

استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة

I - التفاعلات المسؤولة عن تحرير الطاقة الكامنة بالمواد العضوية :

مقدمة:

تستعمل الكائنات غير ذاتية التغذية المادة العضوية لتنمية كتلتها الحية والتزود بالطاقة اللازمة لنشاطها، وقد بينت الدراسات أن الخلايا لا تستعمل الطاقة إلا على شكل جزئيات ATP (أدينوزين ثلاثي الفوسفات) إذن تحول هذه الكائنات الحية الطاقة الكامنة بالمواد العضوية إلى طاقة كيميائية ATP بعد هدم هذه المواد.

* تساؤلات:

- كيف يتم هدم المادة العضوية لإنتاج الطاقة؟
- ماهي مراحل هدم المادة العضوية داخل الخلية؟
- على أي مستوى من الخلية يتم هدم المادة العضوية؟

1) : كيف يتم هدم المادة العضوية (كليكوز) داخل الخلايا؟

1- ملاحظة:

نضع خلايا الخميرة في وسطين مختلفين

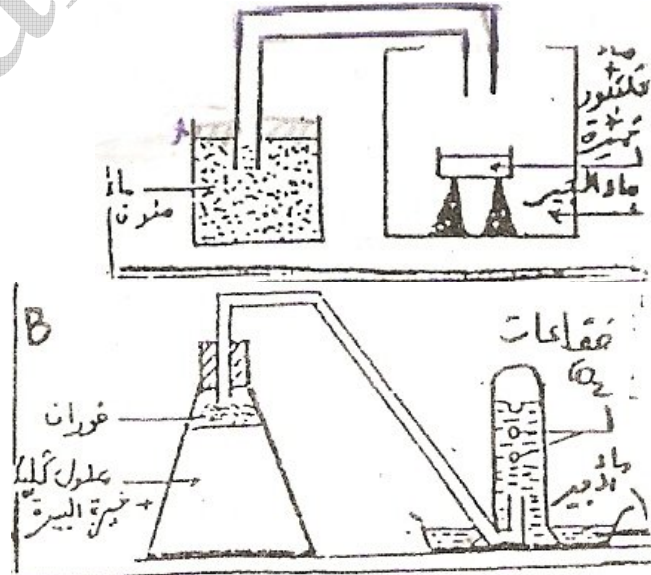
الوسط 1: وسط حي هوائي أي يحتوي على O_2 بالأوكسجين يحتوي على الكليكوز (A)

الوسط 2: وسط حي لا هوائي أي يفتقر إلى O_2 ويحتوي على كليكوز (B)

النتيجة :

الوسط 1: يصعد الماء الملون في الأنبوب ويتعكر ماء الجير، وتقل نسبة O_2 .

الوسط 2: سرعة فوران وتخليص غاز يعكر ماء الجير. ويبين التحليل وجود الكحول الإيثيلي داخل الإناء. ماذا نستخلص من هذه التجربة.



- في وسط حي هوائي تمتص الخميرة O_2 وتطرح CO_2 فهي تنتنفس.

- في وسط حي لا هوائي تطرح الخميرة CO_2 وتنتج الكحول الإيثيلي C_2H_5OH .

نقول أنها تتخمر. نوع التخمر في هذه الحالة **كحولي**.

(2) تمرين :

لدراسة كيفية استهلاك المادة العضوية من طرف الخلايا أنجزت التجربة التالية:

نزرع نفس الكمية من خلايا الخميرة (فطريات أحادية الخلية) في وسطين يحتويان على نفس الكمية من الكليكو 150g أحد الوسطين هوائي والآخر لا هوائي. يلخص الجدول الآتي ظروف ونتائج التجربة.

مدة التجربة	كتلة الخميرة المنتجة	طرح الكحول الإيثيلي C_2H_5OH	طرح H_2O	طرح CO_2	استهلاك O_2	استهلاك الكليكو
+	++	-	+	+	+	++
++	+	+	-	+	-	+

- منعدم + موجود ++ مهم

- 1- حل معطيات الجدول؟
- 2- استنتج الظواهر الإحيائية التي تم الكشف عنها في كل وسط؟
- 3- اكتب التفاعل الإجمالي الخاص بكل ظاهرة؟
- 4- انطلاقا من مقارنة شكلية الوثيقة 2- استخلص العضيات المسؤولة عن التنفس عند الخلايا؟
- 5- استنتج كيفية هدم المادة العضوية داخل الخلايا لاستخلاص الطاقة الكامنة فيها؟

جواب:

1) تحليل معطيات الجدول :

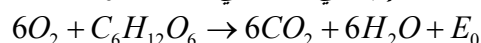
في الوسط الهوائي (وجود O_2) استهلكت الخميرة كمية مهمة من الكليكو وكذا O_2 وطرحت CO_2 و H_2O مع إنتاج كتلة مهمة من الخميرة مما يدل على تكاثرها في هذا الوسط.
في الوسط اللاهوائي (غياب O_2) استهلكت الخميرة كمية أقل من الكليكو وطرحت CO_2 والكحول الإيثيلي وذلك في مدة طويلة.

