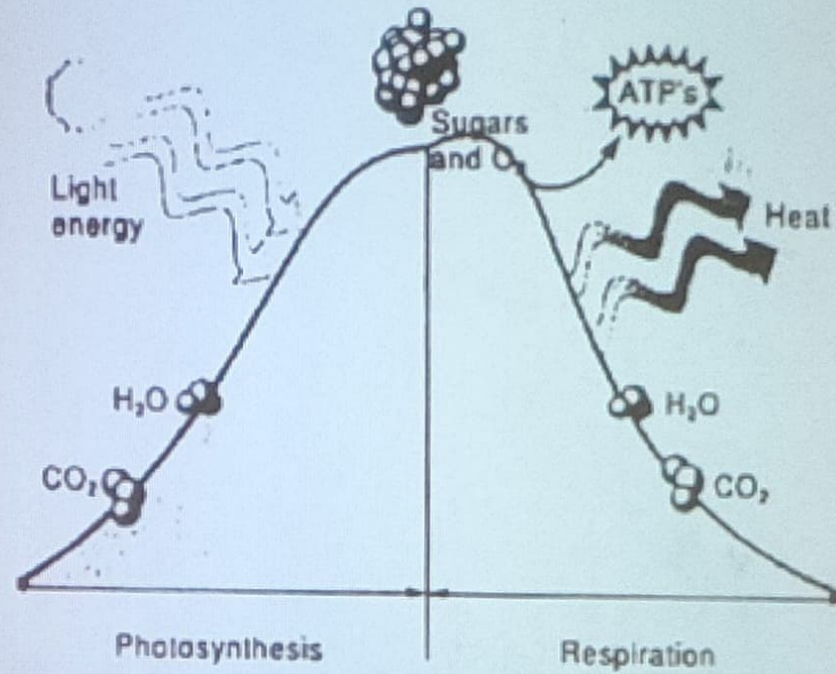


التنفس هي عمليات أكسدة واختزال تحدث في جميع الخلايا الحية وفيها تتأكسد المواد العضوية فتقوم بتحرير الطاقة الكامنة التي اختزنت في الروابط الكيميائية أثناء عملية البناء الضوئي فتستفيد الخلايا الحية من هذه الطاقة في جميع العمليات الحيوية وتستفيد من المركبات الوسيطة في تخليق مركبات أخرى مثل الأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات والاصباغ النباتية والدهون والكاروتينات



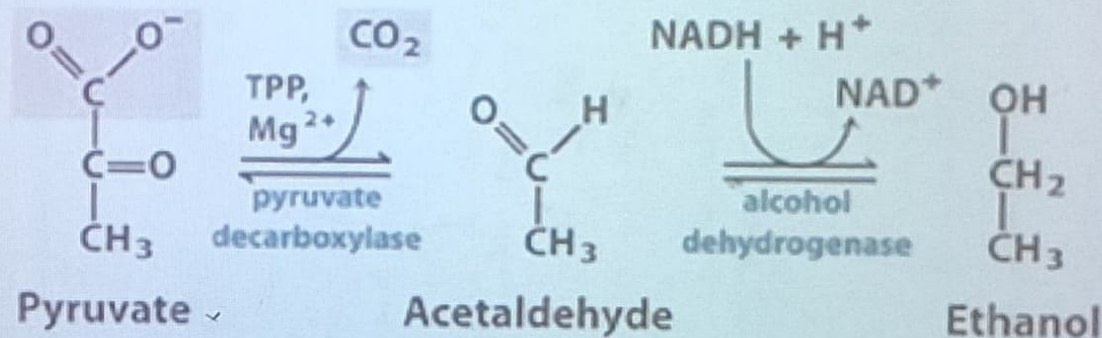
ينقسم التنفس إلى:

1- التنفس الهوائي ويتم في وجود الأكسجين حيث يتم أكسدة المادة العضوية (جلوكوز) إلى ثاني أكسيد كربون وماء مع انطلاق كمية كبيرة من الطاقة

2- التنفس اللاهوائي: ويحدث في غياب الأكسجين وفيه يتم هدم السكريات إلى كحول أو حمض لاكتيك مع ثاني أكسيد الكربون وكمية قليلة من الطاقة ويحدث في خلايا العضلات وفي الكائنات الدقيقة

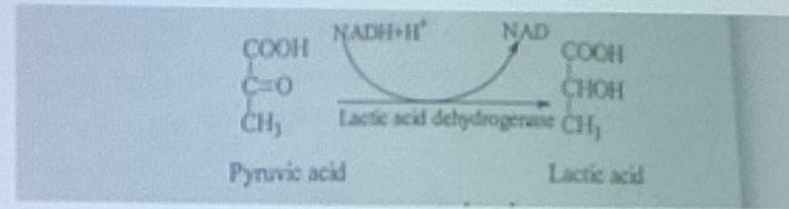
في حالة التخمير الكحولي فينتج الإيثانول وجزيئين من

