ملخصات الأستاذ بن خريف مصطفى

علوم طبيعية ثالثة ثانوي

www.facebook.com/bac35

www.bac35.com

إعداد الأستاذ: بن خريف مصطفى
ثانوية الرائد بعرير محمد العربي
- عين الملح -

كل ما يجب حفظه
تركيب البروتين

النشاط ١ ٠: تذكير بالمكتسبات

- يتواجد الـ ADN في النواة وهو دعامة الصفات الوراثية.
- المورثة، قطعة من الـ ADN وهي الدعامة المادية للصفة الوراثية.
- يحدث التعبير المورثي على المستوى الجزيئي، وهو ترجمة المعلومات الوراثية التي يحملها الـ ADN إلى بروتينات (مصدر الصفات الوراثية).

النشاط ٢ ٠: مقر تركيب البروتين

- تقنية التصوير الاشعاعي

المبدأ: تصوير الإشعاعات الصادرة من النظائر المشعة (C^{14}،N^{16}، O^{18}، H^3) التي تدخل في تركيب العينة المدروسة: عضية، خلية، ورقة...

الهدف: تتبع مصير المركب الموسوم بنظير مشع و المركبات التي يدخل في تركيبها أول التحولات التي تطرأ عليه.

- يتركب البروتين في الشبكة الهيولية الفعالة في الهيولى انطلاقا من الأحماض الأمينية الناتجة عن هضم الأغذية.
- جزيئ الـ ARNm هو المسؤول عن نقل المعلومة الوراثية من النواة إلى الهيولى.

- المكونات الكيميائية للـ ARNm

الإماهة الكلية بالقاعدة القوية NaOH : سكر ريبوز ($C_5H_{10}O_5$)، حمض الفوسفوريك H_3Po_4، أربع قواعد آزوتية: A, G, C, U.

الإماهة الجزئية بالإنزيم ARNase : أربع أنواع من النكليوتيدات: نيوكليوتيدة : اليوراسيل، السيتوزين، الأدنين، السيتوزين.

- كيفية انتقال نيوكليوتيدة حرة إلى سلسلة من النيوكليوتيدات: يرتبط المجموع الفوسفوري للنيوكليوتيدة مع السكر الريبي لنيوكليوتيدة أخرى في ذرة الكربون رقم ٣ برابطة أستر فوسفاتية محررا في كل مرة جزيئة ماء.

- مراحل تركيب البروتين: يتم التعبير المورثي في مرحلتين هما: الإستنساخ (في النواة) والترجمة (في الهيولى).

النشاط ٣ ٠: استنساخ المعلومة الوراثية

- الهدف من عملية الاستنساخ: الحصول على نسخة من المعلومة الوراثية مشفرة على شكل جزيئة ARNm ليتم نقلها وترجمتها في الهيولى إلى بروتين.

- مقارنة بين جزيئتي الـ ADN والـ ARN

ADN	ARN
- عبارة عن سلسلتين من تتابع النكليوتيدات - يتركب من سكر ريبوز منقوص ذرة الأكسجين $C_5H_{10}O_4$ - يتميز بالقاعدة الآزوتية التايمين T.	- عبارة عن سلسلة واحدة من تتابع النكليوتيدات. - يتركب من سكر ريبوز كامل ذرات الأكسجين $C_5H_{10}O_5$ - يتميز بالقاعدة الآزوتية اليوراسيل U.

- الإنزيم المسؤول عن تركيب نسخة من المعلومة الوراثية (أي الـ ARNm) هو: الـ ARN بوليميراز، حيث يركب جزيئة الـ ARNm انطلاقا من السلسلة الناسخة (المستنسخة) للمورثة.
- **مراحل عملية الاستنساخ:** تتم عملية الاستنساخ في ثلاث مراحل

أ- **الانطلاق:** يرتبط الإنزيم ARN بوليميراز بمنطقة البداية للمورثة، يكْسِر الروابط الهيدروجينية ويفتح السلسلتين، ثم يبدأ بقراءة تتابع النيكليوتيدات على السلسلة المستنسخة ويربط النيوكليوتيدات الموافقة لها.

ب- **الاستطالة:** ينتقل الإنزيم ARN بوليميراز على طول المورثة ويقرأ تتابع النكليوتيدات على السلسلة المستنسخة ويربط النيكليوتيدات الحرة الموافقة لها فيستطيل جزيء الـ ARNm المتشكل.

ت- **النهاية:** يصل الإنزيم إلى نهاية المورثة، تتوقف استطالة الـ ARNm الذي ينفصل عن الـ ADN، ينفصل الإنزيم وتلتحم سلسلتي الـ ADN من جديد.

- **الاستنساخ المتعدد:** هو ارتباط عدة انزيمات من ARN بوليميراز لاستنساخ مورثة واحدة لتركيب عدد كبير من نفس جزيئات الـ ARN.
- **نضج الـ ARNm:** الـ ARNm الناتج بعد الاستنساخ مباشرة يدعى بـ ARNm أولي (ما قبل الرسول). في النواة، تتدخل انزيمات متخصصة وتحذف منه قطع غير دالة (انترونات) لا تحمل معلومات وراثية، وتركب القطع الدالة (اكسونات) التي تحمل معلومات وراثية، فينتج ARNm ناضج (جاهز لعملية الترجمة)، يخرج من النواة عبر الثقب النووي إلى الهيولى مقر الترجمة.

النشاط ٤ : الترجمة

- يتم فيها ترجمة اللغة النووية (الشفرة الوراثية) إلى لغة بروتينية (متتالية أحماض أمينية).
- المعلومة الوراثية قد استنسخت في النواة بشفرة خاصة تدعى: الشفرة الوراثية والمتمثلة في جزيء الـ ARNm.
- تتمثل وحدة الشفرة الوراثية بالرامزة وهي تتابع لـ ثلاث نيوكليوتيدات (ثلاثية من القواعد الآزوتية).

النشاط ٥ : مراحل الترجمة

تقنية الطرد المركزي: الهدف: فصل المكونات الخلوية (عضيات وجزيئات) حسب وزنها الجزيئي (كثافتها أو معامل ترسيبها S).
المبدأ: ترسب المكونات الخلوية حسب وزنها الجزيئي.
- **مقر تركيب البروتين:** في الهيولى على مستوى الشبكة الهيولية الفعالة. والعضيات المتدخلة بشكل مباشر هي الريبوزومات.
- **دور متعدد الريبوزوم:** هو إنتاج سلاسل ببيتيدية أكثر في وقت قصير لتلبية حاجات العضوية.

