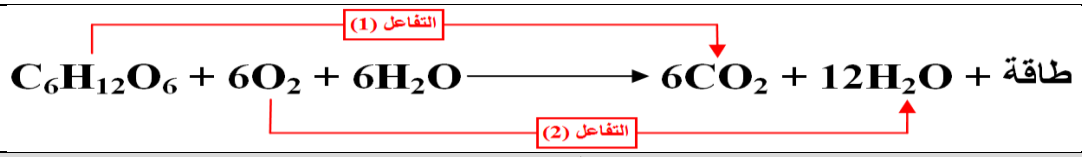
الحصة الأولى: تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوسط الهوائي

1) تعريف ظاهرة التنفس، مراحلها، أهميتها ومقر حدوثها:

النشاط الاول: استغلال الوثيقة 1

إن تفاعلات الأكسدة والإرجاع هي تفاعلات كيميائية يحدث خلالها انتقال الإلكترونات بين مُعطِ للإلكترونات **(مُرجِع)** ومُستقبِل للإلكترونات **(مُؤكسِد)**، تمثل الوثيقة (1) المعادلة الكيميائية الإجمالية التنفس.

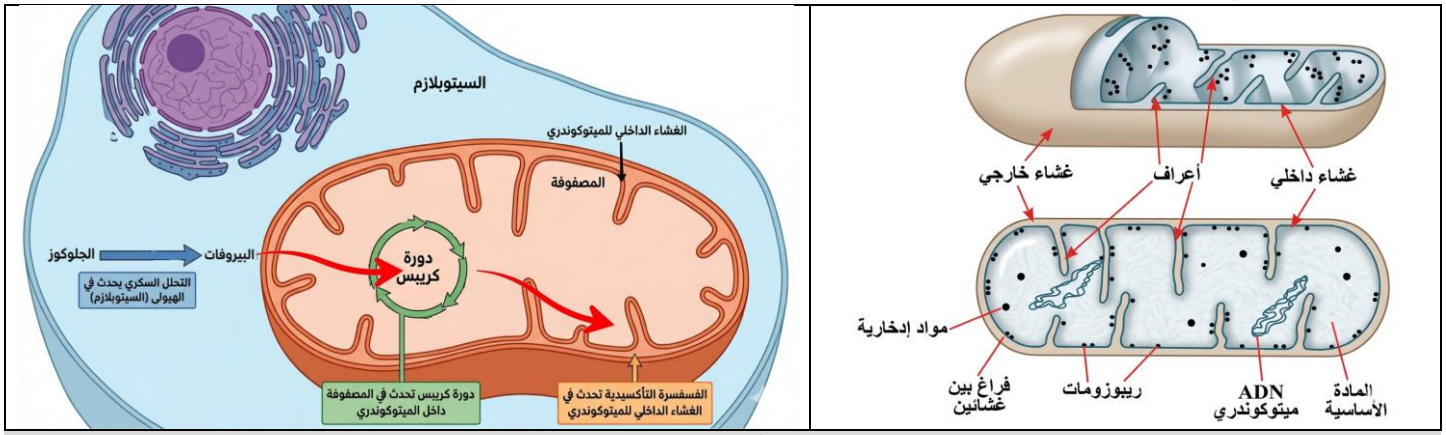
$$\underset{2860KJ}{C_6H_{12}O_6+6O_2+6H_2O} \xrightarrow{\text{إنزيمات تنفسية}} \underbrace{6CO_2+12H_2O+E}_{0KJ} \rightarrow \begin{cases} \text{حرارة } 1700KJ \\ 1160KJ\ ATP \end{cases}$$



الوثيقة (1)

النشاط الثاني: استغلال الوثيقة 2

تمثل الوثيقة (2) رسماً تخطيطياً تفسيرياً للبنية الفوقية للميتوكندري كما تظهر بالمجهر الإلكتروني، مرفقاً برسم تخطيطي يوضح المراحل المتدخلة في ظاهرة التنفس الخلوي.



الوثيقة (2)

التعليمة: عرف ظاهرة التنفس مبينا مراحلها، أهميتها ومقر حدوثها.

الاجابة:

استغلال الوثيقة (1): تمثل المعادلة الكيميائية الإجمالية التنفس، حيث نلاحظ:

أن التفاعل (1) هو تفاعل أكسدة (أكسدة الغلوكوز).

وأن التفاعل (2) فهو تفاعل إرجاع (إرجاع الـ O_2).

الإستنتاج: طبيعة تفاعلات ظاهرة التنفس هي تفاعلات أكسدة وإرجاع.

استغلال الوثيقة (2): تمثل رسماً تخطيطياً تفسيرياً للبنية الفوقية للميتوكندري كما تظهر بالمجهر الإلكتروني، مرفقاً برسم تخطيطي يوضح المراحل المتدخلة في ظاهرة التنفس الخلوي، حيث نلاحظ:

- أن الميتوكوندري عضية ذات شكل عصوي محاطة بغشائين (داخلي وخارجي) بينهما فراغ بين غشائين. يُرسل الغشاء الداخلي إنثناءات تكون عمودية على المحور الطولي للميتوكوندري هي الأعراف الميتوكوندرية ويحصُر مادة أساسية تحتوي على ADN، ريبوزومات ومواد إدخارية.

