التنفس الهوائي

أحياء الصف الثاني عشر

الأهداف

4-6 يذكر مكان حدوث كل مرحلة من مراحل التنفس الهوائي الأربع في الخلايا حقيقية النواة:

- التحلل السكري في السيتوبلازم
- التفاعل الرابط في حشوة الميتوكندريا
- دورة كربس في حشوة الميتوكندريا
- الفسفرة التأكسدية على غشاء الميتوكندريا الداخلي.

5-6يلخص التحلل السكري على أنه فسفرة الجلوكوز والانشطار اللاحق للفركتوز 1، 6 -ثنائي الفوسفات) 6 Cإلى جزيئَي تريوز فوسفات) 3) Cاللذين يتأكسدان إلى جزيئي بيروفات) 3) C، مع إنتاج ATP و NAD المُخْتَزَل.

6-6يشرح أنه عند توافر الأكسجين يدخل جزيء البيروفات إلى الميتوكندريا للمشاركة في التفاعل الرابط.

7-6يصف التفاعل الرابط، بما في ذلك دور مرافق الإنزيم A في نقل مجموعات الأستيل) 2.) C

8-6يلخص دورة كربس، شارحًا أن أكسالوأسيتات 4Cيعمل كمستقبل ل) 2) Cمن أستيل مرافق إنزيم A لتكوين السيترات) 6) C، والذي سيتحول مرة أخرى في سلسلة من الخطوات الصغيرة إلى أكسالوأسيتات.

الأهداف

6-9يشرح أن التفاعلات في دورة كربس تتضمن:

- نزع الكربوكسيل
- نزع الهيدروجين
- اختزال مرافقي الإنزيم NAD وFAD
- فسفرةADP.

6-10يصف دور NAD و FAD في نقل الهيدروجين إلى نواقل في غشاء الميتوكندريا الداخلي.

6-11يشرح أنه أثناء الفسفرة التأكسدية:

- تنشطر ذرات الهيدروجين إلى بروتونات وإلكترونات عالية الطاقة
- تطلق الإلكترونات عالية الطاقة أثناء مرورها طاقةً عبر سلسلة نقل الإلكترون
- تُستخدم الطاقة المنطلقة لنقل البروتونات عبر غشاء الميتوكندريا الداخلي
- تعود البروتونات إلى حشوة الميتوكندريا عن طريق الانتشار المسهل من خلال ATPسينثيز الأمر الذي يوفر الطاقة ATP
- يعمل الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات لتكوين الماء.

التنفس الهوائي هو العملية التي تتفكك فيها الجزيئات العضوية في سلسلة من المراحل لإطلاق الطاقة الكامنة

ما هو الجزيء الرئيسي الذي يستخدم في التنفس الهوائي؟

الكربوهيدرات

في الغالب يكون جلوكوز مثل خلايا الدماغ

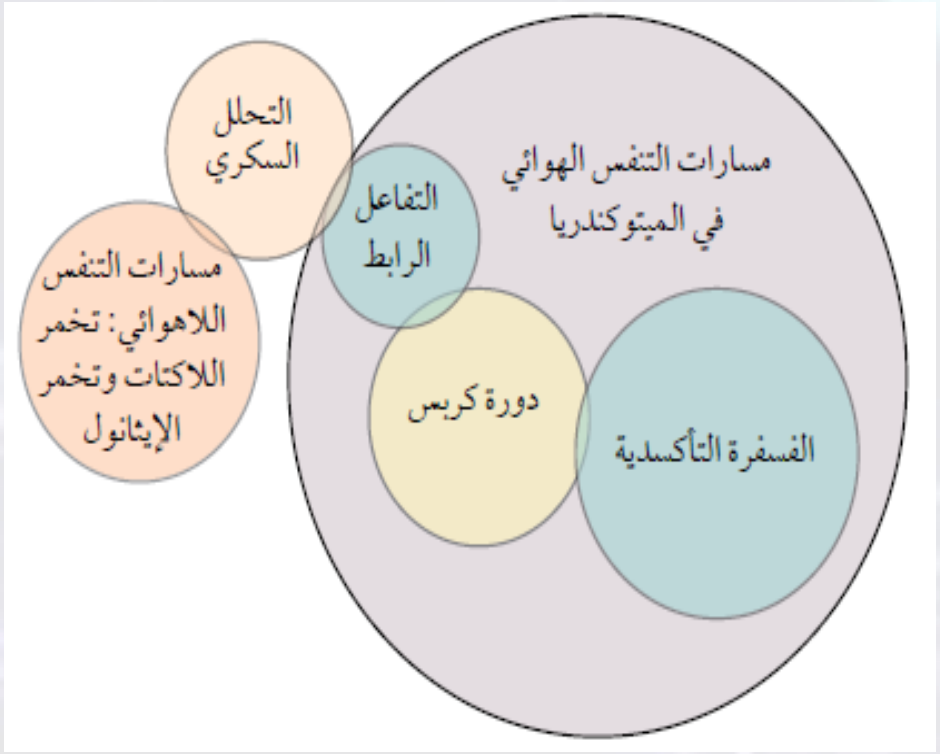
لكن يمكن استخدام والأحماض الأمينية والجليسرول الاحماض الدهنية كما

خلايا العضلات

التنفس الهوائي

يقسم تفكيك الجلوكوز إلى 4 مراحل

- التحلل السكري
- التفاعل الرابط
- دورة كربس
- الفسفرة التأكسدية



الشكل ٦-٣ موقع مسارات عملية التنفس في الخلية. في التنفس الهوائي يحدث التحلل السكري في السيتوبلازم، ويحدث التفاعل الرابط ودورة كربس، والفسفرة التأكسدية داخل الميتوكندريا. يتضمن التنفس اللاهوائي مسارات أخرى تحدث في السيتوبلازم.

التحلل السكري

هي مرحلة انشطار الجلوكوز

المرحلة الاولى

مكان حدوثها

السيتوبلازم

ما هو التحلل السكري؟

- سلسلة من التفاعلات تنتهي بانشطار الجلوكوز سداسي الكربون إلى جزيئين ثلاثي الكربون
- ومن المدهش أن بداية الانشطار السكري يستخدم الطاقة بدلا من انتاجها.
- يتم انتاج الطاقة واطلاقها في الخطوات التالية، انتاج الطاقة أكثر مما استهلك بمعدل صافي 2ATP.

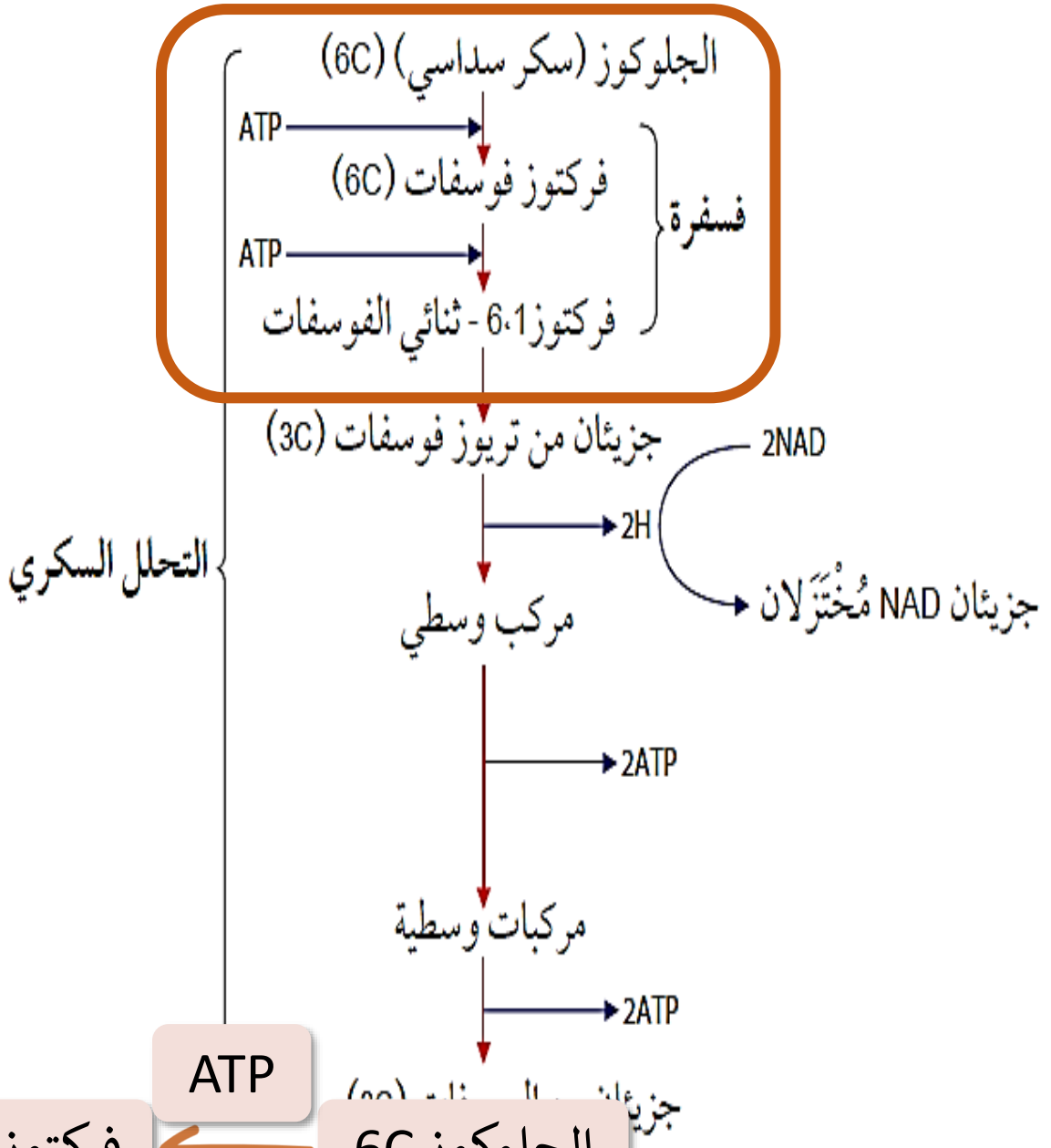
الجلوكوز 6C ← 2 بيروفات 3C

التحلل السكري

الخطوة الأولى تسمى الفسفرة

حيث يتم نقل مجموعات فوسفات لجزيء الجلوكوز من ATP لرفع مستوى الطاقة للجلوكوز للخطوات القادمة

يستخدم جزيئان ATP لتحلل الجلوكوز



الجلوكوز 6C ← ATP ← فركتوز فوسفات ← ATP ← فركتوز 1-6 ثنائي فوسفات

الشكل ٦-٤ سلسلة الخطوات في التحلل السكري. تحدث جميع هذه الخطوات في سيتوبلازم الخلية.

