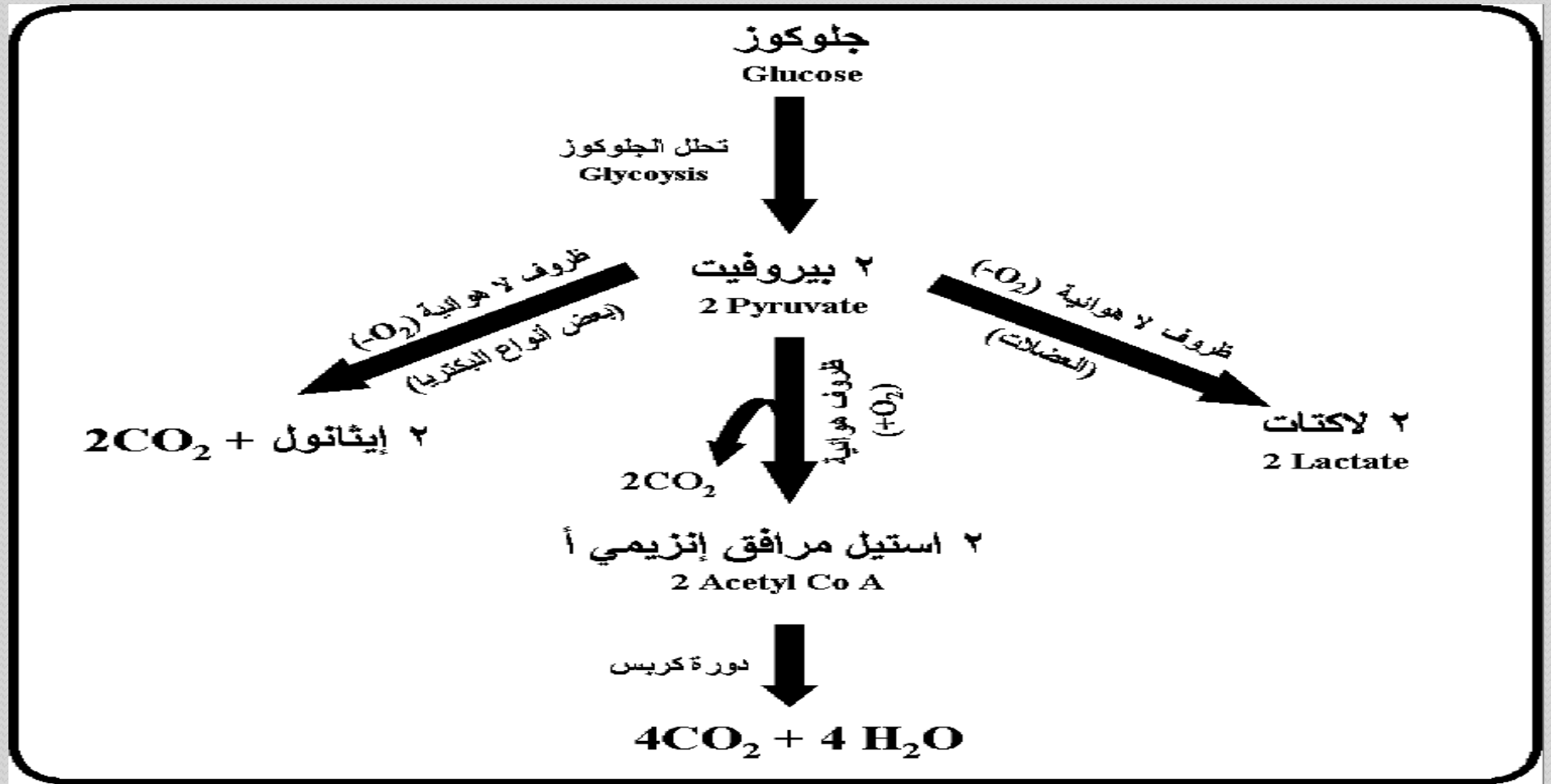
أولا تفاعلات في السيتوبلازم ولا تحتاج إلى أكسجين أي أكسدة لا هوائية
(التحلل الجلايكولي Glycolysis)

يتحول الجلوكوز 6- فوسفات إلى فركتوز 6- فوسفات ثم إلى سلسلة من التفاعلات تنتهي بحمض البيروفيك

ثانياً: تفاعلات داخل الميتوكوندريا تحتاج إلى أكسجين أي أكسدة هوائية (دورة كريبس أو حمض الستريك أو الأحماض ثلاثية الكربوكسيل) وفيها يتحلل البيروفيك خلال عدة تفاعلات إلى CO_2 وماء وطاقة

مصير البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز

Fate of pyruvate produced from glycolysis



شكل مسارات أيض البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز في كائنات مختلفة