- تمر عملية التنفس الخلوي بثلاث مراحل: تبدأ بالتحلل السكري الذي يحدث في هيولى الخلية وينتج عنه حمض البيروفيك. يدخل هذا الأخير في المرحلة الثانية، وهي دورة كريبس التي تجري في مصفوفة الميتوكندري (المادة الأساسية)، وتعد هذه المرحلة ضرورية لحدوث المرحلة الأخيرة، وهي الفسفرة التأكسدية التي تتم على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكندريا.

الربط:

تعريف التنفس: التنفس ظاهرة حيوية يتم خلالها هدم كلي للمادة العضوية (مادة الأيض) وتحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الجزيئات العضوية إلى طاقة قابلة للإستعمال (ATP) وجزء يضيع على شكل حرارة.

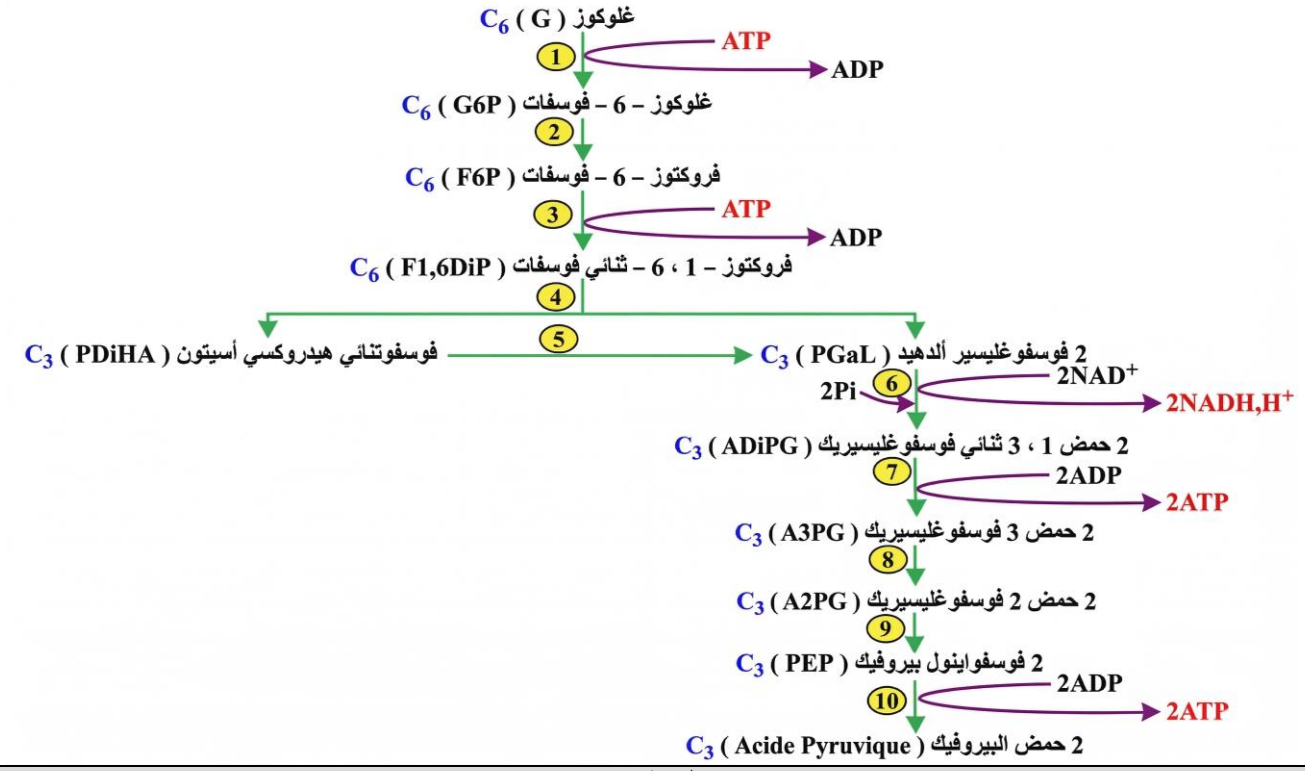
أهمية التنفس: إنتاج طاقة قابلة للإستعمال (ATP) في مختلف نشاطات الخلية.

مراحلها ومقر حدوثها: التحلل السكري في الهيولى، حلقة كريبس في المادة الأساسية للميتوكندري، الفسفرة التأكسيدية في الغشاء الداخلي للميتوكندري.

2) التحلل السكري:

النشاط الاول: استغلال الوثيقة 3

تمثل الوثيقة (3) مخطط لمراحل التحلل السكري (الغلكزة) في الهيولي.



