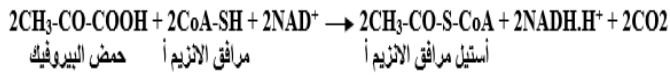


مراحل تفكك حمض البيروفيك (تفاعلات حلقة كريبس)

✓ المرحلة التحضيرية لحلقة كريبس:

- تتم على مستوى المادة الأساسية للميتوكوندري يحدث خلالها تحول حمض البيروفيك الى أستيل مرافق إنزيم أ.
- يتم خلال هذا التفاعل أكسدة ونزع كربوكسيل من حمض البيروفيك (تفاعل نزع كربوكسيل تأكسدية)، حيث الأكسدة يرافقها ارجاع NAD^+ الى $NADH.H^+$ ، ونزع الكربوكسيل ينتج عنه طرح CO_2 .
- يعتبر هذا التفاعل خطوة تحضيرية للمرحلة اللاحقة (حلقة كريبس) لذلك تدرج عادة مع حلقة كريبس.
- معادلة المرحلة التحضيرية:
جزئته غلوكوز واحدة تنتج 2 حمض بيروفيك ومنه المعادلة:



✓ تفاعلات حلقة كريبس:

- تتم على مستوى المادة الأساسية يدخل أستيل مرافق الإنزيم (أ) في سلسلة من التفاعلات وذلك خلال دورة كيموحيوية تدعى حلقة كريبس وذلك بتدخل مجموعة من الإنزيمات (نازعات الهيدروجين والكربوكسيل أو نازعات الهيدروجين فقط).
تتمثل اهم مراحل هذه الحلقة كما يلي:

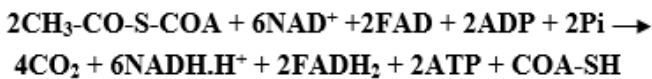
- 1-** تثبيت الأستيل مرافق الإنزيم أ مع مستقبل رباعي الكربون (4C) ليعطي مركب (6C) ويتحرر مرافق الإنزيم أ.
- 2-** تفاعل نزع كربوكسيل تأكسدية للمركب (6C) لينتج مركب (5C) مع ارجاع NAD^+ الى $NADH.H^+$ وطرح CO_2 .
- 3-** تفاعل نزع كربوكسيل تأكسدية للمركب (5C) لينتج مركب (4C) مع ارجاع NAD^+ الى $NADH.H^+$ وطرح CO_2 .
- 4-** تركيب ATP (فسفرة ADP).
- 5-** تفاعل نزع هيدروجين (أكسدة) لمركب (4C) مع ارجاع FAD الى $FADH_2$.
- 6-** تفاعل اماهة لمركب (4C) لينتج مركب اخر (4C).
- 7-** تفاعل نزع هيدروجين (أكسدة) لمركب (4C) مع ارجاع NAD^+ الى $NADH.H^+$ ويتم تجديد المركب (4C) الأول في الحلقة والذي يثبت الأستيل مرافق الإنزيم أ.

- تفاعلات حلقة كريبس: الوثيقة (2) ص 214.

- نتائج حلقة كريبس:

- * $2CO_2$ * ATP * $FADH_2$ * $3NADH.H^+$
- انطلاقا من جزئته غلوكوز واحدة ينتج 2 حمض بيروفيك ومنه 2 أستيل مرافق الإنزيم أ وبالتالي تحدث حلقتين.

- معادلة حلقة كريبس:



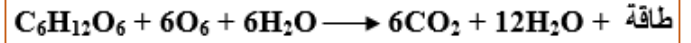
✓ الحصيلة الأولية للتحلل السكري وحلقة كريبس انطلاقا من

جزئته واحدة من الغلوكوز:

المرحلة	ATP	$NADPH.H^+$	$FADH_2$	CO_2
التحلل السكري من 1 غلوكوز	2	2	0	0
المرحلة التحضيرية من 2 حمض بيروفيك	0	2	0	2
حلقة كريبس من 2 أستيل مرافق إنزيم أ	2	6	2	4
المجموع	4	10	2	6