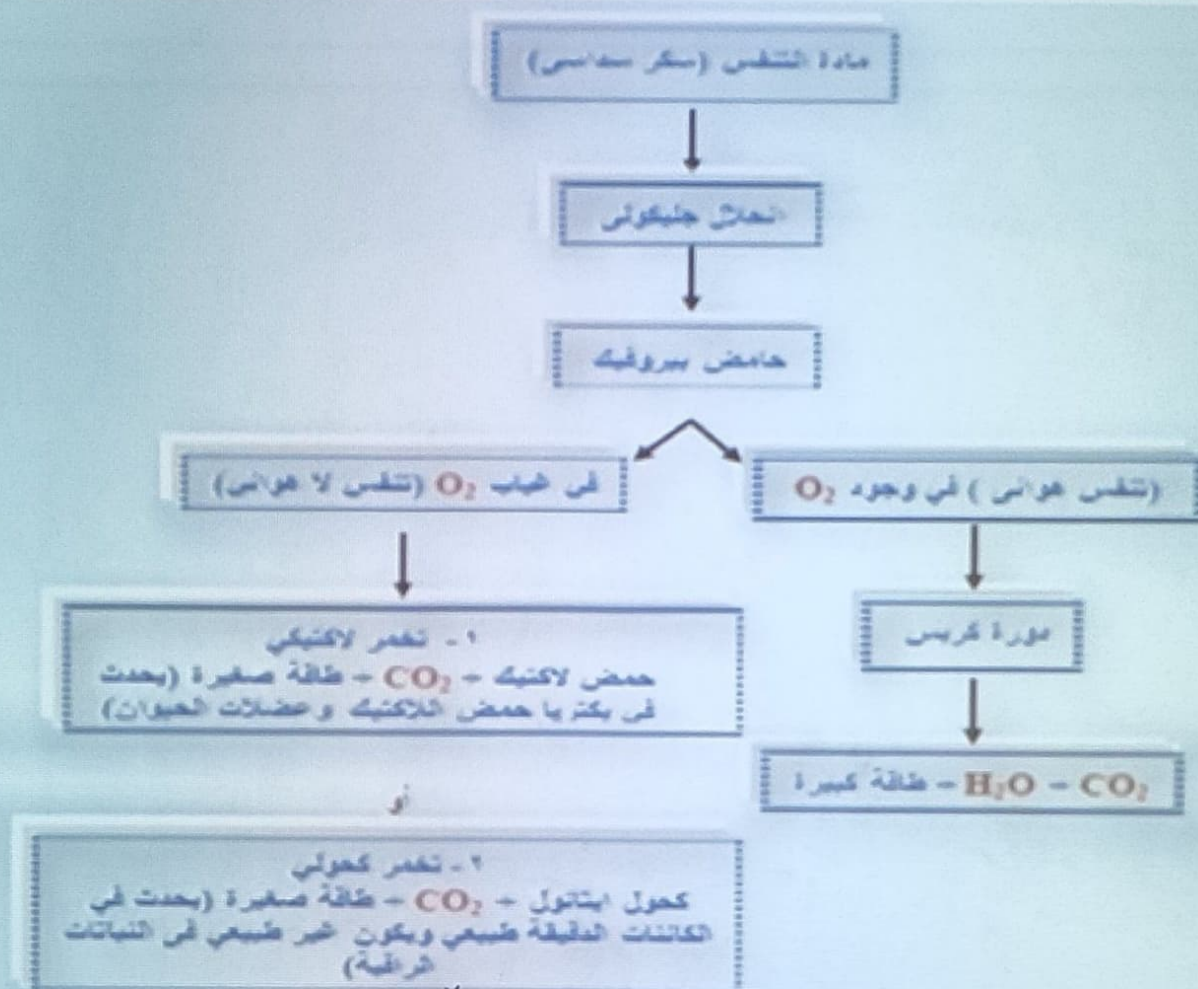
ATP



