I التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية في مستوى الخلية

1- تمهيد

تستعمل الخلايا المواد العضوية (كالسكريات و الدهنيات) المتواجدة في الأغذية لإنتاج الطاقة الازمة لمختلف الأنشطة الخلوية

طاقة قابلة لإستعمال المباشر من طرف الخلية ← خلية ← طاقة كامنة في المادة العضوية

ما شكل هذه الطاقة؟

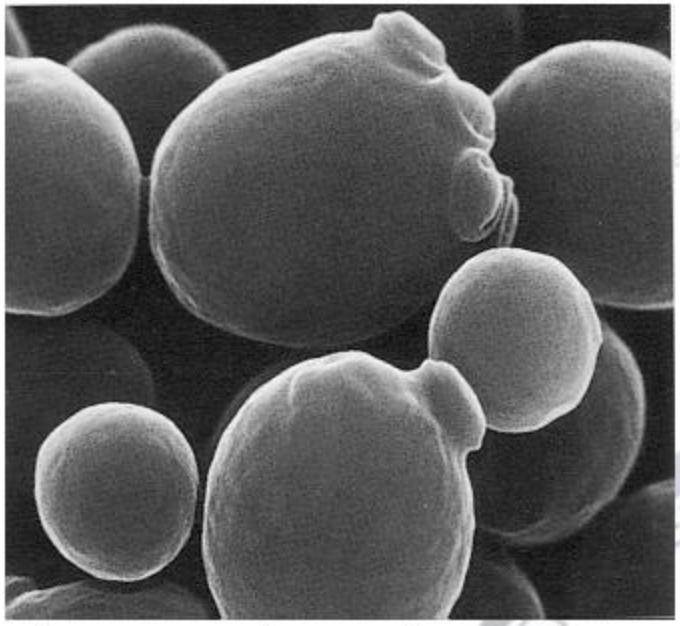
ما هي التفاعلات المسئولة عن تحرير هذه الطاقة
و ما هي البنيات الخلوية المتدخلة في ذلك؟

2- الكشف عن دور التنفس في هدم الأغذية

2-1- تجربة

نستعمل في هذه التجربة خميرة البيرة و هي فطر مجهري وحيد الخلية يوجد عادة على سطح بعض الفواكه على شكل قشرة بيضاء رقيقة ويتميز بقدرته على النمو في وسط حي هوائي و في وسط حيلاهوائي

(مثال : العنب) ←



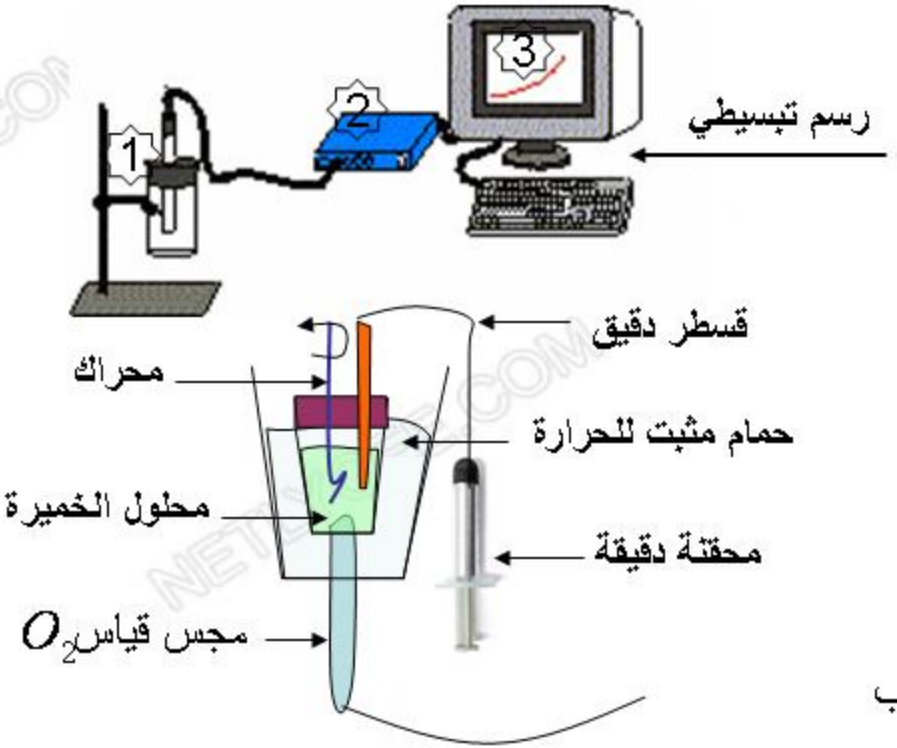
ملاحظة بالمجهر الإلكتروني لخلايا خميرة البيرة

البروتوكول التجريبي

- نعرض محلول عالقا لخلايا الخميرة (10g/L)للتهوية بواسطة مضخة لمدة 30 ساعة
- نضع 5mL من هذا المحلول داخل مفاعل حيوي لعدة EXAO
- نتتبع، بفضل العدة، تطور تركيز الأكسجين المذاب داخل المفاعل الحيوي : ينقل محبس قياس الأكسيجين إشارات كهربائية إلى المرافق البيني الذي يحولها إلى معطيات رقمية يعالجها الحاسوب ويترجمها إلى مبيان.
- في الزمن نحقن داخل المفاعل 0.1ML من محلول الكليكوز بتركيز 5 %.