2) الظواهر البيولوجية التي تم الكشف عنها:

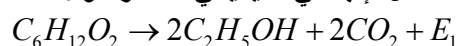
- في الوسط الهوائي ظاهرة التنفس $La\ respiration$
- في الوسط اللاهوائي ظاهرة التخمر $Fermentation$
حيث يكون هدم الكليكو كلياً وبالتالي ينتج عنه كمية كبيرة من الطاقة ويكون سريعا عند التنفس $La\ respiration$
- في الوسط اللاهوائي يتم هدم الكليكو بواسطة ظاهرة التخمر $Fermentation$ حيث يكون هدم الكليكو جزئياً وبطيئاً

(3)

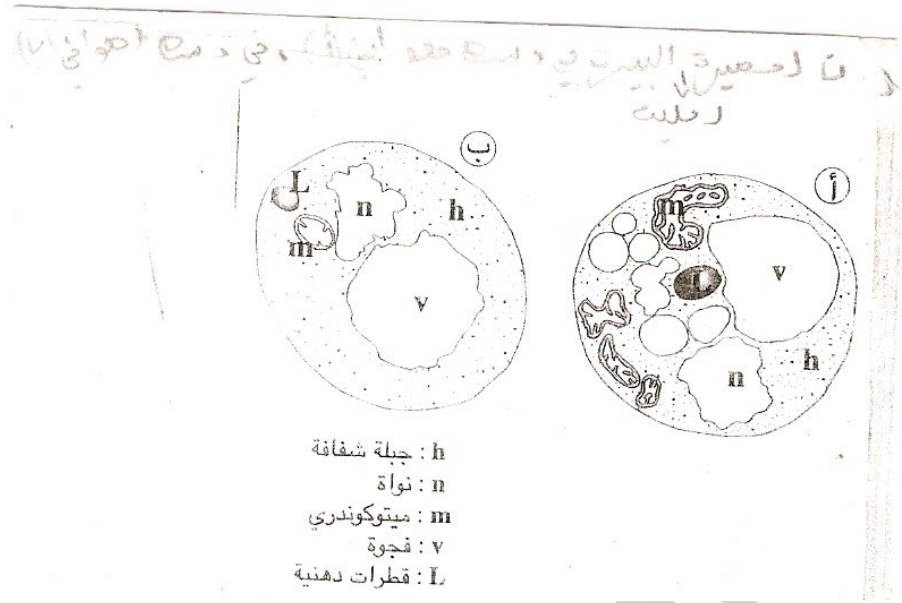
التفاعل الإجمالي الكيميائي للتنفس هو :



التفاعل الإجمالي الكيميائي للتخمر هو :



(4)



خلايا الخميرة في الوسط الهوائي تتوفر على عدد كبير من الميتوكوندريات بينما ينقص عدد هذه العضيات في الوسط اللاهوائي. نستنتج أن الميتوكوندري هو العضدي المسؤول عن التنفس الخلوي.

(5) يتم هدم المادة العضوية (الكليكو) داخل الخلية لاستغلال الطاقة الكامنة فيها بطريقتين:

* طريقة حي هوائية: تتجلى في ظاهرة التنفس.

* طريقة حي لاهوائية: تتجلى في ظاهرة التخمر.

* ملحوظة:

يمكن أن يحدث التخمر أيضا في وسط هوائي إذا كان غني جدا بالكليكو.

II - مراحل هدم الكليكو داخل الخلية:

(أ) تمرين:

لمعرفة مراحل هدم الكليكو من طرف الخلايا زرعت خلايا الخميرة في وسط غني ب O_2 يحتوي على كمية من الكليكو المشع G ثم أخذت بعد ذلك عينات من خلايا الخميرة في الأزمنة T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 لتحليل محتواها، وبتقنيات ملائمة لوحظ ظهور مواد جديدة على مستوى هذه الخلايا. (البيروفان (P). أحماض حلقة Kreps (k) و CO_2) يبين الجدول الآتي تموضع هذه المواد داخل الخلية بدلالة الزمن.