أنماط ARN الهيولي

أ- الـ ARNm الرسول (messager)

- الطبيعة الكيميائية: يتكون من أربع أنواع من النكليوتيدات من نوع U, G, C, A، و كل نكليوتيدة تتكون من ثلاث مركبات : سكر ريبوز كامل ذرات الأكسجين، حمض الفوسفور و قاعدة آزوتية.
- وصف البنية: عبارة عن سلسلة واحدة من تتابع النكليوتيدات (خيط مفرد).

ب- الـ ARNt الناقل (transfer)

- الطبيعة الكيميائية: نفس الطبيعة الكيميائية للـ ARNm.
- وصف البنية: ملتف على شكل حرف L مقلوب، ويحتوي على موقعين: موقع خاص بتثبيت الحمض الأميني، و موقع خاص بالرامزة المضادة.

ج- الـ ARNr الريبوزومي

- الطبيعة الكيميائية: نفس الطبيعة الكيميائية للـ ARNm.

يدخل الـ ARNr الريبوزومي في تركيب الريبوزوم، العضية المسؤولة عن تركيب البروتين (الترجمة).
- الطبيعة الكيميائية للريبوزوم : تتكون تحت الوحدة الكبرى من ٣١ نوع من البروتينات الخاصة و نوعين من الـ ARNr (23S، 5S). وتتكون تحت الوحدة الصغرى من ٢١ نوع من البروتينات الخاصة وARNr من نوع 16S.

وصف بنية الريبوزوم: يتكون الريبوزوم من تحت وحدة صغرى وتحت وحدة كبرى بينهما نفق لتوضع الـ ARNm و انزلاقه أثناء الترجمة، و نفق في تحت الوحدة الكبرى لخروج السلسلة البيبتيدية المتشكلة، كما تحتوي تحت الوحدة الكبرى على موقعين للـ ARNt: موقع A خاص بالحمض الأميني و موقع P خاص بالبيبتيد.

د- تنشيط الأحماض الأمينية: هو عملية ربط الحمض الأميني بالـ ARNt بواسطة إنزيم نوعي الذي يستهلك في ذلك طاقة على شكلATP.

١- **مراحل الترجمة:** تتم عملية الترجمة في ثلاث مراحل

أ- **الانطلاق:** يتم فيها تشكل معقد الانطلاق: تتوضع تحت وحدة صغرى على خيط الـ ARNm ثم يرتبط الـ ARNt الأول حاملا للحمض الأميني الأول (الميثيونين) رامزة الإنطلاق AUG حيث يعرفه بالرامزة المضادة، ثم ترتبط تحت الوحدة الكبرى بتحت الوحدة الصغرى حيث يكون الـ ARNt الأول في الموقع P والـ ARNt الثاني في الموقع A. ثم تتشكل رابطة ببتيدية بين الحمضين الأمينيين بتدخل إنزيمات متخصصة وطاقة على شكل ATP. ثم ينفصل الحمض الأميني Met.

ب- **الإستطالة:** يتم فيها استطالة السلسلة الببتيدية: ينفصل الـ ARNt الأول ثم ينتقل الريبوزوم رامزة واحدة على ARNm فيصبح الـ ARNt الثاني في الموقع P و الموقع A فارغ، فيأتي الـ ARNt الثالث حاملا الحمض الأميني الثالث الموافق للرامزة الثالثة، و بنفس الطريقة تستطيل السلسلة البيبتيدية.

ت- **النهاية:** انفصال معقد الإنطلاق: يصل فيها الريبوزوم إلى إحدى رامزات التوقف (UGA, UAG, UAA) فتنفصل السلسلة البيبتيدية و ينفصل عنها حمض الميثيونين، ينفصل الـ ARNm و يتفكك و تعود مكوناته إلى النواة و ينفصل الـ ARNt الأخير و تنفصل تحت الوحدتين عن بعضهما.

مصير البروتين بعد تركيبه: ينضج في جهاز كولجي ويوجه نحو المقر الذي يؤدي فيه وظيفته داخل أو خارج الخلية. إذا كانت البروتينات المصنعة ستفرز خارج الخلية، فإنها تتجه من الش هـ ف عن طريق حويصلات انتقالية إلى جهاز كولجي، هذا الأخير يضعها في حويصلات إفرازية ويصدرها إلى خارج الخلية بظاهرة الإطراح الخلوي.

يتم تصنيع البروتين في أوليات النوى في مرحلتين تتمان في نفس المكان، أما عند حقيقيات النوى فتتمان في مرحلتين منفصلتين وذلك لوجود الغشاء النووي.

إعداد الأستاذ: بن خريف مصطفى
ثانوية الرائد بعرير محمد العربي
- عين الملح -

كل ما يجب حفظه

العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين

النشاط ٠١: تمثيل البنية الفراغية للبروتينات

١- **استعمال برنامج راستوب:** تمثيل البنية الفراغية للبروتينات بشكل مفصل على شكل نماذج أهمها: نموذج الكرة (النموذج المكدس)، نموذج العود، نموذج الكرة والعود، النموذج الشريطي.

النشاط ٠٢: مستويات البنية الفراغية للبروتين

١- البنية الأولية

- هي سلسلة ببتيدية تتكون من تتابع أحماض أمينية مرتبطة **بروابط ببيتيدية**.

٢- البنية الثانوية

- هي انطواء السلسلة الببتيدية ذات البنية الأولية في مناطق محددة بشكل حلزوني أو ورقي.

- **البنية الثانوية α (البنية الحلزونية):** عندما يكون الالتفاف حلزوني.

- **البنية الثانوية β (البنية الورقية):** عندما يكون الانطواء على شكل ورقات مطوية.

- **تنتج** هذه البنية و **تبقى ثابتة** بواسطة روابط هيدروجينية بين الوظائف الكربوكسيلية -CO- والأمينية -NH- للروابط الببتيدية.

٣- البنية الثالثية

- هي سلسلة ببتيدية تحتوي على عدد من البنيات الثانوية α أو β أو كليهما، ومنطوية في مستوى المناطق البينية (مناطق الانعطاف). تتشكل هذه البنية وتحافظ على استقرارها بتشكل أربع أنواع من الروابط:

- **روابط هيدروجينية (ضعيفة):** بين الوظائف الكيميائية للجذور الجانبية.