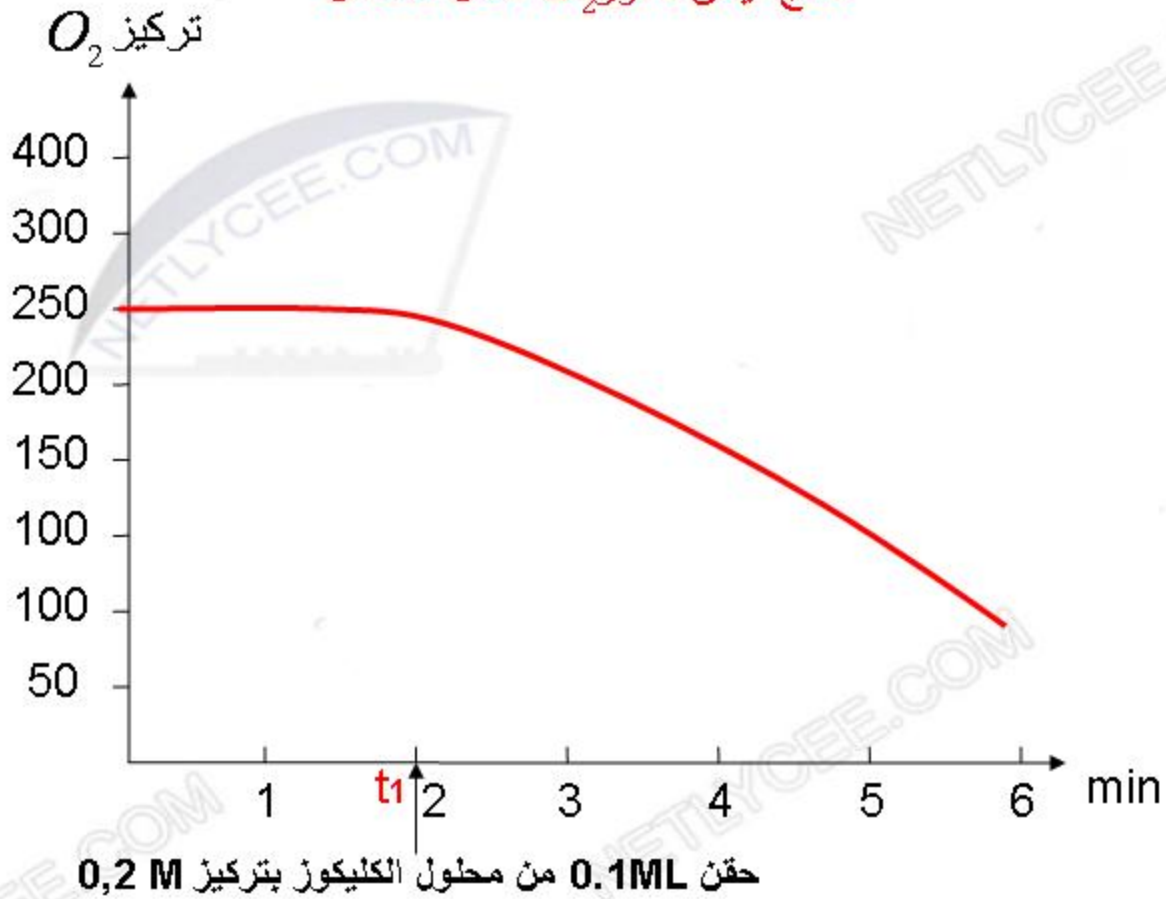
العدة التجريبية EXAO

1 مفاعل حيوي 2 مرافق بيني 3 جهاز حاسوب



رسم تخطيطي للمفاعل الحيوي

نتائج قياس تطور O_2 داخل المفاعل



2-2- ملاحظة واستنتاج

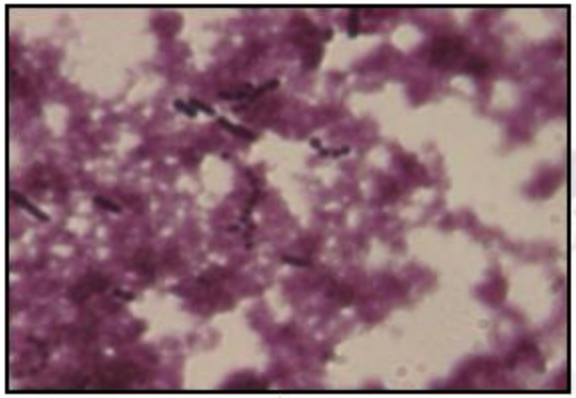
- قبل حقن محلول الكليكوز بقي تركيز O_2 مستقرا داخل المفاعل ومباشرة بعد إضافة الكليكوز إلى الوسط لوحظ انخفاض تدريجي في تركيز O_2

- تستعمل خلية الخميرة الأكسجين لهدم الكليكوز ⟵ نقول أن الخلايا تتنفس .

3- الكشف عن دور التخمر في هدم الأغذية

3-1-التخمر اللبني

يوجد في الحليب الطري عدة أنواع من البكتيريات من بينها "عصية الحليب" Lactobacillus التي تتميز بقدرتها على تحويل "سكر الحليب" إلى حمض لبني .



ملاحظة مجهرية لعينة من ياغورت تبين وجود عصيات الحليب

أ- تجربة

البرتوكول التجريبي

- نأخذ عينة من الحليب الكامل الطري و نفرغها في بوقال ذي حجم 250mL.

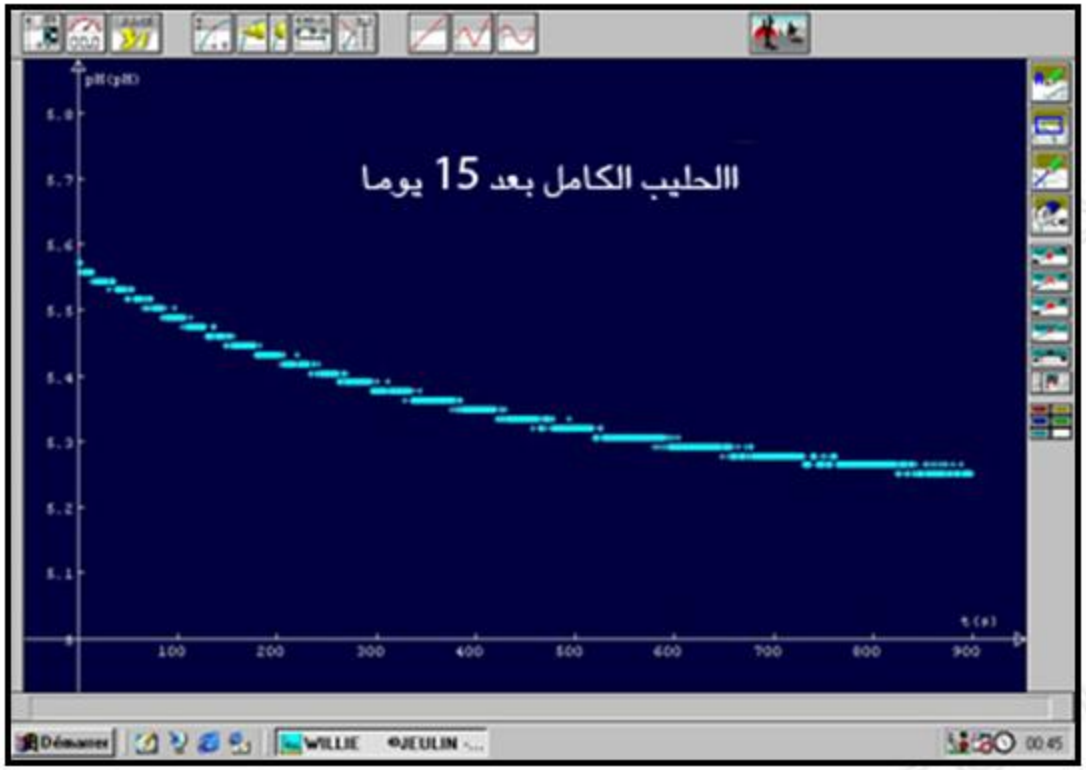
نحرص على ملء البوقال إلىآخره لطرد الهواء (للحصول على تفاعل حي لا هوائي)