(1) انطلاقا من تحليل معطيات الجدول حدد مراحل هدم الكليكو داخل الخلية؟

الوسط الداخلي للخلية

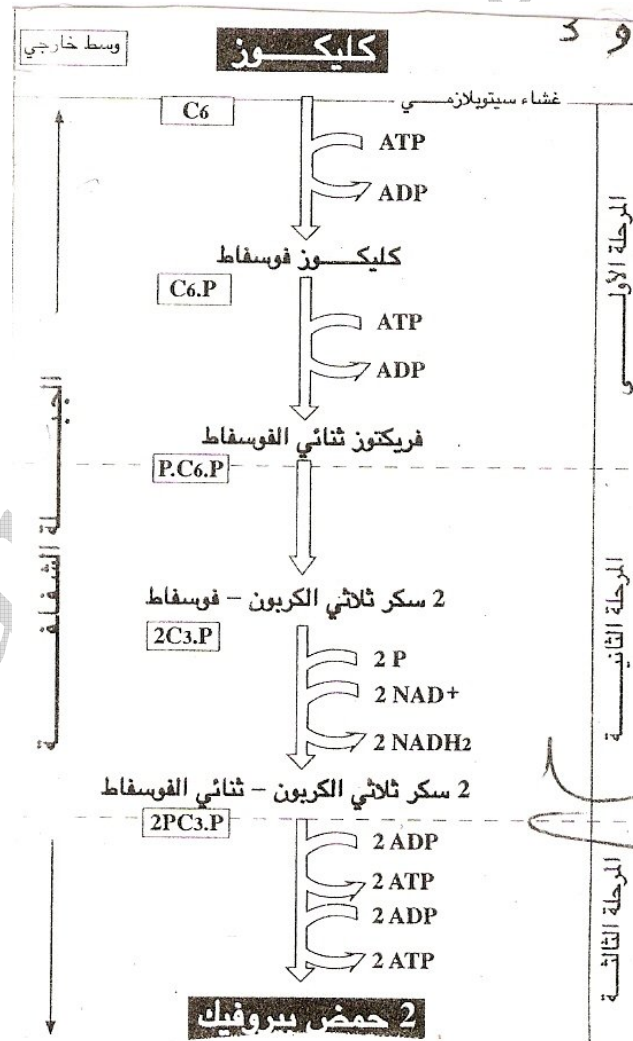
الزمن	الوسط الخارجي	الجلبة الشفافة (سيتوبلازم عضيات)	الميتوكوندري
T_0	G^{+++}		
T_1	G^{+}	G^{++}	
T_2		P^{++}	P^{+}
T_3			K^{+}, P^{++}
T_4	CO_2		K^{+++}

انطلاقا من تحليل معطيات الجدول نلاحظ أن هدم وتفكيك الكليكو داخل الخلية يتم عبر مرحلتين:

المرحلة (1) : تتم داخل الجبلة الشفافة حيث يتفكك الكليكويز ليعطي جزيئين من حمض البيروفيك $CH_3 - CO - COOH$: تسمى هذه المرحلة بانحلال الكليكويز Glycolyse
المرحلة (2) : تتم داخل الميتوكوندري حيث يتسرب حمض البيروفيك ليتحول إلى مختلف أحماض حلقة Kreps مع طرح CO_2 خارج الخلية، تسمى هذه المرحلة بالأكسدة التنفسية Oxydation respirateur

ب- مراحل انحلال الكليكويز:

تتم هذه المرحلة داخل الجبلة الشفافة فهي مرحلة مشتركة بين التنفس والتخمير حيث تتم بدون O_2
 انطلاقا من تحليل الوثيقة حدد الحصلة الكيميائية لانحلال جزيئة واحدة من الكليكويز أي التفاعل الإجمالي لانحلال جزيئة واحدة من الكليكويز؟
 - حدد الحصلة الطاقة لانحلال جزيئة واحدة من الكليكويز؟



المرحلة الأولى :

تبدأ بتفسفر الكليكويز إلى كليكويز - فوسفات $C_6.p$ ثم تفسفر هذا الأخير إلى فريكتوز ثنائي الفوسفات pc_6p

المرحلة الثانية :

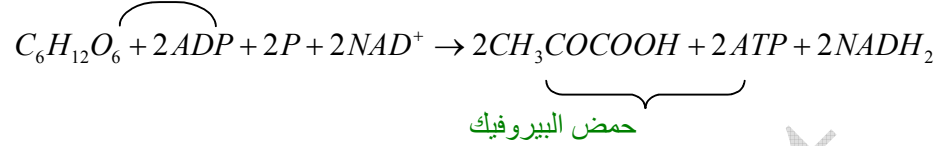
تسطر الفريكتوز ثنائي الفوسفات إلى جزيئين من سكر ثلاثي الكربون فوسفات الذي يخضع لانتزاع $2e^-$ و $2H^+$ حيث تثبت على ناقل مؤكسد NAD^+ فيتحول إلى $NADH_2$.. يصاحب تفاعل الأكسدة اختزال هذا تفسفر سكر ثلاثي الكربون فوسفات ليتحول PC_3P أي سكر ثلاثي الكربون ثنائي الفوسفات .

المرحلة الثالثة :

تتحول خلالها جزيئة PC_3P إلى جزئين من حمض البيروفيك مع تركيب أربع ATP.