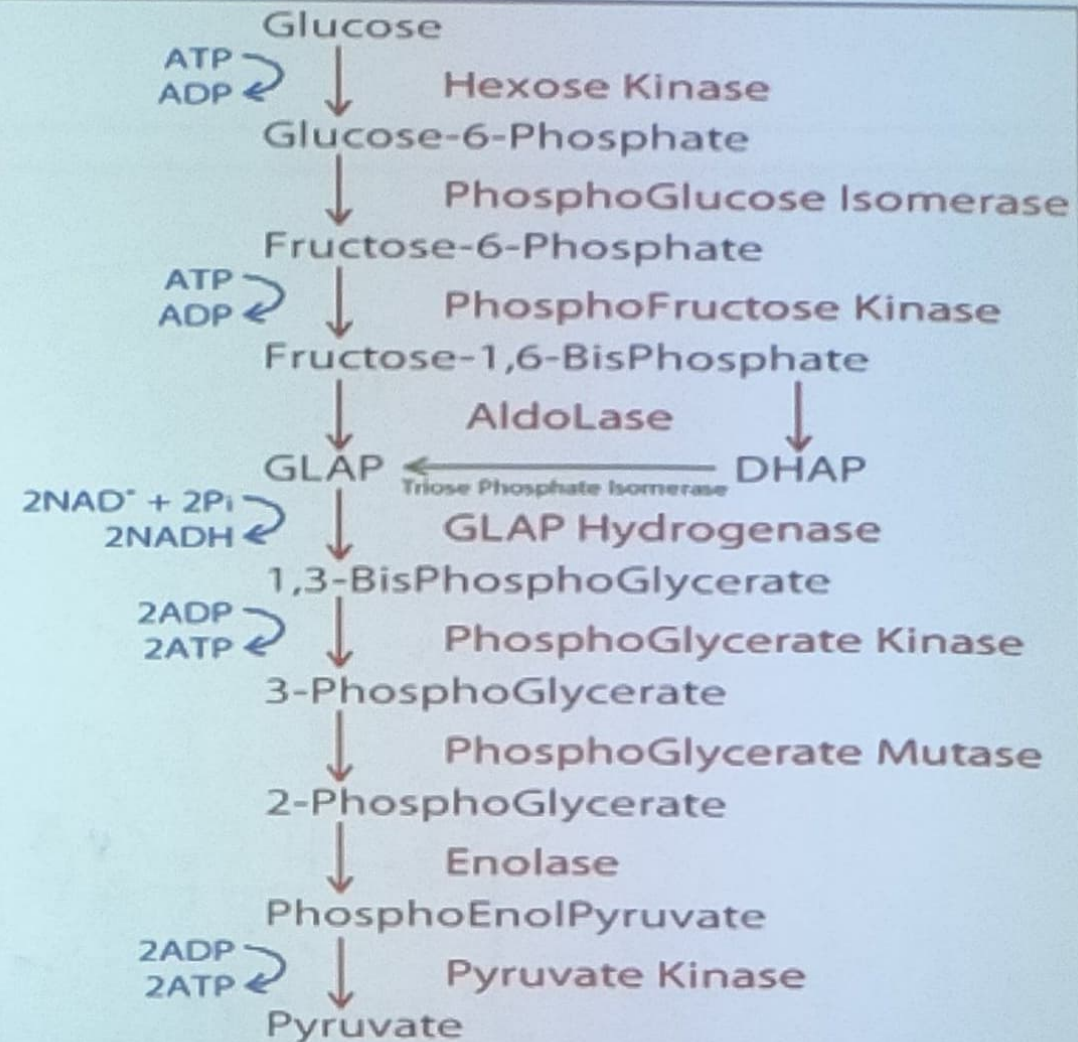
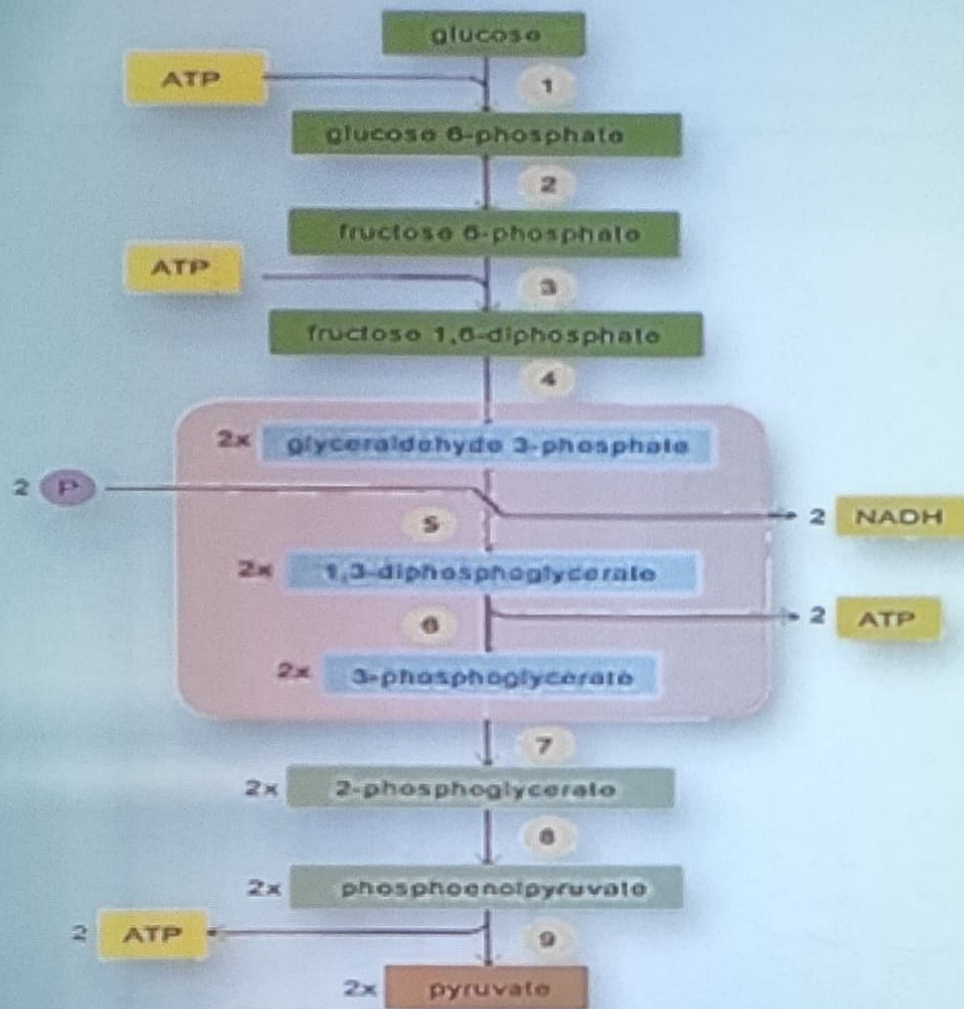