- نضع داخل الحليب مقياس pH الذي نربطه بعدة EXAO قصد تتبع تطور حمضية الحليب أثناء عملية التخمر (تحول الكليكوز المكون للاكتوز إلى حمض لبني). يتم هذا التحول دون طرح CO_2

- نترك التحضير لمدة 15يوما في درجة حرارة ملائم (40°C) ،

بعد ذلك نتتبع تطور قيمة pH بواسطة عدة EXAO

تطور قيمة PH



ب- تفسير النتائج

- نلاحظ انخفاض تدريجي لقيمة PH (أي ارتفاع نسبة الحموضة في الحليب)

- ارتفاع حموضة الحليب ناتج عن تكون الحمض اللبني انطلاقا من هدم عصيات الحليب للكليكوز المكون للاكتوز "سكر الحليب"

ملحوظة : اللاكتوز سكر ثنائي disaccharide يعطي بعد حلمأته جزيئتي كليكوز و كلاكتوز حسب التفاعل التالي:

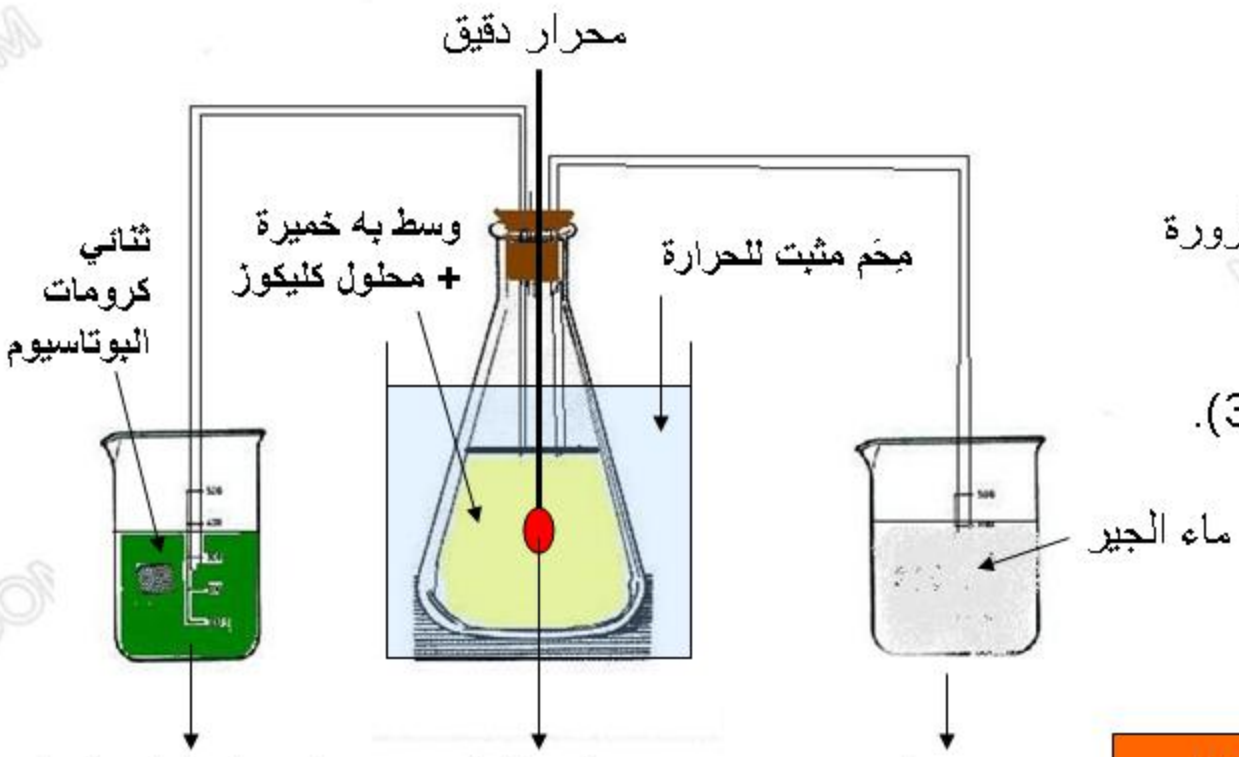
$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{Lactase} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

lactose — glucose — galactose

3-1-التخمر الكحولي

البرتوكول التجريبي

- وضع محلول الكليكوز (5g/L) في قارورة
- زرع الخميرة في محلول الكليكوز
- وضع التحضير في ماء ساخن (37°C).



النتائج:

- تلون المحلول بالأخضر
- ارتفاع طفيف لدرجة الحرارة
- تعكر ماء الجير

تفسير:

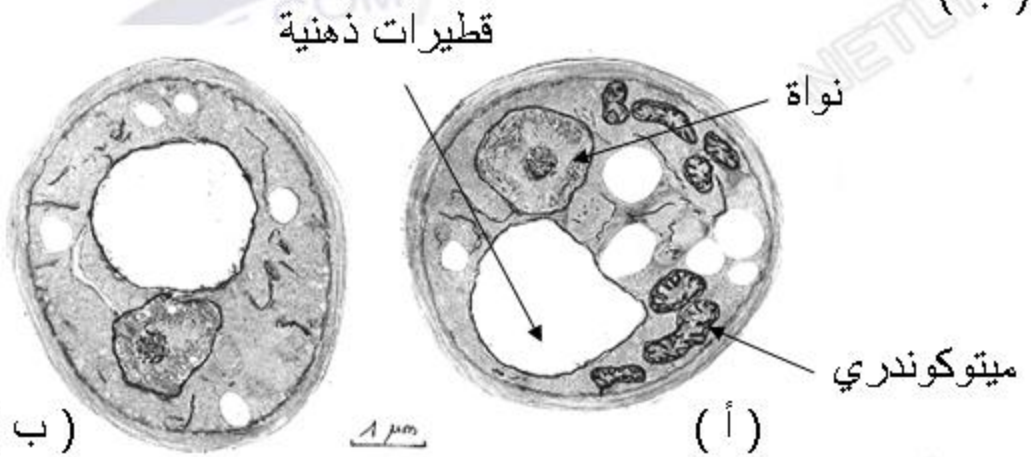
- تكون الكحول الإيثيلي
- تحرير الطاقة
- طرح CO_2

