وفق مناهج

الأكاديمية الجهوية: stechoila.com

المديرية الإقليمية: Stechoila.com

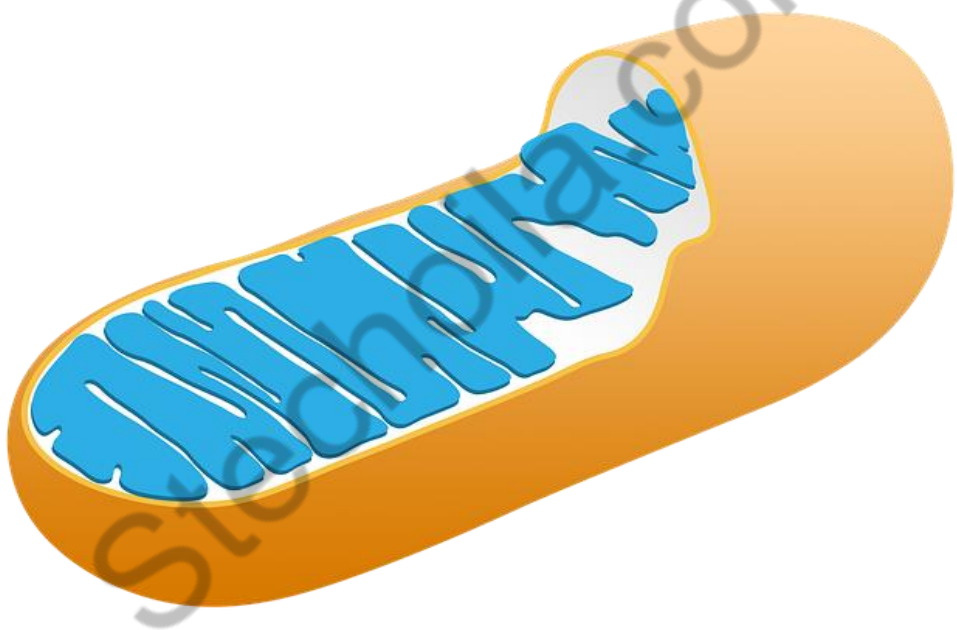
المؤسسة: Stechoila.com

المملكة المغربية
وزارة التربية الوطنية
والتعليم الأولي والرياضة

ⵜⴰⴳⵍⴷⵉⵜ ⵏ ⵍⵎⵖⵔⵉⴱ
ⵜⴰⵎⴰⵡⴰⵙⵜ ⵏ ⵜⵣⵔⴼⵜ ⴰⵏⴰⵎⵓⵔ
ⴰ ⴰⵙⵙⵏⵎⵔ ⴰⵎⴰⵣⵡⴰⵖ ⴰ ⵜⵙⵍⵉⵜ

الدورة الأولى

الـــــوحدة الأولى: استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة



Stechoila.com

من انجاز :

ذ. إبراهيم البحار

تم انتاجه للموسم الدراسي 2024-2025

❖ وضعية الإنطلاق

في يوم قام صديقك بالجري مسافة 300 متر وهو صائم فلم يستطيع الإستمرار وأحس بتعب شديد، بينما في يوم أخر وبعد تناول وجبة غذائية متوازنة جرى نفس المسافة ولم يتعب وأحس بأن جسمه مشبع بالطاقة فستنتج أن السبب يكمن في إختلاف كمية المادة العضوية المتوفرة في الجسم والطاقة المحررة.

فكيف يتم تحويل المادة العضوية الى طاقة؟

❖ مقدمة:

تعتبر النباتات اليخضورية كائنات ذاتية التغذية، حيث تقوم بإنتاج المادة العضوية إنطلاقا من الماء والأملاح المعدنية والطاقة الشمسية وثنائي أكسيد الكربون (CO_2) بواسطة ظاهرة التركيب الضوئي.

تستعمل هذه المادة العضوية من طرف خلايا جميع الكائنات الحية (الذاتية التغذية والغير ذاتية التغذية) لتنمية كتلتها من جهة والتزود بالطاقة اللازمة لنشاطها من جهة أخرى، تحول اذن الكائنات الحية الطاقة الكيميائية الكامنة في المادة العضوية الى مصدر للطاقة قابلة للإستعمال المباشر في الأنشطة الخلوية.

تساؤلات:

- **ماهي التفاعلات المسؤولة عن تحرير هذه الطاقة؟**
- **ماهي البنيات المسؤولة عن ذلك؟**
- **ما شكل هذه الطاقة؟**
- **كيف توظف هذه الطاقة في الأنشطة الخلوية (دراسة مثال: التقلص العضلي)؟**

Stecholia.com

الفصل الاول: التفاعلات المسؤولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية على مستوى الخلية

I- الكشف عن أنماط التفاعلات المسؤولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية

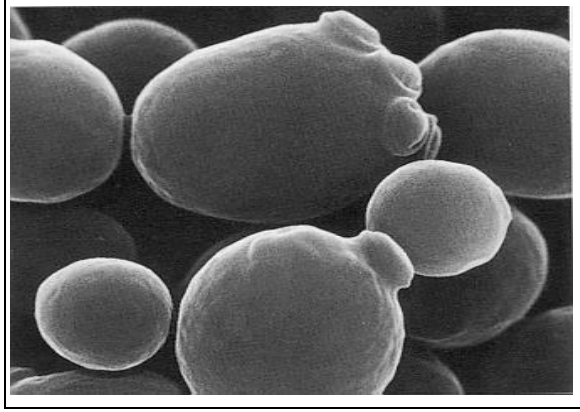
1- معطيات تجريبية

ا- دراسة تجريبية:

في إطار دراسة كيفية حصول بعض الكائنات الحية على الطاقة اللازمة لإنتاج مادتها ونموها والقيام بمختلف أنشطتها، تم القيام بمجموعة من التجارب بإستعمال خميرة البيرة: فطر مجهري وحيد الخلية يمكن أن يعيش في وسط غني بالأكسيجين (وسط حي-هوائي) ووسط يفتقر للأكسجين (وسط حي-لاهوائي).

- توضع الخميرة في الوسط 1: غني بالأكسجين ويحتوي على الكليكوز $C_6H_{12}O_6$.
- توضع الخميرة في الوسط 2: يفتقر للأكسجين ويحتوي على الكليكوز.

وبعد مدة زمنية معينة تم قياس كتلة الخميرة، وبواسطة ExAO عدة تجريبية خاصة (و:.2.ص:.12. ك.م ع.ح.ا) تم تحديد نواتج التفاعلات بالوسطين:

الوسط	كتلة الخميرة بعد استهلاك مول واحد من الكليكوز	نواتج التفاعلات		الملاحظة بالمجهر الإلكتروني لخلايا الخميرة
		المواد المحررة	كمية الطاقة المحررة	
وسط غني ب O_2 + مول واحد من الكليكوز	468g	$CO_2 + H_2O$	2860kj	
وسط عديم O_2 + مول واحد من الكليكوز	363.6g	CO_2 + (الكوحول) $CH_3\text{-}CH_2\text{-}OH$	140kj	