التفاعلات اللاهوائية للبيروفيت

1- تحويله إلى لاكتات في العضلات

في غياب الأوكسجين في العضلات أو في بكتريا حمض اللاكتيك يتحول البيروفيت إلى لاكتات بواسطة إنزيم لاكتات ديهيدروجينيز LDH

2- تحويله إلى كحول إيثيلي في الخمائر

يتم ذلك في بعض الكائنات الدقيقة ويتم على خطوتين:

- 1- تحول البيروفيت إلى أسيتالدهيد بفقد ثاني أكسيد الكربون
- 2- إختزال الأسيتالدهيد إلى كحول إيثيلي مع أكسدة NAD^+ إلى $NADH$

3(الأكسدة الهوائية – دورة كربس)

في وجود الأوكسجين ينتقل البريوفيت إلى الميتوكوندريا ليبدأ سلسلة من تفاعلات الأكسدة تنتهي بتحويله إلى $CO_2 + H_2O$ وطاقة.

دورة كربس

- في وجود الهواء تتم عملية أكسدة الجلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وطاقة بشكل كامل.
- تبدأ عملية الجلايكوليسس من الجلوكوز وتنتهي بتحويله إلى بيروفيت.
- من ثم البيروفيت تؤكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء وطاقة ويتم ذلك عن طريق دورة كربس.
- أكسدة البيروفيت:

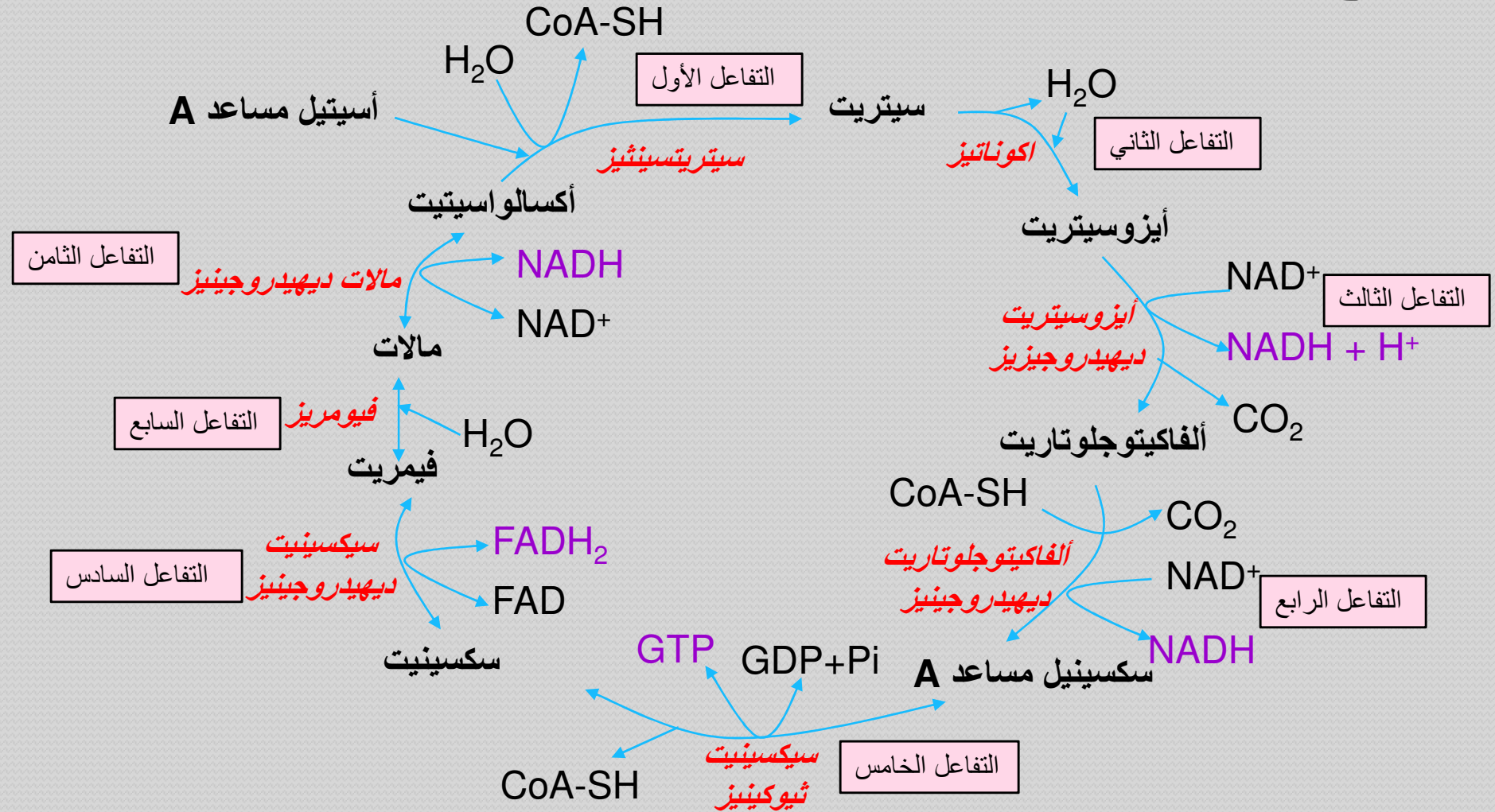
● حتى يدخل البيروفيت إلى دورة كربس تتم أكسدة إلى الأستيل مساعد A ويحدث هذا التفاعل في الميتوكوندريا ، وفي هذا التفاعل تفقد مجموعة كربوكسيل على شكل ثاني أكسيد الكربون عن طريق التفاعل التالي (تفاعل نزع الكربوكسيل التأكسدي) عن طريق أنزيم البيروفيت