- **روابط شاردية (ضعيفة):** بين المجموعات الكيميائية السالبة والموجبة في الجذور الجانبية.

- **جذور كارهة للماء (ضعيفة):** تنجذب الجذور المحبة للماء وتتنافر الجذور الكارهة للماء.

- **الروابط (الجسور) الكبريتية (قوية):** تتشكل بين الجذور الكبريتية.

٤- **البنية الرابعية:** هي ارتباط سلسلتين أو أكثر ذات بنية ثالثية بروابط ضعيفة، تسمى كل منها بتحت الوحدة.

٥- **الهدف** من انتقال بنية البروتين من مستوى إلى مستوى أكثر تعقيدا هو: **الوصول بنيته الوظيفية**.

٦- **البنيات الوظيفية للبروتينات هي**: إما الثالثية أو الرابعية.

النشاط ٠٣: العلاقة بين بنية و وظيفة البروتين

١- الحمض الأميني

هو مركب عضوي صيغته العامة $R\text{-}\underline{C}HNH_2\text{-}COOH$ حيث الجذر R جزء متغير. يتميز بالخاصية الأمفوتيرية (الحمقلية) لأنه يحتوي على الوظيفتين: الكربوكسيلية COOH- والأمينية NH_2- المرتبطتين بالكربون المركزي α.

٢- يوجد ٢٠ حمض أميني تتركب منها كل البروتينات، تختلف فيما بينها في السلسلة الجانبية (الجذر R).

٣- تصنف الأحماض الأمينية حسب الجذر R إلى: متعادلة، حمضية وقاعدية.

٤- سلوك الأحماض الأمينية

يتميز الحمض الأميني بالخاصية الأمفوتيرية أو الحمقلية لأنه يحمل وظيفتين قابلتين للتأين (حمضية وقاعدية) مما يجعله يسلك سلوك الحمض في الوسط القاعدي (يحرر بروتونا H^+)، وسلوك القاعدة في الوسط الحامضي (يكسب بروتونا).

٥- يتميز كل حمض أميني بـ: **نقطة تعادل كهربائي (pHi)** خاصة به وتختلف عن الأحماض الأخرى.

الـ pHi (**p**otentiel d'**H**ydrogène **I**soélectrique)

- هي درجة الـ pH التي يكون فيها الحمض متعادل كهربائيا في الوسط.

- تحدد الـ pHi سلوك الحمض الأميني في الوسط:

- **pH≥pHi**: الحمض الأميني في وسط قاعدي، يسلك سلوك الحمض (يفقد H^+) فتصبح إشارته (-) ويهاجر نحو القطب (+).

- **pH<pHi**: الحمض الأميني في وسط حمضي، يسلك سلوك القاعدة (يكتسب H^+) فتصبح إشارته (+) ويهاجر نحو القطب (-).

- **pH=pHi**: الحمض الأميني في حالة متعادلة مع الوسط (لا يفد ولا يكتسب بروتونا) وبالتالي لا يهاجر إلى أي من القطبين.

- تتميز الببتيدات كذلك بالخاصية الأمفوتيرية، ويختلف سلوكها في الوسط بقدرة سلاسلها الجانبية على التفكك الشاردي.

الهدف من استعمال تقنية الهجرة الكهربائية: فصل الجزيئات القابلة للتشرد (أحماض أمينية، ببتيدات) ودراسة سلوكها في الوسط حسب درجة الـ pH.

٦- الرابطة الببتيدية

النوع: رابطة تكافؤية.

كيفية التشكل: تتشكل من ارتباط مجموعة **الكربوكسيل** للحمض الأميني الأول ومجموعة **الأمين** للحمض الأميني الثاني وتحرر جزيئة ماء. $H_2N\text{-}CHR1\text{-}\mathbf{CO\text{-}NH}\text{-}CHR_2\text{-}COOH$ (يجب حفظ معادلة تشكل الرابطة الببتيدية).

٧- تأخذ البروتينات بنيات فراغية مختلفة، يحددها: **عدد ونوع** (طبيعة) **وتتالي** (ترتيب) الأحماض الأمينية التي تدخل في بنائها.

٨- بنية البروتين محددة وراثيا

- تحدد **المعلومات الوراثية** عدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية المركبة للبروتين. تنشأ بين هذه الأحماض الأمينية روابط في مواضع محددة كذلك (هيدروجينية، ثنائية الكبريت، شاردية وتجاذب الجذور الكارهة للماء)، فتنتج بنية ثابتة ومستقرة للبروتين تحدد وظيفته.

٩- تخريب بنية البروتين

يؤدي تفكيك الروابط المحافظة على استقرار بنية البروتين بتدخل عوامل فيزيائية كالحرارة أو كيميائية كـ pH الوسط إلى تخريب بنيته الفراغية وبالتالي فقدان وظيفته.

تخريب البروتين قد يكون:

- **تخريب عكسي:** و فيه يمكن للبروتين أن يسترجع بنيته وبالتالي وظيفته.

- **تخريب غير عكسي:** عندما لا يستطيع البروتين استرجاع بنيته وبالتالي وظيفته.

إعداد الأستاذ: بن خريف مصطفى
ثانوية الرائد بعرير محمد العربي
- عين الملح -

أهم الأسئلة في وحدة
النشاط الإنزيمي للبروتينات

- أعط تعريفا للإنزيم.

الإنزيم وسيط حيوي ذو طبيعة بروتينية يحفز التفاعلات الحيوية، يتميز بتأثيره النوعي تجاه مادة التفاعل ولا يُستَهلك أثناء التفاعل. يعمل في شروط محددة من درجة الحرارة والحموضة.

- علل تسمية الإنزيم بالوسيط الحيوي.

وسيط: لا يستهلك أثناء التفاعل (لا يتأثر بالتفاعل)، **حيوي**: جزيئة ذات طبيعة بروتينية تحفز التفاعلات الحيوية.

- كيف يتم قياس نشاط (سرعة) الإنزيم؟

بقياس تناقص تركيز مادة التفاعل S أو تزايد تركيز الناتج P خلال الزمن.