تذكير بالمكتسبات

- تعريف عملية التنفس: ظاهرة حيوية يتم فيها هدم المواد العضوية كليا في وجود O_2 ويتم خلالها تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في المادة العضوية إلى طاقة قابلة للاستعمال (ATP) تستخدم في مختلف وظائف الخلية، ومقرها الميتوكوندري.
- شروطها: يجب توفر الشروط التالية:
- الأكسجين O_2 . - مادة عضوية (غلوكوز). - انزيمات تنفسية.
- مظاهرها: تتمثل في: امتصاص O_2 وطرح CO_2 وهدم المادة العضوية، وتحرير طاقة على شكل ATP وحرارة.
- معادلة الاجمالية للتنفس:



مقر عملية التنفس

✓ وصف بنية الميتوكوندري:

- عضية ذات شكل بيضوي متطاوول محاطة بغلاف مكون من غشاءين خارجي وداخلي بينهما فراغ بين غشاءين، يبدي الغشاء الداخلي انتشاءات (امتدادات) الى الداخل تسمى الأعراف، ويحيط الغشاء الداخلي بسائل يسمى المادة الأساسية (الحشوة) والتي تحتوي على ADN ، ريبوزومات، حبيبات ادخارية.
- تمتاز الميتوكوندري ببنية حجيرية لأنها مقسمة الى حجرتين: * الفراغ بين الغشاءين: يحدده الغشاءان (الخارجي والداخلي). * الحشوة: يحددها الغشاء الداخلي للميتوكوندري.

- بنية الميتوكوندري: الوثيقة (3) ص 208.

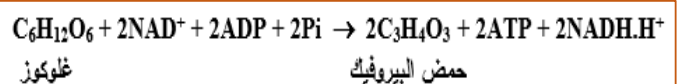
✓ التركيب الكيموحيوي للميتوكوندري:

- يبين التحليل الكيميائي لمكونات الميتوكوندري وجود اختلاف في التركيب الكيميائي بينها دليل على اختلاف وظائفها حيث: * يتكون الغشاء الداخلي والخارجي من بروتينات ودهم، لكن الغشاء الداخلي له نسبة مرتفعة من البروتينات تتمثل في (نازعات الهيدروجين، نواقل الالكترونات، مضخات البروتونات، كرات مذنب) بينما الغشاء الخارجي له نسبة اقل من البروتينات تتمثل في قنوات كبيرة تسمح بمرور الجزيئات بسهولة في الاتجاهين. وهذا يدل ان الغشاء الداخلي أكثر نشاط من الغشاء الخارجي.
- * تحتوي الغشاء الداخلي والمادة الأساسية على نازعات الهيدروجين مما يدل ان لهما دور في تفاعلات الأكسدة، كما تتكون المادة الأساسية من نازعات الهيدروجين والكربوكسيل غير الموجودة في الغشاء الداخلي، ومنه هناك اختلاف في نوعية التفاعلات التي تحدث في كل منهما.

- التركيب الكيميائي لعناصر الميتوكوندري: الوثيقة (5+4) ص 209.208.

التحلل السكري

- هي مرحلة تتم على مستوى الهيولى تحدث خلالها سلسلة من التفاعلات يتم فيها هدم الغلوكوز (6C) الى جزئتين من حمض البيروفيك (3C) والذي يعتبر المادة المستعملة من طرف الميتوكوندري التي لا يمكنها استعمال الغلوكوز مباشرة.
- يتم خلال هذه التفاعلات انتاج $2NADH.H^+$ و $2ATP$.
- يستمر هدم حمض البيروفيك في الميتوكوندري في وجود O_2 (تنفس)، بينما يتم هدمه في الهيولى في حالة غياب O_2 (تخمير).
- معادلة التحلل السكري:



- مراحل التحلل السكري: الوثيقة (4) ص 212.