المرحلة 1

التحلل السكري

الجلوكوز 6C ← ATP ← فركتوز فوسفات ← ATP ← فركتوز 1-6 ثنائي فوسفات

ينشطر

2 تريوز فوسفات 3C

أكسدة

نزع H و e من تريوز الفوسفات

نيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد NAD

اختزال

إضافة H و e لNAD

ينتج 2NAD المختزل

المرحلة 1

التحلل السكري

فسفرة مرتبطة بمادة التفاعل

2 تريوز فوسفات 3C

مركب وسطي

نقل

فوسفات

إلى

ADP

ينتج

4ATP

بيروفات

الخطوة الأولى

بسبب استهلاك 2ATP

ينتج 2ATP طاقة صافية

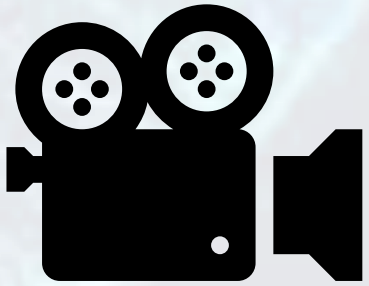
توفر الأكسجين

ينتقل لحشوة الميتوكندريا بالنقل النشط

عدم توفر الأكسجين

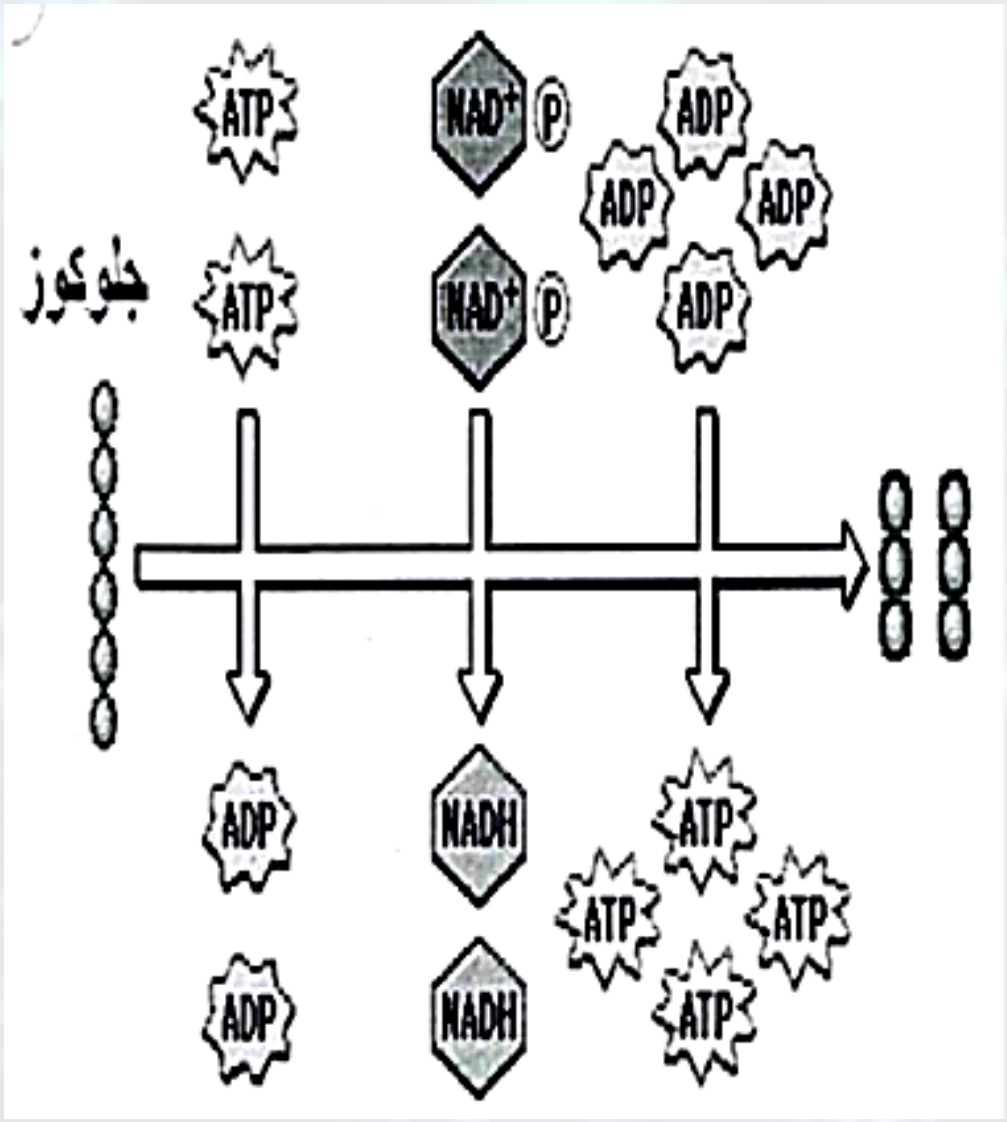
مسار التنفس اللاهوائي

التحلل السكري



https://www.youtube.com/watch?v=uoEaEnbX4I0

تفقد تقدمك



يوضح المخطط المقابل إحدى مراحل التنفس الخلوي.

أ- ما اسم المرحلة التي يوضحها المخطط المقابل ؟

التحلل السكري

ب-كم العدد الصافي من جزيئات ATP الناتجة من هذه المرحلة ؟

2 ATP

المرحلة 2

التفاعل الرابط

عند وصول البيروفات حشوة الميتوكندريا تنزع الإنزيمات منه ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين

إزالة ثاني أكسيد الكربون يسمى نزع الكربوكسيل

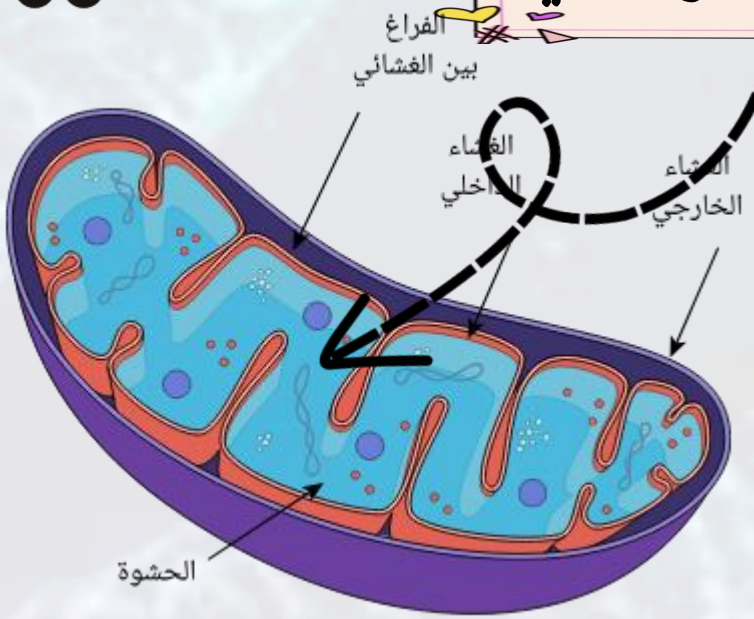
إزالة الهيدروجين يسمى نزع الهيدروجين

بيروفات 3C ← أستيل 2C ← يرتبط بالمرافق coA ← أستيل coA

أستيل 2C ← NAD ← NAD المختزل

أستيل 2C ← نزع الهيدروجين

حشوة الميتوكندريا



لماذا يسمى بالتفاعل الرابط؟

لأنه يربط التحلل السكري بدورة كربس

المرحلة 2

التفاعل الرابط

المرافق coA

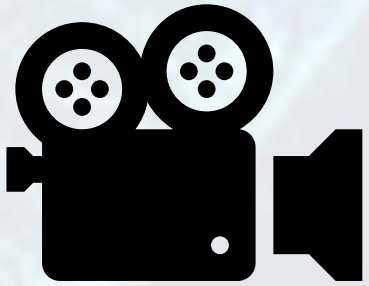
عبارة عن نيوكليوسيد يتكون من أدنين ورايبوز مرتبط بفيتامين البانتوثينيك B5 ضروري لتحفيز التفاعل

لا يشارك في التفاعل نفسه وإنما ينقل مجموعة الأستيل الضرورية لأول خطوة في دورة كربس