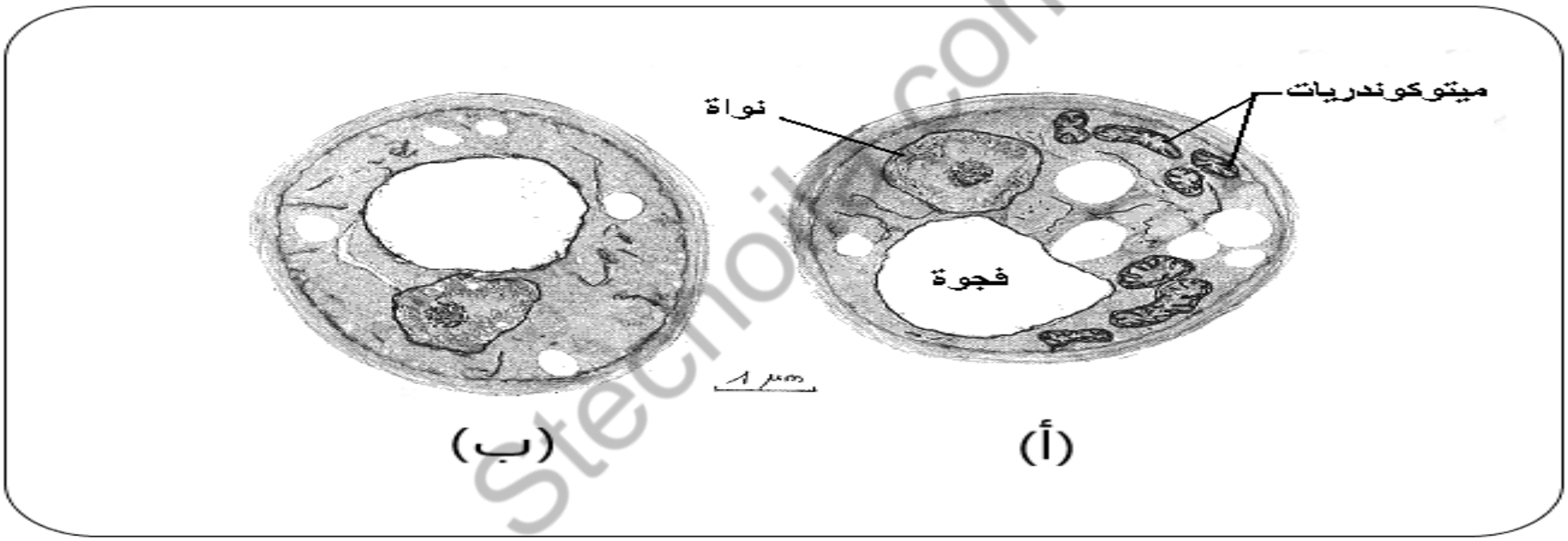
Stechnola.com

1) ماهو إذن دور الكليكوز؟

2) سم الظاهرة التي تحدث في كل وسط معللا جوابك. وأكتب التفاعل العام المناسب لكل ظاهرة (انطلاقا من ماتفاعل وما حصلت عليه في النواتج مع الموازنة).

3) كيف تفسر اختلاف كمية الطاقة المحررة في الوسطين؟

الملاحظة بالمجهر الإلكتروني لخلايا الخميرة الموجودة بالوسط 1 غني بالأكسجين (الشكل أ) والموجودة بالوسط 2 بدون أكسجين (الشكل ب) أعطت النتيجة التالية:



4) على أي مستوى من الخلية تتم الظارتين؟

5) إقترح فرضية تربط العلاقة بين وجود الميتوكندريات في الخلية ووجود تنائي الأكسجين.

الحل:

1) في كلتا الوسطين تستعمل خلايا الخميرة مستقلب الكليكوز لإنتاج الطاقة من أجل نموها وتكاثرها (الكليكوز=مستقلب طاقي).

2) - في الوسط 1 الغني بالأكسيجين O_2 قامت الخلايا بهدم كلي للكليكوز مع إستهلاك O_2 وطرح CO_2 والماء H_2O وتحرير طاقة مهمة، إنها ظاهرة التنفس الخلوي La respiration cellulaire

- في الوسط 2 المفتقر للأكسجين O_2 تقوم الخلايا بهدم جزئي للكليكوز في غياب O_2 مع تشكل CO_2 والكحول (الإثانول) $CH_3\text{-}CH_2\text{-}OH$ وهذا ما يعرف بظاهرة التخمر الكحولي La fermentation alcoolique

* تفاعل ظاهرة التنفس:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E \text{ (طاقة مهمة)}$$

* تفاعل ظاهرة التخمر (الكحولي):

$$C_6H_{12}O_6 \Rightarrow 2CO_2 + 2CH_3\text{-}CH_2\text{-}OH + E \text{ (طاقة ضعيفة)}$$

3) في وسط حي هوائي تحدث ظاهرة التنفس الخلوي فيتم هدم كلي للكليكوز، فينتج عن ذلك تحرير كل الطاقة الكامنة في الكليكوز وبالتالي إنتاج كمية مهمة من الطاقة.

بينما في الوسط الحي لاهوائي تحدث ظاهرة التخمر الكحولي فيتم هدم جزئي للكليكوز ويبقى الجزء الأخر من الطاقة مخزن في الكحول وبالتالي إنتاج طاقة ضعيفة.

4) تبين الملاحظة المجهرية لخلايا الخميرة في الوسط 1 أنها غنية بعضيات خلوية تسمى الميتوكندريات Mitochondries بينما خلايا الخميرة الموجودة في الوسط 2 تحتوي على عدد ضئيل من الميتوكندريات، إذن الميتوكندريات هي البنيات المسؤولة عن التنفس الخلوي ولا تتدخل في عملية التخمر التي تحدث على مستوى الجبلة الشفافة Cytosol.

5) بوجود O_2 تحتوي الخلايا على عدد مهم من الميتوكندريات، يمكن أن نفترض بأن الميتوكندريات هي البنيات التي على مستواها تتم عملية التنفس الخلوي.

خلاصة:

تستعمل الخلايا الكليكوز كمستقلب طاقي، ويمكنها هدمه بطريقتين مختلفتين حسب ظروف الوسط:

Stecholia.com

- التنفس الخلوي: في وسط حي هوائي Aérobie (فيه ظروف الحياة وغني بـO_2)، يتم الهدم الكلي للكليكوز وتحويله إلى CO_2 وH_2O مع تحرير كمية مهمة من الطاقة.

- التخمر: في وسط حي لاهوائي Anaérobie (فيه ظروف الحياة ويفتقر الى O_2)، يتم الهدم الجزئي للكليكوز وتحويله الى CO_2 وجزيئات عضوية لا تزال تخزن الطاقة الكميائية (كحول في حالة التخمر الكحولي أو حمض لبني في حالة التخمر اللبني)، مع تحرير كمية ضعيفة من الطاقة.

* التخمر اللبني يتم دون طرح ثنائي أكسيد الكربون حسب التفاعل التالي:

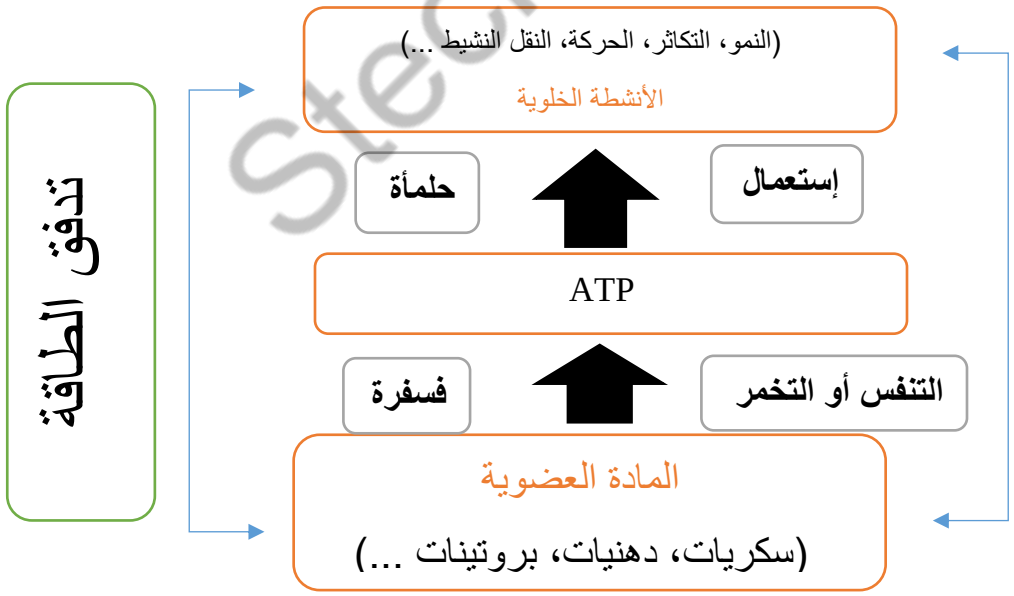
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH + E \text{ (طاقة ضعيفة)}$$

ملحوظة:

الطاقة الكامنة التي تحول من المادة العضوية الى جزيئة ATP تحول بظاهرة الفسفر يمكنها ان توظف في النمو والتكاثر والحركة بظاهرة الحلمأة والسبب في ذلك كون الأنشطة الخلوية لا تستطيع استغلال الطاقة الكامنة في المادة العضوية بطريقة مباشرة بل عبر وسيط ATP وهذا هو السبب الأساسي لإستقلاب الكليكوز عن طريق التنفس أو التخمر.