التخمير

- ظاهرة حيوية تلجأ لها بعض أنواع الكائنات في غياب الاكسجين (وسط لاهوائي) حيث يتم هدم المادة العضوية جزئياً وينتج عن ذلك تحويل جزئي للطاقة الكيميائية الكامنة الموجودة فيها وتكون الطاقة الناتجة المحصل عليها ضئيلة مقارنة بالطاقة التي نتحصل عليها في وجود الأكسجين وله عدة أنواع أهمها:

* تخمر كحولي: تقوم به الخميرة.

* تخمر لبني: يحدث على مستوى العضلات عند القيام بجهد عضلي كبير من أجل توفير كمية إضافية من الطاقة للعضلات.

✓ مراحل التخمير الكحولي:

- التحلل السكري:

تكون مماثلة للتحلل السكري في التنفس وينتج عنه:

* 2 حمض البيروفيك.

* 2ATP .

* 2NADH.H⁺.

- تحول حمض البيروفيك الى كحول:

- تتم في الهبولى حيث يتم تحول حمض البيروفيك الى اسيتالدهيد ويرافقه طرح CO₂.

- تحول اسيتالدهيد الى كحول (ايثانول) ويرافقه اكسدة

NADH.H⁺ الى NAD⁺.

- مراحل التخمير الكحولي: مخطط ص 225.

- معادلة التخمير الكحولي:



✓ كيفية تجديد نواقل الهيدروجين خلال التنفس والتخمير:

- التخمير:

- يتم تجديد المرافق الإنزيمي NAD⁺ الذي تم إرجاعه خلال

عملية التحلل السكري بأكسدة NADH.H⁺ من خلال تحويل

أستالدهيد الى كحول في الهبولى لا يتطلب وجود O₂.

- التنفس:

- تجديد المرافقات الإنزيمية NAD⁺ و FAD التي تم إرجاعها في

التحلل السكري والمرحلة التحضيرية وحلقة كريبس عند حدوث

الفسفرة التأكسدية داخل الميتوكوندري وتتطلب وجود O₂.

مقارنة بين التنفس والتخمير:

مقارنة بين التنفس والتخمير	
التخمير	التنفس
- مرحلة التحلل السكري: تحول جزيئة غلوكوز الى 2 حمض بيروفيك في الهبولى.	- مرحلة التحلل السكري: تحول جزيئة غلوكوز الى 2 حمض بيروفيك في الميتوكوندري ويتم استخدامه في الأكسدة التنفسية (حلقة كريبس + الفسفرة التأكسدية).
- بقاء حمض البيروفيك في الهبولى ويتحول الى مادة عضوية جديدة حسب نوع التخمير (كحول، حمض).	- تتم في وجود O ₂ .
- تتم في غياب O ₂ .	- هدم كلي للمادة العضوية.
- هدم جزئي للمادة العضوية.	- إنتاج مواد معدنية (H ₂ O.CO ₂) خالية من الطاقة الكامنة.
- إنتاج CO ₂ ومادة عضوية جديدة (كحول، حمض اللبن) تحوي طاقة كامنة.	- إنتاج كمية كبيرة من الطاقة 38ATP (تحرير كلي للطاقة).
- إنتاج كمية قليلة من الطاقة 2ATP (تحرير جزئي للطاقة).	
	خلال كلا الظاهرتين جزء من الطاقة المحررة ينتشر على شكل حرارة.

الفسفرة التأكسدية

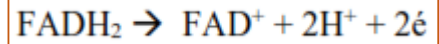
■ تتم على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري يحدث خلالها أكسدة النواقل المرجعة (المرافقات الإنزيمية المرجعة) وهي NADH.H⁺ و FADH₂، كما يتم فسفرة ADP لتركيب ATP، لذلك سميت الفسفرة التأكسدية.

✓ آلية الفسفرة التأكسدية:

- أكسدة المرافقات الإنزيمية المرجعة:

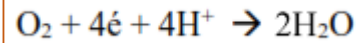
- تحتوي المرافقات الإنزيمية المرجعة الناتجة من التحلل السكري وتفاعلات حلقة كريبس على إلكترونات عالية الطاقة (كمون أكسدة/ارجاع منخفض).

- أكسدة هذه المرافقات يعطي إلكترونات و بروتونات H⁺.