استنتاج ← ينتج عن التخمر الكحولي تكون الإيثانول مع إنتاج طاقة (ATP) مع طرح CO_2

ملحوظة : عكس التخمر الكحولي فالتخمر اللبني يتم دون طرح CO_2

4- تعرف البنيات الخلوية المتدخلة في التنفس والتخمر

تمثل الوثيقة أسفله ملاحظة بالمجهر الإلكتروني لخمائر مزروعة في ظروف حي هوائية (أ) وأخرى مزروعة في ظروف حي لاهوائية (ب)



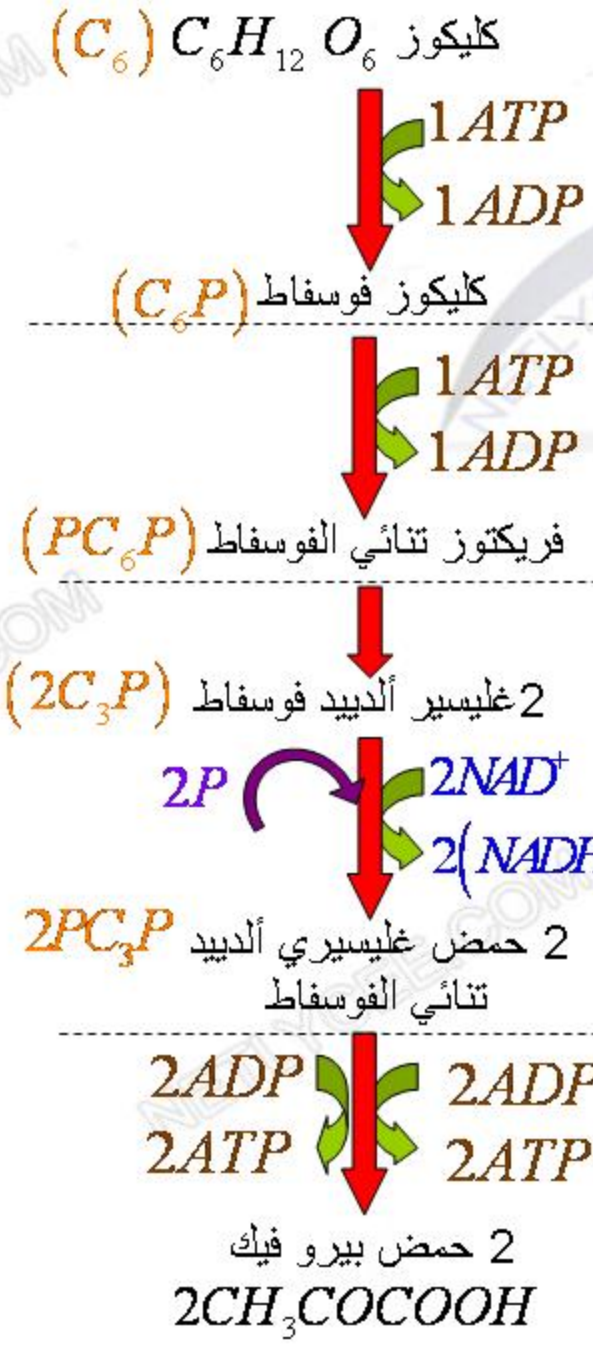
نلاحظ بالنسبة للشكل (أ) وجود ميتوكندريات عديدة ذات حجم كبير بينما في الشكل (ب) فهي صغيرة الحجم و قليلة العدد

← وجود الميتوكندريات بوفرة داخل خلية الخميرة المزروعة في الوسط الغني بالأكسجين(الشكل أ) يدل على أنها تستعمل الأكسجين لنشاطها ← الميتوكندريات تتدخل في ظاهرة التنفس لا تتدخل في طريقة التخمر

5- هدم الكليكوز عن طريق التنفس

5-1- مرحلة انحلال الكليكوز: مرحلة مشتركة بين التنفس و التخمر

قبل استعمال الكليكوز في التنفس أو التخمر يقع له انحلال في الجبلة الشفافة ليتحول إلى حمض بيروفيك



المرحلة الأولى:

الكليكوز يتحول إلى كليكوز فوسفاط مع استهلاك ATP الذي يتحول إلى ADP

حسب التفاعل : ADP+الكليكوز فوسفاط ⟶ ATP +الكليكوز

الكليكوز فوسفاط يتحول إلى فريكتوز ثنائي الفوسفاط مع استهلاك جزيئة من ATP .

المرحلة الثانية:

انشطار الفريكتوز ثنائي الفوسفاط إلى جزئتين من غليسير ألديد فوسفاط اللتين تخضعان لنزع بروتون H^+ لكل واحدة ويثبت على ناقلة H^+ (جزئية NAD^+) وكذلك لتفسفر Phosphorylation