تفاعل منتج للطاقة : ATP → ADP + Pi

تفاعل مستهلك للطاقة : ADP + Pi → ATP



Stechoila.com

II) إنحلال الكليكوز مرحلة مشتركة بين التنفس والتخمر

ينتقل الكليكوز من الوسط الخارجي الى الجبلة الشفافة وبداخلها يتحول تدريجيا إلى حمض البيروفيك الذي يختلف مصيره حسب نوع التفاعلات التي ستحدث بعد ذلك ويمكن أن نلخص مراحل هدم الكليكوز فيمايلي:

- مرحلة مشتركة بين التنفس والتخمر: تتم على مستوى الجبلة الشفافة وتنتهي بتكون 2 حمض البيروفيك، وتسمى بظاهرة إنحلال الكليكوز Glycolyse.
- مرحلة خاصة بالتنفس: تحدث في الميتوكندريات، وتدخل ضمن التأكسدات التنفسية (في حالة وجود O_2).
- مرحلة خاصة بالتخمر: تحدث في الجبلة الشفافة وتنتهي بالتفاعلات التخمرية (في حالة غياب O_2).

1- مراحل إنحلال الكليكوز

انحلال الكليكوز عبارة عن سلسلة من التفاعلات الكميائية المحفزة بأنزيمات نوعية تأدي الى هدم جزئي للكليكوز (C_6) الى جزيئتين من حمض البيروفيك (C_3) في غياب الأكسجين، يمر انحلال الكليكوز بثلاث مراحل: (أنظر الوثيقة أسفله).

- الحصيلة الطاقية لإنحلال الكليكوز:

المرحلة الأولى: استهلاك 2ATP

المرحلة الثانية: انتاج $2NADH+H^+$

المرحلة الثالثة: انتاج 4ATP

الحصيلة الطاقية لإنحلال الكليكوز هي إذن: 2ATP و$2NADH+H^+$

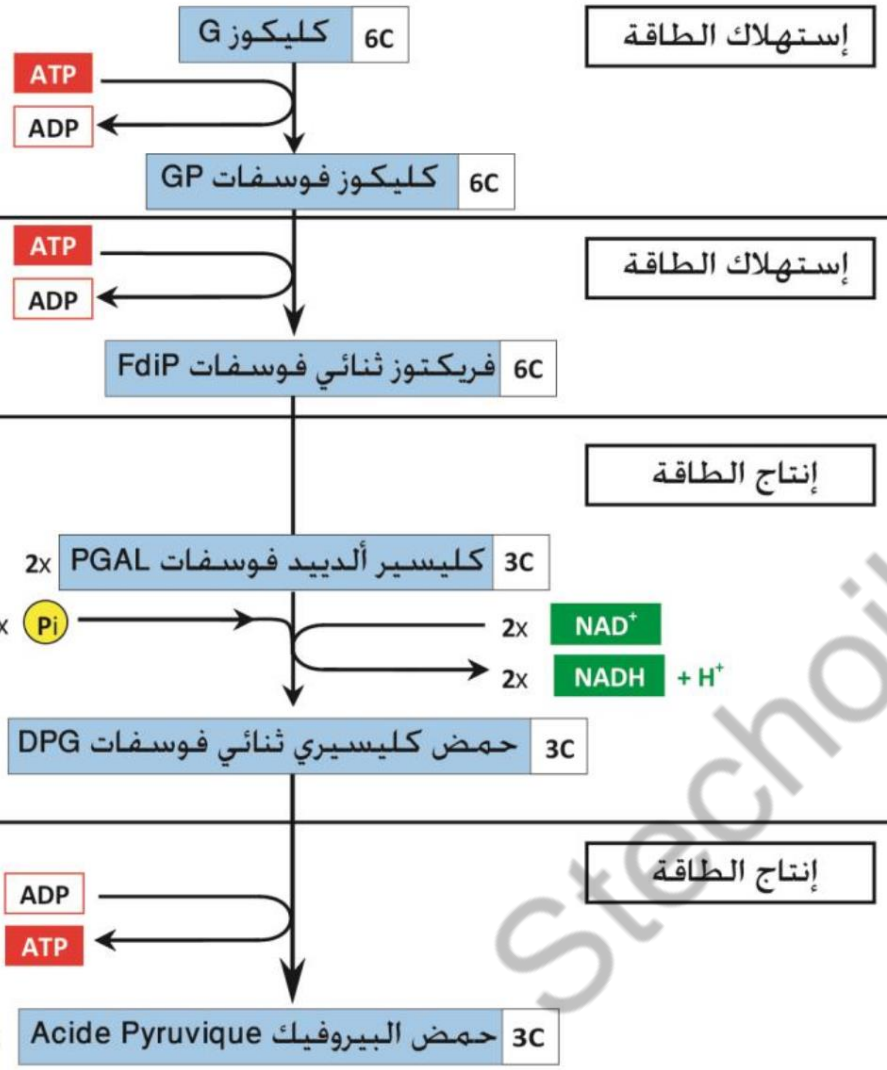
- التفاعل العام لإنحلال الكليكوز هو:

$$C_6H_{12}O_6 + 2NAD^+ + 2ADP + 2P_i \longrightarrow 2CH_3\text{-}CO\text{-}COOH + 2ATP + 2NADH+H^+$$

ملحوظة:

بمأن تركيز NAD^+ في السيتوبلازم ضعيف فإن إستمرار إنحلال الكليكوز يستلزم إعادة أكسدة $NADH+H^+$ الى NAD^+ هذه الأكسدة تتم إما بتأكسدات تنفسية في حالة وجود O_2 أو خلال التخمر عندما يصبح O_2 غير كافي.

Stechoila.com



المرحلة الأولى

يثبت الكليكوز 1P فيصبح GP، الذي يتحول إلى FP ثم إلى FdiP.
المجموعتين الفوسفاتيتين تنبثقان عن حلمأة ATP.

⇦ تكون فريكتوز ثنائي الفسفاط مع استهلاك الطاقة

المرحلة الثانية

ينشطر FdiP إلى جزيئتين C_3 ذات مجموعة فوسفاتية، ثم تخضع كل منهما لأكسدة : انتزاع $2H^+$ و $2e^-$ اللذان يثبتان على ناقل الهيدروجين NAD^+ (اختزال NAD^+).

يصاحب تفاعل الأكسدة بتفسفر جزيئتين C3 : C3P ⇨ PC3P

تفاعل الإختزال: $2(NAD+ + 2H+ + 2e-) \longrightarrow 2(NADH,H+)$

المرحلة الثالثة

تُسَلِمُ الجزيئتان الناجتان عن المرحلة الثانية مجموعتيهما الفوسفاتيتين إلى ADP : تركيب ATP و تكون حمض البيروفيك.