- الإلكترونات الناتجة تنتقل عبر سلسلة من النواقل موجودة في الغشاء الداخلي (T5.T4.T3.T2.T1) وتسمى السلسلة التنفسية ويكون انتقاله تلقائي من كمون منخفض الى كمون مرتفع.

- تصل الإلكترونات الى المستقبل الأخير وهو O₂ الذي يرتبط أيضا مع بروتونات من الحشوة ويتم إرجاعه الى ماء H₂O.



- فسفرة ADP الى ATP:

- أثناء انتقال الإلكترونات في السلسلة التنفسية يتم تحرير طاقة من هذه الإلكترونات المنقولة، ويستخدم جزء منها في ضخ H⁺ من

المادة الأساسية الى الفراغ بين الغشائين (نقل فعال) عبر بعض

النواقل التي تلعب دور مضخات (T5.T3.T1) ونظرا لوجود

قنوات البورينات في الغشاء الخارجي فان H⁺ تخرج كذلك خارج الميتوكوندري، ويؤدي هذا الى احداث فرق في H⁺ حيث يصبح

مرتفعا في الخارج ومنخفض في المادة الأساسية.

- تعود H⁺ من الخارج الى المادة الأساسية عبر الكرات المذنبة

وفق تدرج التركيز (الميز) مؤدية الى تحفيز انزيم ATP سنتاز

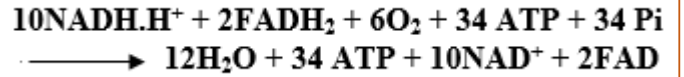
على فسفرة ADP لتركيب ATP.

- آلية الفسفرة التأكسدية: الوثيقة (4) ص 216.

- معادلة الفسفرة التأكسدية:

- أكسدة NADH.H⁺ ينتج عنه تركيب 3ATP.

- أكسدة FADH₂ ينتج عنه تركيب 2ATP.



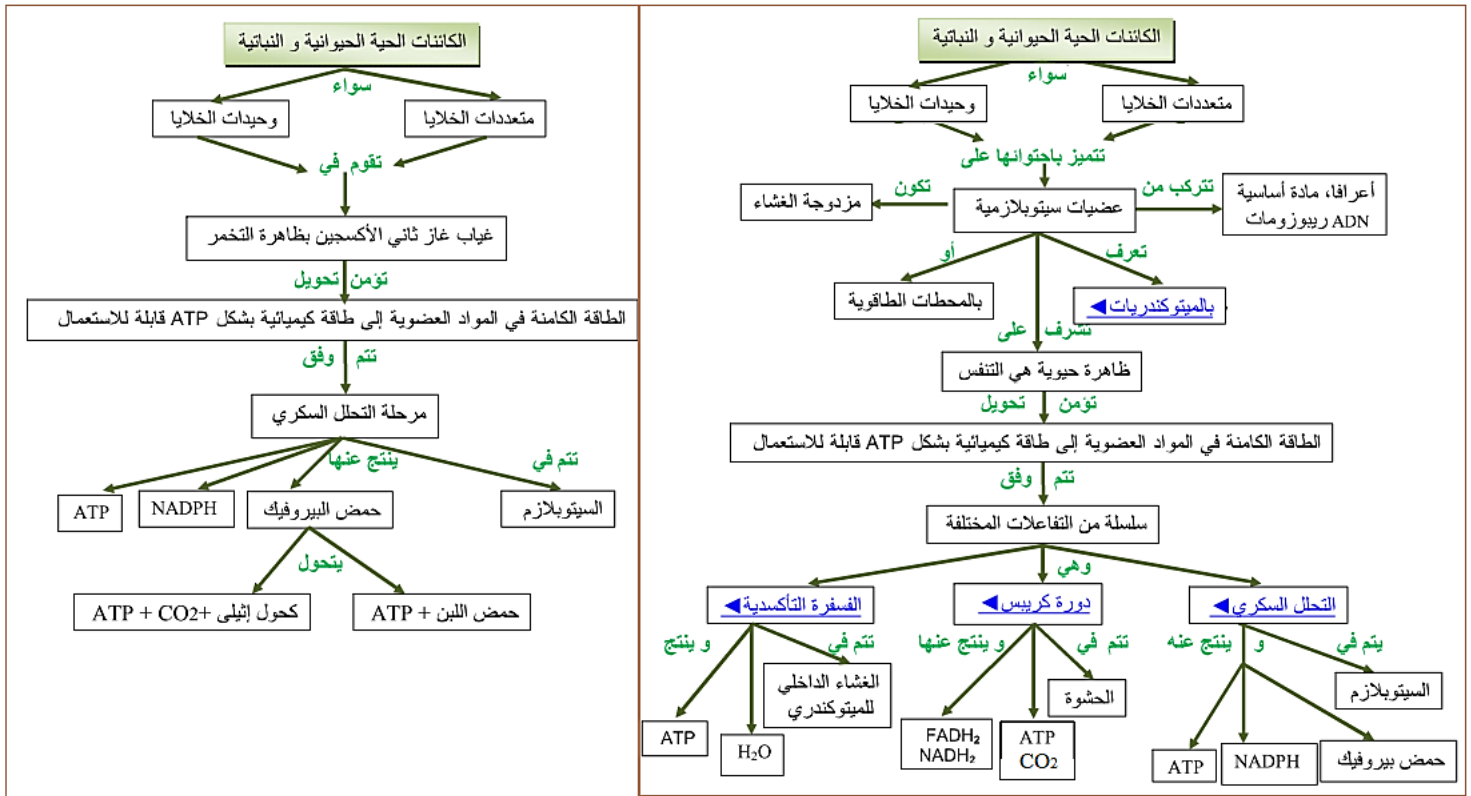
✓ حساب الحصيلة الطاقوية الاجمالية (ATP) الناتجة من هدم