وقد يتخمر حمض البيروفيك الى حمض اللاكتيك وينتج حمض اللاكتيك وقليل من الطاقة





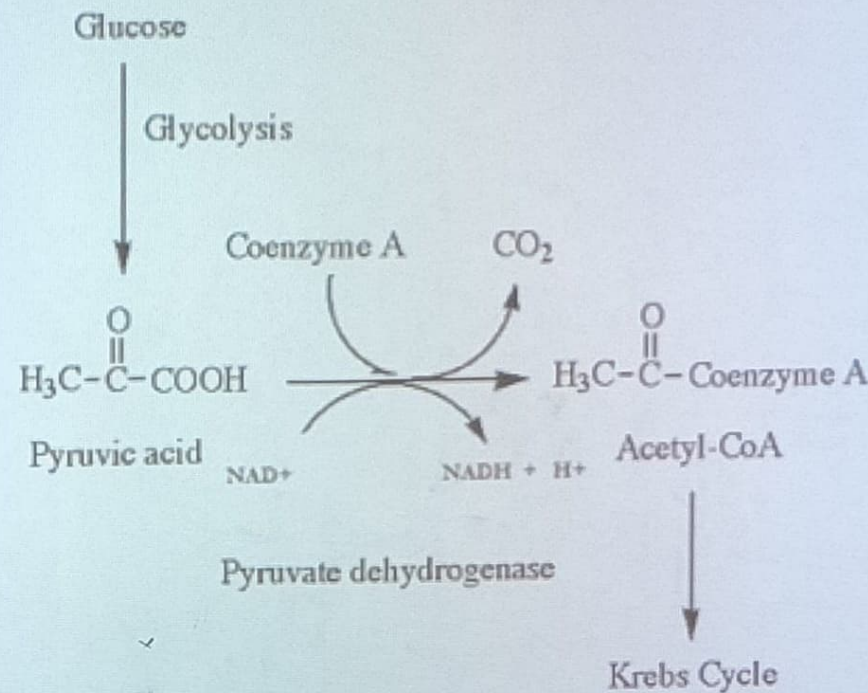




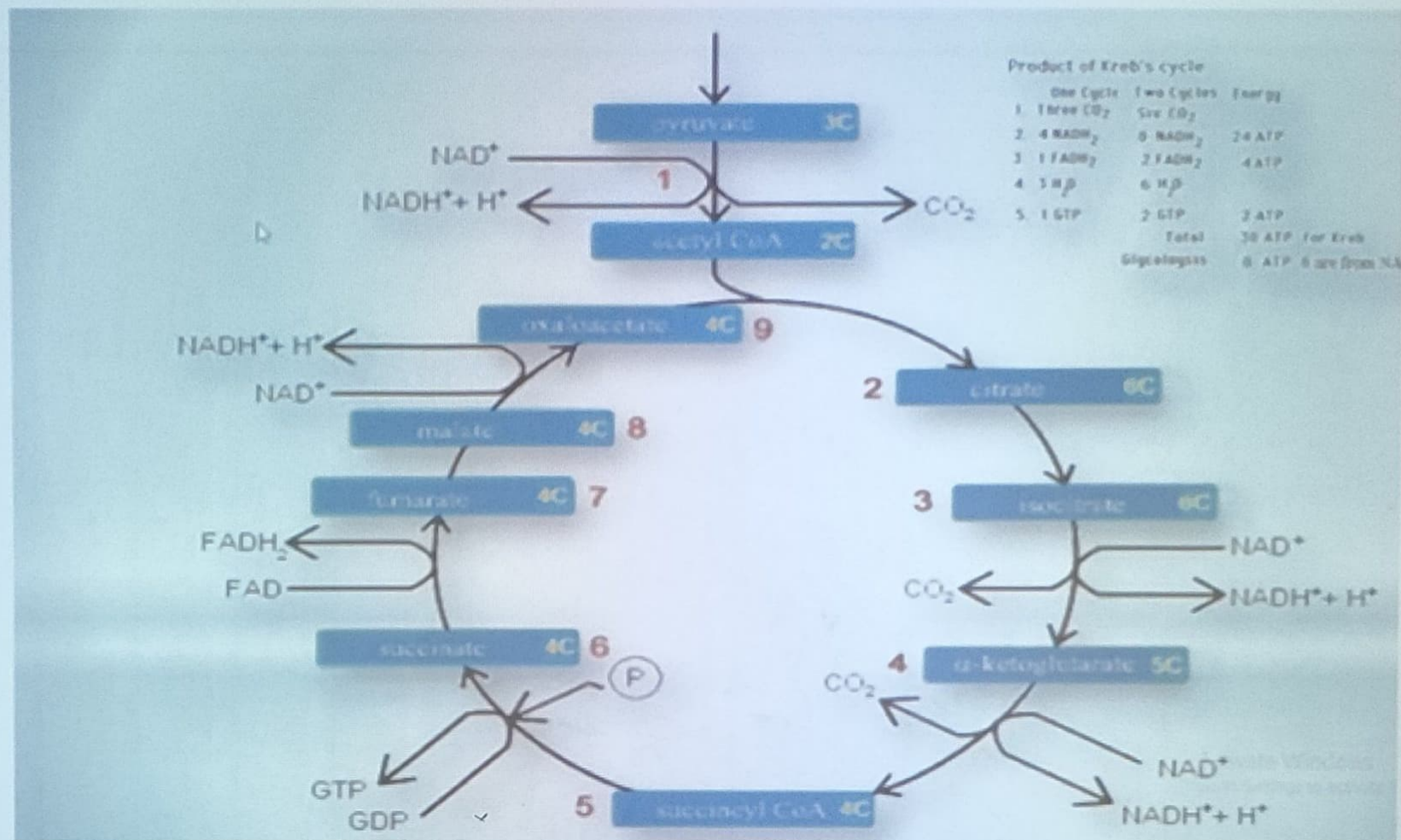
## دورة كريبس

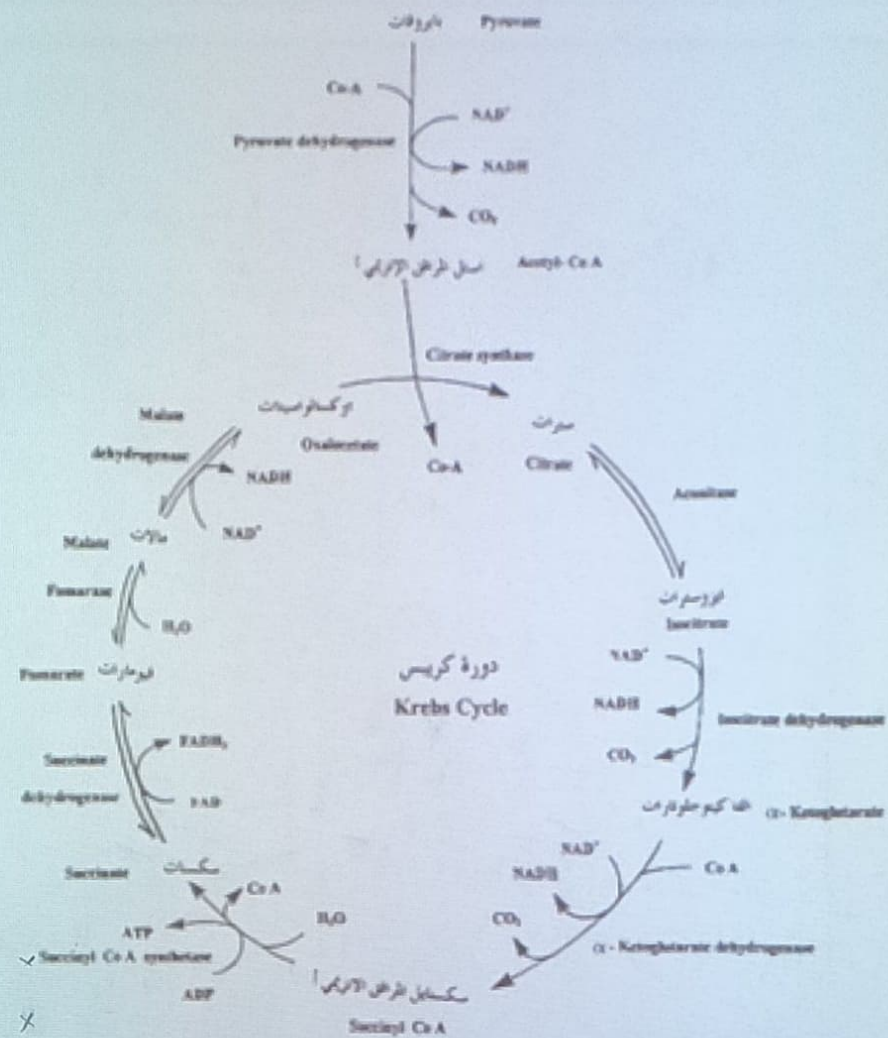
وتسمى أيضا دورة حامض الستريك وأيضا سميت دورة الأحماض ثلاثية مجموعة الكربوكسيل  
تبدأ الدورة بعملية سحب ثاني أكسيد الكربون من حامض البيروفيك بمساعدة المساعد الإنزيمي أ ويتحرر  
الهيدروجين الذي يتحد مع