تفاعل الفسفرة: $2(ADP + Pi) \Rightarrow 2ATP$

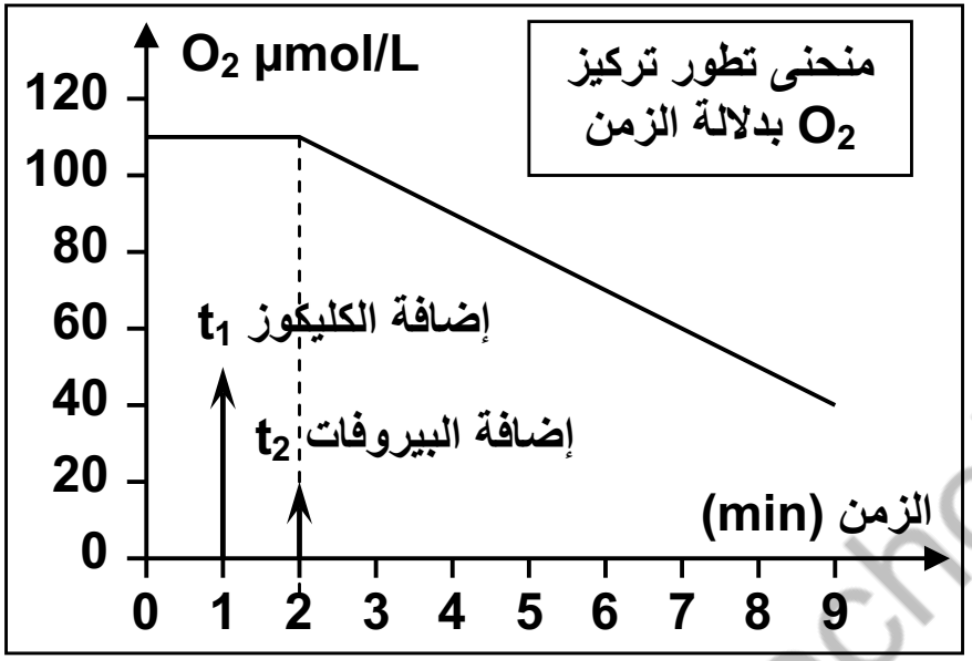
Stecholia.com

III) التأكسدات التنفسية ودورها في إنتاج الطاقة

1) الكشف التجريبي عن دور الميتوكندري في إنتاج الطاقة

نهرس خلايا كبد فأر في محلول عيار له ph=7.4، لأجل عزل الميتوكندريات، نعرض الخليط لنبذ ذي سرعة كبيرة يمكن من الحصول على قعيرة culot من الميتوكندريات، نخلط جزءا من القعيرة بمحلول عيار ملائم، ونضعه في مفاعل إحيائي لعدة ExAO، ثم نتتبع على شاشة الحاسوب تطور تركيز ثنائي الأوكسجين (المبيان أمامه).

- في الزمن t_1 نضيف إلى المفاعل الإحيائي كمية قليلة من الكليكوز،
- وفي الزمن t_2 نضيف كمية قليلة من حمض البيروفيك.



1) حلل منحنى تطور تركيز O_2 بدلالة الزمن.
2) على ماذا يدل تغير كمية O_2 في الوسط ؟
3) ما هي الظاهرة الفيزيولوجية التي يعبر عنها المنحنى وأين تتم؟
4) ماذا تستنتج بخصوص التفاعلات التي تتم داخل الميتوكندري؟

الحل:

1. تحليل وتفسير:

- قبل إضافة الكليوز كان تركيز O_2 مستقر وبقي كذلك بعد إضافة الكليكوز.

- بعد إضافة حمض البيروفيك لوحظ إنخفاض سريع وتدريجي في تركيز الأكسجين.

* يمكن تفسير بقاء تركيز O_2 ثابت بعد إضافة الكليكوز بكون الميتوكندريات غير قادرة على هدمه عكس حمض البيروفيك الذي أدى إضافته الى إنخفاض في تركيز O_2.

2. يدل تغير كمية الأكسجين في الوسط على كون الميتوكندريات تستعمله خلال نشاطها.

Stechoila.com

3. اليتوكندريات تستهلك الأكسجين يعني أن الأمر يتعلق بظاهرة التنفس الخلوي.

4. إن التفاعلات الكيميائية التي تطرأ على حمض البيروفيك بوجود الأكسجين داخل الميتوكندري، تشكل التأكسدات التنفسية وهي تفاعلات حي-هوائية.

خلاصة: حمض البيروفيك يتعرض للهدم بواسطة الميتوكندريات بوجود O_2، تحدث تفاعلات حي هوائية.

2) بنية ومكونات الميتوكندري

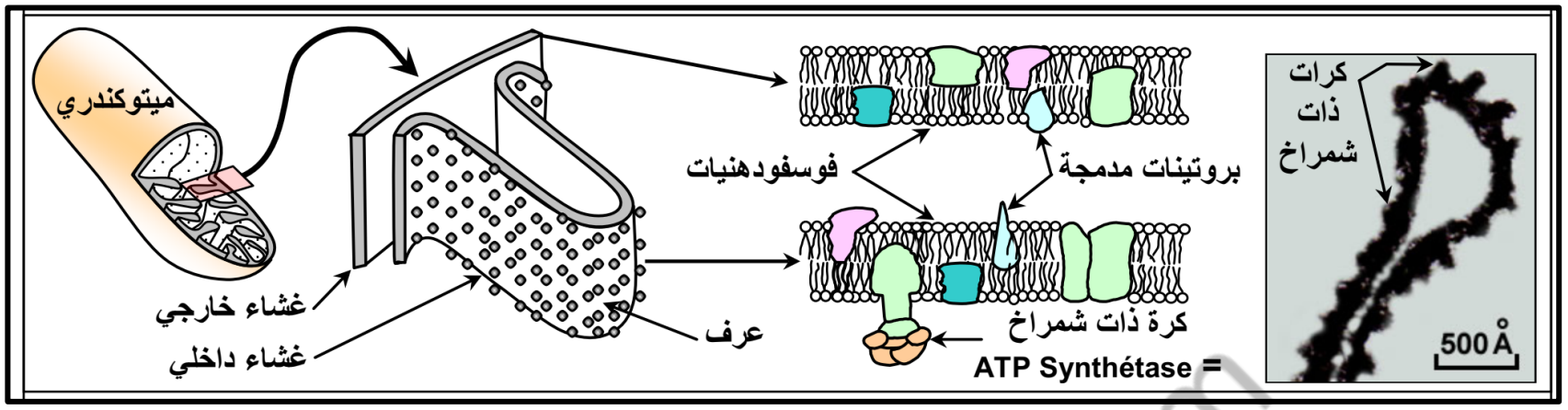
- الميتوكندريات عضيات خلوية توجد على مستوى جميع الخلايا النباتية والحيوانية (بإستثناء البكتيريات) ، حيث يساهم في تحويل الطاقة الكامنة في المادة العضوية الى طاقة كيميائية قابلة للإستعمال المباشر من طرف الخلية.

- الميتوكندري عضي خلوي مغلق محاط بغشائين متراكبين، يرسل الغشاء الداخلي عدة أعراف (crêtes) نحو الماتريس (مادة عديمة اللون غنية بأنزيمات وناقلة الإلكترونات).

- يشبه الغشاء الخارجي في بنيته الغشاء السيتوبلازمي، بينما يتميز الغشاء الداخلي بتوفره على مستوى الوجه الداخلي على كرات ذات شمرخ (مركبات أنزيمية مسؤولة على تفسفر ADP الى ATP).

رسم تخطيطي لبنية ومكونات الميتوكندري

Stechoila.com

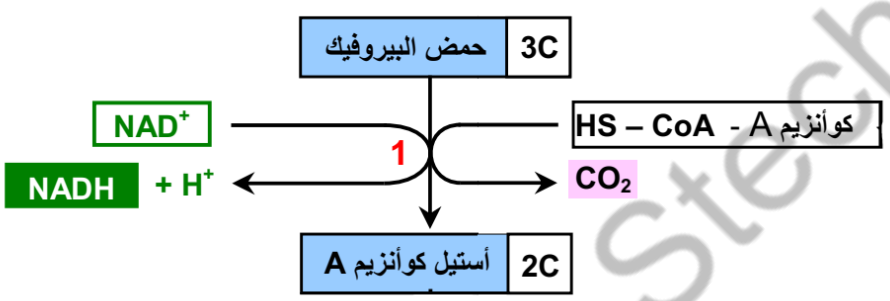


3) التأكسدات التنفسية ودورها في إنتاج الطاقة

بوجود الأكسجين ينتقل حمض البيروفيك إلى داخل الميتوكندري ويخضع لمجموعة من التفاعلات تسمى التأكسدات التنفسية.

تبدأ هذه التفاعلات في الماتريس حيث يتم الهدم الكلي لحمض البيروفيك عبر مراحل:

أ- **المرحلة الأولى:** مرحلة تكون أسيتيل كو-أنزيم A.



تحت تأثير أنزيمات نوعية مزيلة للهيدروجين والكربون يتكون الأسيتيل كو-أنزيم A في الماتريس إنطلاقا من حمض البيروفيك حسب التفاعل التالي:

$$CH_3CO-COOH + Co\text{-}AH + NAD^+ \longrightarrow CH_3CO-CoA + NADH_2 + CO_2$$

حمض البيروفيك — كوأنزيم A — أسيتيل كوأنزيم A

Stecholia.com

ب- المرحلة الثانية: دورة كريبس Krebs

يدخل الأسيتيل كو-أنزيم A في حلقة من التفاعلات يتم خلالها:

- تفاعلات إزالة الكربون وتحريره على شكل CO_2 (فضلات التنفس).
- تفاعلات إزالة الهيدروجين (H) الذي تستقبله مستقبلات الهيدروجين FAD^+ وNAD^+ (إختزالهم الى $FADH_2$ و$NADH+H^+$).
- تركيب ATP.