جزيئة غلوكوز واحدة:

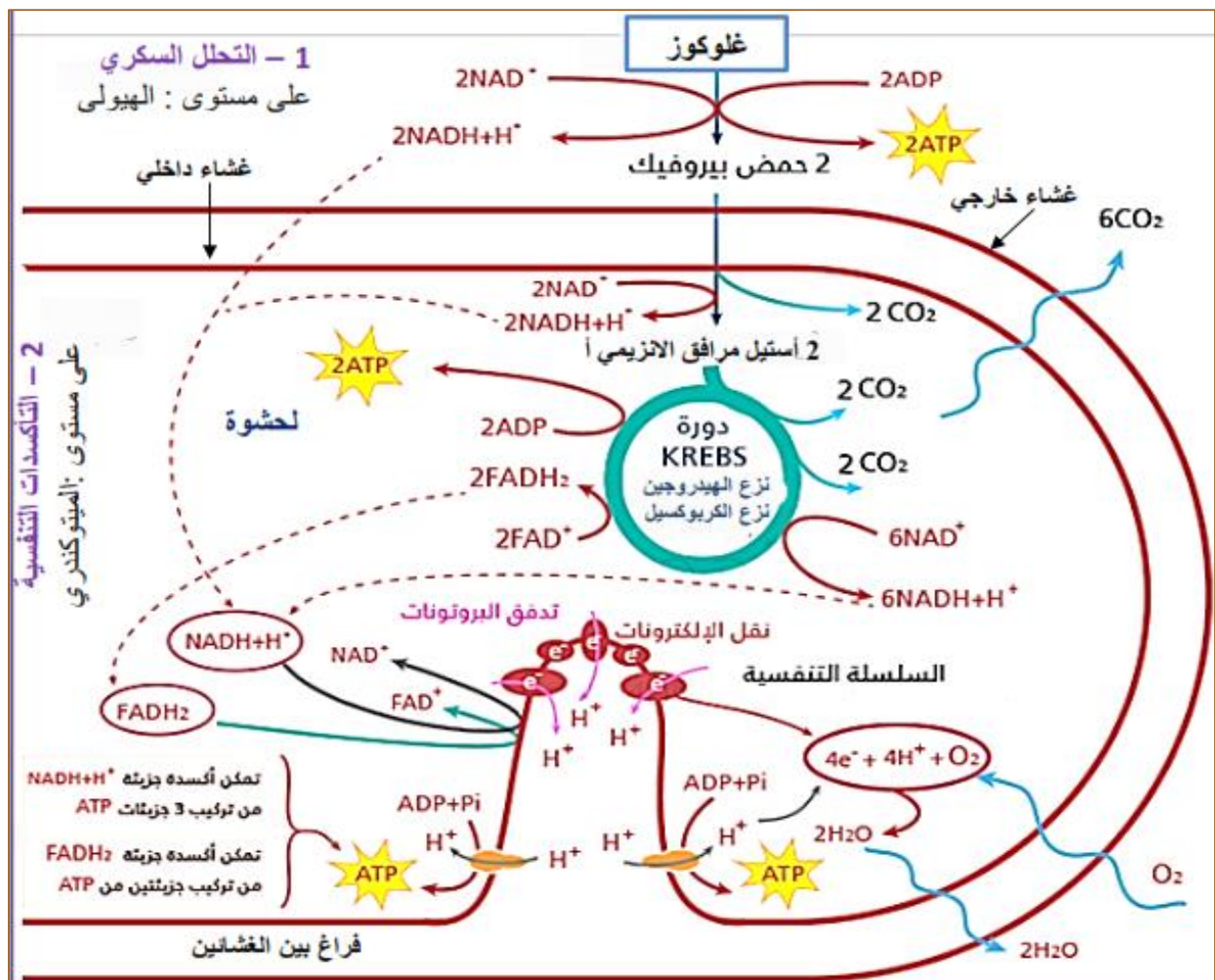
المرحلة	ATP	NADH.H ⁺	FADH ₂
التحلل السكري	2	2	0
المرحلة التحضيرية	0	2	0
حلقة كريبس	2	6	2
الفسفرة التأكسدية	0	أكسدة 10 NADH.H ⁺	أكسدة 2 FADH ₂
حصيلة عدد ATP	4	30	4
الحصيلة الإجمالية	38ATP		