- ما هو التخصص المزدوج (المضاعف) للإنزيم؟

يتميز الانزيم بتخصصين: ١- تخصص بالنسبة لمادة التفاعل لأن كل إنزيم يعمل مع مادة تفاعل معينة نتيجة التكامل البنيوي بين الموقع الفعال و مادة التفاعل.٢- تخصص بالنسبة لنوع التفاعل، فكل إنزيم يحفز تفاعل معين مع مادة التفاعل.

- عرف البنية الفراغية للانزيم.

هي شكل ثابت ومستقر يكسب البروتين وظيفة محددة (تخصص وظيفي)، ينتج عن ارتباط عدد ونوع وترتيب معين من الأحماض الأمينية تنشأ بينها روابط كيميائية في مواضع محددة بدقة (شاردية، كبريتية، هدروجينية، تجاذب الجذور الكارهة للماء).

- ما الذي يكسب الانزيم تخصصا وظيفيا؟

بنيته الفراغية التي تتميز بوجود موقع فعال يتكامل بنيويا مع مادة تفاعل معينة.

- عرف الموقع الفعال للإنزيم.

جزء من الإنزيم يتكون من عدد و نوع و ترتيب معين من الأحماض الأمينية، يتميز بالتكامل البنيوي مع مادة التفاعل و يتكون من موقعين: **موقع التثبيت** لتثبيت مادة التفاعل، و **موقع التحفيز** لتحويل على مادة التفاعل.

- لماذا يثبُت نشاط الإنزيم عند تركيز معين لمادة التفاعل؟

لأن الإنزيم يحتوي على عدد محدد من المواقع الفعالة وعند تشبعها يثبت نشاط الإنزيم.

- ما هو التكامل المحفَّز؟

هو تغير شكل الموقع الفعال للإنزيم تحت تأثير مادة التفاعل ليصبح متكاملا معها.

- كيف يحدث التكامل بين الموقع الفعال ومادة التفاعل؟

بارتباط الوظائف الكيميائية لمادة التفاعل مع الوظائف الكيميائية للسلاسل الجانبية لبعض الأحماض الأمينية الموجود على مستوى الموقع الفعال.

- يتدخل عدد قليل من الأحماض الأمينية للتأثير على مادة التفاعل، كيف تؤكد ذلك؟

تتكون بنية الإنزيم من عدد كبير من الأحماض الأمينية، ولكن لا يتدخل في التأثير على مادة التفاعل بشكل مباشر إلا الأحماض الأمينية التي تركب الموقع الفعال حيث تقوم بتثبيت مادة التفاعل والتأثير عليها لتحويلها إلى ناتج.

- ما هي أنواع التفاعلات الإنزيمية؟

تقوم الإنزيمات بتنشيط ثلاث أنواع من التفاعلات:

١- تفاعلات التحويل: $E + S \rightarrow ES \rightarrow E + P$ ، ٢- تفاعلات التفكيك: $E + S \rightarrow ES \rightarrow E + P1 + P2$

٣- تفاعلات التركيب: $E + S1 + S2 \rightarrow ES1S2 \rightarrow E + P$

- كيف تؤثر درجة حموضة الوسط على النشاط الإنزيمي؟

تؤثر درجة الحموضة على الوظائف الكربوكسيلية والأمينية لجذور الأحماض الأمينية خاصة تلك التي تركب الموقع الفعال، فيتغير شكل الموقع الفعال ويمنع حدوث التكامل بين المجموعات الكيميائية للإنزيم ومادة التفاعل.

- كيف تؤثر درجة الحرارة على نشاط الإنزيم؟

درجة الحرارة المرتفعة تكسِّر الروابط المحافظة على بنية الإنزيم فيتخرب ويفقد نشاطه بصورة غير عكسية. ودرجة الحرارة المنخفضة تقلل حركة الجزيئات فيتوقف نشاط الإنزيم كليا بصورة عكسية.

- **خصائص أخرى للإنزيم**: بعض الانزيمات تنشط بعد إفرازها (مثل الإنزيم: الببسين)، وبعضها يتطلب الارتباط بعامل مساعد أثناء التفاعل ليقوم بوظيفة التحفيز، يسمى هذا العامل المساعد بـ **مرافق الانزيم**. قد يكون مرافق الانزيم فيتامينا أو مركبا عضويا وغالبا ما يكون من الشوارد.

إعداد الأستاذ: بن خريف مصطفى
ثانوية الرائد بعرير محمد العربي
- عين الملح -

دور البروتينات في الدفاع عن الذات

36 سؤال و جواب

النشاط 01: تذكير بالمكتسبات

1- كيف تتصدى العضوية للأجسام الغريبة؟ بنوعين من الاستجابة المناعية:
- **الاستجابة المناعية اللانوعية:** تشمل خطين دفاعيين:
  - الخط الدفاعي الأول: الحواجز (الموانع) الدفاعية الطبيعية.
  - الخط الدفاعي الثاني: الرد الالتهابي.
- **الاستجابة المناعية النوعية:** تمثل الخط الدفاعي الثالث وهي نوعان:
  - **استجابة مناعية خلطية:** تتدخل فيها الخلايا البلازمية بإنتاج الأجسام المضادة.
  - **استجابة مناعية خلوية:** تتدخل فيها اللمفاويات LTc.

2- لماذا يسمى النوع الأول بالاستجابة اللانوعية؟ لأنها **لا تختص بنوع** محدد من الأجسام الغريبة وتتخلص من كل المستضدات بنفس الكيفية. وتسمى كذلك بالمناعة **الطبيعية أو الفطرية** لأن العناصر المتدخلة فيها موجودة في العضوية قبل دخول المستضد.

3- لماذا يسمى النوع الثاني بالاستجابة النوعية؟ لأن كل استجابة تختص **بنوع محدد** من المستضدات حرض على إثارتها.

النشاط 02: الذات واللاذات

3- ما الهدف من تجربة الوسم المناعي (الفلورة المناعية)؟ تحديد مناطق تمركز الجزيئات البروتينية المحددة للذات من اللاذات.

4- ما هو دور الغشاء الهيولي في الدفاع عن الذات؟ يحمل الغشاء الهيولي بروتينات غشائية خاصة محددة للذات وبفضلها يراقب ويتعرف على الجزيئات الغريبة التي يمكن أن تخترقه.