تابع دورة كربس

- دورة كربس تحتوي على 8 خطوات.
- مركب الأستيل مساعد A يمكن الحصول عليه من الأحماض الأمينية والدهنية ومن أكسدة البيروفيت (الناتج من الجلوكوز عن طريق الجللايكوليسس).
- جزيء واحد من الأستيل مساعد A يتحلل في دورة كربس إلى جزيئين ثاني أكسيد الكربون وطاقة على شكل ذرات هيدروجين (عن طريق اختزال مركبات NAD^+ و FAD إلى $NADH$ [ثلاث جزيئات] و $FADH_2$ [جزيء واحد]).
- ينتج كذلك جزيء من GTP بدأً من GDP.
- الـ $NADH$ و $FADH_2$ و GTP تعطي ATP.

تابع دورة كربس



تابع دورة كربس

- هذه التفاعلات تكون لجزيئين.

- في التفاعل الأول:

- تنقل مجموعة الأستيل من مساعد الأنزيم A (مركب "2" الكربون) إلى الأكسالواسيتيت (مركب "4" الكربون) لتكون الستريت (مركب "6" الكربون).

- تفاعل غير عكسي.

- يحتاج إلى جزيء ماء لكسر الرابطة بين مجموعة الأستيل ومساعد الأنزيم A ، يتحرر بذلك مساعد الأنزيم A.

- في التفاعل الثاني:

- تفاعل غير عكسي.

- تحول السترات إلى آيزوسترات بواسطة إنزيم أكونيتيز Aconitase ويتم بحذف ثم إضافة جزيء ماء

تابع دورة كربس

● في التفاعل الثالث:

- تؤكسد الأيزوسيتريت إلى ألفا كيتوجلوتريت (مركب "5" الكربون) عن طريق أنزيم الأيزوسيتريت ديهيدروجينيز.
- تفاعل غير عكسي.
- يفقد مجموعة كربوكسيل على شكل ثاني أكسيد الكربون التي تحتاج إلى أيون المنغنيز كعامل مساعد.
- يتم نزع هيدروجين واختزال جزيء NAD^+ إلى $NADH$.

● التفاعل الرابع:

- تؤكسد ألفا كيتوجلوتريت إلى سكسينيل مساعد A (مركب "4" الكربون) عن طريق أنزيم ألفا كيتوجلوتريت ديهيدروجينيز.
- يفقد مجموعة كربوكسيل على شكل ثاني أكسيد الكربون التي تحتاج إلى أيون المنغنيز كعامل مساعد.
- تفاعل غير عكسي.
- يحتاج إلى مساعد الأنزيم A.
- يتم نزع هيدروجين واختزال جزيء NAD^+ إلى $NADH$.

تابع دورة كربس

● التفاعل الخامس:

● يتحلل السكسينيل مساعد A إلى السكسينيت و مساعد الأنزيم A عن طريق أنزيم سكسينيت ثيوكينيز.

● ينتج GTP وهو مركب عالي الطاقة.

● تنتقل الطاقة من GTP إلى ATP حسب التفاعل التالي:



تابع دورة كربس

● في التفاعل السادس:

- تفاعل أكسدة واختزال.
- تؤكسد السكسينيت إلى الفيوماريت عن طريق أنزيم السكسينيت ديهيدروجينيز.
- يتم نزع هيدروجين واختزال جزيء FAD إلى $FADH_2$ (مركب طاقة).

● في التفاعل السابع:

- يتحول الفيومرنت إلى مالات عن طريق إضافة ماء عن طريق الأنزيم فيومريز.

● في التفاعل الثامن:

- تكتمل دورة كربس بهذا التفاعل.
- تفاعل أكسدة واختزال.
- تؤكسد المالات إلى الأوكسالواسيتيت عن طريق الأنزيم مالات ديهيدروجينيز.
- يتم نزع هيدروجين واختزال جزيء NAD^+ إلى $NADH$.