فتتحولان إلى جزئتين من الحمض غليسيري ثنائي الفوسفاط

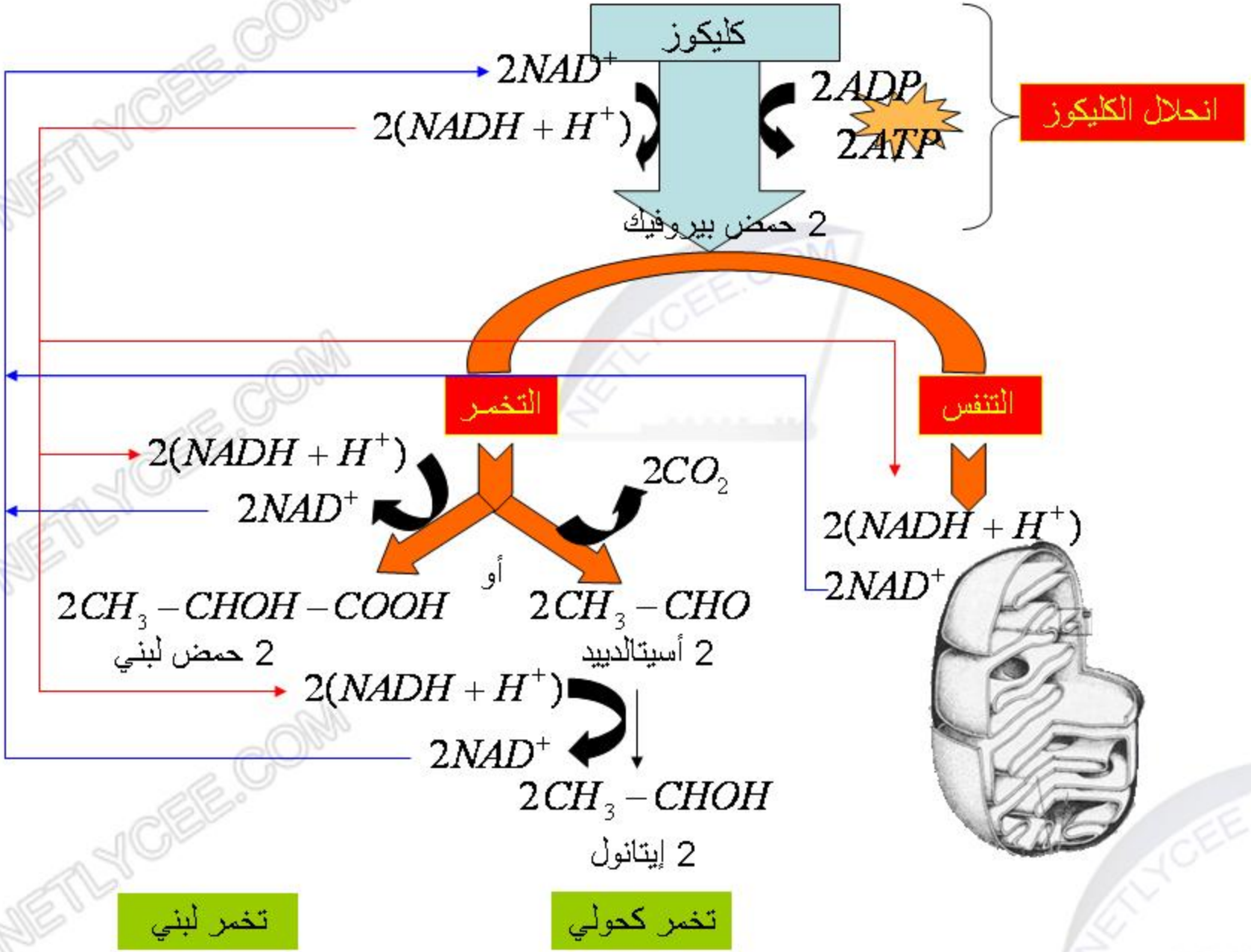
المرحلة الثالثة:

يتم تسليم $2P$ إلى $2ADP$ لتكوين $2ATP$ حسب المعادلة

$$2ADP+2Pi+E\rightarrow 2ATP$$

وتسمى العملية بالتفسفر لنحصل في الأخير على جزئتين حمض بيرو فيك

علاقة انحلال الكليكوز بكل من التنفس و التخمر

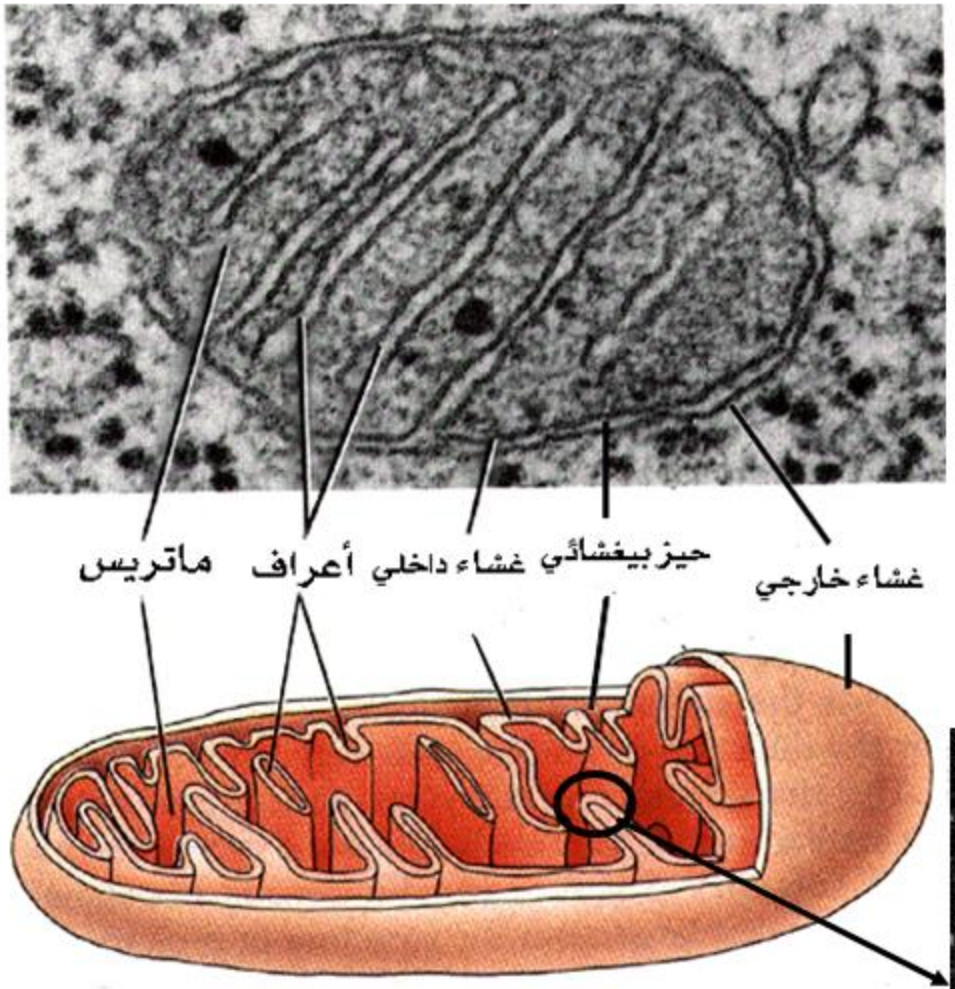


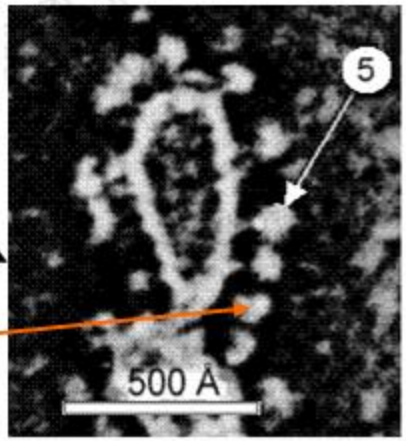
2-5 تفاعلات دورة krebs على مستوى الميتوكندري و دور السلاسل التنفسية