## NAD to NADH











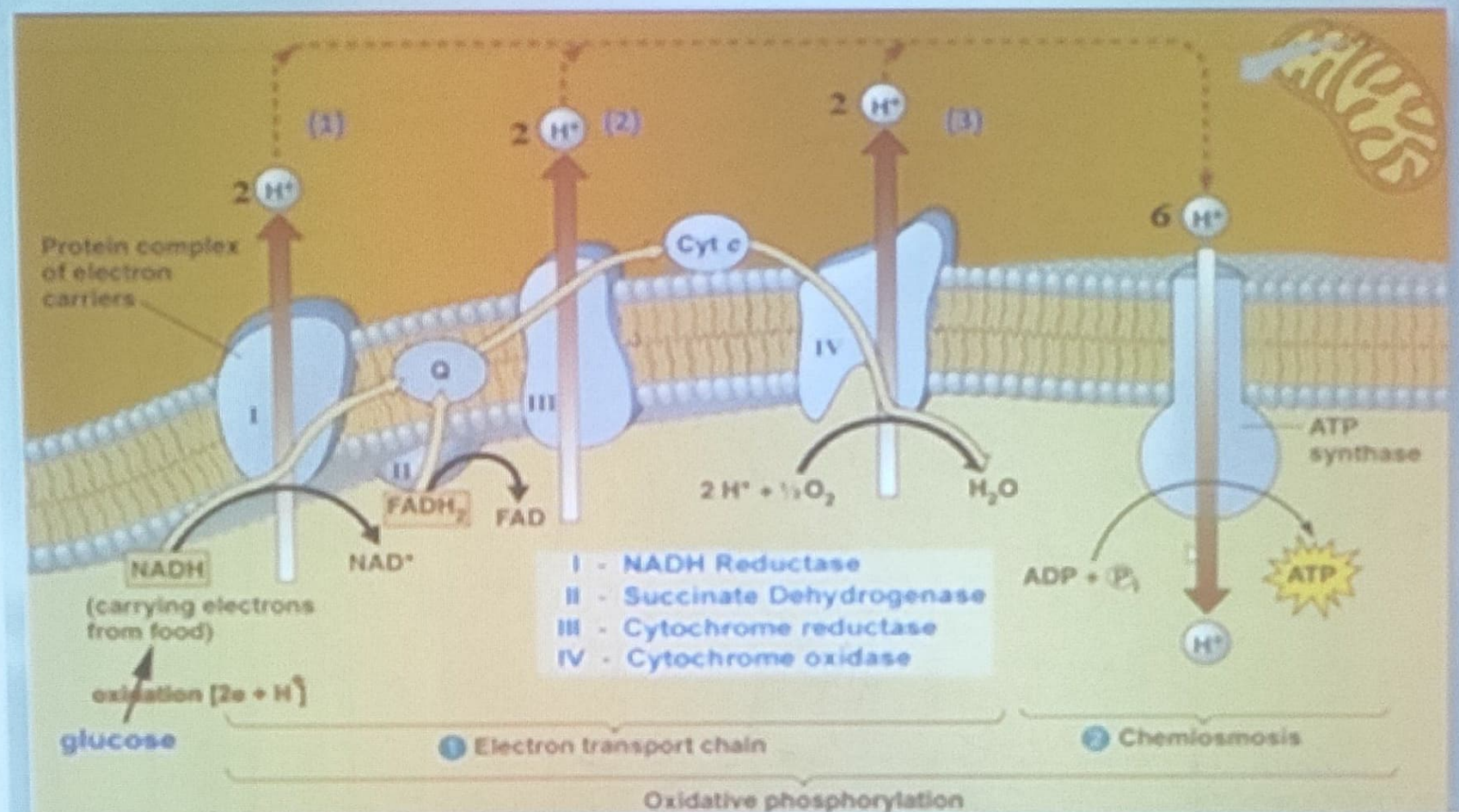
## الفسفرة التأكسدية

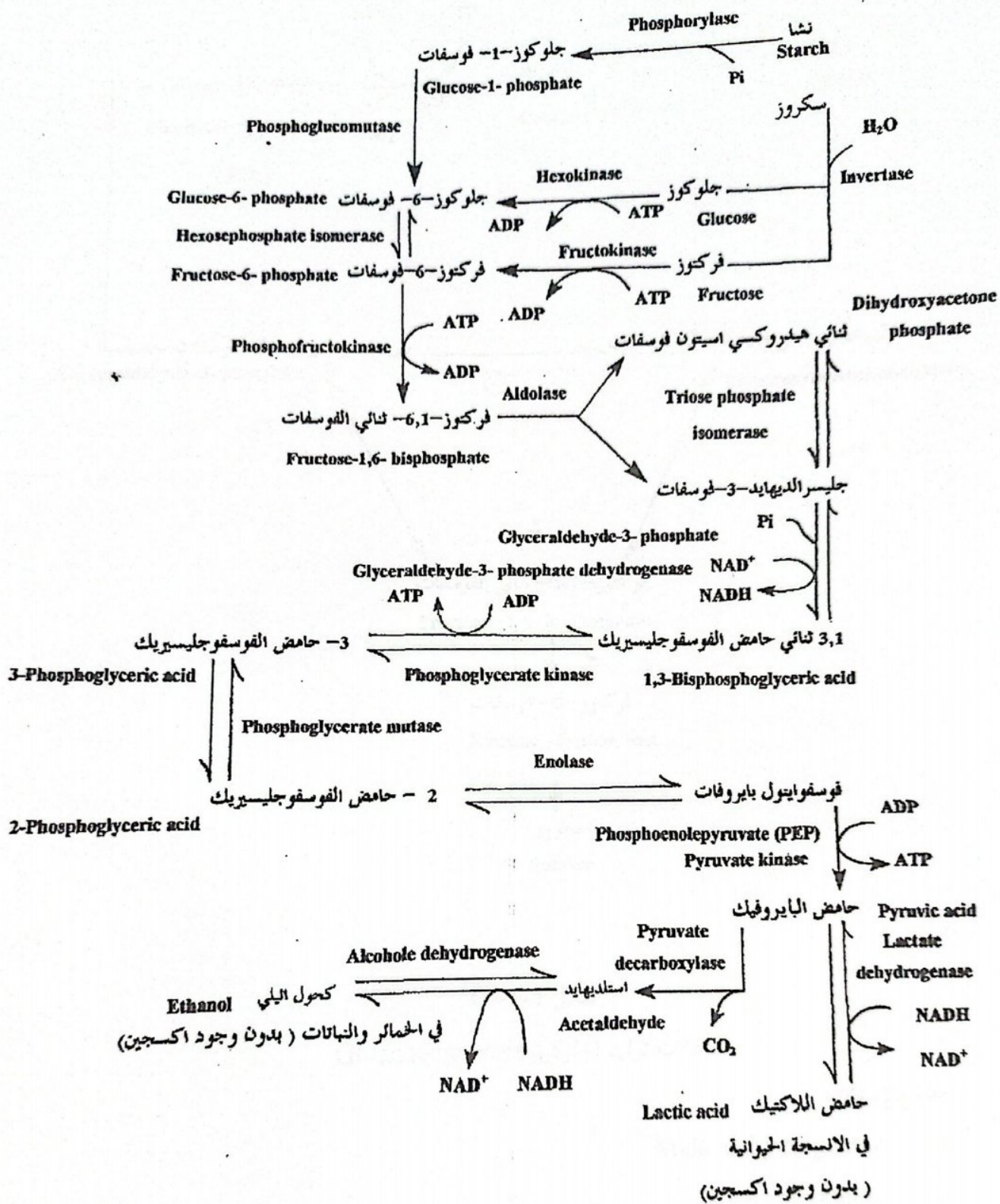
### نظام نقل الإلكترون (الأكسدة الختامية) :

مما تقدم نجد في دورة الأحماض الثلاثية أنه تم اختزال كلا من المرافقين  
الانزيمي  $NAD$  ،  $FAD$  وحملوا بأيونات الأيدروجين . لذلك وجب إعادة أكسدتهم  
وتسمى تلك الأكسدة بالأكسدة النهائية أو الطرفية  $Terminal\ oxidation$  وفيها يتم  
اتحاد الأيدروجين المحمل على قرائن الانزيمات مع أوكسجين الهواء الجوي وبذلك  
ينتج الماء وهو الناتج الثاني من نواتج التنفس وتقوم عدة انزيمات باتمام هذه العملية