5- ما هي الخواص الفيزيائية للغشاء الهيولي؟ يتميز الغشاء الهيولي بميزتين فيزيائيتين أساسيتين: 1- **فسيفسائي**: لأنه يتكون من جزيئات متنوعة مختلفة الأحجام و الأوضاع و الطبيعة الكيميائية. 2- **مائع**: لأن جزيئاته الغشائية غير مستقرة (تتحرك باستمرار).

6- صف تجربة التهجين الخلوي.
- **التجربة:** بتقنية خاصة، ندمج خليتين مختلفتين (خلية فأر وخلية إنسان مثلا) بحيث تكون البروتينات الغشائية لأحد الخليتين مرتبطة بأجسام مضادة مفلورة بلون معين والبروتينات الغشائية للخلية الأخرى مرتبطة بأجسام مضادة مفلورة بلون آخر.
- **الملاحظة:** بعد اندماج الخليتين، نلاحظ توزع الفلورة بانتظام حول الخلية الكبيرة الهجينة الناتجة عن اندماج الخليتين.
- **النتيجة:** بروتينات الغشاء الهيولي غير ثابتة بل هي في حركة دائمة مما يكسبه خاصية **الميوعة**.

7- ما الهدف من تجربة التهجين الخلوي؟ إثبات خاصية الميوعة للغشاء الهيولي.

8- بين تجريبيا الطبيعة الكيميائية للجزيئات المحددة للذات؟ وصف تجربة معالجة خلية لمفاوية بالإنزيم غليكوسيداز.

9- عرف مورثات الـ CMH. مجموعة من المورثات تُشرف على إنتاج بروتينات غشائية مُحدِّدة للذات تُدعى الـ HLA.

10- عرف الـ HLA. جزيئات غشائية ذات طبيعة غليكوبروتينية ناتجة عن التعبير المورثي لمورثات الـ CMH دورها التمييز بين الذات واللاذات (الـ HLA جزيئات خاصة بالإنسان، وتسمى عند الكائنات الأخرى: جزيئات الـ CMH).

ملاحظة: تشمل عبارة **"معقد الـ CMH"** كل من المورثات والجزيئات.

11- بماذا تتميز مورثات الـ CMH؟ تتميز مورثات الـ CMH بثلاث ميزات: 1- عدد كبير من الأليلات (تنوع كبير)، 2- لا توجد سيادة بين الأليلات، 3- مرتبطة ومتقاربة على الصبغي.

ملاحظة: إذا طلب تفسير اختلاف الـ CMH، اختلاف الـ HLA ورفض الطعم، فإننا نفسرها بالمميزات الثلاث لمورثات الـ CMH.

12- فسر اختلاف جزيئات الـ HLA من شخص لآخر. لأن مورثات الـ CMH التي تشرف على إنتاج جزيئات الـ HLA تتميز بـ: 1- عدد كبير من الأليلات، 2- لا توجد سيادة بينها، 3- مرتبطة و متقاربة على الصبغي، وبالتالي تنتج جزيئات HLA مختلفة من شخص لآخر.

13- فسر رفض الطعم بين الأشخاص؟ كل شخص يتميز بـ CMH معين لأن كل مورثة من مورثاته لها عدد كبير من الأليلات ولا توجد سيادة بينها ومرتبطة ومتقاربة على الصبغي، وبالتالي تنوع الـ HLA بين الأفراد، مما يفسر رفض الطعوم.

14- فسر اختلاف الزمر الدموية. يعود اختلاف الزمر الدموية إلى اختلاف نوع السكر السادس المرتبط بالجزيئة القاعدية المميزة للزمرة الدموية.

15- عرف الأليل. هو شكل من أشكال المورثة.

معلومة 1: يمكن أن يكون للمورثة الواحدة عدد كبير من الأليلات يصل الـ 50، ولكن كل فرد لا يحمل إلا أليلين فقط لكل مورثة يُحملان على الصبغيين المتماثلين (أحدهما آت من الأب والآخر من الأم).

16- عرف الذات. مجموعة من الجزيئات مشفرة وراثيا ومحمولة على السطح الخارجي لأغشية خلايا العضوية. يصطلح عليها بالمعقد الـ CMH والنظام ABO والنظام Rh، وهي تمثل بطاقة الهوية البيولوجية للفرد.

17- عرف اللاذات. مجموع الجزيئات الغريبة عن العضوية والقادرة على إثارة استجابة مناعية والتفاعل نوعيا مع ناتج الاستجابة قصد القضاء عليه.

الأنشطة 03، 04، 05: الاستجابة المناعية الخلطية

18- لماذا تسمى بالاستجابة الخلطية؟ لأنها تتم بتدخل جزيئات (أجسام مضادة) تنتقل في السوائل الخلطية للعضوية (المصل واللمف أساسا).

19- ما الهدف من تجربة الانتشار المناعي (أوشترلوني)؟ تثبت خاصية **النوعية** للأجسام المضادة اتجاه المستضد الذي حرض إنتاجها.

20- عرف الجسم المضاد. جزيئة بروتينية من النوع δ غلوبيلين تنتجها الخلايا البلازمية، ترتبط نوعيا بالمستضدات وتشكل معقدات مناعية تعدّل من سميتها.

معلومة 2: الأجسام المضادة عالية التخصص اتجاه المستضد الذي حرض إنتاجها، ومع ذلك يمكنها الارتباط مع مستضد آخر ذو بنية مشابهة.

معلومة 3: توجد نوعين من الأجسام المضادة: أجسام مضادة حرة تسبح في المصل (مصلية) و أجسام مضادة مرتبطة بأغشية الخلايا (غشائية).
تصنف الأجسام المضادة إلى خمسة أنواع تتركب كلها من نفس الوحدة (بنية على شكل حرف Y تتركب من سلسلتين خفيفتين وسلسلتين ثقيلتين ترتبط بجسور ثنائية الكبريت). يختلف عدد الوحدات من جسم مضاد لآخر، كما أن هذه الوحدات تختلف في طول السلاسل الثقيلة والخفيفة وعدد الجسور الكبريتية. وبعض الأجسام المضادة ترتبط بالخلايا البالعة وتنشِّط عناصر المتمم والبعض الآخر لا تقوم بذلك.

الجسم المضاد IgG: يتكون من بنية واحدة Y ويمثل 75% من الأجسام المضادة المصلية. يرتبط بمختلف المستضدات ويشكل معقدات مناعية لتسهيل بلعمتها. هذا النوع هو الوحيد الذي يمكنه العبور من الأم إلى الجنين عبر المشيمة.