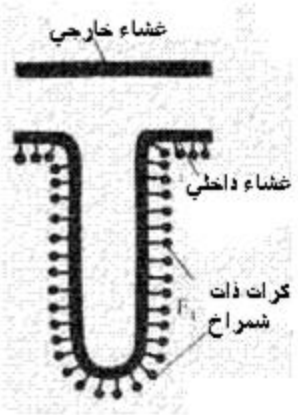
أ- بنية و مكونات الميتوكندريات

الميتوكندريات عضيات خلوية طولها بضع ميكروميترات و عرضها من $0,5\mu$ إلى $1\mu m$

يحيط بها غشاءان متراكبان، يرسل غشاؤها الداخلي عدة ثنايا (أعراف) تقسم الماتريس إلى مقصورات متصلة فيما بينها كما يتوفر على كرات ذات شمراخ وهي مركبات أنزيمية مسؤولة عن تفسفر ADP إلى ATP

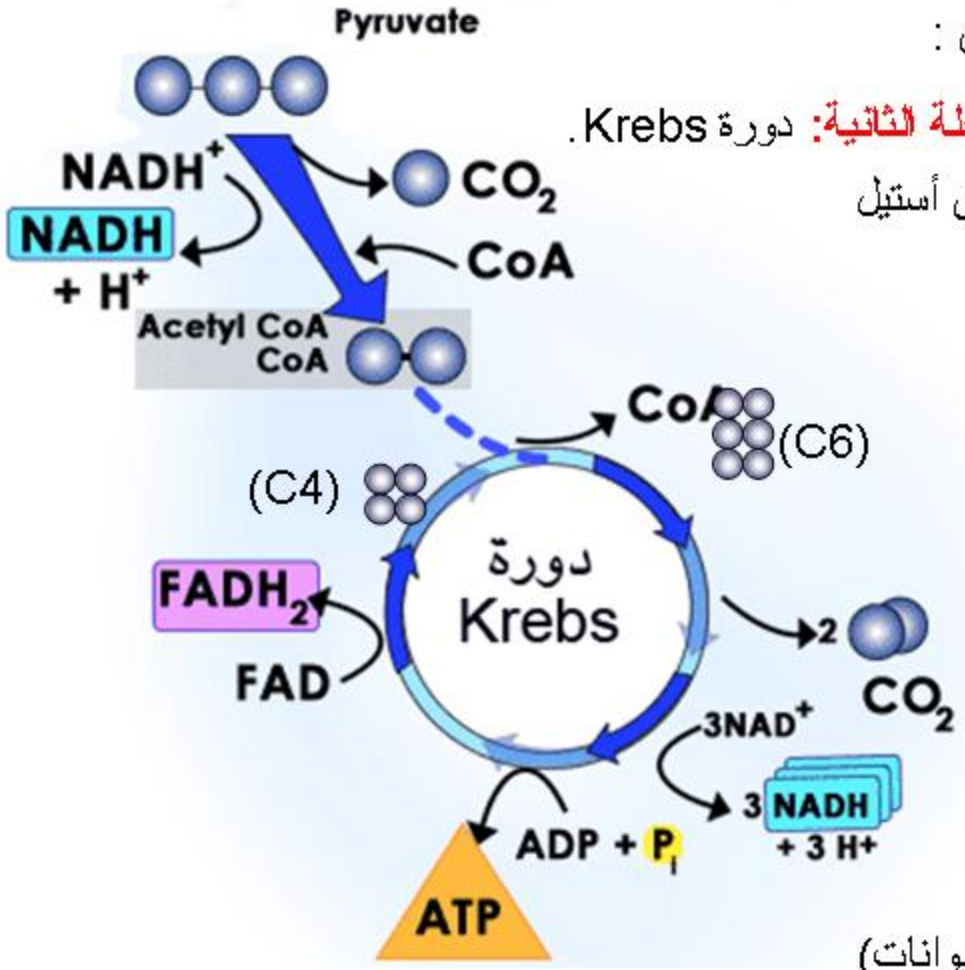






ب- تفاعلات دورة krebs

- يتعرض حمض البيروفيك إلى هدم كلي داخل الميتوكندري مصحوب باستهلاك ثنائي الأكسجين .
- ما مراحل هذا الهدم؟ وما مصير الأكسجين المستهلك؟ وكيف تحول الطاقة الكيميائية الكامنة في جزيئه حمض البيروفيك إلى ATP؟



يتم هدم حمض بيروفيك داخل الماتريس في مرحلتين :

المرحلة الأولى : تكون الأستيل كوأنزيم A. **المرحلة الثانية:** دورة Krebs.

تؤدي سلسلة تفاعلات دورة Krebs إلى الهدم الكلي للشق أستيل وتعويض حمض أوكسالوأستيك الضروري لاستمرار هذه التفاعلات (بدء دورة جديدة). وتتميز دورة Krebs ب :

- تفاعلات إزالة الكربون وتحرير CO_2
- تفاعلات إزالة الهيدروجين الذي تستقبله متقبلات الهيدروجين NAD^+ و FAD^+ التي تتحول من حالتها المؤكسدة إلى حالتها المختزلة حسب التفاعلين التاليين:

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e \rightleftarrows NADH + H^+$$

و

$$FAD^+ + 2H^+ + 2e \rightleftarrows FADH_2$$

- تركيب جزيئة ATP(عند النباتات) أو GTP(عند الحيوانات)

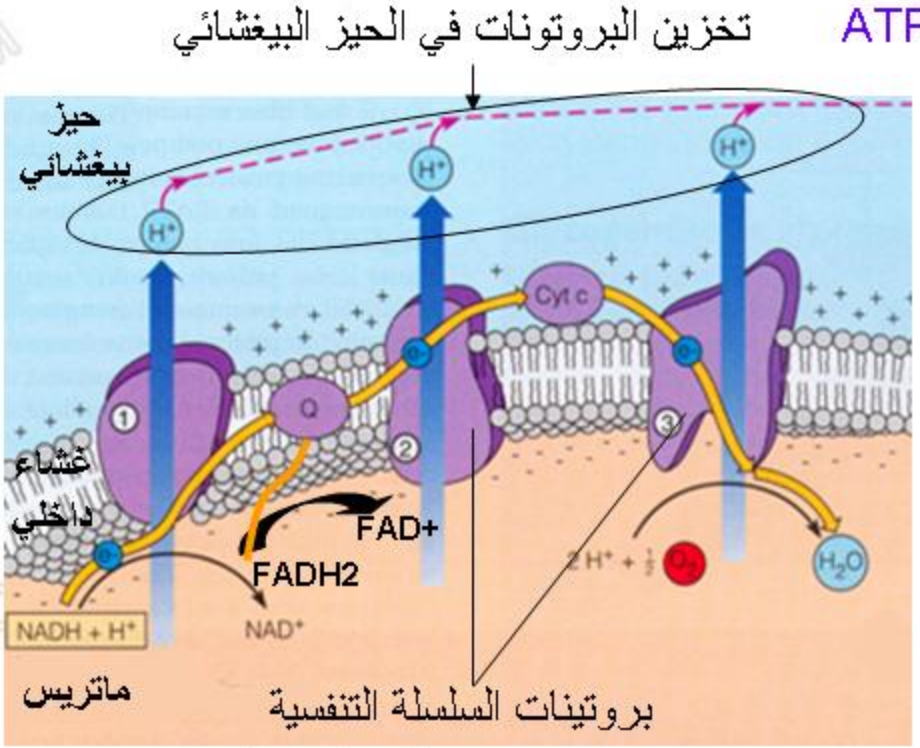
ت- دور السلاسل التنفسية في التفسفر المؤكسد : تركيب ATP