يعبر أهم تلك الانزيمات (Cytochrome a 3 (Cytochrome oxidase) والذي يعتبر الانزيم الطرفي أو النهائي والذي ينقل الالكترون الى الأوكسجين ليحوّله الى أيون يتحد مع أيونات الأيدروجين ليكون الماء . وقد وجد أن أثناء هذه العملية يتم أكسدة المرافقات الانزيمية المختزلة ويصاحب هذه الأكسدة انفراد طاقة في صورتين أحدهما منفردة في صورة حرارة والأخرى مرتبطة في صورة ATP حيث يتم انتاج ٣ جزيئات ATP من كل دورة ونظرا لوجود جزيئان من الجليسرالدهيد ناتجان من الجلوكوز في أول تفاعل فإن هذا يعني أن هناك مجموعات من ATP لكل جزيئ فتكون المحصلة ٣٤ جزيئ ATP فإذا أضفنا ٢ جزيئ ATP ناتجين من عملية الجلوكزة كما سبق الإشارة اليهم فيكون المجموع ٣٦ جزيئ بقي ان نعلم انه عند تحوّل Succinyl COA الى Succinic acid ينتج عن هذا التفاعل مركب غني أيضا بالطاقة والمعروف باسم GTP والذي ينقل ما يحمله من طاقة الى مركب ADP ليكون ATP واحدة وبذلك ينتج جزيئان من ATP من هذا التفاعل الأخير فيكون الناتج ٣٨ جزيئ ATP من



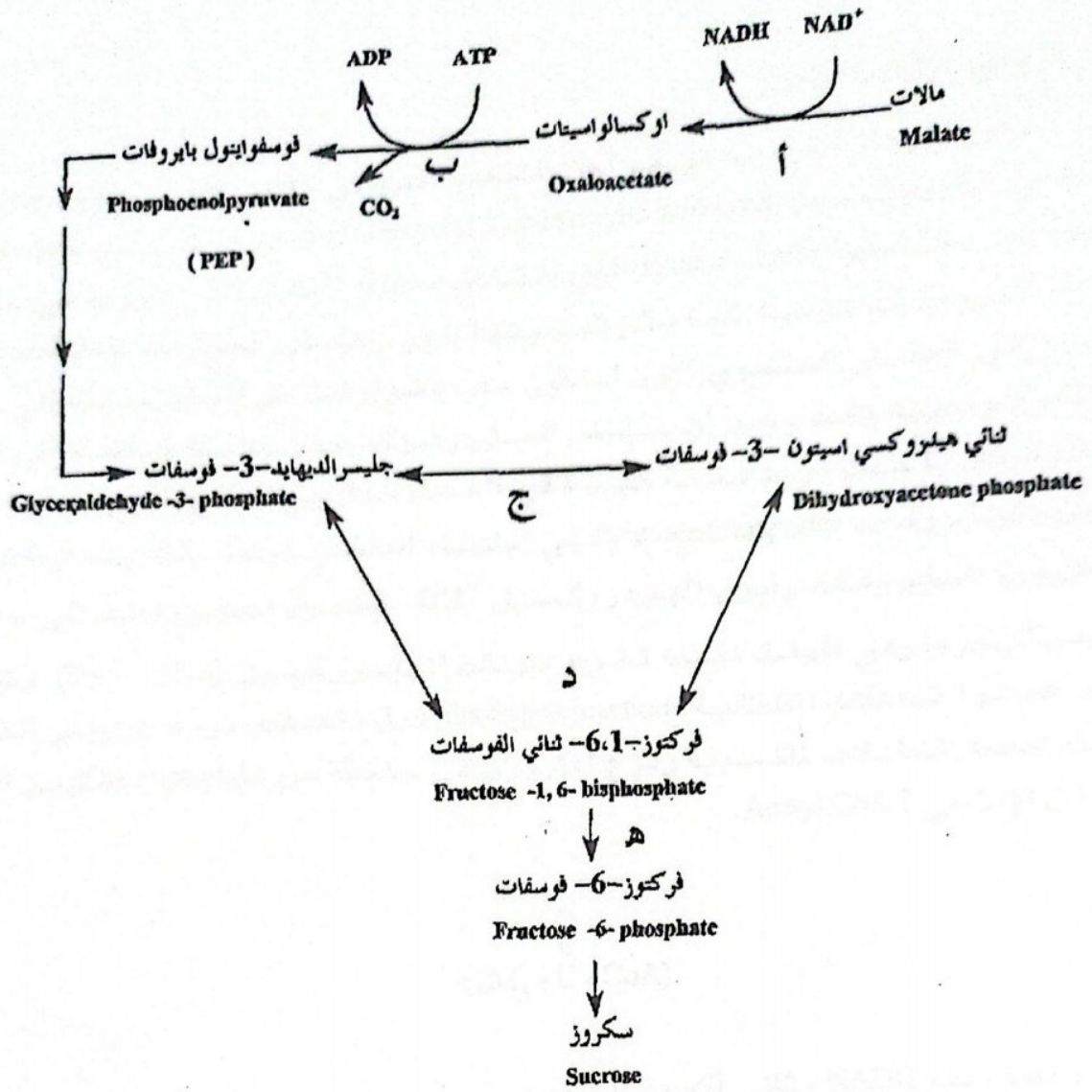




شكل (١٠-١)

تفاعلات التحلل السكري والتنفس اللاهوائي





شكل (٢-١٠)

تفاعلات توليد الجلوكوز Gluconeogenesis

مفتاح الإنزيمات:

- أ - Malic dehydrogenase
- ب - PEP carboxykinase
- ج - Triose phosphate isomerase
- د - Aldolase
- هـ - Pyrophosphate fructose-6-phosphate 1-phosphotransferase