التفاعل الإجمالي :

كليكوز



* الحصيلة الطاقية لانحلال جزيئة واحدة من الكليكوز هي :

$$2ATP + 2NADH_2 = 2ATP + 2 \times 3ATP = 8ATP$$

* ملحوظة :

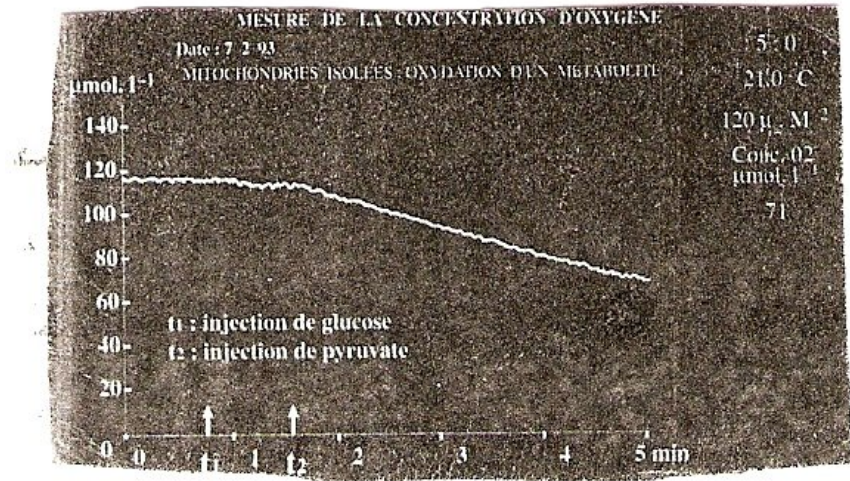
يتطلب استمرار انحلال الكليكوز داخل الجبلة الشفافة إعادة أكسدة $NADH_2$ لأن تركيز NAD^+ ضعيف جدا في السيتوبلازم .
- تساؤلات

- ما مصير حمض البيروفيك الناتج عن انحلال الكليكوز؟
- كيف تتم إعادة أكسدة $NADH_2$ لاستمرار انحلال الكليكوز؟

ج- الأكسدة التنفسية .

ج1 - تمرين :

- لفهم بعض مظاهر التنفس الخلوي أجريت التجربة الآتية :
بعد عزل مجموعة من الميتوكوندريات من خلايا حيوانية (خلايا كبد فأر) وضعت في وسط ملائم غني ب O_2 وبواسطة عدة ملائمة تم قياس تغير O_2 المذاب في الوسط بدلالة الزمن وذلك بعد إضافة كمية من الكليكوز إلى الوسط في الزمن T_1 . وكمية من حمض البيروفيك في الزمن T_2 . يبين المنحنى الاتي النتائج المحصل عليها .



1- كيف تتغير كمية O_2 في الوسط:

- قبل T_1 ؟

- بين T_1 و T_2 ؟

- بعد T_3 ؟

2- ماذا تستنتج .

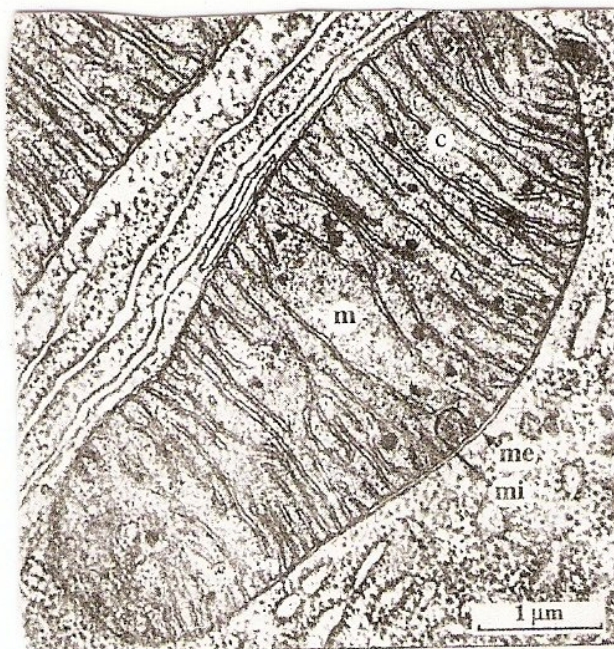
الجواب :

قبل T_1 كانت كمية O_2 ثابتة في الوسط وبقيت كذلك حتى بعد إضافة الكليوز الي الوسط ما بين T_1 و T_2 مما يدل علي عدم استعمال O_2 من طرف الميتوكوندريات .

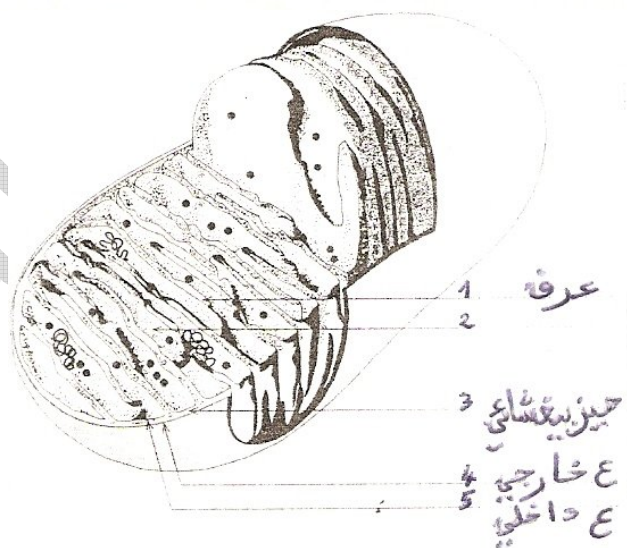
بعد T_2 انخفضت كمية O_2 في الوسط مما يدل علي استهلاك O_2 من طرف الميتوكوندريات بعد إضافة حمض البيروفيك .