Remarques :

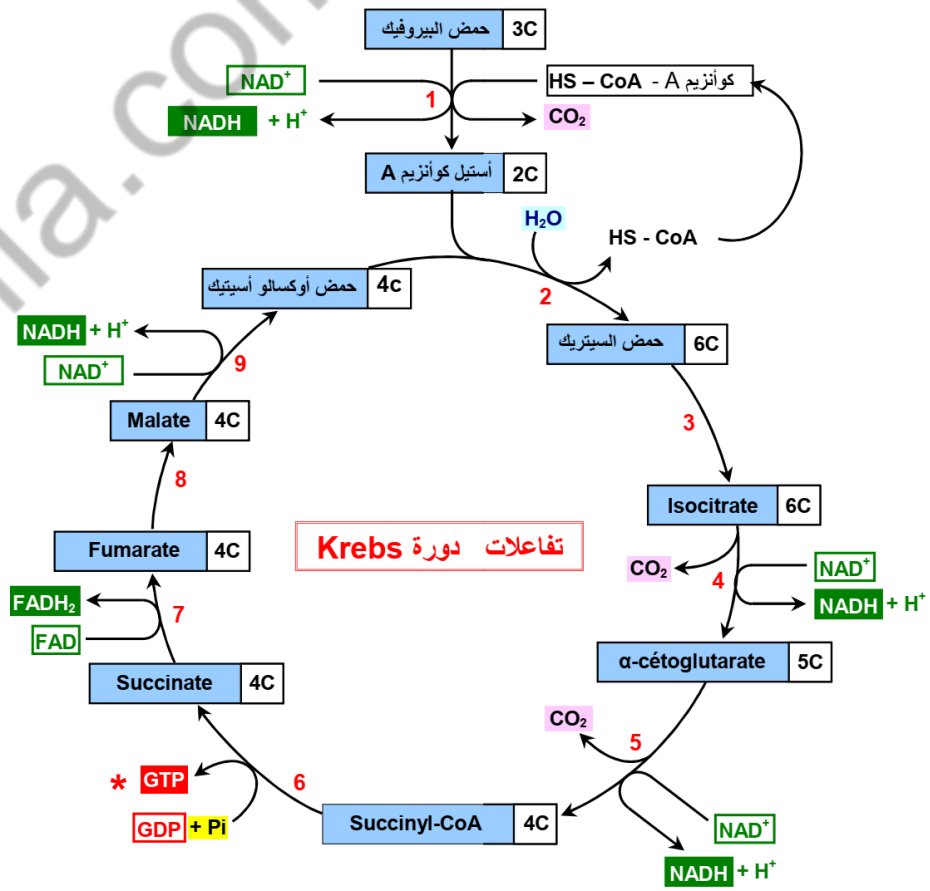
- Le nombre d'atomes de carbone de chaque type de molécule est indiqué dans le cadre blanc.
- * Chez les végétaux le GDP est remplacé par de l'ADP.

Enzymes impliquées

1. Pyruvate déshydrogénase
2. Citrate synthase
3. Aconitase
4. Isocitrate déshydrogénase
5. α-cétoglutarate déshydrogénase
6. Succinyl-CoA synthétase
7. Succinate déshydrogénase
8. Fumarase
9. Malate déshydrogénase

Noms des molécules

NAD$^+$: nicotine adénine dinucléotide
FAD : flavine adénine dinucléotide
GDP : guanosine 5'-diphosphate
GTP : guanosine 5'-triphosphate
HS – CoA : coenzyme A



Stecholia.com

التفاعل الإجمالي لهدم جزيئة واحدة من الأسيتيل CoA في حلقة كريبس:

$$CH_3\text{-}CO\text{-}CoA + 3NAD^+ + FAD^+ + ADP + P_i \longrightarrow CoA + 2CO_2 + 3NADH{+}H^+ + FADH_2 + GTP$$

- التفاعل الإجمالي لهدم جزيئة واحدة من حمض البيروفيك في الماتريس:

Équation bilan du cycle de Krebs à partir de l'acide pyruvique (= pyruvate)

$$CH_3\text{-}CO\text{-}COOH + 4\ NAD^+ + FAD + GDP + P_i + 3H_2O \rightarrow 3\ CO_2 + 4\ NADH + 4H^+ + FADH_2 + GTP \quad *$$

ت- المرحلة الثالثة: إختزال O_2 والتفسفر المؤكسد

يحدث التفسفر المؤكسد على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكندري حيث يتم تحويل الطاقة الكامنة في النواقل المختزلة $FADH_2$ و $NADH{+}H^+$ إلى طاقة كامنة في جزيئة ATP وقابلة للإستعمال من طرف الخلايا.

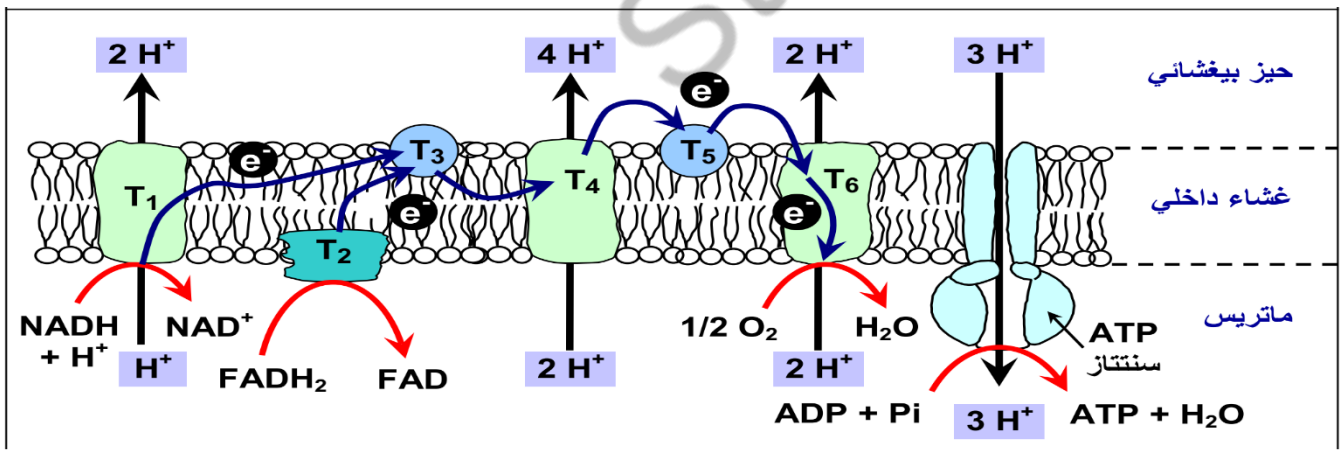
* السلسلة التنفسية:

توجد على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكندري مجموعة من البروتينات المدمجة (T1, T2, T3 ...) تشكل مايسمى السلسلة التنفسية.