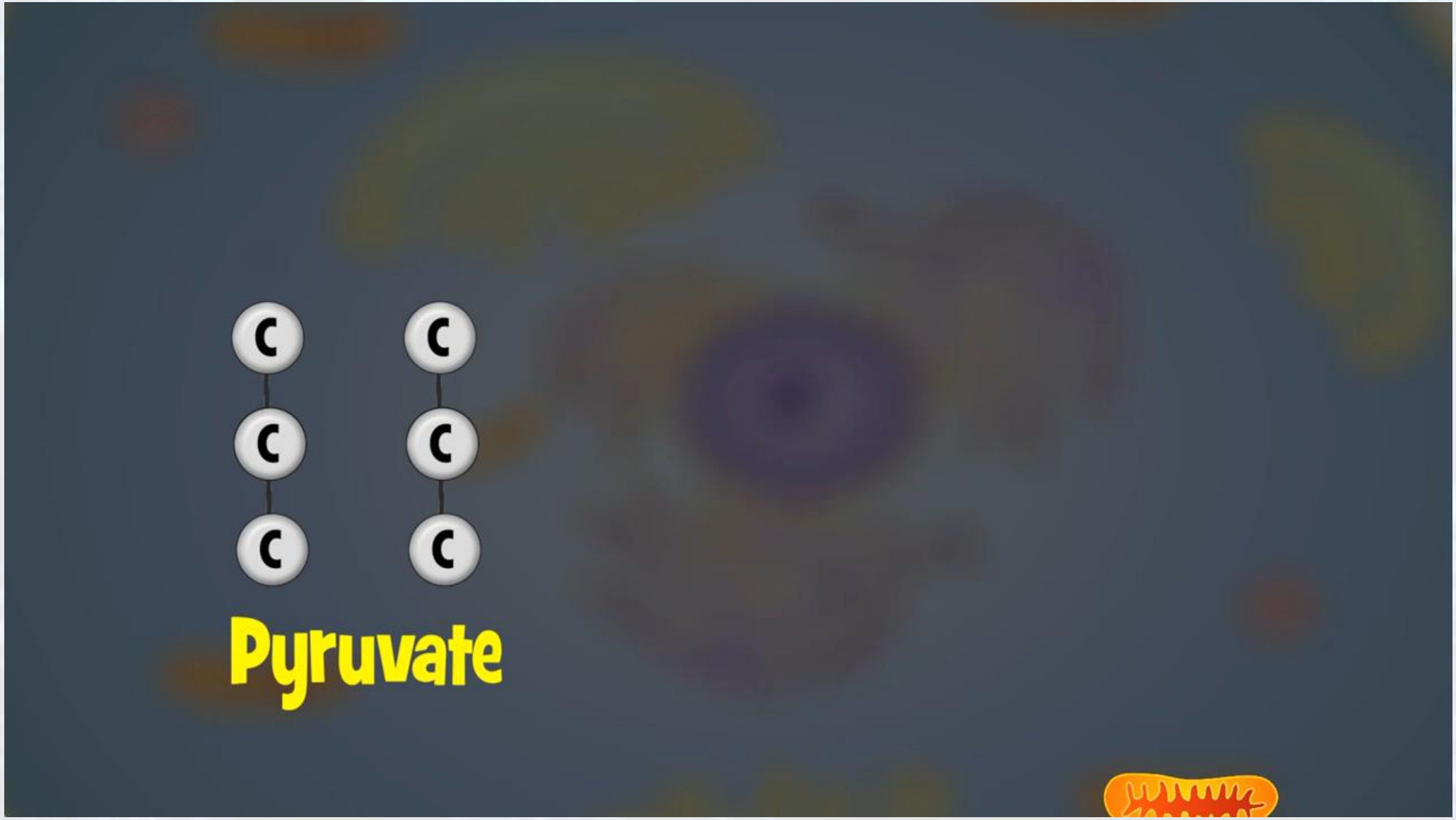
ملخص التفاعل الرابط

NAD المُختَزَل + ثاني أكسيد الكربون + أستيل CoA ⟶ CoA + NAD + البيروفات

التفاعل الرابط

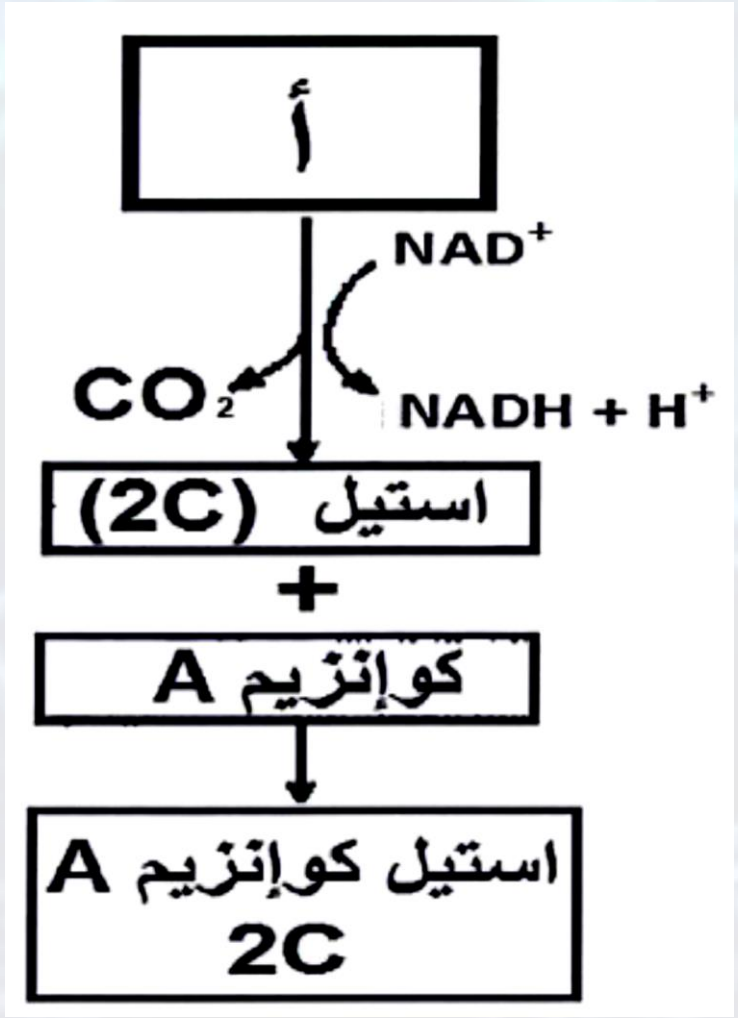


https://www.youtube.com/watch?v=78YEo1BlhuM


C
C
C
C
C
C
Pyruvate

تفقد تقدمك

)يوضح المخطط المقابل إحدى مراحل التنفس الخلوي.



أ-كم عدد ذرات الكربون في المركب (أ) ؟ 3 ذرات

ب-ما العملية التي أدت إلى تحرر غاز CO2 ؟ نزع الكربوكسيل

ج- ماذا تسمى هذه المرحلة من التنفس الخلوي؟

التفاعل الرابط

المرحلة 3

دورة كربس

دورة كربس

سميت باسم هانس كربس

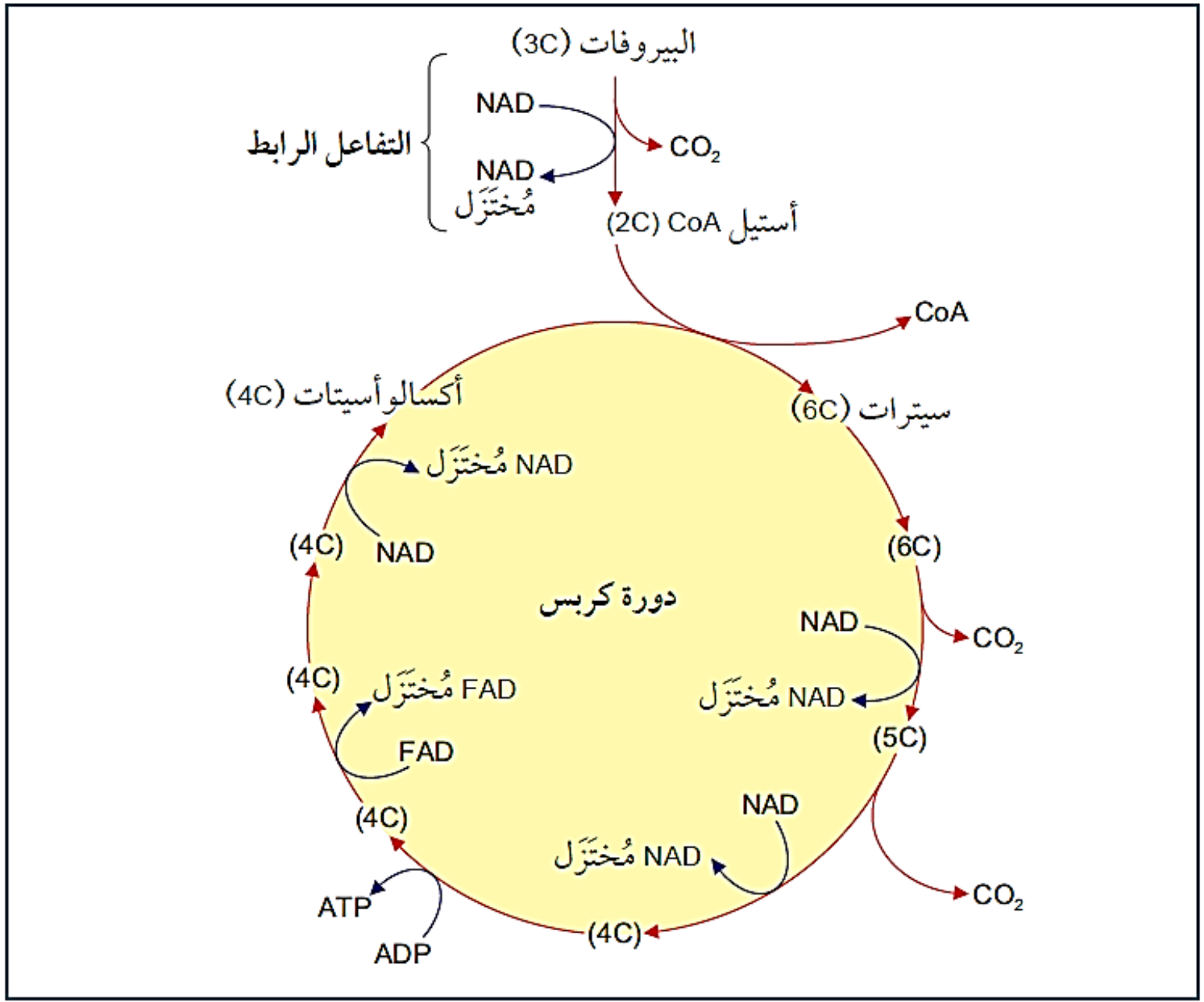
مكان حدوثها

حشوة الميتوكندريا

هي مسار حلقي للتفاعلات وتتحكم بها الإنزيمات

تسمى دورة كربس بدورة حمض الستريك

دورة كربس


البيروفات (3C)
NAD
CO_2
التفاعل الرابط
NAD
مُختزَل
أستيل CoA (2C)
CoA
أكسالوأسيتات (4C)
سيترات (6C)
مُختزَل NAD
(4C)
NAD
(6C)
دورة كربس
NAD
CO_2
(4C)
مُختزَل FAD
مُختزَل NAD
(5C)
FAD
NAD
(4C)
مُختزَل NAD
CO_2
ATP
ADP
(4C)

المرحلة 3

دورة كربس

يرتبط أستيلcoA مع أكسالوأسيتات4C لتكوين السيترات 6C)

إطلاق H ← يستقبل في NAD

يُنزع الكربوكسيل والهيدروجين من السيترات في سلسلة من الخطوات

إطلاق CO2

يعاد تكوين أكسالوأسيتات4C ليرتبط مع أستيل coA

يرتبط أستيلcoA مع أكسالوأسيتات4C لتكوين السيترات 6C)

المرحلة 3

دورة كربس

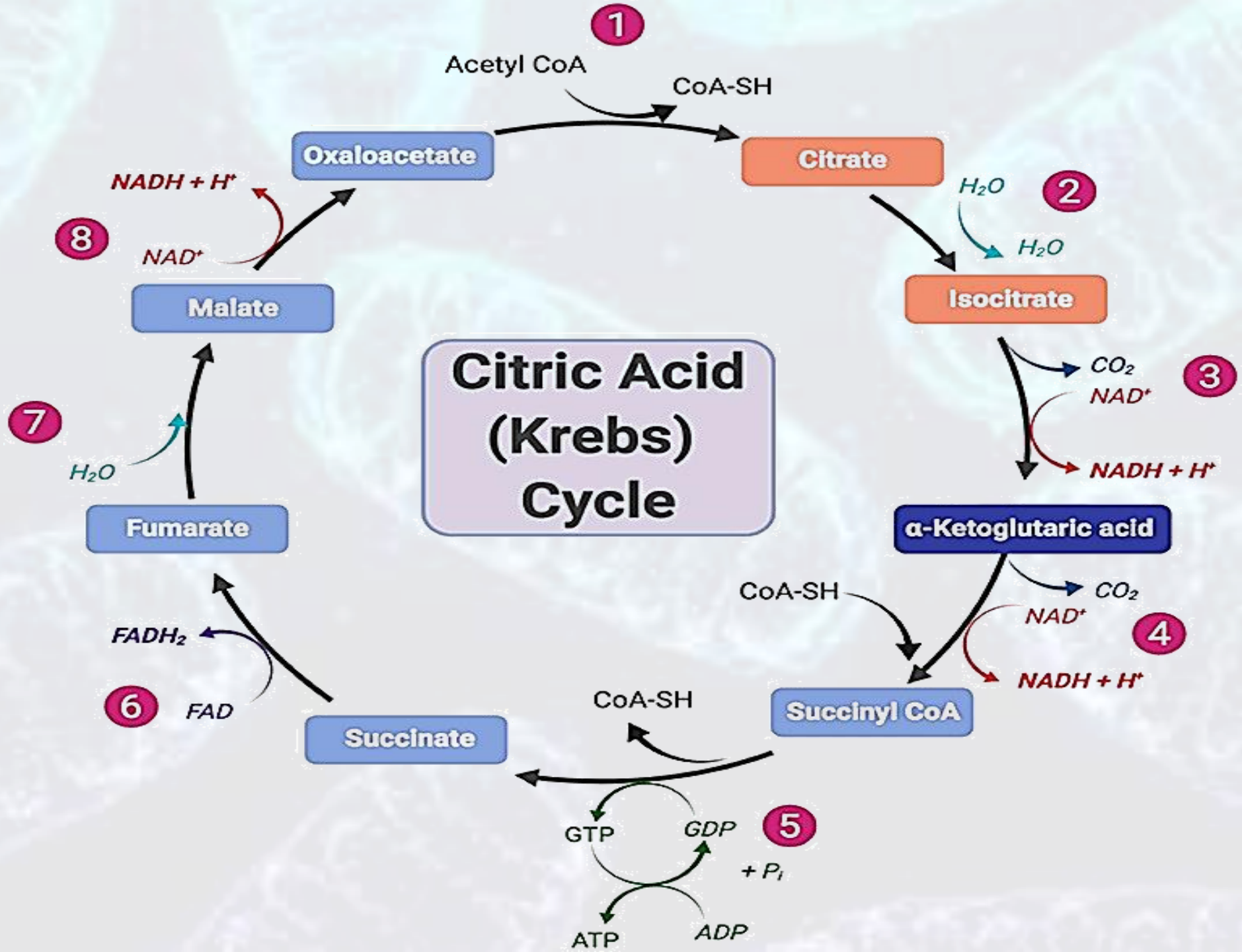
ينتج من كل دورة من دورات كربس:

ماذا ينتج من دورتين كربس؟

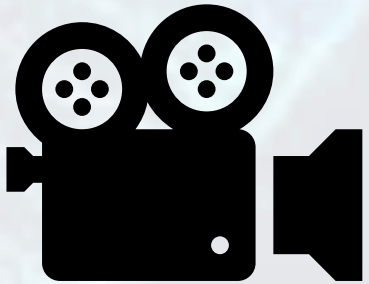
ملخص دورة كربس

- جزيئان من ثاني أكسيد الكربون
- ويتم اختزال جزيء FAD وثلاثة جزيئات من NAD
- ويتكوّن ATP من النقل المباشر لمجموعة فوسفات من إحدى المواد المتفاعلة إلى جزيء ADP

وهذا يسمّى التفاعل المرتبط بالمادة المتفاعلة.

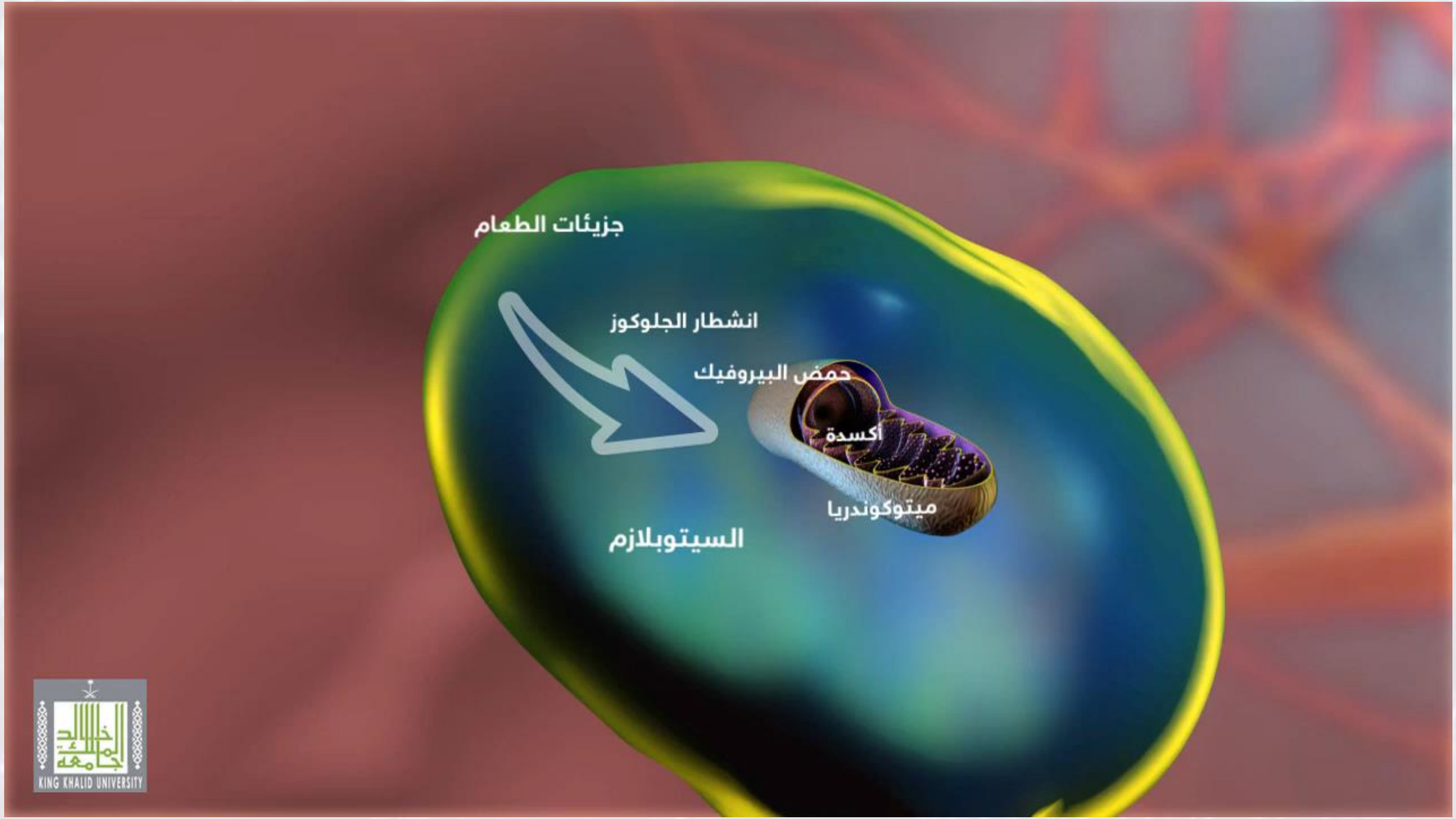

Citric Acid (Krebs) Cycle
1
Acetyl CoA
CoA-SH
Oxaloacetate
Citrate
2
H_2O
H_2O
Isocitrate
3
CO_2
NAD^+
$NADH + H^+$
α-Ketoglutaric acid
4
CoA-SH
CO_2
NAD^+
$NADH + H^+$
Succinyl CoA
5
CoA-SH
GTP
GDP
$+ P_i$
ATP
ADP
Succinate
6
$FADH_2$
FAD
Fumarate
7
H_2O
Malate
8
$NADH + H^+$
NAD^+

دورة كربس



https://www.youtube.com/watch?v=-3C30ABSD-s

https://www.youtube.com/watch?v=UZlmm-yzWrQ


جزيئات الطعام
انشطار الجلوكوز
حمض البيروفيك
أكسدة
ميتوكوندريا
السيتوبلازم

تقويم تكويني

٣ انظر إلى الرسم التخطيطي للتفاعل الرابط ودورة كربس في الشكل ٦-٥، ولخص كيف ينتقل ثاني أكسيد الكربون الناتج من حشوة الميتوكندريون إلى الهواء المحيط بالكائن الحي.

ينتشر ثاني أكسيد الكربون خارج حشوة الميتوكندريون عبر الغشاءَين الداخلي والخارجي لغلافها، إلى السيتوبلازم، ثم ينتشر عبر غشاء سطح الخلية، إلى السائل النسيجي، ومن ثم عبر بطانة الشعيرة الدموية إلى الدم حيث يمكن أن يتم نقله مذابًا في بلازما الدم، أو على شكل كاربامينوهيموجلوبين أو على شكل أيونات كربونات الهيدروجين. في الرئتين، ينتشر ثاني أكسيد الكربون من الشعيرات الدموية، عبر بطانة الأوعية الدموية، وعبر جدار الحويصلات الهوائية، فيتم نقله خارج الجسم مع هواء الزفير، من خلال القصيبات والقصبات الهوائية والقصبة الهوائية

تقويم تكويني

٤ اشرح كيف تكون أحداث دورة كربس في مسار حلقي.

عن طريق نزع الكربوكسيل، بدءًا من السيترات/ المركب السداسي الكربون (C_6)، فيتحول إلى مركبات خماسية الكربون ورباعية الكربون، وأخيرًا تكوّن أكسالوأسيتات، والذي يمكن أن يعمل كمستقبل للجزء/ الوحدة ثنائية الكربون (C_2) من أستيل CoA، لإعادة تكوين السيترات مرة أخرى.

تفقد تقدمك

السؤال 4 صفحة 38

أ. ١. اكتب تسمية الجزيئات Y و Z.

٢. اكتب تسمية المراحل A و B و C.

٣. اذكر الموقع الدقيق في الخلية حيث تحدث المرحلتان B و C.

ب. ١. اشرح كيف يستخدم NAD المُختَزَل و FAD المُختَزَل لتكوين ATP.

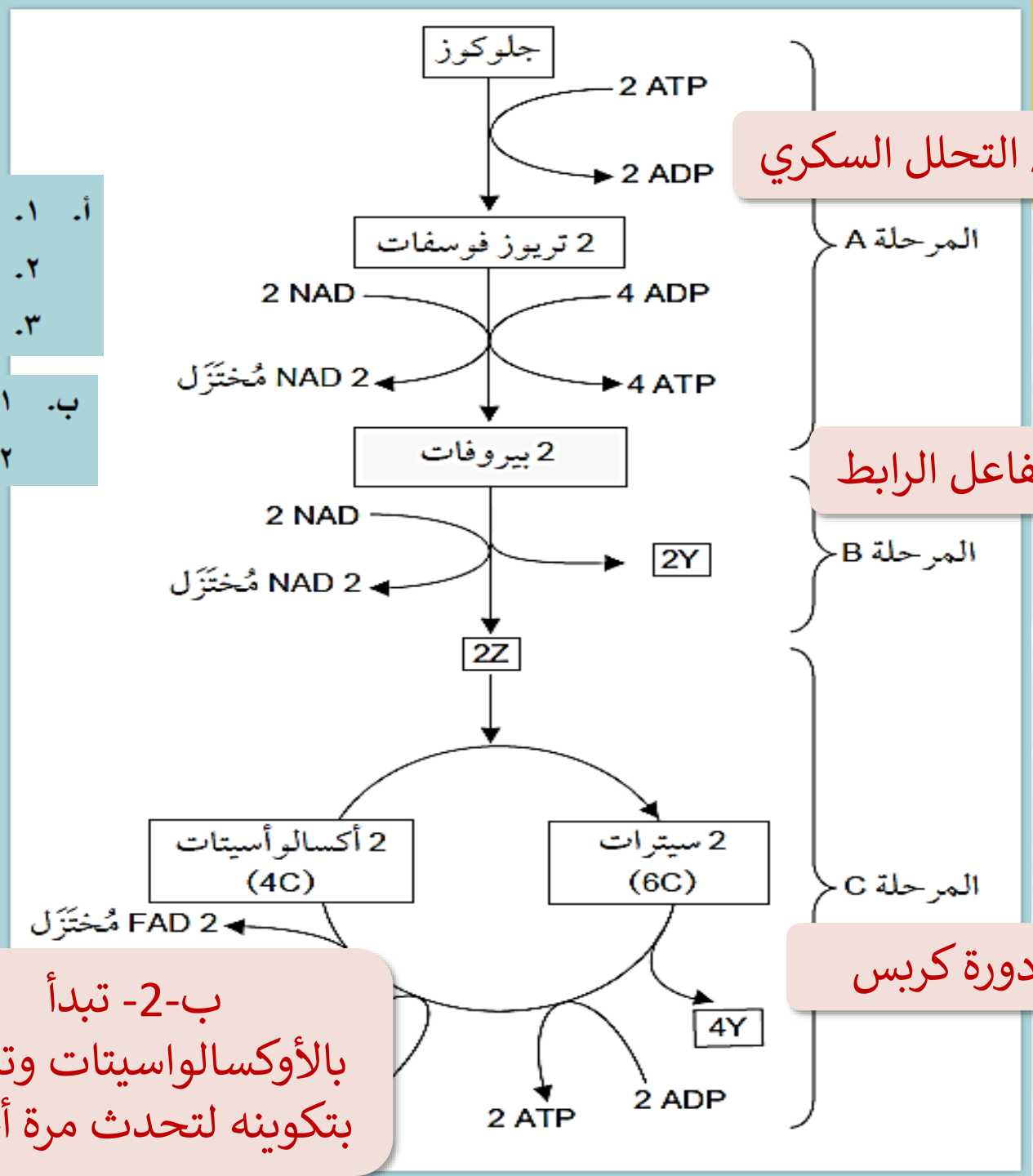
٢. اشرح كيف أن العملية في المرحلة C يمكن أن تكون حلقية.