2- نستنتج أن الميتوكوندريات لا تستعمل الكليوز كمستقلب Metabolite بل تستعمل حمض البيروفيك الذي يتعرض للاكسدة التنفسية بداخلها .

2ج- فوق بنية الميتوكوندريان .

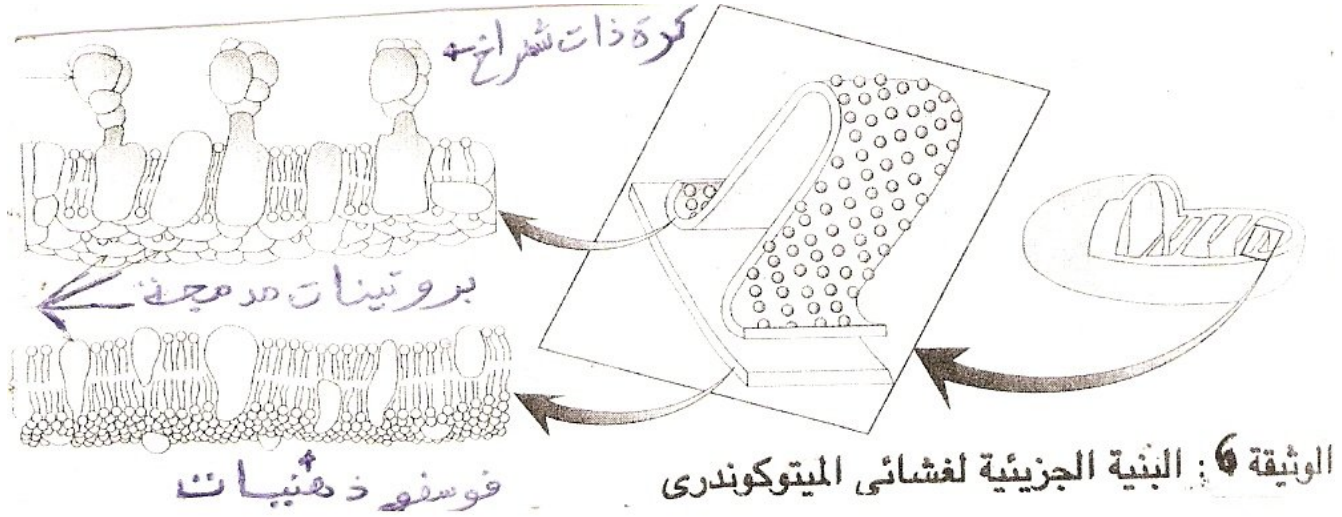


m : m c : c mi : غشاء داخل me : غشاء خارج



الوثيقة 5. الهيكل العام لبنية الميتوكوندري .

ج3- التركيب البنيوي كيميائي لمختلف أجزاء الميتوكوندري .



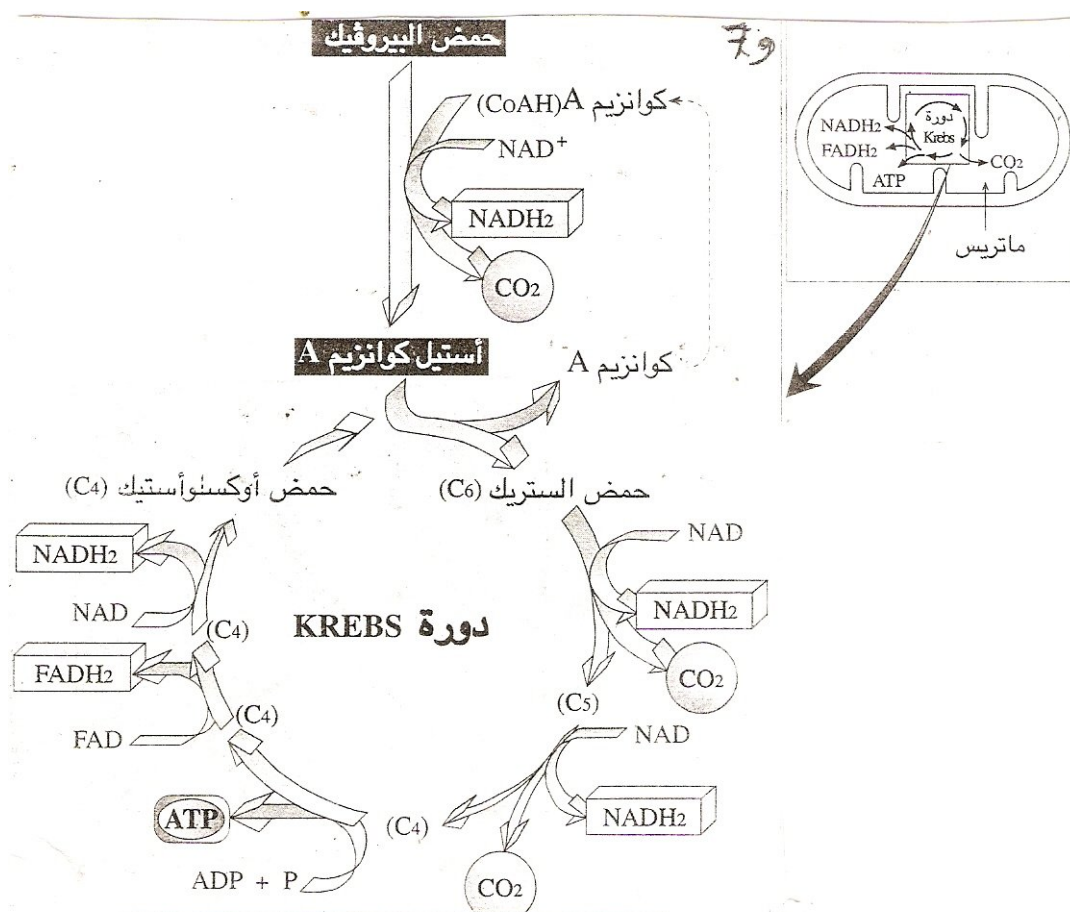
تبين مقارنة التركيب الكيميائي لغشاء الميتوكوندري أن الغشاء الخارجي له نفس مكونات الغشاء السيتوبلازمي بينما يتكون الغشاء الداخلي من نسبة أكبر من البروتينات ويفسر ذلك بوجود عدة أنزيمات أهمها **سانتيتاز Synthetase** (أي كريات ذات شراخ) أما الماتريس فتتميز بغياب الكليكووز ووجود عدة أنزيمات (مزيلة للهيدروجين وأخرى مزيلة للكربون) وكذا ناقلات الإلكترونات والبروتونات NAD^+ .