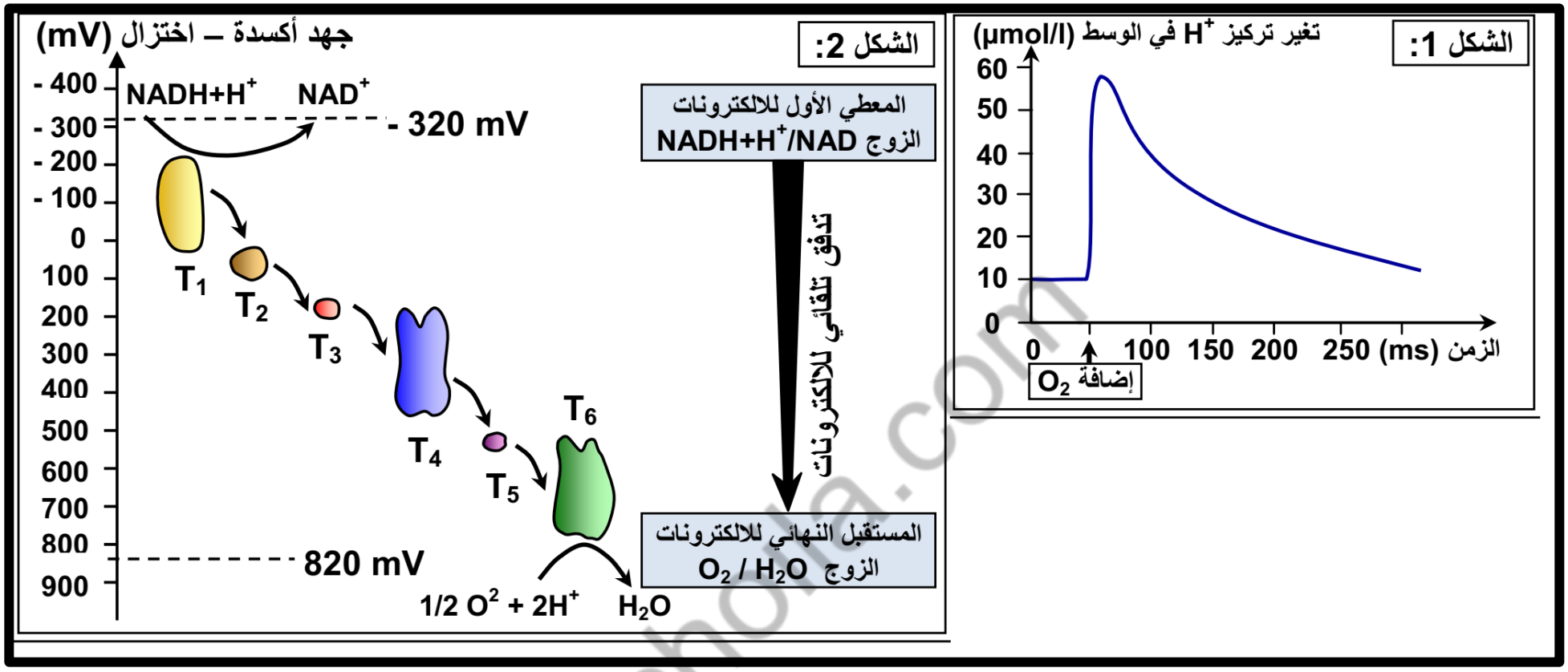
على مستوى هذه البروتينات تخضع $FADH_2$ و $NADH{+}H^+$ لإعادة الأكسدة حسب التفاعلين التاليين:

$$NADH{+}H^+ \longrightarrow NAD^+ + 2H^+ + 2e^-$$

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



Stecholia.com



تتدفق الإلكترونات المحررة عبر السلسلة التنفسية حسب جهد أكسدة-إختزال تصاعدي يسمى هذا التدفق بالأكسدة التنفسية، تستقبل الإلكترونات من طرف المستقبل النهائي للإلكترونات O_2 فينتج عن ذلك تكون جزيئة الماء:

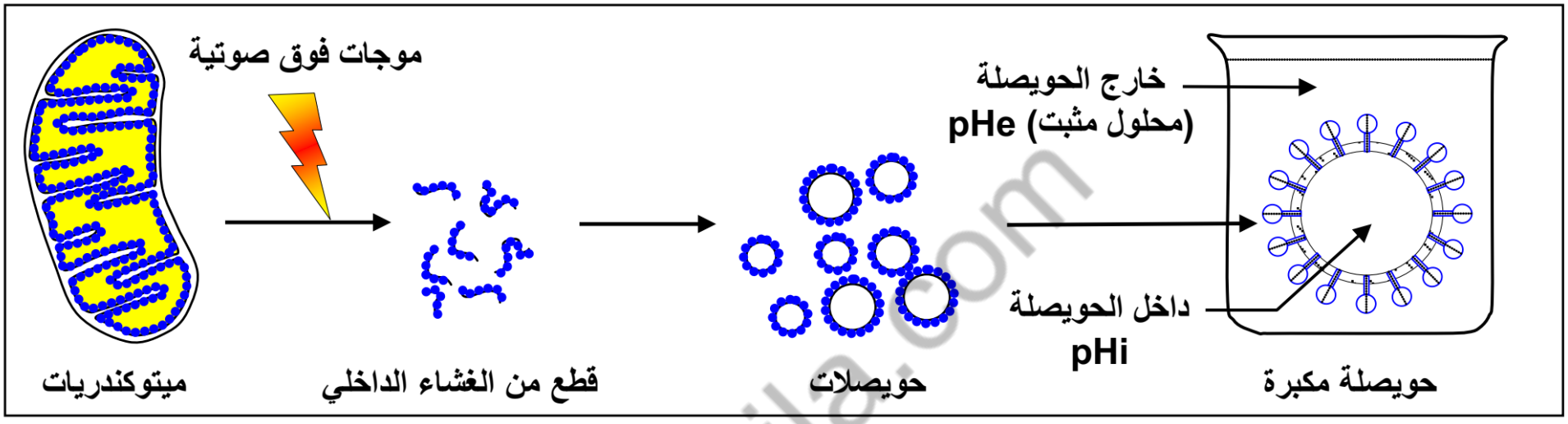
$$1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O$$

خلال إنتقال الإلكترونات عبر السلسلة التنفسية يتم تحرير طاقة تستعمل من أجل ضخ البروتونات H^+ من الماتريس نحو الحيز بيغشائي فينتج عن ذلك ممال للبروتونات (إختلاف تركيز H^+) من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكندري.

Stechoria.com

* التفسفر المؤكسد:

- تجربة



بعد عزلها تخضع الميتوكندريات لفعل الموجات فوق صوتية (Ultrasons) من ما يؤدي إلى تقطيعها وجعل أعراف الغشاء الداخلي تنقلب وتكون حويصلات مغلقة، تكون الكرات ذات شمرخ المرتبطة بها موجهة نحو الخارج.

توضع هذه الحويصلات بحضور ADP و Pi في محاليل مثبتة تختلف من حيث pH

- إذا كان pH الداخلي (pHi) أصغر من pH الخارجي (pHe) يلاحظ تفسفر ADP.
- إذا كان pH الداخلي (pHi) يساوي pH الخارجي (pHe) يلاحظ انعدام تفسفر ADP.
- عند إضافة DNP (2,4dinitrophénol) (مادة تجعل الغشاء الداخلي نفوذ للبروتونات H^+) يلاحظ توقف تفسفر ADP.

إنطلاقا من نتائج التجربة استنتج شروط تركيب ATP داخل الميتوكندري؟

تحليل المعطيات التجريبية:

يتبين من خلال النتائج التجريبية أن فسفرة ADP إلى ATP تتم على مستوى الكرات ذات شمرخ وتتطلب هذه الفسفرة وجود فارق في تركيز H^+ بين الحيز البيغشائي والماتريس حيث يفوق تركيزه في الحيز بيغشائي تركيزه في الماتريس.