الوثيقة (3)

التعليمة: وضّح مراحل هدم مادة الأيض المستعملة من طرف الميتوكوندريا على مستوى الهيولي مُدعمًا إجابتك بمعادلة كيميائية إجمالية انطلاقا من الوثيقة (3).

الاجابة:

استغلال الوثيقة (3): تمثل مخطط لمراحل التحلل السكري (الغلكزة) في الهيولي، حيث نلاحظ:

- **التفاعل 1:** فسفرة الغلوكوز في وجود Pi الناتج من إماهة الـ ATP لينتج الغلوكوز –6– فوسفات.
- **التفاعل 2:** تماكب الغلوكوز –6– فوسفات إلى الفركتوز –6– فوسفات.

- **التفاعل 3:** فسفرة الفركتوز -6- فوسفات في وجود Pi الناتج من إماهة الـ ATP لينتج الفركتوز-1،6- ثنائي فوسفات.
- **التفاعل 4:** إنشطار الفركتوز-1،6- ثنائي فوسفات لينتج فوسفو غليسر ألدهيد وفوسفو ثنائي هيدروكسي أسيتون.
- **التفاعل 5:** تماكب فوسفو ثنائي هيدروكسي أسيتون إلى فوسفو غليسر ألدهيد.
- **التفاعل 6:** أكسدة جزيئتين من فوسفو غليسر ألدهيد في وجود $2NAD^+$ وفسفرتهما في وجود 2Pi لينتج جزيئتين من حمض 1،3 ثنائي فوسفو غليسريك.
- **التفاعل 7:** إزالة 2Pi من جزيئتين من حمض 1،3 ثنائي فوسفو غليسريك لينتج جزيئتين من حمض 3 فوسفو غليسريك.
- **التفاعل 8:** تماكب جزيئتين من حمض 3 فوسفو غليسريك إلى جزيئتين من حمض 2 فوسفو غليسريك.
- **التفاعل 9:** تماكب جزيئتين من حمض 2 فوسفو غليسريك إلى جزيئتين فوسفو إينول بيروفيك.
- **التفاعل 10:** إزالة 2Pi من جزيئتين من فوسفو إينول بيروفيك لينتج جزيئتين من حمض البيروفيك.

ملاحظة: نوع التفاعل في كل حالة من مراحل التحلل السكري:

- التفاعل 1 و3: تفاعل إماهة الـ ATP وفي نفس الوقت فسفرة للسكر.
- التفاعل 2، 5، 8 و9: تفاعل تماكب.
- التفاعل 4: تفاعل إنشطار.
- التفاعل 6: تفاعل فسفرة وأكسدة لفوسفوغليسرالدهيد وفي نفس الوقت إرجاع لـ NAD^+.
- التفاعل 7 و10: تفاعل تركيب الـ ATP.

الإماهة هي إضافة جزيء ماء إلى مركب لتفكيكه أو تغييره، أما التماكب فهو تحول جزيء إلى شكل آخر له نفس الصيغة لكن ترتيب مختلف للذرات، والانشطار هو تقسيم جزيء كبير إلى جزيئات أصغر .الفسفرة تعني إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء (غالبًا لتنشيطه)، بينما الأكسدة والإرجاع تفاعلان متلازمان؛ الأكسدة هي فقدان إلكترونات (أو هيدروجين) والإرجاع هو اكتسابها. أخيرًا، التركيب هو بناء جزيئات كبيرة ومعقدة انطلاقًا من جزيئات بسيطة.

المعادلة الاجمالية للتحلل السكري:

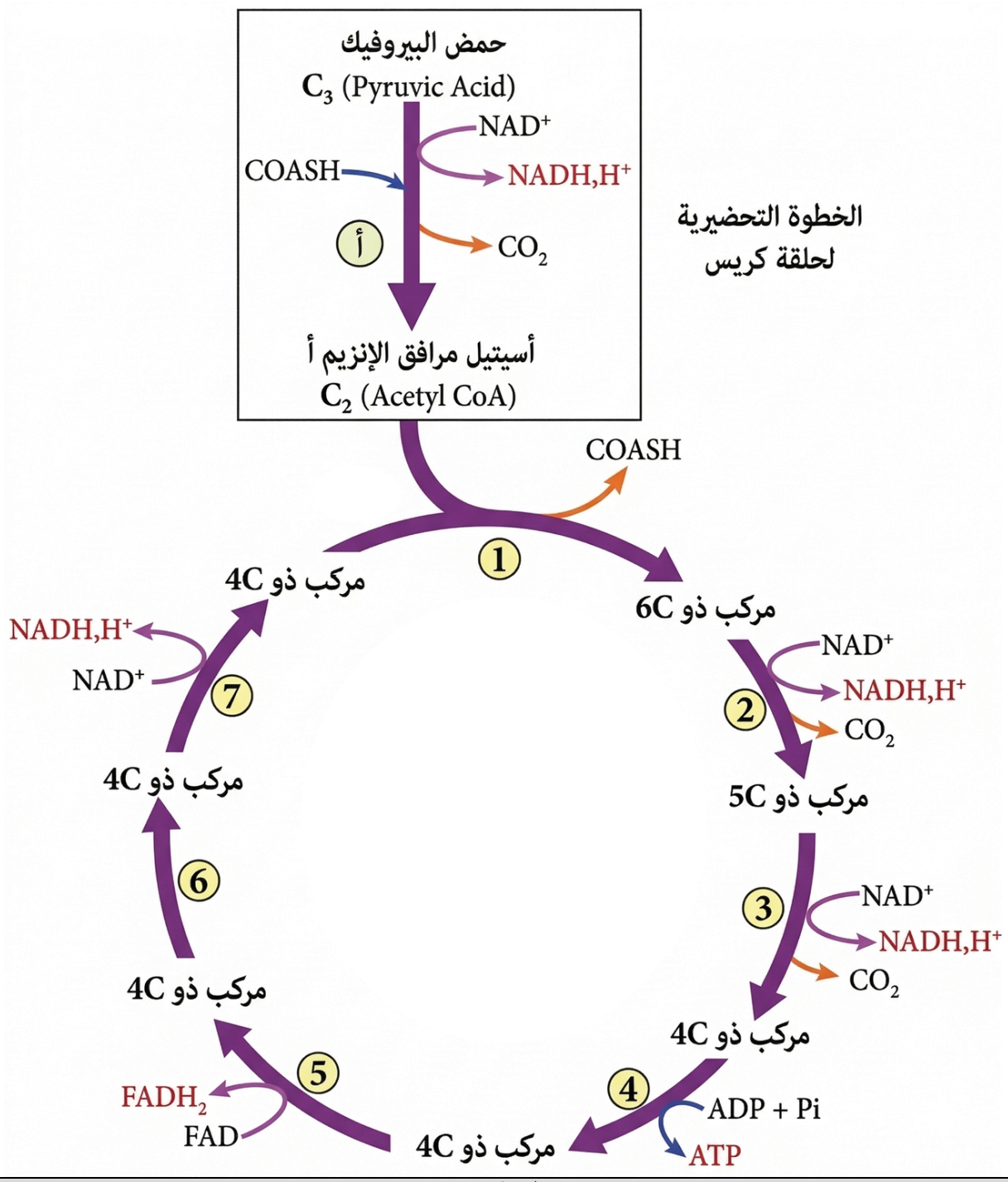
$$\underset{\text{غلوكوز}}{C_6H_{12}O_6} + 2ADP + 2Pi + 2NAD^+ \longrightarrow \underset{\text{حمض البيروفيك}}{2(CH_3-CO-COOH)} + 2ATP + 2NADH.H^+$$

الإستنتاج: على مستوى الهيولى، يُستعمل الغلوكوز من طرف الخلية على شكل مفسفر (C6-P) الذي يُهَدم إلى جزيئتين من حمض البيروفيك (C3) خلال ظاهرة كيموحيوية: التحلّل السّكري (الغلكزة).

3) حلقة كريبس:

النشاط : استغلال الوثيقة 4

جزيئات حمض البيروفيك الناتجة عن تفاعلات التّحلل السكري تنفذ في وجود الأكسجين إلى المادة الأساسية للميتوكوندريا حيث تتواصل عملية التّفكيك، تمثل الوثيقة (4) المراحل الأساسية لتفكّك حمض البيروفيك على مستوى الميتوكوندريا.



الوثيقة (4)

التعليمة: استخرج مراحل تفكك حمض البيروفيك داخل الميتوكوندريا مدعما اجابتك بمعادلات كيميائية.

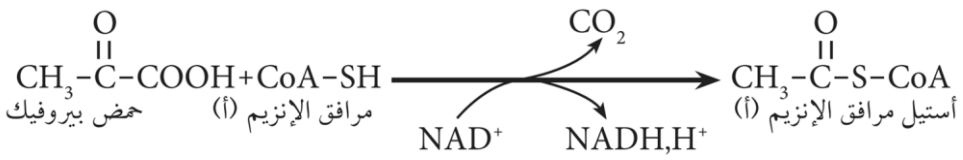
الاجابة:

استغلال الوثيقة (4): المراحل الأساسية لتفكّك حمض البيروفيك على مستوى الميتوكوندريا، حيث نلاحظ:

1- تحوّل حمض البيروفيك إلى أستيل مرافق الإنزيم (أ) يتم بواسطة معقد إنزيمي كبير يقوم بنزع الهيدروجين و ثاني أكسيد الكربون . يعتبر هذا التفاعل خطوة تحضيرية للمرحلة اللاحقة (حلقة كريبس) لذلك تدرج عادة مع حلقة كريبس .

2- تفاعلات حلقة كريبس حيث يشارك أستيل مرافق الإنزيم (أ) ر في سلسلة من التفاعلات بشكل دورة تدعى "حلقة كريبس" و ذلك بتدخّل إنزيمات نازعات الكربوكسيل و الهيدروجين أو إنزيمات نازعات الهيدروجين فقط .