Y ثاني أكسيد الكربون
Z أستيل coA

B حشوة الميتوكندريا
C حشوة الميتوكندريا

ب-1-سنعرفه في المرحلة الرابعة

ب-2- تبدأ بالأوكسالواسيتات وتنتهي بتكوينه لتحدث مرة أخرى



A التحلل السكري

B التفاعل الرابط

C دورة كربس

تفقد تقدمك

١. أ. يتضمن الجدول أربع مراحل مختلفة من التنفُّس الهوائي وبعض العبارات حول التنفُّس الهوائي. ضع علامة ✔ في الصناديق إذا كانت العبارة صحيحة، والعلامة ✘ لتلك الخاطئة.

العبارة	التحلل السكري	التفاعل الرابط	دورة كربس	الفسفرة التأكسدية
اختزال NAD	✔	✔	✔	✘
أكسدة FAD	✘	✘	✘	✔
يحدث نزع الكربوكسيل	✘	✔	✔	✘
يحدث في السيتوبلازم	✔	✘	✘	✘
يحدث في حشوة الميتوكندريا	✘	✔	✔	✘

المرحلة 4

الفسفرة التأكسدية وسلسلة نقل الإلكترونات

الفسفرة التأكسدية وسلسلة نقل الإلكترونات

الفسفرة التاكسدية

هي المرحلة الأخيرة من التنفس الهوائي

مكان حدوثها

الغشاء الداخلي الميتوكندريا

تسمى سلسلة نقل الإلكترونات

سلسلة بروتينات غشائية تسمّى ناقلات الإلكترون Electron carriers، تتثبت في موضعها في غشاء الميتوكندريون الداخلي الأعراف وهي مرتبة بعضها بجوار بعض، ما يسمح بانتقال الإلكترونات بسهولة على طول السلسلة من بروتين إلى البروتين التالي.

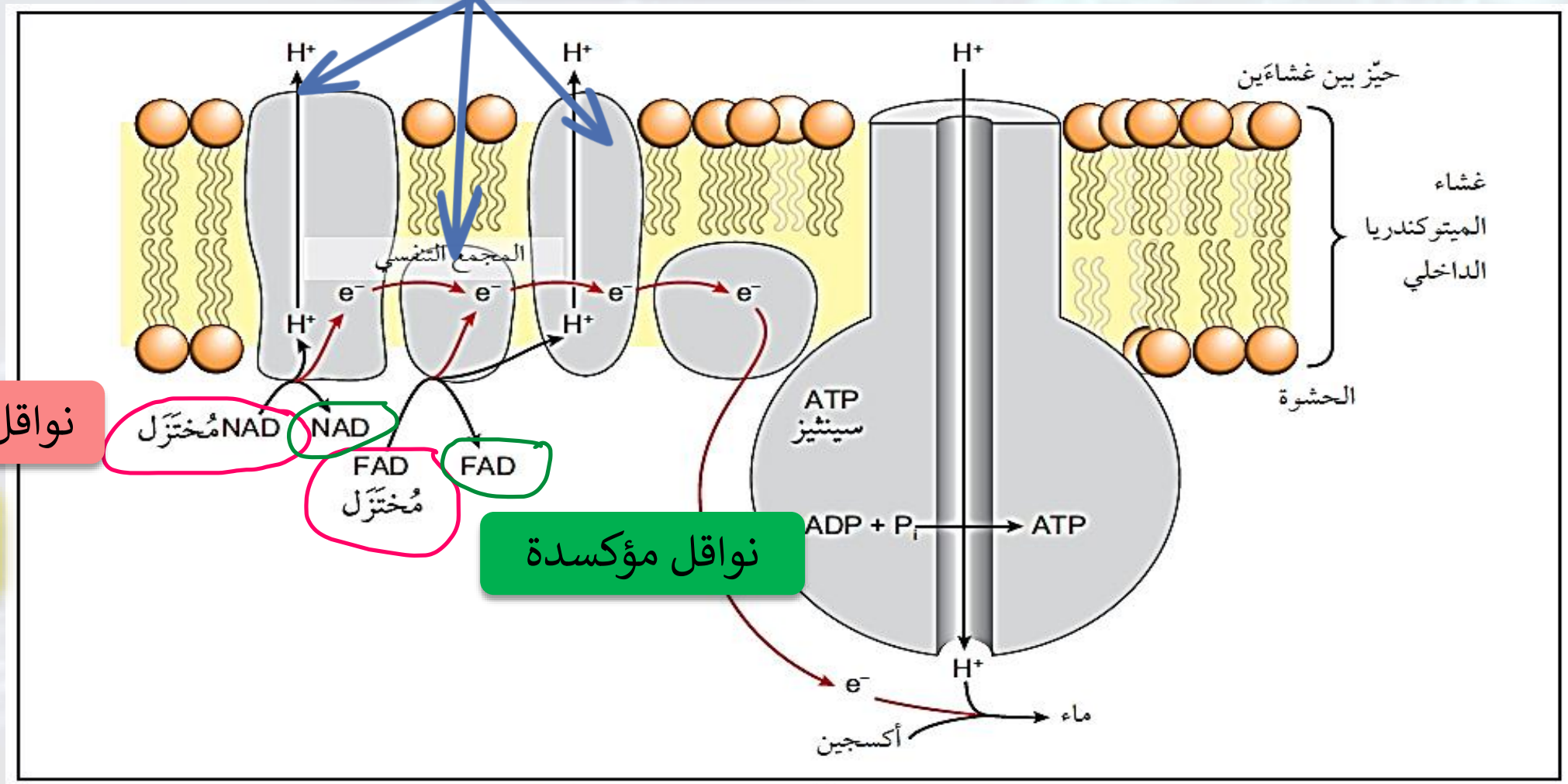
هي تفاعلات أكسدة واختزال

كل ناقل في السلسلة يُختَزَل أولًا عندما يضاف إليه إلكترون ثم يتأكسد عندما يغادره الإلكترون.

المرحلة 4

الفسفرة التأكسدية وسلسلة نقل الإلكترونات

سلسلة البروتينات الغشائية



الشكل ٦-٦ الفسفرة التأكسدية: سلسلة نقل الإلكترون.

نواقل مختزلة

نواقل مؤكسدة

ما مصدرها؟

المرحلة 4

الفسفرة التأكسدية وسلسلة نقل الإلكترونات

تذكر أن

- NAD المُختَزَل ينتج من التحلل السكري، كلًّا من NADالمُختَزَل و FADالمُختَزَل يتكوّنان في دورة كربس
- NAD المختزل من التحلل السكري أين ينتج؟ في السيتوبلازم
- ينتقل عبر أغشية الميتوكندريا إلى الحشوة
- وتنتقل جميع جزيئات NAD المُختَزَل و FAD المُختَزَل من حشوة الميتوكندريا إلى الغشاء الداخلي

في المرحلة الرابعة يتم نزع الهيدروجين الذي جاءت به NAD ,FAD والمختزل

الفسفرة التأكسدية وسلسلة نقل الإلكترونات

المرحلة 4

ماذا يحدث في المرحلة الرابعة؟

البروتون يسمى أيون الهيدروجين.

- تتكوّن كل ذرة هيدروجين من بروتون وإلكترون، ينفصل الآن أحدهما عن الآخر
- يُنقل الإلكترون e إلى الناقل الأول في سلسلة نقل الإلكترون
- يحتوي هذا الإلكترون على طاقة بدأت على شكل طاقة كيميائية كامنة في جزيء الجلوكوز من بداية التحلل السكري
- ومع انتقال الإلكترون من ناقل إلى الناقل التالي، يتم إطلاق بعض طاقته، ثم تستخدم بعضها لضخ البروتونات من حشوة الميتوكندريون إلى الحيز بين غشاءَي غلاف الميتوكندريا