Stechnila.com

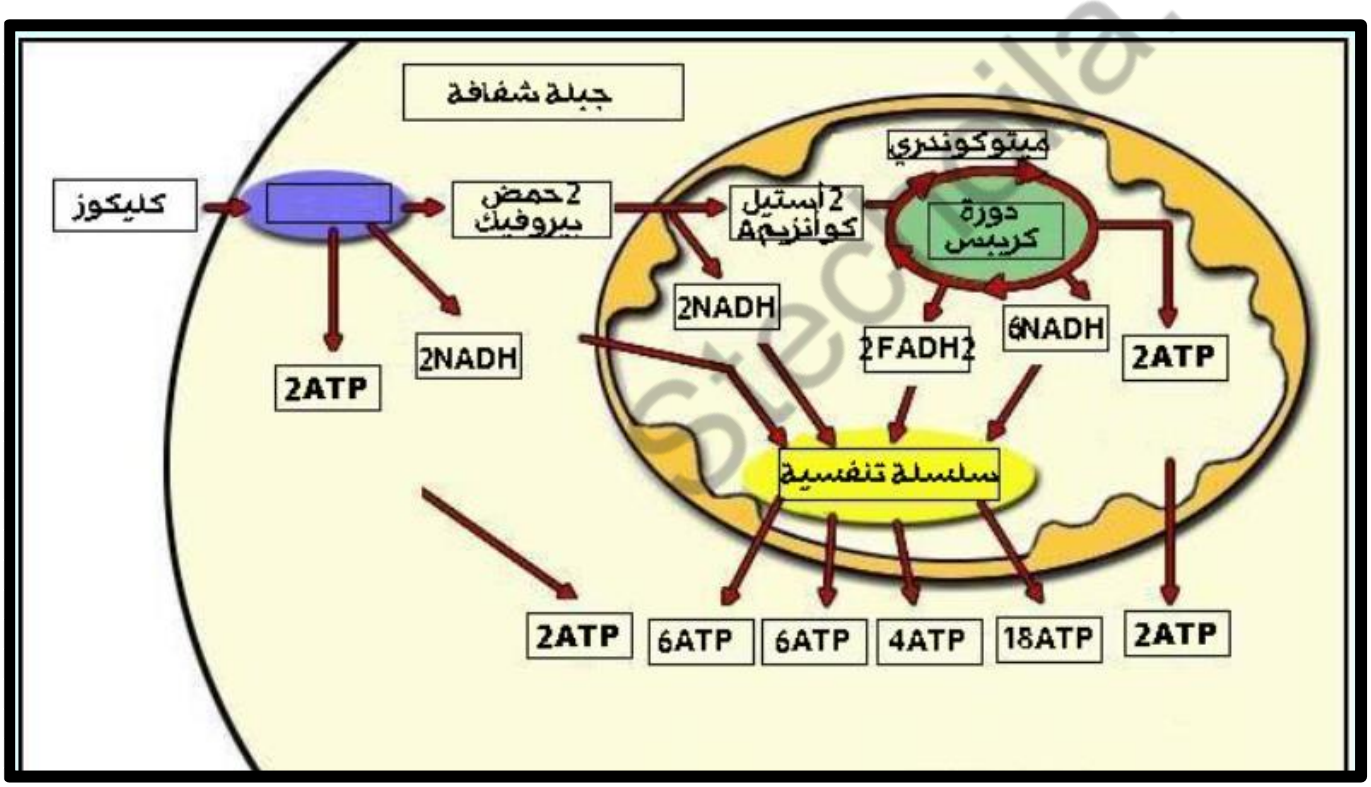
- الغشاء الداخلي للميتوكندري ضروري لإنتاج الATP فهو المسؤول عن خلق الفارق في تركيز H^+ بين الحيز البيغشائي والماتريس، هذا الفارق يعتبر ضروريا لفسفرة ADP إلى ATP من طرف الكرات ذات شمرخ.

- بفعل اختلاف تركيز H^+ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكندري تتدفق هذه البروتونات الى الماتريس عبر كرات ذات شمرخ والتي تستغل طاقة التدفق لإنتاج الATP من خلال تثبيت مجموعة فوسفاتية على جزيئة ADP تسمى هذه العملية التفسفر المؤكسد (Phosphorylation oxydative)

+ تأدي أكسدة ناقل الهيدروجين من نوع $NADH+H^+$ الى إنتاج 3ATP

+ تأدي أكسدة ناقل الهيدروجين من نوع $FADH_2$ الى إنتاج 2ATP

4) الحصيلة الطاقية للتنفس الخلوي



ان الأكسدة الكاملة لجزيئة الكليكوز تعطي:

* انحلال الكليكوز

2ATP

$2NADH+H^+$ ⇦ 3*2 ATP

* تكون الأسيتيل كو-أنزيم A

$2NADH+H^+$ ⇦ 3*2 ATP

* دورة كريبس Krebs

2ATP

$6NADH+H^+$ ⇦ 3*6 ATP

$2FADH_2$ ⇦ 2*2 ATP

الحصيلة الطاقية هي: 38ATP

ملحوظة 1:

نظريا نحصل على 38ATP لاكن في الواقع نحصل على 36ATP فقط لأن النواقل $NADH+H^+$ الناتجة في الجبلة الشفافة لا تدخل الى الميتوكندري ولكنها تعوض بنواقل $FADH_2$ بإستثناء خلايا القلب والكبد.

ملحوظة 2:

الكائنات ذات النواة غير الحقيقية Procaryote لا تتوفر على ميتوكوندريات، حيث يلعب غشائها دور الغشاء الداخلي للميتوكوندريات وبالتالي يتم إنتاج 38ATP في الوسط الحي-هوائي.

IV) التخمر

في غياب الأكسجين نظام نقل الإلكترونات لايعمل لذا يتحتم على الخلية إجاد طريقة أخرى لإعادة أكسدة $NADH+ H^+$ إنها ظاهرة التخمر، ويمكن أن نميز بين نوعين من التخمر:

* التخمر اللبني: يحدث التخمر اللبني داخل العضلة الهيكلية المخططة خلال مجهود عضلي طويل وعنيف، حيث يصبح تزويد العضلة بO_2 غير كافي في هذه الحالة يقوم حمض البيروفيك بإستقبال الإلكترونات والبروتونات فينتج عن ذلك أكسدة $NADH+ H^+$ وتكون 2 حمض اللبني:

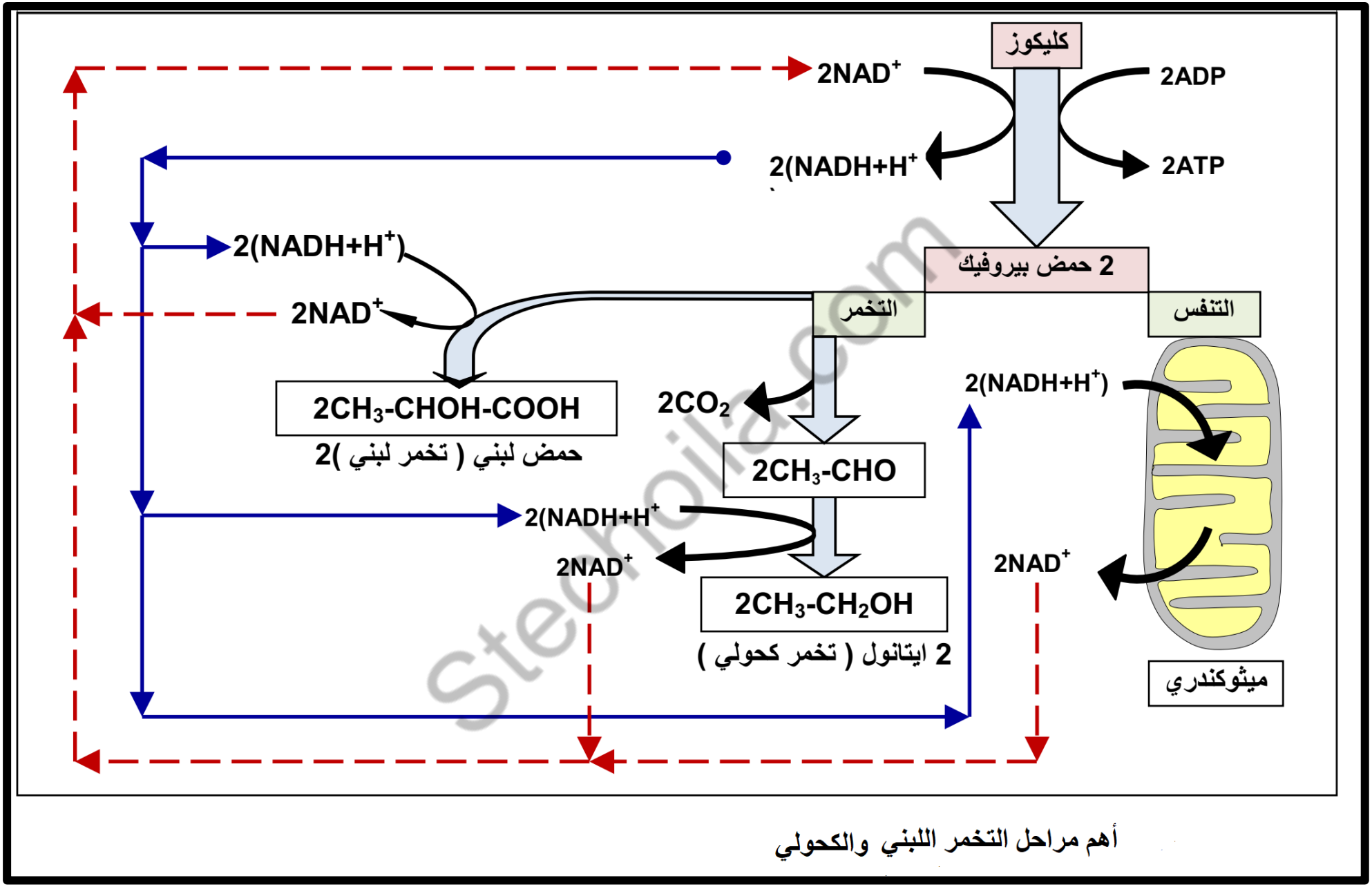
$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P_i \Rightarrow 2CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH + 2ATP$$