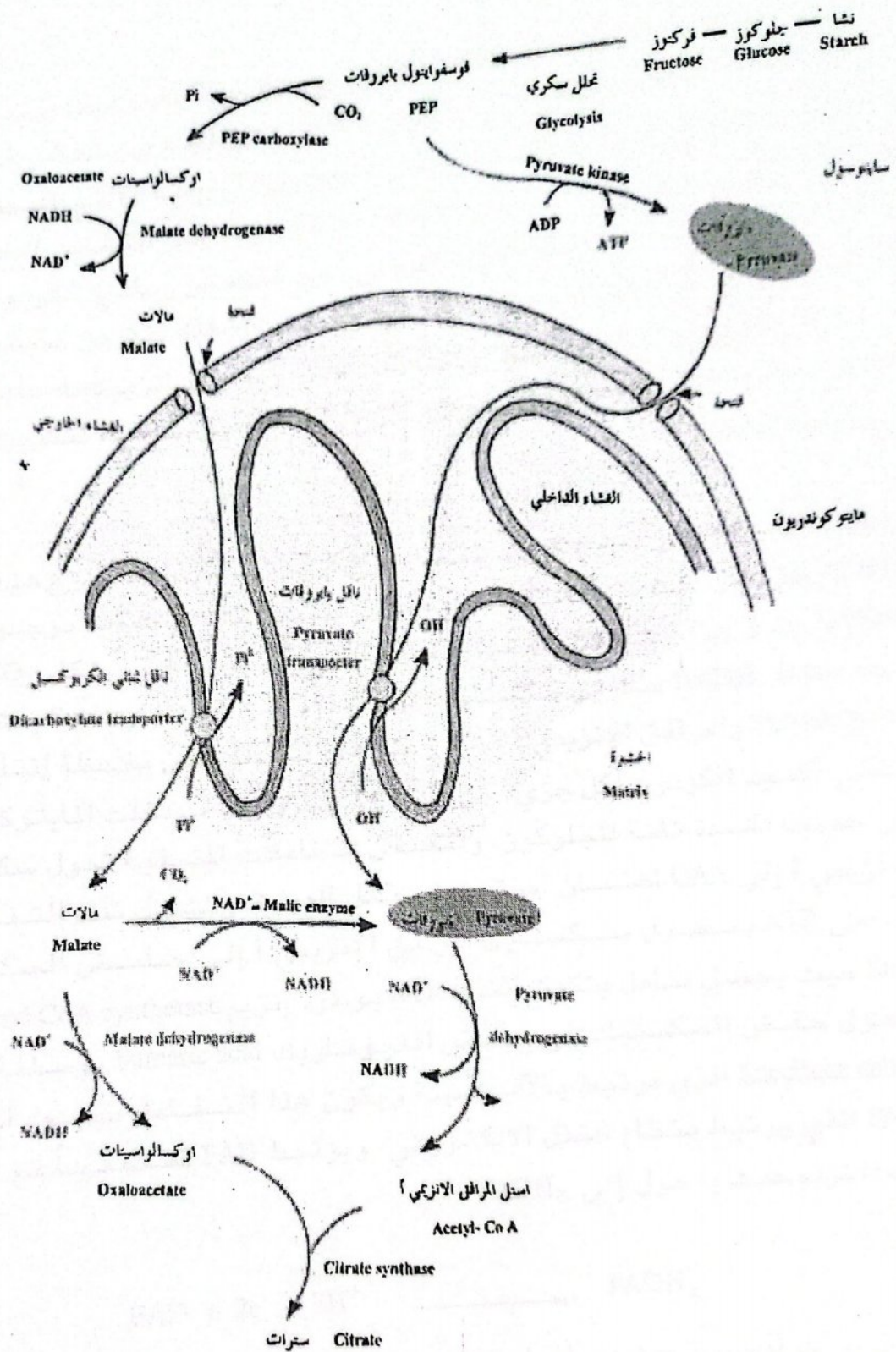
2

$$(\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{CoA})$$

$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_3 \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{COOH}
 \end{array}
 \xrightarrow[\text{CoA}]{\text{CO}_2, \text{NAD}^+ \rightarrow \text{NADH}}
 \begin{array}{c}
 \text{CH}_3 \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{CoA}
 \end{array}$$
 Pyruvate dehydrogenase

استل المرافق الإنزيمى أ



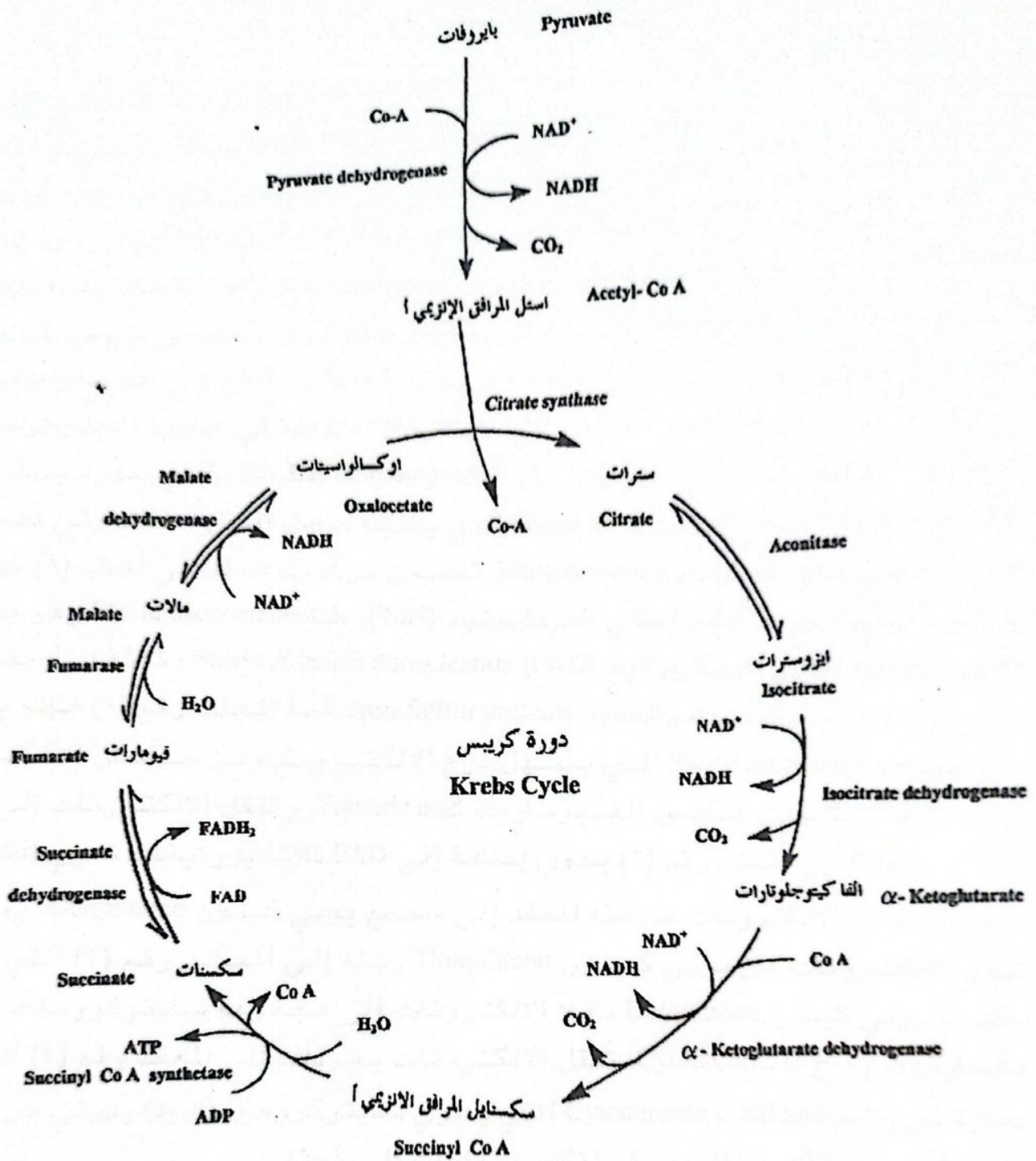


شكل (٣-١٠)

دخول البايروفات والمالات للميتوكوندريا

يلاحظ وجود ناقل للبايروفات وآخر متخصص لنقل الأحماض ثنائية الكربوكسيل

(Taiz and Zeiger, 1998)



شكل (١٠-٥)