الجسم المضاد IgA: يصنف الثاني من حيث الكمية. يتكون في المصل من وحدة واحدة Y وفي الإفرازات من وحدتين Y مرتبطتين. يفرز أساسا مع الإفرازات الخارجية: الدموع، اللعاب، المخاط.

الجسم المضاد IgM: يصنف الثالث من حيث كميته في المصل. تفرزه الخلايا البلازمية في بداية تمايزها و يتكون من ارتباط خمسة (5) وحدات Y. يوجد نوع من الـ IgM الغشائي يتكون من وحدة واحدة Y ويقوم بدور مستقبل غشائي نوعي على غشاء الخلية اللمفاوية LB يسمى الـ BCR.

الجسم المضاد IgD: يوجد بكمية قليلة جدا في المصل ويتكون من وحدة واحدة Y. يتواجد أساسا على سطح غشاء الخلية اللمفاوية LB حيث يمثل المستقبل الغشائي النوعي للمستضدات (BCR). دوره في المصل مازال محل بحث ولم يوضح بعد.

الجسم المضاد IgE: الجسم المضاد الأقل كمية في المصل. يتكون من وحدة واحدة Y ويفرز في تفاعلات فرط الحساسية.

21- بماذا يتميز المستضد؟ بميزتين أساسيتين:

- يختلف وراثيا عن العضوية (لا يحمل محددات الذات).
- عند دخوله للعضوية يحرضها على استجابة مناعية ضده.

ملاحظة: من هاتين الميزتين **نعرف المستضد** كما يلي: كل عنصر يختلف وراثيا عن العضوية، وعند دخوله فيها يحرض الجهاز المناعي على استجابة مناعية قصد التخلص منه.

22- ما هو الأناتوكسين؟ توكسين فاقد لقدرته السمية ومحتفظ بقدرته المستضدية (القدرة على إثارة استجابة مناعية).

23- كيف يصبح الجسم المضاد فعال؟ عند ارتباطه بالمستضد وتشكل المعقد المناعي.

24- ما هي مميزات الاستجابة المناعية النوعية؟ ثلاث ميزات: النوعية، الاكتساب والنقل.

- **النوعية:** لأن العناصر المتدخلة فيها (الأجسام المضادة واللفاويات السامة LTc) لا تتعرف وتهاجم إلا المستضد الذي حرض إنتاجها لوجود التكاملات البنيوية.
- **الاكتساب:** لأن العضوية تكتسب مناعة بعد دخول المستضد وإثارته استجابة مناعية، وذلك بفضل الخلايا الذاكرة LBm، LT8m وLT4m المسؤولة عن حفظ المناعة.
- **النقل:** يمكن نقلها من عضوية لأخرى (نقل المصل الممنع - الاستمصال - أو الخلايا اللمفاوية).

25- بماذا تتميز الاستجابة المناعية الثانوية (عند دخول المستضد لمرة ثانية)؟ مقارنة بالاستجابة الأولية (عند دخول المستضد للمرة الأولى) الاستجابة الثانوية تكون:

- **أكثر سرعة:** لأن الخلايا الذاكرة تحتفظ بخصائص المستضد وبالتالي تتكاثر وتتمايز مباشرة إلى خلايا بلازمية منتجة لأجسام مضادة نوعية وتوفر زمن التعرف على المستضد.

- **أكثر فعالية:** لأنه يتم فيها إنتاج كمية كبيرة من العناصر الدفاعية (Ig وLTc) في وقت أقل.

معلومة 4: بعد دخول نفس المستضد للعضوية لأكثر من مرة، فإن الأجسام المضادة **"تنضج"** أي يصبح موقع تثبيت محدد المستضد أكثر تكاملا مع محدد المستضد من المرات السابقة وبالتالي يتم الارتباط والتخلص من المستضد في وقت أقل.

الأنشطة 06، 07، 08 الاستجابة المناعية الخلوية

26- لماذا تحدث بكتيريا السل (البكتيريا العصوية BK) استجابة مناعية خلوية وليس خلطية؟ لأن هذه البكتيريا تغزو الخلية وتتكاثر داخلها فتتدخل الـ LTc للتخلص من الخلايا المصابة بها.

معلومة 5: الأجسام المضادة لا تدخل للخلايا، لذا تقصى الخلايا المصابة ببكتيريا ذات تكاثر داخل خلوي باستجابة خلوية بتدخل الـ LTc.

27- قارن بين انتقاء الخلايا اللمفاوية LB وLT في غياب وفي وجود المستضد؟

- **الانتقاء في غياب المستضد:** مقره الأعضاء اللمفاوية المركزية (LB في نخاع العظم وLT في الغدة التيموسية). يتم فيه انتقاء الخلايا اللمفاوية المؤهلة مناعيا والتخلص من باقي الخلايا اللمفاوية.
- **الانتقاء في وجود المستضد:** مقره الأعضاء اللمفاوية المحيطية (الطحال، العقد اللمفاوية، اللوزتين وصفائح بير). يتم فيه انتقاء لمة (مجموعة) من الخلايا تتعرف نوعيا على المستضد وتولد استجابة مناعية.

28- بماذا تتميز الخلايا اللمفاوية المؤهلة مناعية؟ تحمل مستقبلات غشائية نوعية (BCR وTCR) تتعرف على جزيئات الـ HLA الخاصة بالفرد ولا تتعرف على ببتيدات الذات. هذه المستقبلات تتكامل بنيويا مع نوع من المستضدات وتولد استجابة مناعية.

29- لماذا يعتبر نخاع العظم والغدة التيموسية أعضاء لمفاوية مركزية في الجهاز المناعي؟ لأن نخاع العظم **مقر نشأة** اللمفاويات LB وLT و**مقر نضج** اللمفاويات LB. والغدة التيموسية **مقر نضج** الخلايا LT.

30- لماذا يعتبر الطحال، العقد اللمفاوية، اللوزتين وصفائح بير أعضاء لمفاوية محيطية في الجهاز المناعي؟

يتم فيها **تكاثر وتمايز** الخلايا LB، LT8 وLT4 إلى خلايا بلازمية، سامة ومساعدة (لا تنشأ أو نضج فيها الخلايا اللمفاوية).