* التخمر الكحولي: نجد هذا النوع من التخمر عند الكائنات الحية مثل الخميرة وبعض البكتيريات، وخلاله يتم تحويل حمض البيروفيك الناتج عن إنحلال الكليكوز الى كحول إثيلي (الإثانول) مع أكسدة $NADH+H^+$ الى NAD^+ وطرح CO_2:

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P_i \Rightarrow 2CH_3\text{-}CH_2OH + 2CO_2 + 2ATP$$

الحصيلة الطاقية للتخمر هي إذا: 2ATP الناتجة عن انحلال الكليكوز

Stechola.com



أهم مراحل التخمر اللبني والكحولي

Stechnolia.com

V) مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس والتخمر

	التنفس	التخمر
الوسط	حي هوائي (غني بـ O_2)	حي لاهوائي (يفتقر للO_2)
على أي مستوى تتم الظاهرة	الجبلة الشفافة + الميتوكندري	الجبلة الشفافة
مراحل الظاهرة	- انحلال الكليكوز - تكون أستيل كو-أنزيم أ - دورة كريبس - التأكسدات التنفسية - التفسفر المؤكسد	- انحلال الكليكوز - إعادة أكسدة $NADH+H^+$ على مستوى حمض البيروفيك
الحصيلة الطاقية	38ATP	2ATP

- المردود الطاقي لكل من التنفس والتخمر

علما أن جزيئة واحدة من الكليكوز تخزن طاقة قيتمها 2860 kJ وجزيئة واحدة من ATP تحتوي على طاقة تقدر ب 30.5 kJ.

أحسب المردود الطاقي لكل من التنفس والتخمر؟

- المردود الطاقي للتنفس:

1ATP ⇨ 30.5 kJ

38ATP ⇨ ؟

38*30.5 = 1159 kJ

2860 kj ⇨ 100%

1159 kj ⇨ ؟

1159/2860 * 100 = 40.5 %

Stechnila.com

- المردود الطاقي للتخمر:

1ATP ⇨ 30.5 kJ

2 ATP ⇨ ؟

2*30.5 = 61 kJ

2860 kj ⇨ 100%

61 kj ⇨ ؟

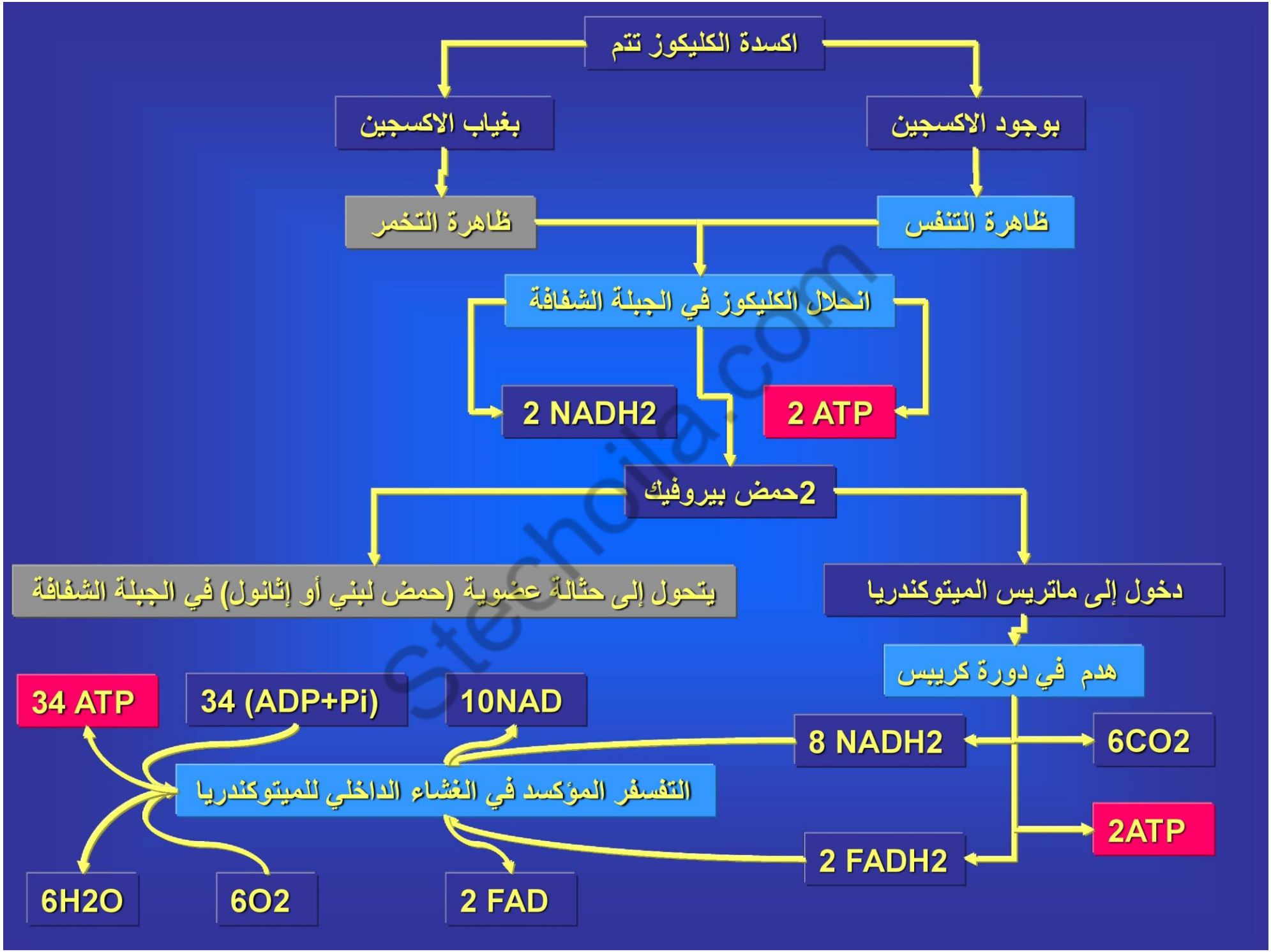
61/2860 * 100 = 2.1 %

المردود الطاقي للتنفس أكبر من التخمر لأن جزيئة الكليكوز تخضع خلال التنفس لهدم كلي أما خلال التخمر فيكون الهدم جزئيا، حيث تبقى كمية من الطاقة مخزنة داخل حثالة عضوية (حمض لبني او كحول) في كلتا الحالات لايتم تحويل كل الطاقة الكامنة في الكليكوز الى ATP على مستوى الخلية وإنما يضيع جزء هام منها على شكل حرارة.

خلاصة:

انجز خطاطة تركيبية تلخص من خلالها العلاقة بين مختلف التفاعلات المحررة للطاقة.

Stechola.com


اكسدة الكليكوز تتم
بغياب الاكسجين
بوجود الاكسجين
ظاهرة التخمر
ظاهرة التنفس
انحلال الكليكوز في الجبلة الشفافة
2 NADH2
2 ATP
2حمض بيروفيك
يتحول إلى حثالة عضوية (حمض لبني أو إثانول) في الجبلة الشفافة
دخول إلى ماتريس الميتوكندريا
هدم في دورة كريبس
34 ATP
34 (ADP+Pi)
10NAD
8 NADH2
6CO2
التفسفر المؤكسد في الغشاء الداخلي للميتوكندريا
2ATP
2 FADH2
6H2O
6O2
2 FAD