* مخطط تحصيلي لمراحل ظاهرة التنفس: مخطط ص 224 *

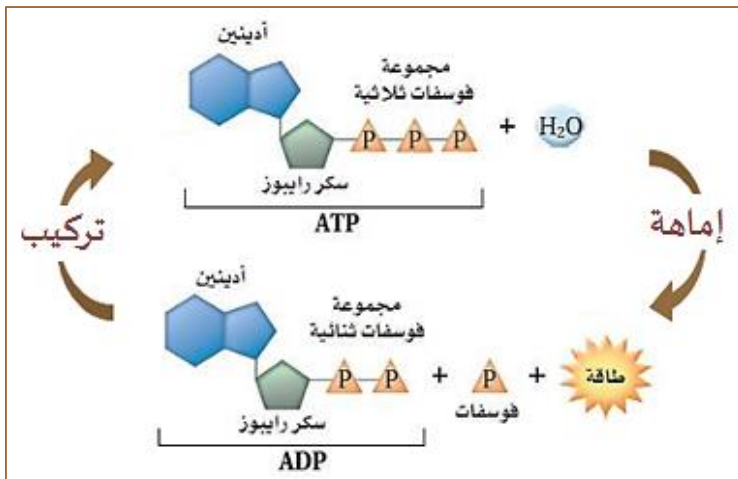
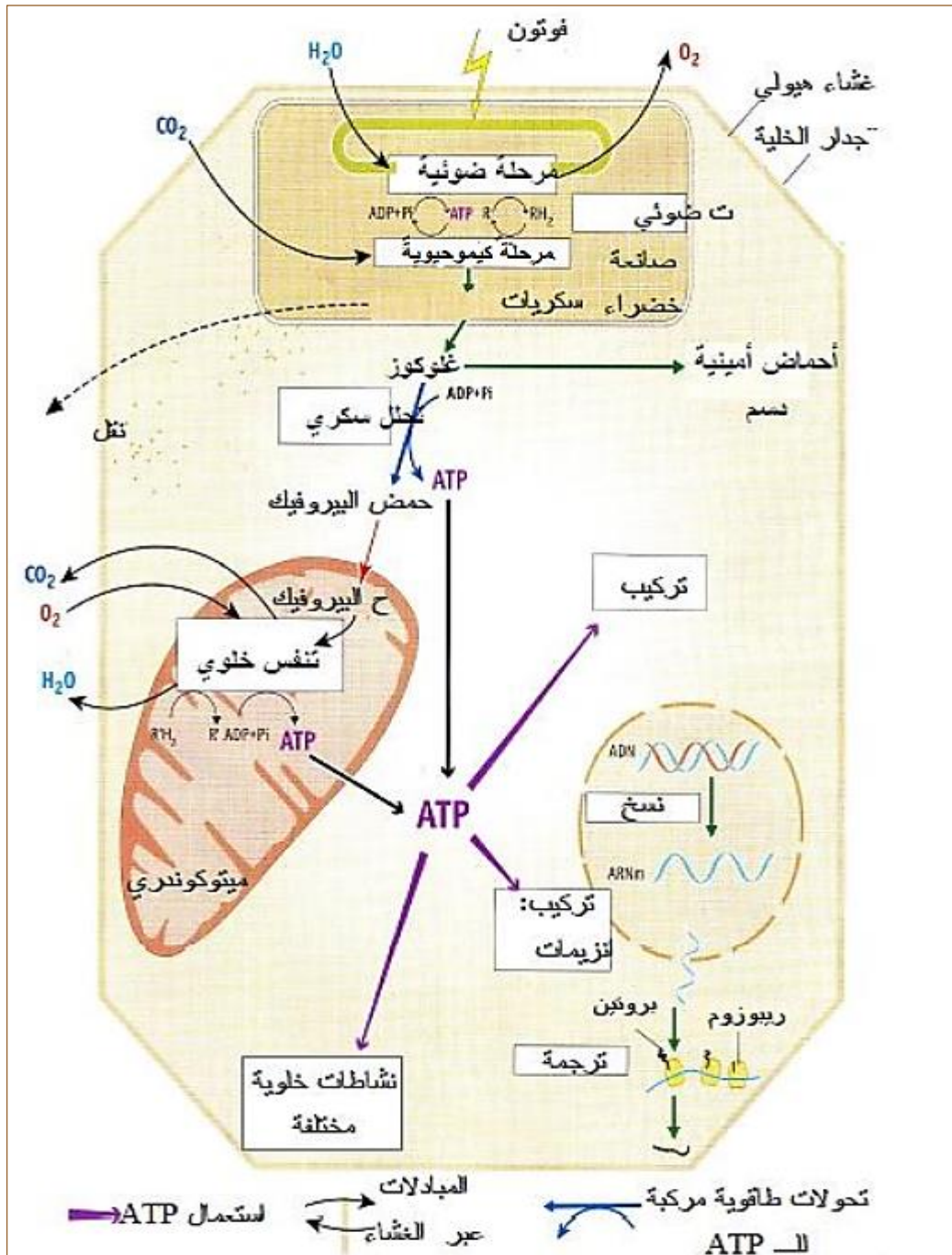
- مخططات تحصيلية توضح آليات تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة الى طاقة قابلة للاستعمال ATP -



- رسم تخطيطي وظيفي يوضح مراحل عملية التنفس -



- رسم تخطيطي تحصيلي يوضح مختلف التحولات الطاقوية على المستوى الخلوي -



تتكون جزيئة ATP من قاعدة ازوتية (أدينين A) وسكر ريبوز و3 مجموعات فوسفاتية، ويعتبر ATP مركب غني بالطاقة لاحتوائه على رابطتين غنيتين بالطاقة، عند امامة ATP يتم تفكيك الرابطة الأخيرة وينتج ADP+Pi ويتم تحرير طاقة تستعمل في العديد من الوظائف الحيوية على المستوى الخلوي منها: البناء الحيوي، الحركة، النقل الفعال، المحافظة على حرارة الجسم.