المعادلة الاجمالية للخطوة التحضيرية :



التفاعل 1 : تثبيت أستيل مرافق الإنزيم (أ) على مركب رباعي الكربون.

التفاعل 2 : يتم فيه عملية نزع كربوكسيل و أكسدة و هو ما يسمى بنزع الكربوكسيل التأكسدية décarboxylation oxidative ، إرجاع **NAD+** .

التفاعل 3 : نزع الكربوكسيل التأكسدية (أكسدة في وجود **NAD+** و نزع CO2)، ارجاع **NAD+** .

التفاعل 4 : تركيب ATP (فسفرة ADP) .

التفاعل 5 : تفاعل نزع الهيدروجين(أكسدة) لمركب رباعي الكربون .

التفاعل 6 : تفاعل تماكب.

التفاعل 7 : تفاعل أكسدة لمركب رباعي الكربون و إرجاع المرافق الإنزيمي FAD.

الاستنتاج: على مستوى الميتوكوندري ينفذ حمض البيروفيك إلى الميتوكوندري في وجود O2 ليتمّ هدمه وفق سلسلة من التفاعلات:

- **نزع ثاني أكسيد الكربون**
- **نزع الهيدروجين**

و جملة هذه التفاعلات تشكل حلقة كربس يتم خلالها تجديد المركب C4 و فسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفور اللاعضوي (Pi) .

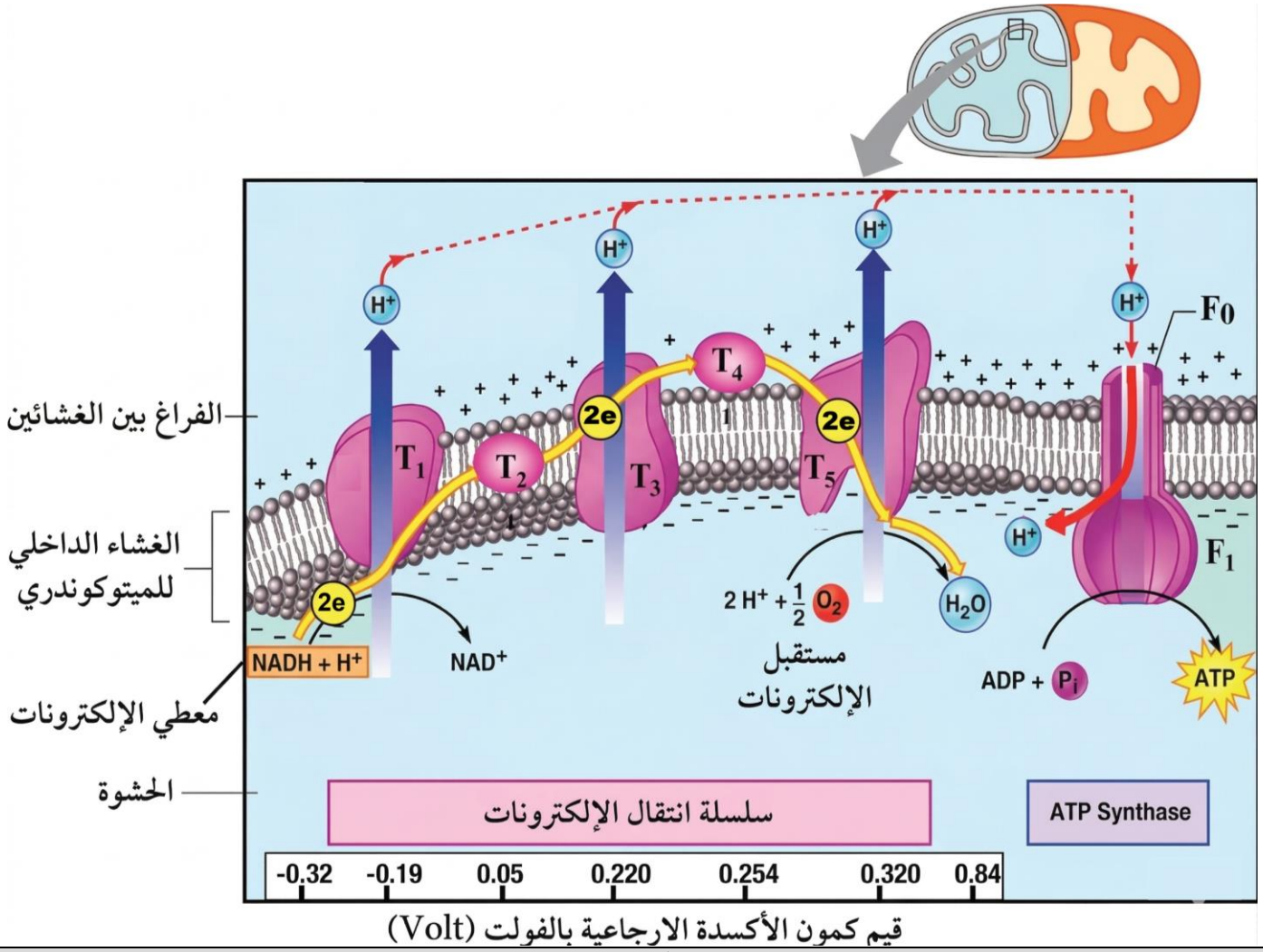
المعادلة الاجمالية لحلقة كريبس :

$$CH_3\text{-}CO\text{-}S\text{-}CoA + 3NAD^+ + FAD^+ + ADP + Pi + 3H_2O \longrightarrow 2CO_2 + 3NADDH{+}H^+ + FDH_2 + ATP + CoA\text{-}SH$$