ج 4 - آليات الأكسدة التنفسية .

يمكن تقسيم الأكسدة التنفسية إلى ثلاث مراحل . تبين الوثيقة الآتية مرحلتين منها

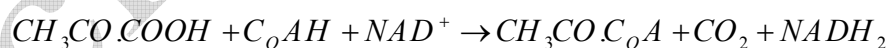
1- حلل الوثيقتين واستخرج خصائص كل مرحلة ؟

2- ماذا تستنتج بخصوص ظاهرة تكوين ATP ؟



المرحلة الأولى : تكوين استينيل كوانزيم A

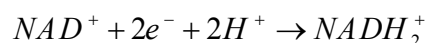
في الماتريس يخضع حمض البيروفيك لانتزاع الهيدروجين بواسطة أنزيمات مزيلة للهيدروجين فيتحول Decarboxylase وانتزاع الكربون (CO₂) بواسطة انزيمان مزيلة للكربون Decarboxylase إلى استينيل CH₃ - CO الذي سيرتبط بجزئية صغيرة تسمى كو أنزيم A. فنتكون مادة وسيطة تسمى أستينيل كو أنزيم A حسب التفاعل التالي:



المرحلة الثانية : دورة Krebs

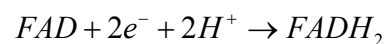
تتم في الماتريس : يرتبط شق الاستينيل (C₂) بحمض الاوكسلو أستيل (C₄) فيتكون مركب حمض السيتريك (C₆) اما كوانزيم A فيحرر ليثبت شق جديد من الاستيل. يدخل حمض السيتريك في دورة Krebs وهي عبارة عن سلسلة من تفاعلات انتزاع الكربون وانتزاع الهيدروجين؛ يحرر (CO₂) خارج الخلية أما الهيدروجين فينقل بواسطة ناقلات الهيدروجين كالتالي :