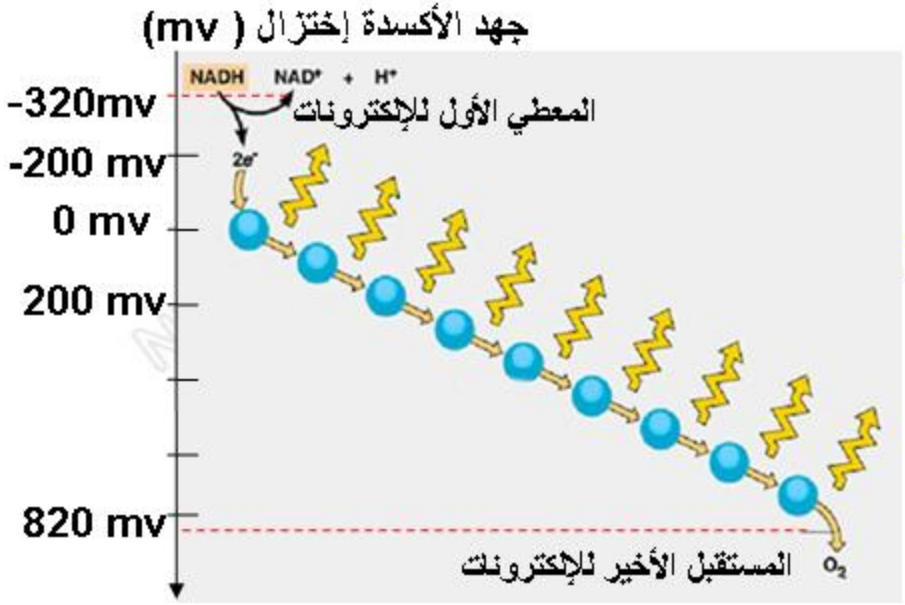
- السلاسل التنفسية

تعاد على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكندري أكسدة $NADH+H^+$، $FADH_2$ وذلك بتسليمها البروتونات و الإلكترونات لمجموعة من الجزيئات البروتينية التي تتموضع بالغشاء الداخلي للميتوكندري، تسمى السلسلة التنفسية. يتم تدفق البروتونات و الإلكترونات نحو الزوج O_2 / H_2O، وتسمى عملية التدفق هذه الأكسدة التنفسية.

يُصحَب نقل الالكترونات نشوء طاقة تساعد على ضخ البروتونات من الماتريس إلى الحيز البيغشائي الشيء الذي يؤدي إلى نشوء ممال بروتوني.

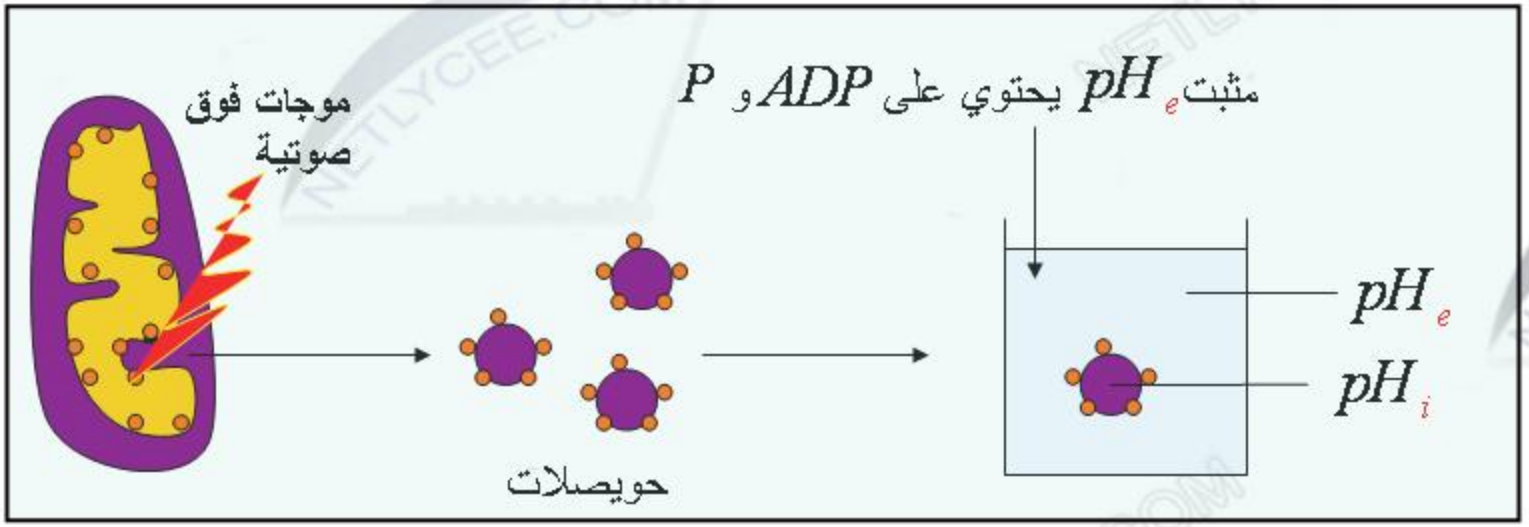
يتم نقل الإلكترونات من الزوج $NADH+H^+ / NAD^+$ إلى الزوج O_2/H_2O بواسطة تفاعلات أكسدة-اختزال عبر السلسلة التنفسية وذلك بشكل تلقائي حسب منحى الجهد التصاعدي لأكسدة- اختزال.





- التفسفر المؤكسد تركيب ATP

التجربة 1 : عرضت ميتوكوندريات لموجات فوق صوتية أدت إلى تكون حويصلات مغلقة بها كرات ذات شمراخ موجهة نحو الخارج، ثم نقلت الحويصلات إلى محاليل مثبتة تختلف من حيث PH تحتوي علىADP و P.