4) الفسفرة التأكسدية:

النشاط الأول: استغلال الوثيقة 5

تمثل الوثيقة (5) رسمًا تخطيطيًا لألية حدوث الفسفرة التأكسدية في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا.



الوثيقة (5)

التعليمة: **أبرز** دور الغشاء الداخلي للميتوكوندريا في أكسدة المرافقات الأنزيمية المرجعة وتركيب الـ ATP

الاجابة:

استغلال الوثيقة (5): رسمًا تخطيطيًا لألية حدوث الفسفرة التأكسدية في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا، حيث نلاحظ:

يبدأ المسار من $NADH + H^+$ الذي يمنح إلكترونات فتنتقل تدريجيًا عبر نواقل من T1 إلىT5 ، وخلال هذا الانتقال تُستغل الطاقة الناتجة لضخ البروتونات من الحشوة نحو الفراغ بين الغشائين مما يخلق تدرجًا بروتونيًا، وفي النهاية تصل الإلكترونات إلى الأكسجين الذي يعد المستقبل النهائي فتتحد مع الإلكترونات والبروتونات لتعطي الماء، وعودة البروتونات عبر إنزيم ATP Synthaseتسمح بتركيب ATP انطلاقًا من ADP و Pi فيما يعرف بالفسفرة التأكسدية.

الاستنتاج:

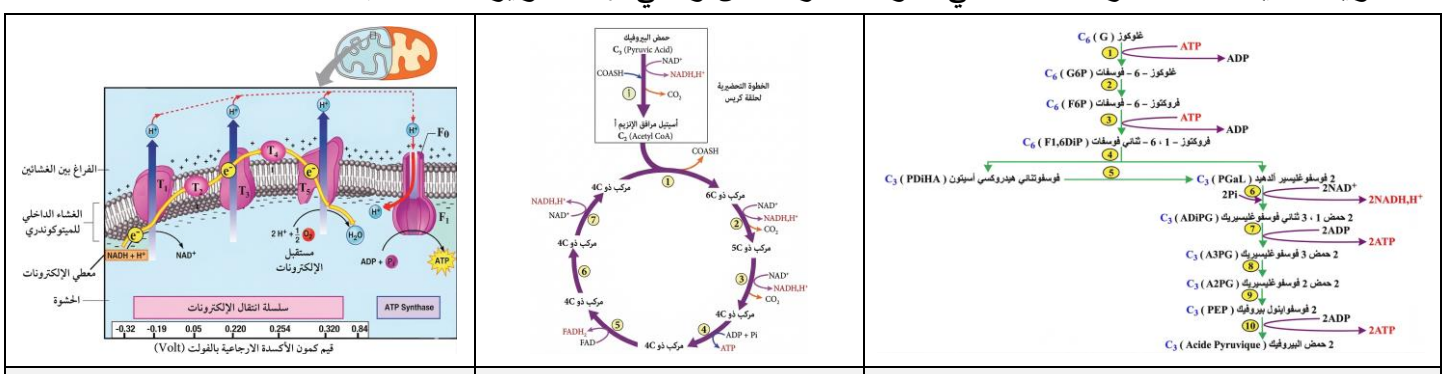
سلسلة انتقال الإلكترونات تحول طاقة الإلكترونات المحمولة من NADH إلى طاقة كامنة في شكل تدرج بروتوني، ثم تُستغل هذه الطاقة لإنتاج ATP، بينما يكون الأكسجين هو المستقبل النهائي للإلكترونات ويتشكل الماء.

ملاحظة: $FADH_2$ له نفس الوظيفة الأساسية لـ NADH من حيث المبدأ العام في التنفس الخلوي، وهي نقل الإلكترونات e^- والبروتونات H^+ إلى سلسلة نقل الإلكترونات لإنتاج ATP. لكن الفرق يكون في كيفية الدخول والتأثير: يدخل NADH إلى السلسلة عبر المركب T1، بينما يدخل $FADH_2$ عبر المركب T2 متجاوزًا المركب T1 النتيجة المشتركة أن كلاهما يتأكسد حيث يتحول NADHإلى NAD^+ و $FADH_2$ إلىFAD ، وكلاهما يساهم في إنشاء تدرج بروتوني يُستعمل لإنتاج ATP عبر الفسفرة التأكسدية، مع اختلاف في كمية ATP المنتجة بسبب اختلاف نقطة الدخول في السلسلة.