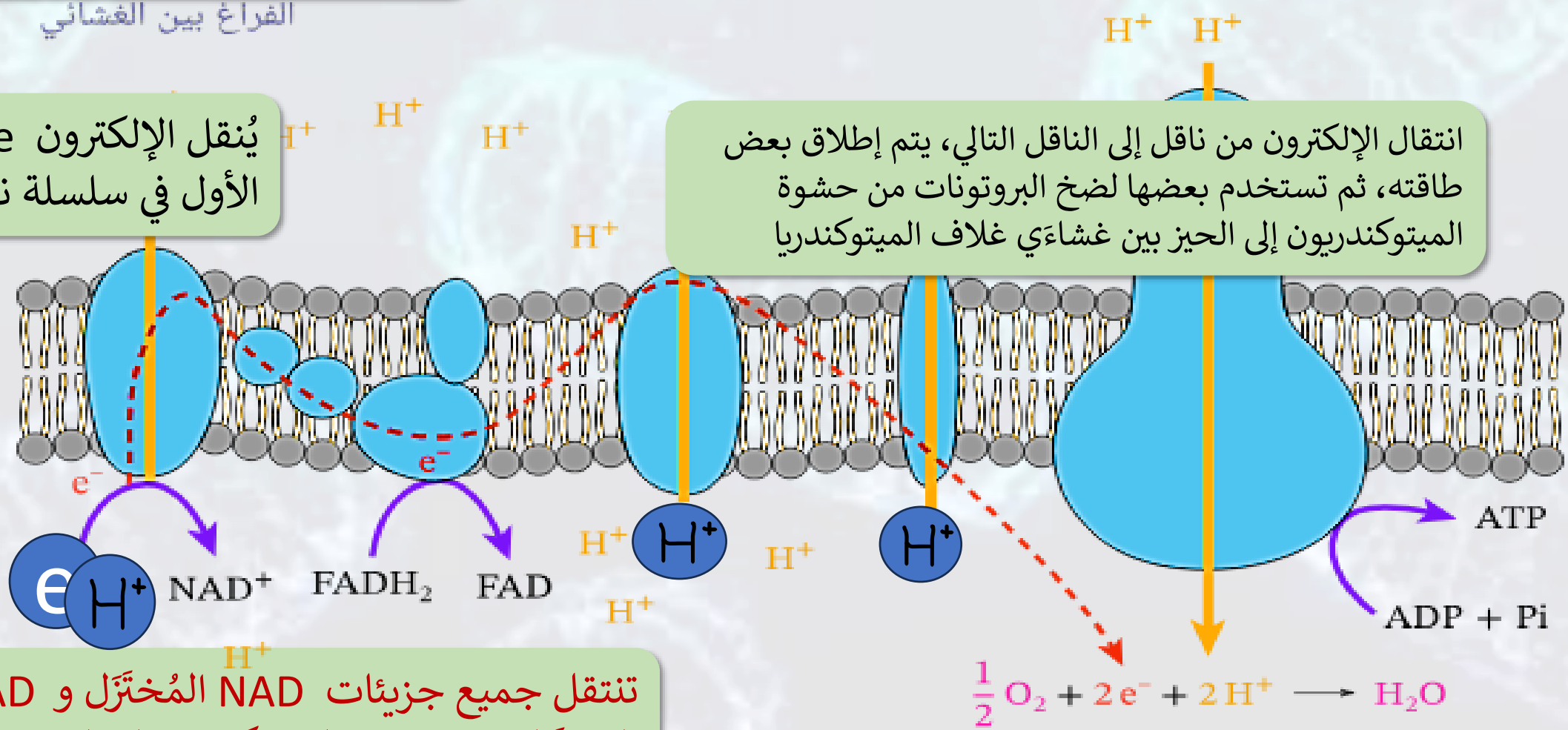
في المرحلة الرابعة يتم نزع الهيدروجين الذي جاءت به NAD ,FAD والمختزل

المرحلة 4

تتكوّن كل ذرة هيدروجين في النواقل NAD و FAD المختزل من بروتون وإلكترون، ينفصل الآن أحدهما عن الآخر

يُنقل الإلكترون e إلى الناقل الأول في سلسلة نقل الإلكترون

انتقال الإلكترون من ناقل إلى الناقل التالي، يتم إطلاق بعض طاقته، ثم تستخدم بعضها لضخ البروتونات من حشوة الميتوكندريون إلى الحيز بين غشاءَي غلاف الميتوكندريا

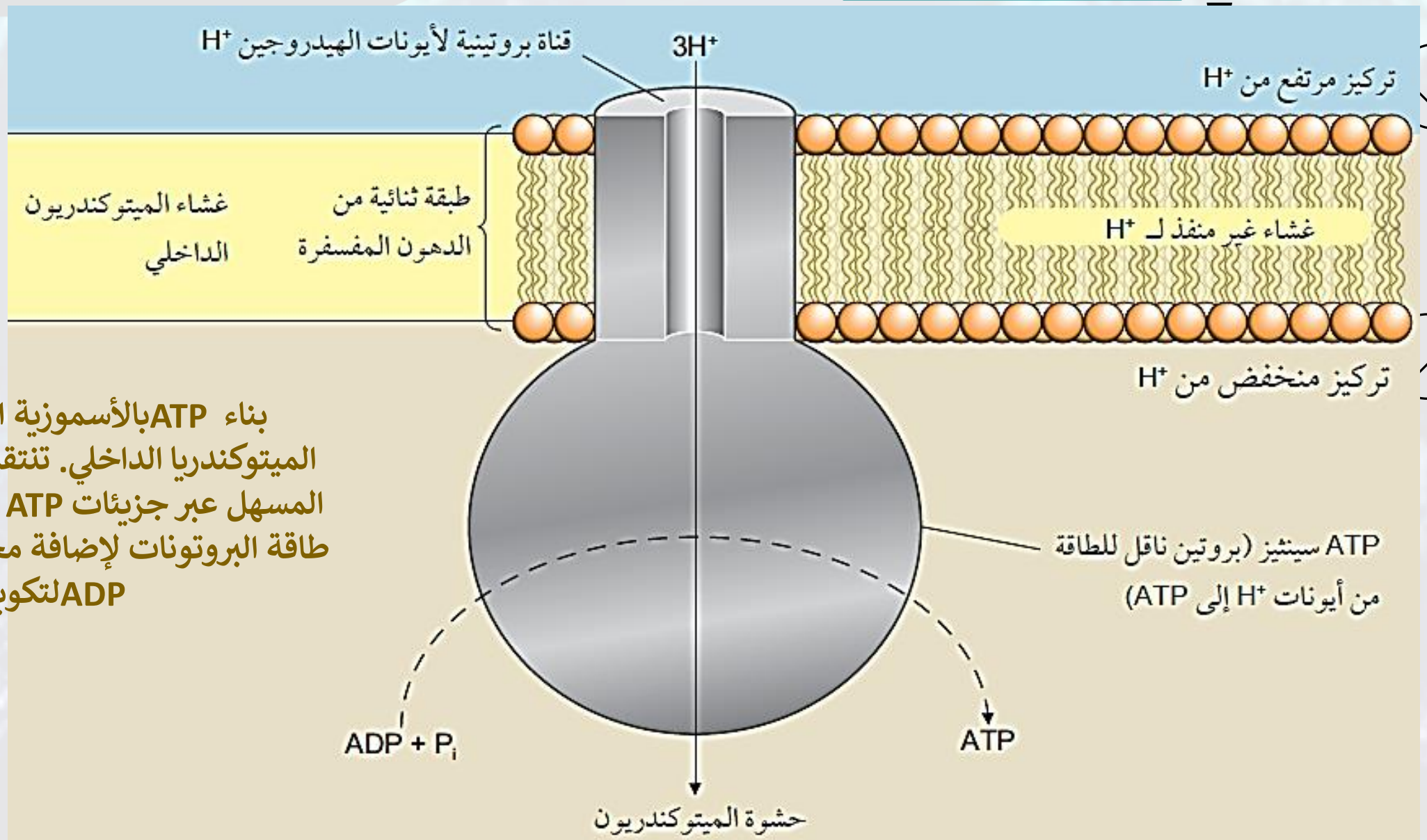


تنتقل جميع جزيئات NAD المُختَزَل و FAD المُختَزَل من حشوة الميتوكندريا إلى الغشاء الداخلي

الإسموزية الكيميائية

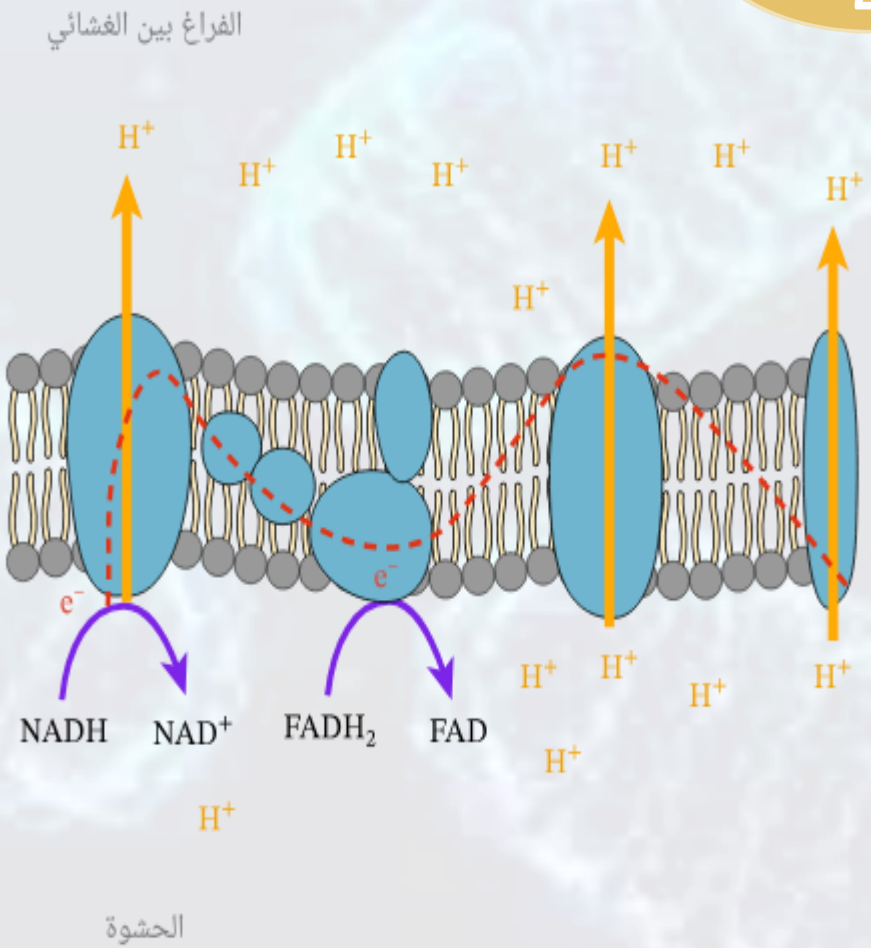
المرحلة 4

ماذا يحدث في المرحلة الرابعة؟



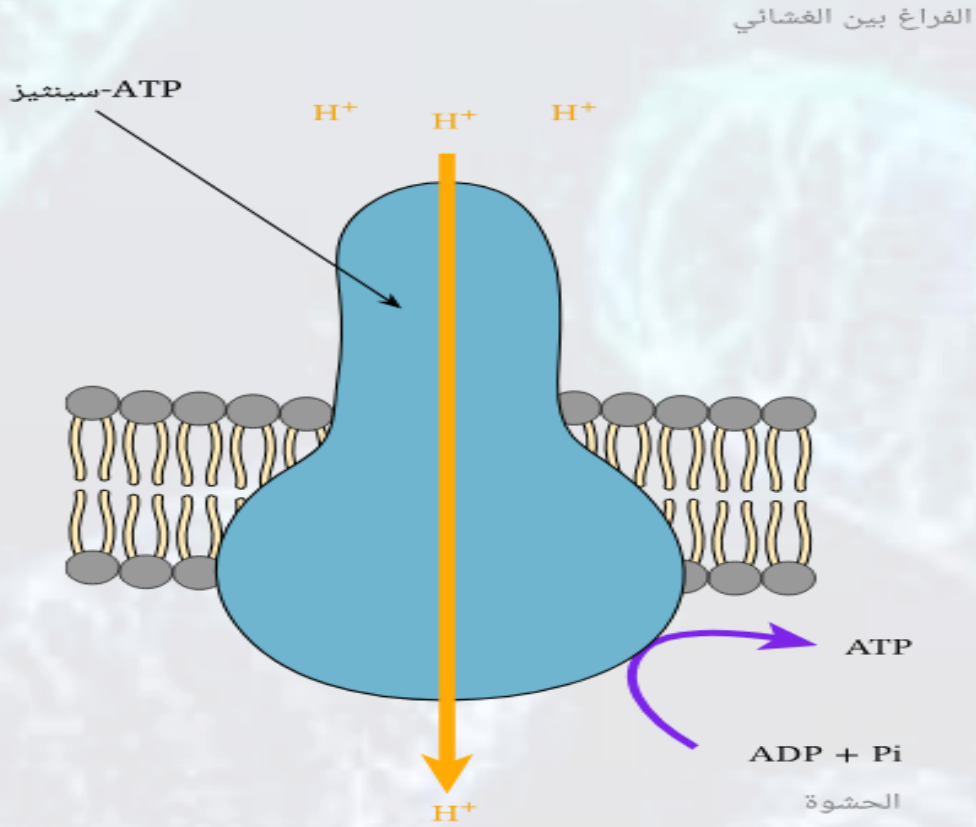
بناء ATPبالأسموزية الكيميائية في غشاء الميتوكندريا الداخلي. تنتقل البروتونات بالانتشار المسهل عبر جزيئات ATP سينثيز، والتي تستخدم طاقة البروتونات لإضافة مجموعات الفوسفات إلى ADPلتكوين ATP

الفرق بين آليات انتقال أيونات H



الشكل 3: مخطّط يوضّح النقل النشط لأيونات الهيدروجين بواسطة مضخات البروتونات عبر الغشاء الداخلي للميتوكوندريا.