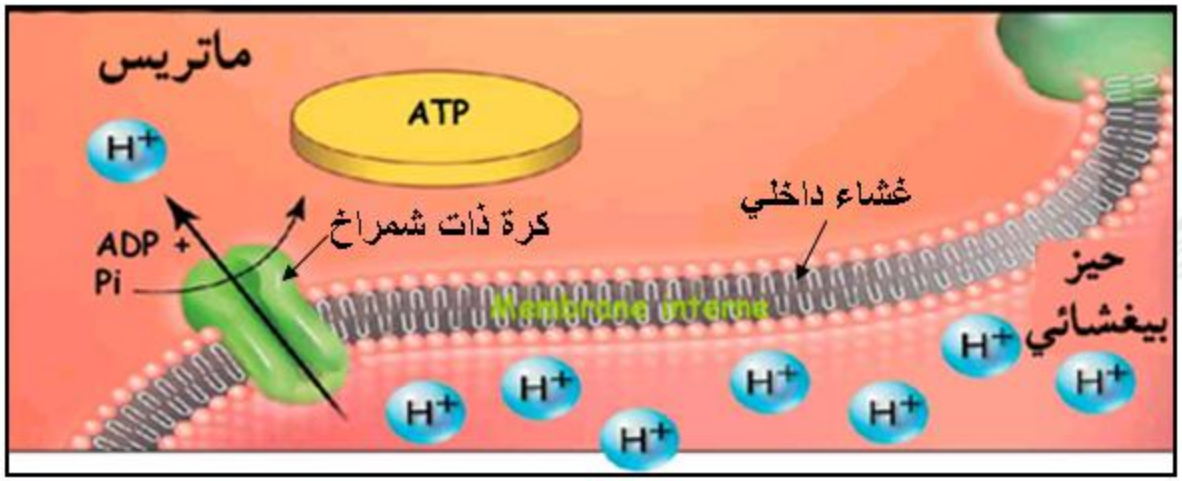
- إذا كان الداخلي للحويصلات pH_i أصغر من المحلول pH_e يتفسفرADP إلىATP .
- إذا كان pH_i يساوي pH_e لا يتفسفر ADP إلى ATP .

استنتاج : اختلاف تركيز البروتونات H^+ بين الوسط الداخلي و الخارجي هو المسئول عن تفسفرADP إلىATP

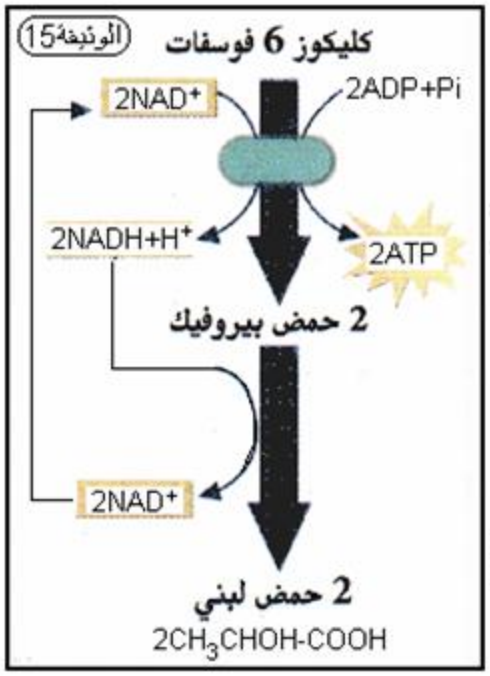
التجربة 2 : نعالج الحويصلات بمادة DNP التي تجعل الغشاء الداخلي للميتوكوندري نفوذا للبروتونات، فنلاحظ في هذه الظروف أن الأكسجين يُختزل بصفة عادية بينما يتوقف تفسفرADP إلى ATP.

استنتاج : مرور البروتونات عبر الكرات ذات شمراخ هو المسئول عن ADP إلى ATP.

- آلية التفسفر المؤكسد



يمثل ممال البروتونات من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكندري مدخرا طاقيا يتم استغلاله خلال تدفق البروتونات نحو الماتريس عبر الكرات ذات شمراخ لتركيب ATP انطلاقا من ADP + pi و هذا ما يعرف بالتفسفر المؤكسد.



6- هدم الكليكوز عن طريق التخمر

التخمر هو آلية من آليات هدم الكليكوز يتم داخل الجبلة الشفافة و يبدأ بمرحلة انحلال الكليكوز ثم يحول حمض البيروفيك إلى حمض لبني حسب التفاعل التالي :

$$2CH_3COCOOH + NADH + H^+ \rightarrow 2CH_3 - CHOH - COOH + NAD^+$$

7- مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس و التخمر:

7-1- الحصيلة الطاقية للتخمر

التخمر اللبني : $C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi \longrightarrow 2(CH3-CHOH-COOH) + 2ATP$

7-2- الحصيلة الطاقية للتنفس

المراحل	نوع وعدد الجزيئات الطاقية المتكونة	عدد جزيئات ATP المتكونة		المجموع
انحلال الكليكوز	2ATP 2NADH,H$^+$	2ATP 6ATP	8ATP	38ATP
من حمض البيروفيك إلى الأستيل كوأنزيم A	1NADH,H$^+$	3ATP(x2)	6ATP	
دورة krebs	1GTP 3NADH 1FADH2	1ATP 9ATP 2ATP } (x2)	24ATP	

7- 3- مقارنة الحصيلة والمردود الطاقي للتنفس و التخمر

التنفس	التخمر
38ATP	2ATP

- جزيئة كليكوز تحتوي على طاقة كامنة تقدر بـ 2860 KJ
- حلمأة جزيئة ATP تعطي طاقة تقدر بـ 30,5 KJ

المردود الطاقي للتنفس	المردود الطاقي للتخمر
$\frac{38 \times 30,5}{2860} \times 100 = 41,5\%$	$\frac{2 \times 30,5}{2860} \times 100 = 2,1\%$

- المردود الطاقي للتنفس أكبر من التخمر لأن جزيئة الكليكوز تخضع خلال التنفس لتفكيك تام أما خلال التخمر فيكون التفكيك غير تام حيث تبقى كمية من الطاقة داخل الحمض اللبني أو الكحول .

- في حالة التنفس تستفيد الخلية من 40.5%من الطاقة الكامنة في الكليكوز بينما يتحول الباقي إلى حرارة . من الطاقة الكامنة في الكليكوز أما الباقي فيتكون جزء منه على2.1%في حالة التخمر لا تستفيد الخلية إلا من شكل حرارة والجزء الأخر يبقى كامن في الحمض اللبني.