ناقل مختزل ناقل مؤكسد



Nicotine amide. Adenine Dinucleotide

ناقل مختزل ناقل مؤكسد

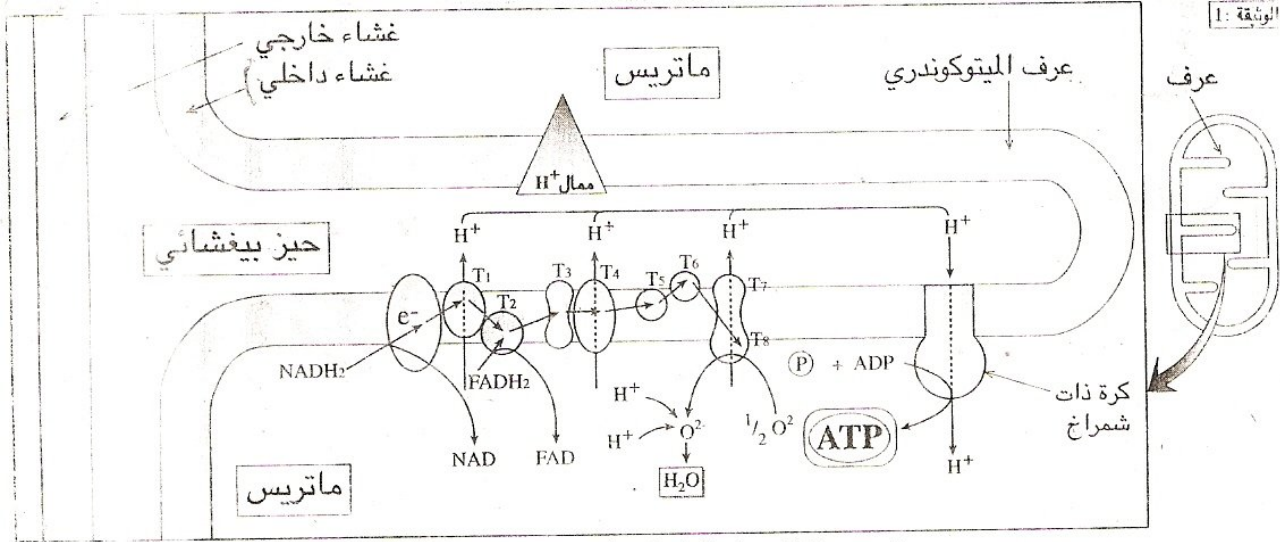


Flavine Adénine Dinucléotide

- تؤدي دورة KreBs إلى الهدم الكلي لشق الاستيتيل وتجديد حمض الاوكسلو الاستيتك الذي سيعمل علي تثبيت شق استيتيل جديد .

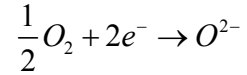
خلال هاتين المرحلتين 1 و 2 يتم تركيب ATP وأربعة $NADH_2$ و $FADH_2$ واحد مع تحرير ثلاثة CO_2

- المرحلة الثالثة:



فوق بنية الغشاء الداخلي للميتوكوندري و عمل السلسلة التنفسية

تتمثل في اختزال O_2 وتركيب ATP وذلك على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري:
* تسترجع $NADH_2$ و $FADH_2$ حالتها المؤكسدة حيث تسلم البروتونات والالكترونات إلى مجموعة من النواقل المدمجة في الغشاء الداخلي للميتوكوندري وتسمى **ناقلات السلسلة التنفسية** . إلى أن تصل إلى آخر مستقبل وهو **الأوكسجين O** الذي يختزل كالتالي :



يتحد O^{2-} مع بروتونين ليعطي الماء كالتالي : $O^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2O$

انتقال e^- عبر النواقل يحرر طاقة تستعمل في ضخ H^+ من الماتريس نحو الحيز بيغشائي حيث تتراكم ويرتفع تركيزها مما يؤدي إلى تدفقها مرة أخرى إلى الماتريس عبر كريات ذات شمراخ مع تحرير طاقة تستعمل في تركيب جزيئة ATP \rightarrow وذلك حسب التفاعل التالي: ATP الطاقة $ADP+P$
يوجد ارتباط بين تفسفر ADP لتكوين ATP وإعادة أكسدة $NADH_2$.
بوجود الأوكسجين على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري.

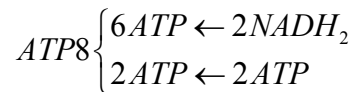
لهذا يسمى هذا التفسفر **تفسفر مؤكسد** . **Phosphorylation oxydative**

* تمرين .

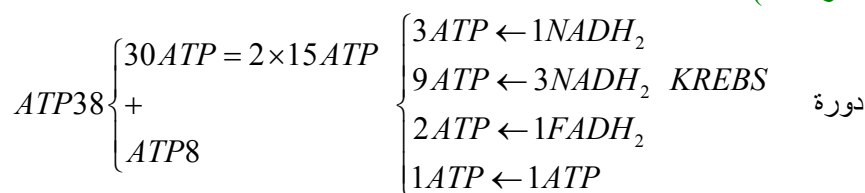
احسب الحصيلة الطاقية لهدم جزيئة واحدة من الكليكوز أثناء التنفس علما بان إعادة أكسدة $NADH_2$ يسمح بتركيب ATP3 وإعادة أكسدة $FADH_2$ يسمح بتركيب ATP2 .

* **الحصيلة الطاقية لهدم جزيئة واحدة من الكليكوز أثناء التنفس هي :**

1- انحلال الكليكوز .



الأكسدة التنفسية . (المرحلة 1)



خلاصة .

- يتم هدم الكليولوز بواسطة التنفس (بوجود O_2) داخل الخلية عبر مرحلتين:
- **إنحلال الكليكوز:** يتم داخل الجبلة الشفافة وينتج عنه جزيئين من حمض البيروفيك.
- الأكسدة التنفسية: تتم داخل الميتوكوندري حيث يتسرب حمض البيروفيك ويتعرض للهدم الكلي عبر دورة KREBS وفي الأخير تتم إعادة أكسدة نواقل الهيدروجين $NADH_2$ و $FADH_2$ بوجود O_2 الذي يختزل ويتحول إلى H_2O مع تركيب ATP.
هكذا فالخلية تستهلك O_2 و تطرح H_2O و CO_2 (حثالة معدنية) مع حصولها على طاقة قابلة للاستعمال المباشر أي ATP .