تابع دورة كربس

- من التفاعلات دورة كربس لجزيء واحد من الأسيتيل مساعد A:
 - تم إنتاج جزيء من الطاقة ATP على شكل (GTP).
 - إنتاج ثلاثة جزيئات من NADH الذي تتم أكسدته في الميتوكوندريا ليعطي ATP [كل جزيء من NADH يعطي ثلاث جزيئات من ATP].
 - إنتاج جزيء من $FADH_2$ الذي تتم أكسدته في الميتوكوندريا ليعطي ATP [كل جزيء من $FADH_2$ يعطي جزيئين من ATP].
 - مجموع ATP يكون 12 جزيء.
- يوجد جزيئين من البيروفيت التي ينتج جزيئين من الأسيتيل مساعد A فالنواتج السابقة نضربها في 2 حتى تكون لجزيئين ، فيكون مجموع الـ ATP هو 24 جزيء.
- يوجد من تفاعل أكسدة البيروفيت جزيئين من NADH الذي تساوي 6 جزيئات من الـ ATP.

حصيلة الطاقة الممثلة في ATP من الجلوكوز إلى $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ هي كالتالي:

- إنتاج 1NADH عند تكوين أسيتيل كوا يعطي 3 جزئ ATP.
- إنتاج 1NADH في الخطوة 3 عند أكسدة أيزو سترات إلى ألفا كيتو جلوتارات بواسطة إنزيم أيزو سترات دي هيدروجينيز يعطي 3 جزئ ATP.
- إنتاج 1NADH في الخطوة 4 عند أكسدة ألفا كيتو جلوتارات إلى ساكسينيل مرافق إنزيمي بواسطة ألفا كيتو جلوتارات دي هيدروجينيز يعطي 3 جزئ ATP.
- إنتاج 1ATP في الخطوة 5 عند تحول سكسينايل مرافق إنزيمي أ إلى سكسينات وتولد طاقة في صورة ATP بواسطة إنزيم سكسينات ثيوكينيز Succinate Thiokinase
- إنتاج 1FAD في الخطوة 6 عند أكسدة السكسينات إلى فيوماترات Fumarate بواسطة إنزيم سكسينات دي هيدروجينيز Succinate dehydrogenase يعطي 2 جزئ ATP.
- إنتاج 1NADH في الخطوة 8 عند أكسدة المالات إلى أوكسالوأسيتات بواسطة إنزيم مالات دي هيدروجينيز يعطي 3 جزئ ATP.
- وبالتالي يكون ناتج تحول الكامل البيروفيت إلى ثاني أكسيد كربون وماء هو
- $15 = 3 + 2 + 1 + 3 + 3 + 3$ جزئ ATP.
- ويكون ناتج تحول الجلوكوز إلى البيروفيت = 8 ATP.
- وبالتالي تحول الجلوكوز كلياً إلى ثاني أكسيد كربون وماء يعطي $38 = 8 + (15)2$ ATP

حساب الطاقة

المجموع	النتيجة من ATP أكسدة العوامل المساعدة	العوامل المختزلة	النتيجة ATP مباشرة من التفاعلات	العملية
8	6 ATP	2 NADH	2 ATP الصافي	الجلايكوليسيس
6	6 ATP	2 NADH		أكسدة البيروفيت
24	18 ATP 4 ATP	6 NADH 2 FADH ₂	2 ATP	دورة كربس
38				

نقاط التحكم في دورة حمض الستريك

- توجد نقطة تحكم قبل الدخول في دورة كربس:
 - اكسدة البيروفيت إلى أستيل كو أ حيث الزيادة في ATP, NADH وأستيل كو أ يثبط إنزيم بايروفيت ديهيدروجينيز
- توجد ثلاثة نقاط يتم التحكم من خلالها داخل دورة كربس:
 - الزيادة في ATP, NADH وسكسنييل كو أ الناتج من الخطوة 1 يثبط إنزيم ستريت سينثيز
 - الزيادة في ATP, NADH الناتج من الخطوة 3 يثبط إنزيم آيزوستريت ديهيدروجينيز
 - الزيادة في ATP, NADH الناتج من الخطوة 4 يثبط إنزيم ألفا كيتو جلوتارات ديهيدروجينيز

بيروفيت



أستيل مرافق إنزيمي أ

مرافق إنزيمي أ

سترات

أو كسالو أسيتات

أيزو سترات

مالات

دورة كربس

NADH

CO₂



ألفا كيتو جلوتارات

NADH

CO₂



سكسينايل مرافق إنزيمي أ

فيومارات

سكسينات