30- قارن بين الاستجابتين الخلطية والخلوية.

- **الاستجابة الخلطية**
  - **نوع المستضد:** خارجي المنشأ (مستدخل): جزيئات منحلة، بكتيريا ذات تكاثر خارج خلوي.
  - **التعرف على المستضد:** تعرض الخلية العارضة محدد المستضد رفقة الـ HLAII لتتعرف عليه الـ LT4 **تعرفا مزدوجا**. وتتعرف الـ LB على المستضد بواسطة مستقبلاتها الغشائية النوعية BCR (**تحسيس مباشر**).
  - **الخلايا الفاعلة:** الخلايا البلازمية بإفراز الأجسام المضادة.
  - **التخلص من المستضد:** تشكل معقدات مناعية تقوم البالعات ببلعمتها.
- **الاستجابة الخلوية**
  - **نوع المستضد:** داخلي المنشأ: خلايا مصابة بفيروس، خلايا سرطانية، خلايا مصابة ببكتيريا (بكتيريا تتكاثر داخل الخلايا)، وزرع الطعوم.
  - **التعرف على المستضد:** تعرض الخلية المصابة محدد المستضد رفقة الـ HLAI وتتعرف عليه الـ LT8 تعرفا مزدوجا بواسطة مستقبلاتها الغشائية النوعية TCR.
  - **الخلايا الفاعلة:** الخلايا اللمفاوية السامة LTc.
  - **التخلص من المستضد:** تتعرف الخلية LTc على الخلية المصابة تعرفا مزدوجا وتفرز بروتينات البرفورين التي تشكل ثقوب في غشاء الخلية المصابة لتخريبها بصدمة حلولية.

31- قارن بين عملية البلعمة في الاستجابتين النوعية واللانوعية؟ في كل من الاستجابتين تتم البلعمة في نفس المراحل (التثبيت، الإحاطة، الادخال، الهضم، الإطراح) ويكمن الفرق في:

- **الاستجابة اللانوعية:** تلتصق الخلايا البالعة مباشرة بالمستضد وتقوم ببلعمته.
- **الاستجابة النوعية (الخلطية):** تحمل الخلايا البالعة مستقبلات غشائية نوعية على غشائها يتثبت عليها الجسم المضاد المرتبط بالمستضد (المعقد المناعي) بواسطة موقع التثبيت في المنطقة الثابتة منه ثم تتم بلعمة المعقد المناعي.

النشاطين 09، 10: التعاون المناعي واختيار نمط الاستجابة

32- اشرح باختصار التعاون المناعي (التنسيق الوظيفي بين الخلايا المناعية، آلية تحفيز الخلايا اللمفاوية). يجب أن يحتوي الشرح ثلاث نقاط على الترتيب: 1- دور البالعات (التحسيس)، 2- دور الـ LT4 (التحفيز)، 3- دور الـ LB و الـ LT8 (التنفيذ).

النص: عند دخول المستضد، تبتلعه البالعات وتهضمه جزئيا وتعرض محدداته رفقة الـ HLA2، وفي نفس الوقت تفرز الأنترلوكين 1 (IL1) الذي ينشط الخلايا LT4 القريبة منها. تتعرف الـ LT4 بواسطة مستقبلاتها الـ TCR تعرفا مزدوجا على مقعد محدد المستضد المعروض فتنشَّط وتركِّب مستقبلات الأنترلوكين 2، ثم تفرز الأنترلوكين 2 (IL2) الذي ينشطها لتتكاثر وتتمايز إلى خلايا مساعدة LTh، تفرز هذه الأخيرة الـ IL2 الذي يحفز الخلايا LT4 أو LT8 المحسّسة بالمستضد فتتمايز الـ LB إلى خلية بلازمية مفرزة لأجسام مضادة نوعية، وتتمايز الـ LT8 إلى لمفاوية سامة LTc تخرب الخلايا المصابة.

ملاحظة: لشرح آلية ما (كتابة نص علمي) نركز على الهدف من السؤال (التعاون المناعي) ولا ندخل في تفاصيل كل نقطة نذكرها. ففي هذا النص يمكن أن **نخطئ ونضيف** شرح: مراحل البلعمة، آلية التعرف المزدوج، الانتقاء النسيلي للمفاويات LB وLT، كيفية تشكل المعقدات المناعية، آلية التخلص من المعقد المناعي، آلية القضاء على الخلية المصابة بواسطة بروتينات البرفورين).

33- اشرح آلية التعرف المزدوج: تتعرف الخلايا LT بواسطة مستقبلاتها الغشائية النوعية TCR في نفس الوقت على: 1- محدد المستضد، 2- جزي الـ HLA المعروضين (المقدمين) على غشاء الخلية العارضة أو المصابة.

34- ما هو دور المؤشرات (ليست مستقبلات) CD4 وCD8 في التعرف المزدوج؟ يجب أن يتكامل المؤشر CD4 مع الـ HLAII لكي يتم التعرف المزدوج بين الخلية LT4 والخلية العارضة. ويتكامل المؤشر CD8 مع الـ HLAI لكي يتم التعرف المزدوج بين الخلية LT8 والخلية المصابة.

35- يجب أن تنشَّط الخلايا اللمفاوية LB وLT8 تنشيطا مزدوجا لكي تحدث استجابة مناعية. اشرح ذلك.

- **التنشيط الأول: يتمثل في التحسيس:** تنشَّط الخلايا اللمفاوية عند تعرفها مباشرة على المستضد بحدوث تكامل بنيوي بين مستقبلاتها الغشائية النوعية (BCR وTCR) ومحدد المستضد. الخلايا LB تتعرف على المستضدات حرة (سابحة) في المصل، بينما الخلايا LT8 تتعرف على محدد المستضد معروض رفقة الـ HLAI على سطح غشاء الخلية المصابة.
- **التنشيط الثاني: يتمثل في التحفيز بواسطة الأنترلوكين 2:** بعد التنشيط الأول، تركب الخلايا LB وLT8 مستقبلات خاصة بالأنترلوكين، وعند توضع هذا الأخير على هذه المستقبلات يحفز الخلايا على التكاثر والتمايز.

معلومة 6: الهدف من التنشيط المزدوج هو تفادي حدوث استجابة مناعية عشوائية، لذا يجب أن تستقبل الخلية اللمفاوية إشارتي تنشيط لكي تتكاثر وتتمايز و تحدث استجابة مناعية.