(4) دراسة التخمر اللبني : La Fermentation lactique

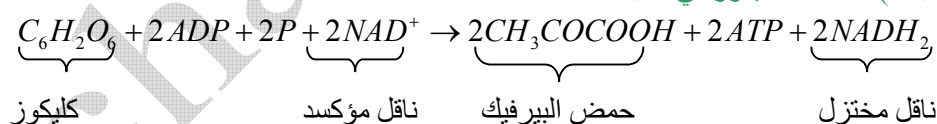
إن الخمائر قادرة على هدم الكليكوز في وسط لاهوائي : ينتج عن ذلك CO_2 والكحول الإيثيلي وكمية قليلة من الطاقة يسمى هذا النوع من التخمر **تخمر كحولي**.
هناك أنواع أخرى من التخمرات كالتخمر الأسيتاتيكي (الخلي)
والتخمر اللبني الذي ينتج عنه الحمض اللبني ويحدث في الخلايا العضلية وعند بعض البكتيريا (بكتيريا الحليب).

(أ) متى يحدث التخمر اللبني؟

يحدث التخمر اللبني في الخلية العضلية إثر نشاط عضلي طويل وعنيف حيث يصبح تزويد الخلية العضلية بـ O_2 غير كاف فتلجأ الخلية إلى التخمر لسد حاجياتها الطاقية.

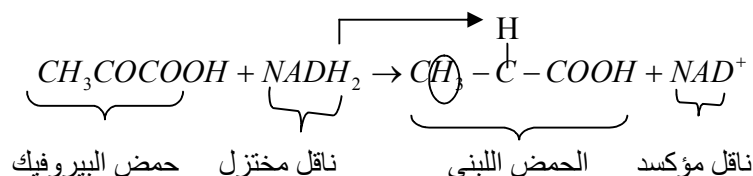
(ب) مراحل التخمر اللبني:

(1) انحلال الكليكوز في الجبلة الشفافة:



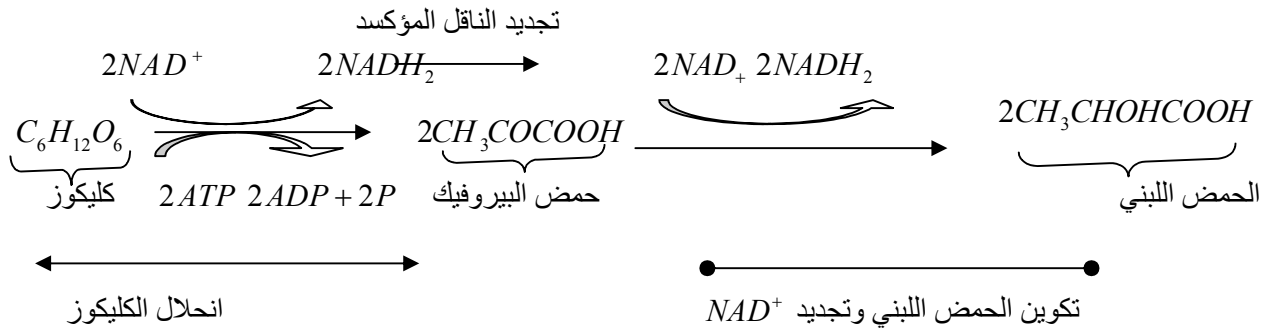
(2) : في غياب O_2

في غياب O_2 الذي يمثل المتقبل النهائي للإلكترونات والبروتونات H^+ في حالة التنفس ودائما على مستوى الجبلة الشفافة يعود حمض البيروفيك لتلقي البروتونات H^+ و الإلكترونات e^- المثبتة في المرحلة الأولى على الناقل المختزل $NADH_2$ يؤدي تفاعل الأكسدة اختزال هذا إلى تكوين الحمض اللبني وتجديد الناقل المؤكسد NAD^+ حسب التفاعل التالي :



(3) خلاصة:

إن المتقبل النهائي لـ H^+ المنتزع من الكليكوز أثناء التخمر هو حمض البيروفيك وليس O_2 كما هو الشأن بالنسبة للتنفس، إذ تتم جميع مراحل التخمر بالجبلة الشفافة ويمكن تلخيصها كالتالي:



* الحصيلة الطاقية للتخمير اللبني هي : 2ATP

(5) مقارنة الحصيلة الطاقية للتخمير والتنفس:

الحصيلة الطاقية للتنفس أهم منها للتخمير لأن الحالة الناتجة عن التنفس عبارة عن مواد معدنية. H_2O و CO_2 خالية من الطاقة، أي أن هدم الكليكوز بوجود O_2 يكون كلياً في حين أن التخمير ينتج عنه مواد عضوية (الكحول الإيثيلي C_2H_5OH أو حمض الأسيتيك أي الحمض اللبني ...) لا زالت تحتوي على طاقة كامنة بها. نستنتج أن هدم الكليكوز بواسطة التخمير يعتبر ضياعاً للطاقة من طرف الخلية.