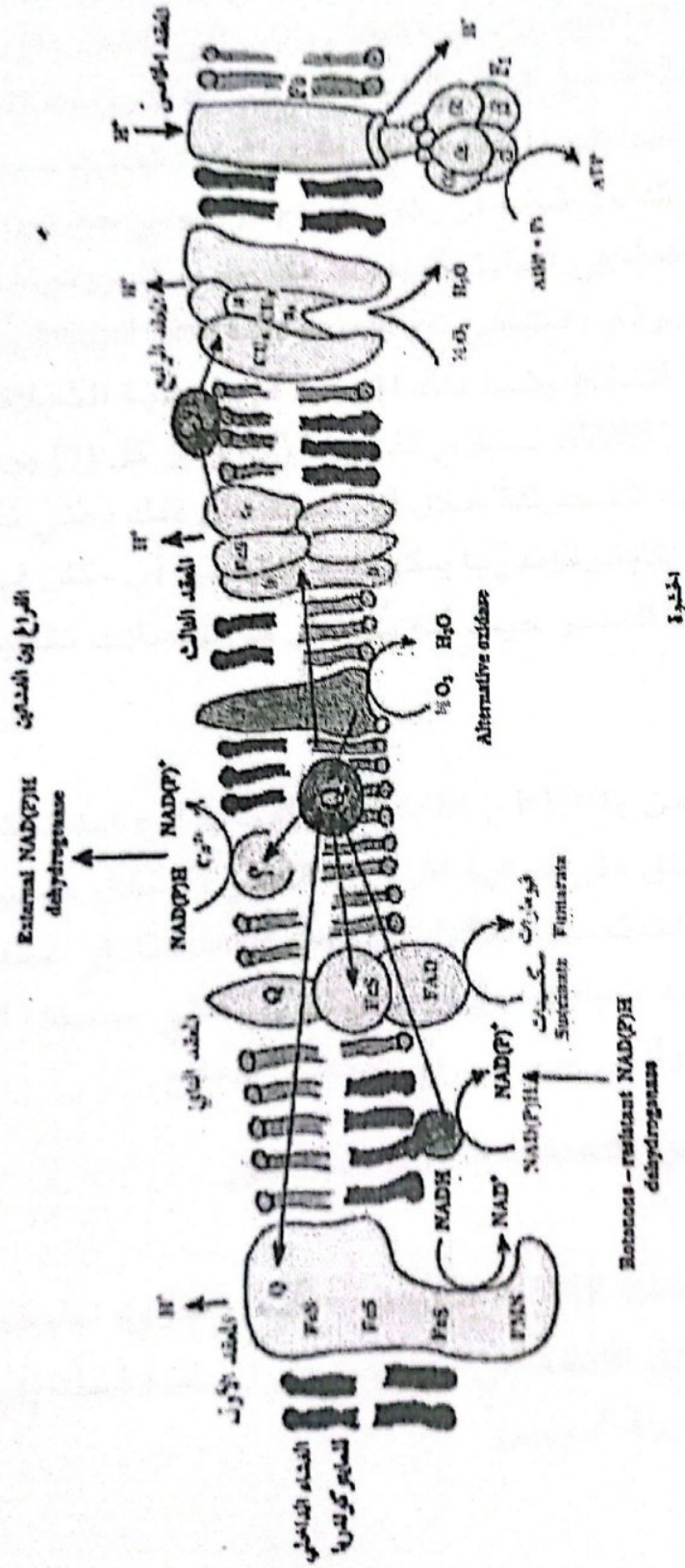
دورة كريبس والتي توضح المركبات المشتركة في التفاعلات والإنزيمات التي تسهل تلك التفاعلات فضلاً عن إنتاج مركبات مختلفة خازنة للطاقة



## نظام النقل الإلكتروني Electron Transport System

إن الإلكترونات المنزوعة من مواد التفاعل خلال عملية التحلل السكري ودورة كريبس تُنقل من المرافقات الإنزيمية  $\text{NADH}$  و  $\text{FADH}_2$  المرتبطة مع إنزيمات تلك التفاعلات إلى نظام نقل الكتروني Electron transport system موجود على كرسات Cristae (ثنيات أو أعراف) المايكوكوندريا. وبما أن بعض المركبات الحاملة للإلكترونات لذلك النظام هي في حقيقتها جزيئات سايتوكرومية فيسمى هذا النظام أيضاً بنظام الساييتوكروم Cytochrome system. وقد وجد أن تلك المركبات هي بروتينات نقل الكترونية منظمة في سلسلة من معقدات خمسة (شكل ١٠-٦) على الغشاء الداخلي للمايكوكوندريا. تتم أكسدة الإلكترونات من  $\text{NADH}$  المتولدة في حشوة المايكوكوندريا خلال دورة كريبس من قبل المعقد رقم (١) ( $\text{NADH dehydrogenase}$ ) والذي بدوره ينقل تلك الإلكترونات إلى يوبي كينون Ubiquinone الذي يشبه حامل النقل الإلكتروني لعملية البناء الضوئي بلاستوكينون Plastoquinone. تتضمن مركبات النقل في المعقد (١) مركب مرتبط بقوة يسمى فلافين أحادي النيكليوتيد Flavin Mononucleotide (FMN) وهو يشبه فلافين ادينين ثنائي النيكليوتيد Flavin Adenine dinucleotide (FAD) وثلاثة أو أربعة من بروتينات تحوي الكبريت والحديد Iron-Sulfur proteins. أما المعقد رقم (٢) فإنه يشكل إنزيم Succinate dehydrogenase الذي يسهل نزع الإلكترونات من حامض السكسينيك Succinic acid لتكوين حامض الفيوماريك Fumaric acid. وتنقل الإلكترونات إلى  $\text{FAD}$  ليكون  $\text{FADH}_2$ . إن المعقد رقم (٢) يحوي إضافة إلى  $\text{FAD}$  ثلاثة بروتينات تحوي الكبريت والحديد. تُنقل الإلكترونات من هذا المعقد إلى مجمع يوبي كينون Ubiquinone. بعد ذلك تُنقل الإلكترونات من يوبي كينون Ubiquinone ومنه إلى المعقد رقم (٣) الذي يقو بأكسدة يوبي كينون Ubiquinone ناقلاً الإلكترونات إلى مجموعة سايتوكرومات تنتهي بالساييتوكروم ج Cytochrome C. تُنقل الإلكترونات بعد ذلك إلى المعقد رقم (٤) الذي عبارة عن إنزيم Cytochrome C oxidase الذي يحوي سايتوكرومين ( $a_3, a$ ) وذرتي من نحاس لتسهيل عملية الأكسدة النهائية ولتكوين الماء (شكل ١٠-٦).





شكل توضيحي يبين المركبات الحاملة للإلكترونات للنفساء الداخلي للميتوكوندريا  
(Taiz and Zeiger, 1998)

شكل (١٠-٦)