5) الحصيلة النهائية:

النشاط : استغلال الوثيقة 6

تمثل الوثيقة التالية مختلف المراحل الداخلة في حدوث ظاهرة التنفس و التي تهدف لتوفير الطاقة القابلة للاستعمال ATP



الوثيقة (6)

التعليمة:: أحسب الحصيلة الطاقية القابلة للاستعمال (عدد الـATP) الناتجة من هدم جزيئة غلوكوز مع العلم أن الطاقة المتحررة من اكسدة NADH.H+ تعادل 3ATP أما الـ FADH2 فتعادل 2ATP

الاجابة:

استغلال الوثيقة (6): مختلف المراحل الداخلة في حدوث ظاهرة التنفس و التي تهدف لتوفير الطاقة القابلة للاستعمال ATP :

المرحلة	ATP	NADH.H+	FADH2	CO2
التحلل السكري من 1 غلوكوز	2	2	0	0
المرحلة التحضيرية من 2 حمض البيروفيك	0	2	0	2
حلقة كريبس من 2 استيل مرافق انزيم-ا-	2	6	2	4
المجموع	4	10	2	6

الحصيلة الطاقوية الناتجة من هدم جزيئة غلوكوز هي 38 جزيئة ATP .

الحصة الثانية: تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الوسط اللاهوائي

تعريف ظاهرة التخمر مقر حدوثها:

النشاط الاول: استغلال الوثيقة 7

تمثل الوثيقة (7) المعادلة الكيميائية الإجمالية لظاهرة التخمر.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2CH_3-CH_2-OH + E$$ قليلة

الوثيقة (7)

النشاط الثاني: استغلال الوثيقة 8

نحضر مزرعة خميرة الخبز في اناء يحتوي على سكر الغلوكوز المشع *G ثمّ نسدّ الإناء بإحكام. يتم تتبع ظهور الاشعاع داخل خلايا الخميرة (الهيولي والميتوكوندريا) بعد فترة زمنية مختلفة.

النتائج موضّحة في الجدول التّالي:

- حمض البيروفيك المشع *P.
- نواتج مشتقة من حمض البيروفيك المشع *A
- *E ايثانول مشع

تمثل الوثيقة نتائج التجربة الهادفة لتتبع مسار الأيض الخلوي (التنفس اللاهوائي) لخميرة الخبز باستخدام تقنية التصوير الإشعاعي الذاتي

الزمن	الوسط	الهيولى	الميتوكندري
0 ز	*G		
1 ز		*G	
2 ز		*2P	
3 ز	$2CO_2$*	*2A	
4 ز		*2E	

الوثيقة (8)

التعليمة: بين مقرّ، مراحل ونواتج هدم الغلوكوز في غياب الأكسجين معرفا الظاهرة باستغلال الوثيقتين 7 و8.

الاجابة:

استغلال الوثيقة (7): تمثل المعادلة الكيميائية الإجمالية لظاهرة التخمر، حيث نلاحظ:

التخمر الكحولي هو ظاهرة حيوية لتحويل الطاقة، تتمثل في الهدم الجزئي لمادة الأيض الغلوكوز في وسط لا هوائي غياب الأكسجين، وينتج عن ذلك:

1. كحول إيثيلي (إيثانول): وهو مركب عضوي لا يزال يختزن طاقة
2. طاقة كيميائية ضئيلة
3. طرح غاز: وهو ثاني أكسيد الكربون

ملاحظة: تسمى هذه العملية بـ "الهدم الجزئي" لأن النواتج (الإيثانول) لا تزال تحتوي على روابط كيميائية لم تُكسر، مما يفسر ضعف المردود الطاقوي مقارنة بالتنفس الخلوي.

استغلال الوثيقة (8): تمثل نتائج التجربة الهادفة لتتبع مسار الأيض الخلوي (التنفس اللاهوائي) لخميرة الخبز باستخدام تقنية التصوير الإشعاعي الذاتي، حيث نلاحظ:

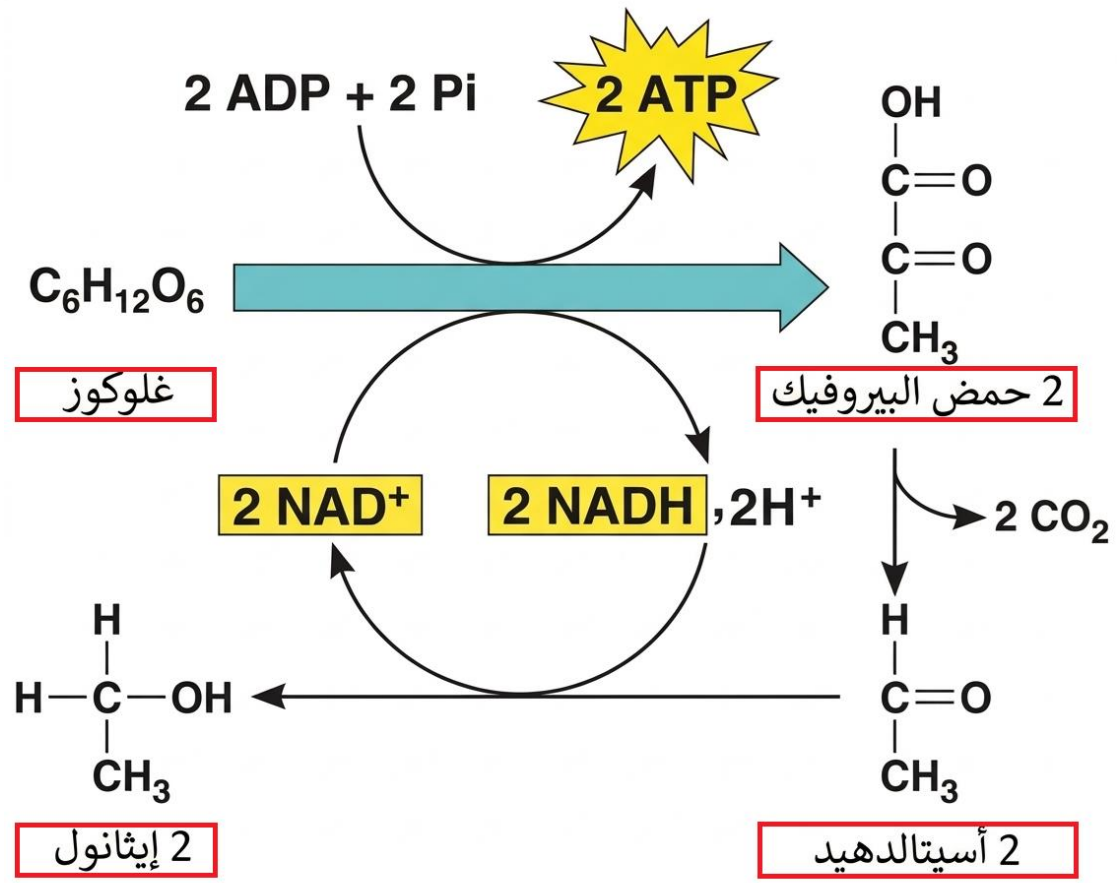
- **من ز0–ز1** ينتقل الغلوكوز المشع من الوسط الخارجي الى هيولى خلايا الخميرة في الوسط اللاهوائي
- **في ز 2** يتحلل الغلوكوز الى حمض البيروفيك الذي يبقى في الهيولى
- **في ز 3** يتحول حمض البيروفيك إلى مركب آخر A في هيولى الخمير و ينتج عن ذلك أيضا CO_2. والذي يتم طرحه الى الوسط الخارجي
- **في ز 4** يظهر الايثانول في هيولى الخميرة
- **الغياب التام** لأي إشعاع داخل الميتوكوندريا طوال الفترات الزمنية المدروسة.

الاستنتاج: في غياب الأكسجين وبعد عملية التحلّل السكري يتمّ هدم حمض البيروفيك على مستوى الهيولى لينتج مركّب آخر جديد وطرح CO2 وتنتهي العملية بتشكل الايثانول.

مراحل عملية التخمر:

النشاط : استغلال الوثيقة 9

يتطلّب استمرار التحلّل السكّري تجديد نواقل الهيدروجين، الوثيقة (9) هذه الآليّة.



الوثيقة (8)

التعليمة: حدّد مصير حمض البيروفيك في غياب الأكسجين مُبرزًا أهميّة ذلك في تجديد نواقل الهدروجين في حالتها المؤكسدَة باستغلالك للوثيقة 9.

الاجابة:

استغلال الوثيقة (8): تمثل الوثيقة معادلات كيميائية تظهر كيفية تجديد نواقل الهيدروجين أثناء التخمر وعلاقة ذلك بالتحلّل السكري حيث نلاحظ:

– تتمّ مرحلة التحلّل السكري من خلال تحويل غلوكوز الى 2 حمض البيروفيك بإنتاج نواقل الهدروجين (المرجعة) NADH.H+ و جزيئتين ATP.

– يتمّ هدم 2 حمض البيروفيك بنزع الكربوكسيل منه لإنتاج 2 أسيتالدهيد CH3COH وهذا الأخير يُختزل بواسطة مرافق انزيم NADH.H+ الذي يتأكسد فيتجدّد النّاقل إلى NAD+ و تتكون جزيئة الايثانول.

الاستنتاج: هدم الغلوكوز في عملية التحلّل السكري مُماثل للتنفس حيث يؤدي إلى تشكيل جزيئتان من حمض البيروفيك، جزيئتان من الـ ATP، ناقلان مرجعان للبروتونات NADH,H+ وبالتّالي تكون الطاقة الناتجة المحصل عليها ضئيلة مقارنة بالطاقة الناتجة في وجود O2.