تنطلق أيونات الهيدروجين من تأيُّن ذرات الهيدروجين لجزيء NADH وجزيء $FADH_2$.



الشكل 4: مخطّط يوضّح حركة أيونات الهيدروجين خلال إنزيم ATP-سينثيز. تتحرّك أيونات الهيدروجين مع تدرُّج تركيزها من الفراغ بين الغشائي إلى حشوة الميتوكوندريا.

المرحلة 4

الخطوة الأخيرة من المرحلة الرابعة

الفسفرة التأكسدية وسلسلة نقل الإلكترونات

أخيرا يدخل الأكسجين في هذه العملية,
فالأكسجين يعمل كمستقبل نهائي للإلكترونات
وذلك بدمجها عندما تصل إلى نهاية سلسلة نقل الإلكترون،
إذ تتحد أربعة إلكترونات مع أربعة بروتونات وجزيء أكسجين لتكوين الماء.

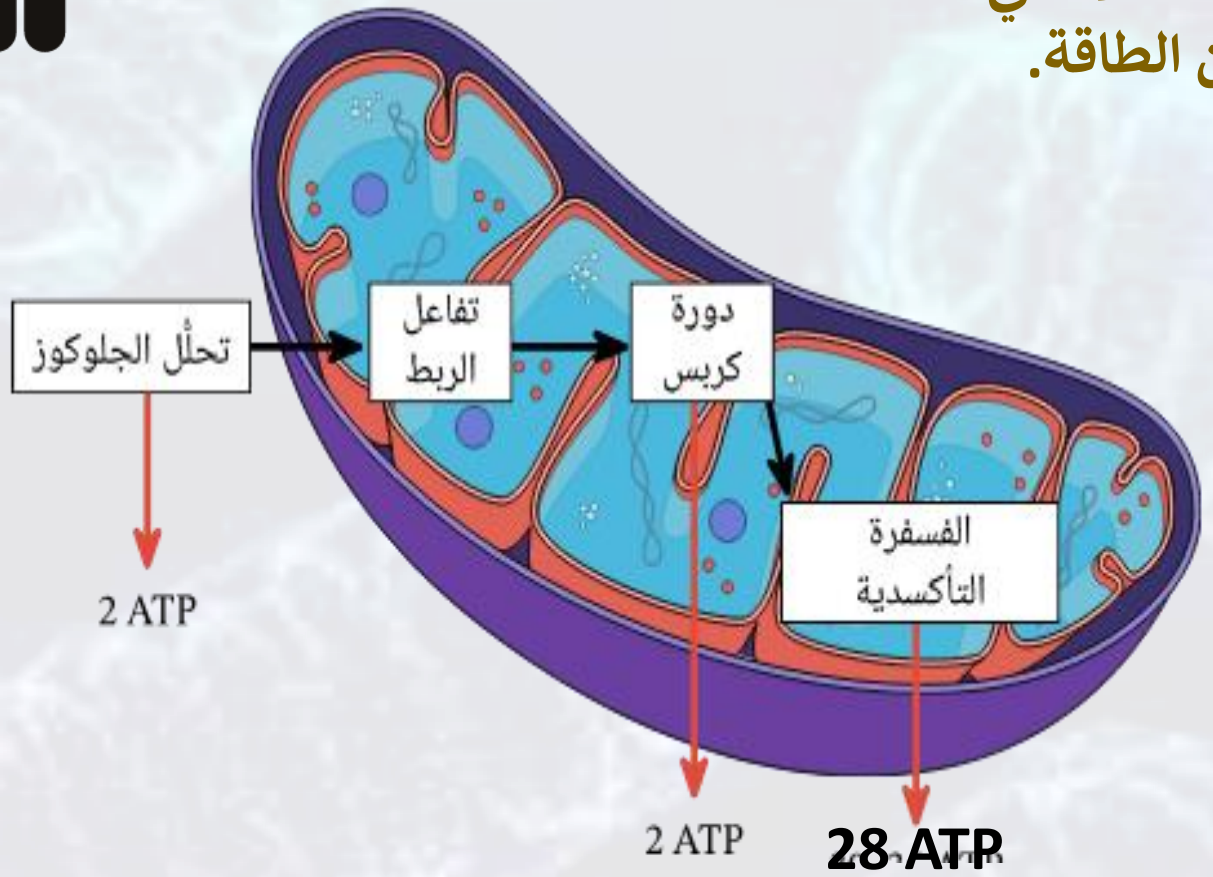
$$O2 + 4H+ + 4e- \rightarrow 2H2O$$

لا تحدث أي من التفاعلات داخل الميتوكندريون التفاعل الرابط، ودورة كربس، والفسفرة التأكسدية, من دون توافر الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترون

ملخص

الفسفرة التأكسدية، تُنتج ATP أكثر بكثير مما ينتجه التحلل السكري. ويطلق التحلل السكري كمية صغيرة فقط من الطاقة الكيميائية الكامنة من الجلوكوز، لأن الجلوكوز يتأكسد جزئيًا فقط، بحيث تكمل التفاعلات في الميتوكندريون هذه الأكسدة مطلقة المزيد من الطاقة.

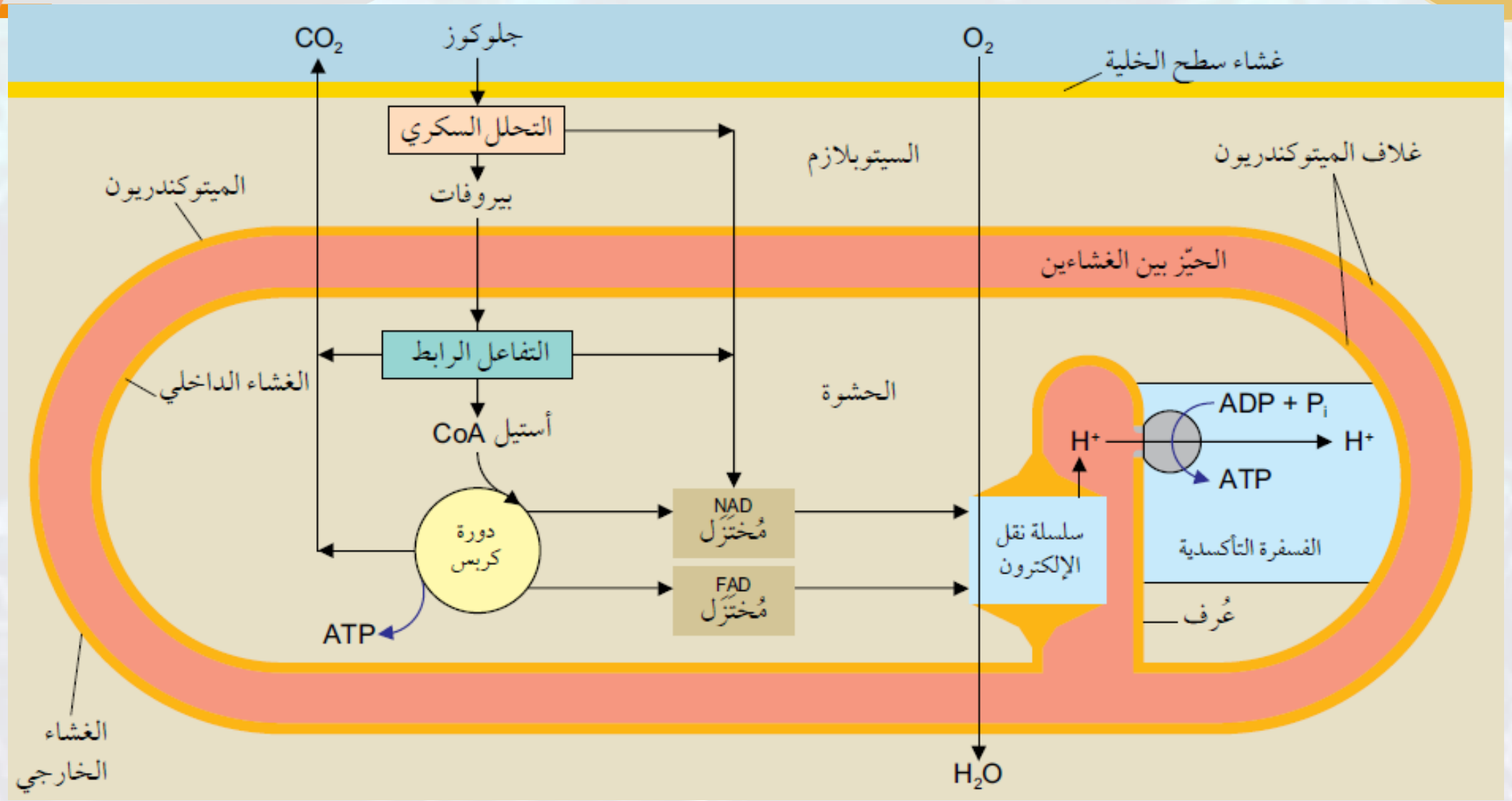
ملخص انتاج الطاقة



المرحلة	ATP المستخدم	ATP المتكوّن	صافي الربح من ATP
التحلل السكري	2	4	2
التفاعل الرابط	0	0	0
دورة كربس	0	2	2
الفسفرة التأكسدية	0	28	28
المجموع	2	34	32

لا تحتاج إلى معرفة تفاصيل العائد الإجمالي من ATP

ملخص انتاج الطاقة



الشكل ٦- ٨ مواقع المراحل المختلفة للتنفس الهوائي في الخلية.

تفقد تقدمك

يمثِّل المخطَّط الانسيابي الآتي وصفًا موجزًا لعملية الفسفرة التأكسدية، مع حذف بعض الكلمات الرئيسية.

1. يمنح جزيء NAD المختزل وجزيء FAD المختزل إلكترونات للجزيئات الأولى في سلسلة نقل الإلكترونات.
2. تُطلِق الإلكترونات طاقةً كلما انتقلت إلى مستوى أقل في سلسلة نقل الإلكترونات. تُستخدَم هذه الطاقة في النقل النشط ~~_____~~ عبر غشاء الميتوكوندريا إلى الفراغ بين الغشائي.

أيونات الهيدروجين

3. تتجمّع البروتونات في الفراغ بين الغشائي، ثم تنتشر مع تدرُّج تركيزها عبر قناة إنزيم ~~_____~~ ATP سينثيز
4. تستحث حركة الأيونات خلال ~~_____~~ ATP سينثيز فسفرة جزيء ADP لتكوين جزيء ATP.
5. يصل الإلكترون إلى نهاية سلسلة نقل الإلكترونات، ثم يتحد مع أيونات الأكسجين والهيدروجين لتكوين الماء.

تفقد تقدمك

٥ حدّد أدوار كل ممّا يأتي في عملية التنفس:

أ. NAD

ب. مرافق الإنزيم A

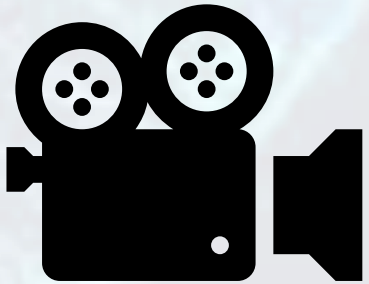
ج. الأكسجين.

أ. : NAD جزيء ناقل للهيدروجين، فهو يستقبل الهيدروجين من تفاعل ويمنحه إلى تفاعل آخر.

ب. مرافق الإنزيم A: ناقل لمجموعة الأستيل CoA من التفاعل الرابط إلى دورة كربس.

ج . الأكسجين: مستقبل الإلكترون النهائي ومستقبل أيونات الهيدروجين في الفسفرة التأكسدية:يختزل الأكسجين إلى ماء.

الفسفرة التأكسدية

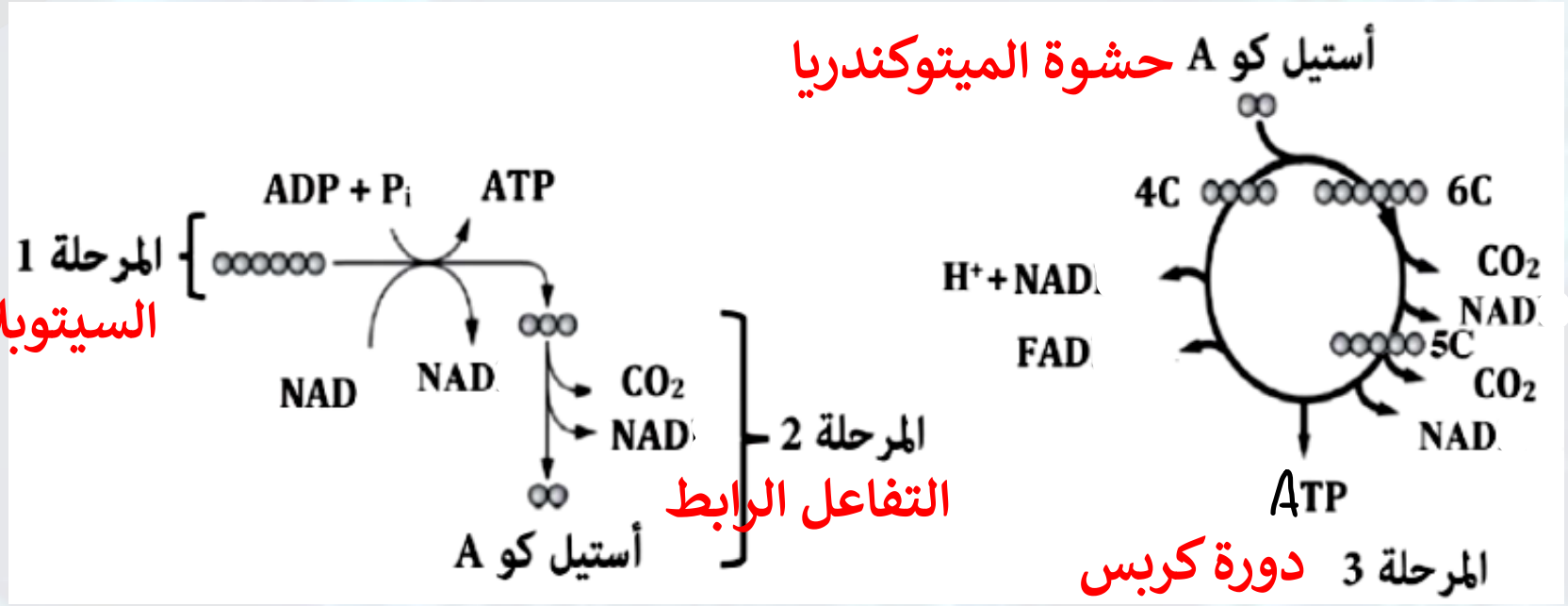


https://www.youtube.com/watch?v=dcHvFkXpR9Y

https://www.youtube.com/watch?v=Ou1Fs2Zpo94

تفقد تقدمك

ادرس الشكل التخطيطي لثلاث مراحل من التنفس الخلوي



1- سم المرحلة 2 و 3؟

2- لماذا توصف المرحلة 3 بأنها دورة؟

لأنها تبدأ باندماج الأستيل كو A مع الأوكسالواسيتيات وتنتهي بتكوين الأوكسالوأسيتات

3- حدد موقع المرحلة 1 والمرحلة 3 من الخلية؟

4- ما هي المرحلة التي تلي المرحلة 3؟ سلسلة نقل الإلكترونات

تفقد تقدمك

https://www.liveworksheets.com/w/ar/ahya3/1263732

مهارات عملية 6-1

قياس الأكسجين

6 -12يصف ويفسر الاستقصاءات باستخدام مقاييس تنفس بسيطة لتحديد تأثير درجة الحرارة على معدل التنفس.

مقياس التنفس

Respirometer :

جهاز يستخدم لقياس معدل امتصاص الكائنات الحية للأكسجين أثناء التنفس.

نشاط 6-4
استخدام مقياس التنفس
صفحة 43

استقصاء عملي 6-1
تأثير درجة الحرارة على معدل التنفس في اللافقاريات
صفحة 49

قياس الأكسجين

يمكن قياس معدل امتصاص الأكسجين أثناء التنفس باستخدام مقياس التنفس Respirometer. يبيّن الشكل ٦-٩ مقياس تنفس مناسب لقياس معدل استهلاك الأكسجين لبذور نبات أو لافقاريات صغيرة تعيش في اليابسة في درجات حرارة مختلفة.

عندما تتنفس الكائنات الحية تمتص الأكسجين من الهواء المحيط بها، ما يقلل من حجم الهواء. ويتم امتصاص ثاني أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس بواسطة مادة كيميائية مناسبة مثل جير الصودا Soda lime أو محلول مركز من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH). وهكذا، فإن ثاني أكسيد الكربون الناتج لن يزيد من حجم الهواء.

لذلك، فإن أي تغيير في حجم الهواء المحيط بالكائنات الحية ينتج من استهلاك هذه الكائنات الحية للأكسجين فقط. يمكن أن يقاس استهلاك الأكسجين بقراءة مستوى عمود سائل المانومتر مقابل التدريج، ويمكن قياس معدل استهلاك الأكسجين بقسمة حجم الأكسجين المستخدم على الزمن المستغرق.

حجم الهواء في الجهاز يتأثر ب:

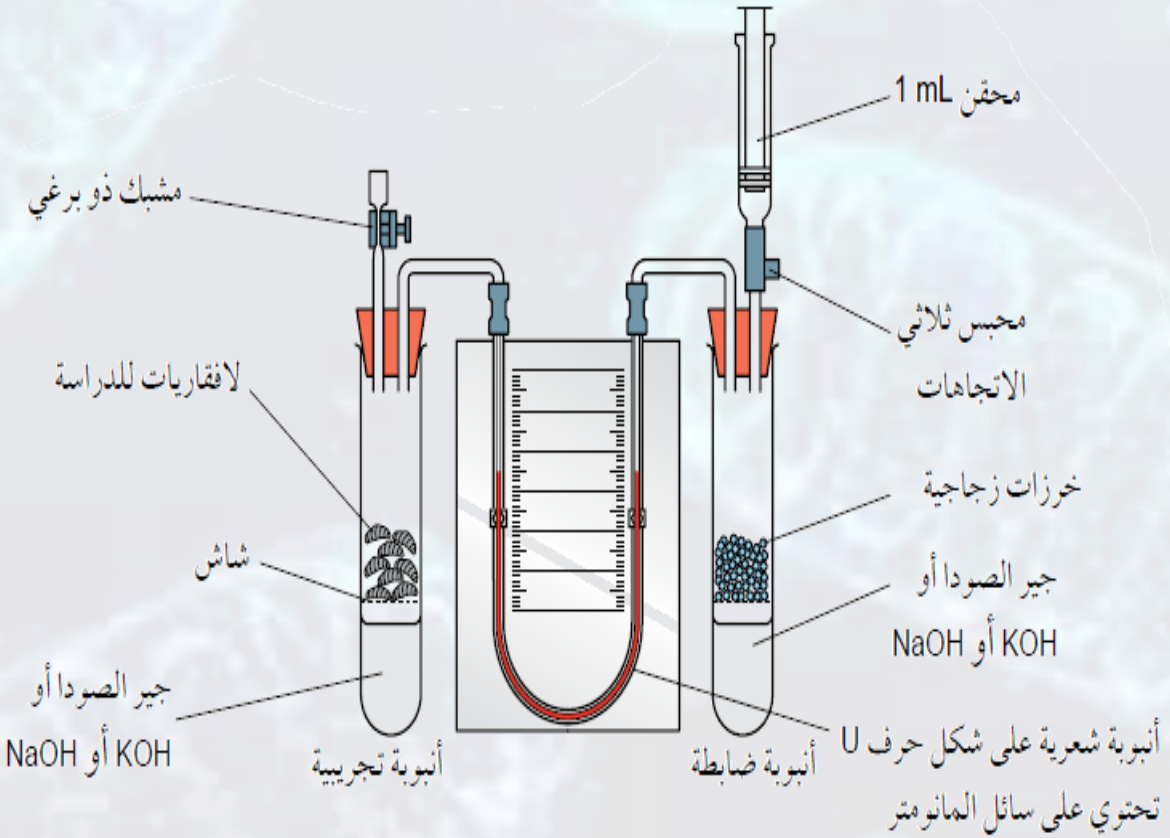
- **درجة الحرارة**
- **الضغط**

لذلك من الضروري الحفاظ على ثبات درجة الحرارة عند أخذ القراءات

يمكن ذلك باستخدام حمام مائي يتم التحكم بدرجة حرارته

قياس الأكسجين

يمكن استقصاء تأثير درجة الحرارة على معدل التنفس عن طريق وضع الجهاز في حمامات مائية بدرجات حرارة مختلفة، وقياس معدل استهلاك الأكسجين عند كل درجة حرارة. ويجب إجراء عدة قياسات متكررة على درجة الحرارة نفسها وحساب متوسط قيم استهلاك الأكسجين. يمكن بعد ذلك، رسم تمثيل بياني لمتوسط معدل استهلاك الأكسجين مقابل درجة الحرارة.



الشكل ٦-٩ مقياس التنفس.

(انظر الاستقصاء العملي ٦-١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة، للحصول على معلومات إضافية).