معلومة 7: قد تثير بعض المستضدات الاستجابتين الخلطية والخلوية معا. مثلا: يدخل فيروس أو بكتيريا ويسري في المصل فيثير استجابة خلطية، ثم يغزو الخلايا فيثير استجابة خلوية.

معلومة 8: بعد إقصاء المستضد فإن الخلايا البلازمية، الـ LTc و الـ LTh تتخلص منها العضوية.

الخلاصة: دور البروتينات في الدفاع عن الذات

36- اشرح باختصار كيف تساهم البروتينات في الدفاع عن الذات.

التمييز بين الذات واللاذات: بفضل جزيئات غشائية غليكوبروتينية وبروتينية، تتعارف خلايا العضوية فيما بينها وترفض كل ما هو غريب، تتمثل هذه الجزيئات في: الـ **HLA**، جزيئات الزمر الدموية **ABO** و**المستضد D**.

التعرف على المستضدات: بواسطة مستقبلات غشائية نوعية ذات طبيعة بروتينية تتمثل في الـ **BCR** والـ **TCR** ومؤشرات غليكوبروتينية تتمثل في الـ **CD4** والـ **CD8**.

الاتصال بين الخلايا المناعية: تتصل الخلايا المناعية لتحسيس بعضها بوجود المستضد والتحفيز على التكاثر والتمايز بواسط مبلغات كيميائية ذات طبيعة غليكوبروتينية تسمى السيتوكينات (الأنترلوكينات **IL1**، **IL2**)

التخلص من المستضدات والخلايا المصابة: بواسطة جزيئات ذات طبيعة بروتينية تتمثل في الأجسام المضادة **Ig** التي تشكل معقدات مناعية تتثبت على **مستقبلات غشائية** بروتينية على غشاء البالعات ليتم التخلص منها. أو بواسطة بروتينات **البرفورين** التي تخرب الخلايا المصابة.

يمكن لشمعة واحدة أن تضيء ألف شمعة دون أن تنطفئ . . . تمنى لكم النجاح

ملخص دور البروتينات في الاتصال العصبي

موافق للمنهاج الوزاري 100 %

لا تحفظ أكثر من هذا - إجابات نموذجية للبكالوريا

1- المكتسبات

- **تشفير السيالة العصبية:** السيالة العصبية تشفر في الغشاء قبل مشبكي **بتواتر كمونات عمل**، وتشفر في الشق المشبكي **بتركيز المبلغ العصبي** الذي يؤمن انتقالها إلى الغشاء بعد مشبكي لتشفر **بتواتر كمونات عمل** من جديد. ونقول: تتعاقب ظواهر **كهربائية** ثم **كيميائية** ثم **كهربائية** في نفس المستويات السابقة.
- **دور المركز العصبي:** في المركز العصبي، **تدمج** العصبونات (الحركية والجامعة) الرسائل العصبية الواردة، ونقول أنها **"تعالج** الرسائل العصبية".

2- التقنيات المستعملة

- **تقنية باتش كلامب:** تتمثل في عزل قناة مع أو دون فصلها عن الغشاء بواسطة ماصة مجهرية متصلة بجهاز يسجل التيارات التي تتولد فيها (الداخلية والخارجية).
- **فرض الكمون:** يتمثل في إرسال تيار كهربائي ذو شدة معينة لليف العصبي لإلغاء الكمون الطبيعي وتوليد كمون اصطناعي مفروض.
- **جهاز راسم الاهتزاز المهبطي:** تمر حزمة من الالكترونات عبر صفيحتين أفقيتين متصلتين بمسريي استقبال وتسقط على شاشة مفلورة. تأخذ الصفيحتين الأفقيتين شحنة المسريين وتحدد اتجاه انحراف الالكترونات مسجلة منحنى على الشاشة.

3- كمون الراحة

- **الاستقطاب:** الليف العصبي في حالة الراحة **مستقطب**، أي يوجد فرق في الكمون على جانبي غشائه (يقدر بحوالي – 70 ميلي فولط).
- **مصدر كمون الراحة:** ثبات التوزع غير المتساوي لشوارد Na^+ وK^+ على جانبي الغشاء، حيث تركيز K^+ داخل الليف أكبر من Na^+ والعكس خارجه. نتيجة هذا التوزع غير المتساوي للشوارد، يصبح خارج الليف أكثر كهروجابية (موجب الشحنة +) وداخله أكثر كهروسلبية (سالب الشحنة -) وهو ما يخلق فرق الاستقطاب الطبيعي (كمون الراحة).
- **ثبات كمون الراحة:** يؤمن ثبات كمون الراحة قنوات التسرب الخاصة بـ Na^+ وK^+ ومضخة (Na^+/K^+). قنوات التسرب مفتوحة باستمرار وتنقل الشوارد حسب تدرج التركيز (انتشار) حيث ناقلية شوارد K^+ أكبر من Na^+ لأن قنوات التسرب لـ K^+ أكبر في وحدة المساحة. تحافظ المضخة على ثبات كمون الراحة كما يلي: تدخل $2K^+$ وتخرج $3Na^+$ في نفس الوقت وتستمد الطاقة من إماهة الـ ATP (نقل فعال).

4- كمون العمل

- **مصدر كمون العمل:** تغيرات سريعة للنفاذية الغشائية مسببة تدفق شوارد Na^+ وK^+ على جانبي غشاء العصبون.
- **تفسير منحنى كمون العمل**
  - **الاستقطاب:** يفسر بعدم وصول موجة زوال الاستقطاب حيث نسجل كمون راحة قدره 70 ميلي فولط.
  - **زوال الاستقطاب:** يفسر بتدفق شوارد داخلي لشوارد Na^+ نتيجة انفتاح قنوات Na^+ المرتبطة بالفولطية.
  - **عودة الاستقطاب:** يفسر بتدفق خارجي لشوارد K^+ نتيجة انفتاح قنوات K^+ المرتبطة بالفولطية.
  - **فرط الاستقطاب:** يفسر بتأخر انغلاق القنوات المرتبطة بالفولطية للـ K^+ واستمرار خروج شوارد K^+.
  - **عودة الاستقطاب:** يفسر بعودة التراكيز الطبيعية لشوارد Na^+ و K^+ بتدخل مضخة K^+/Na^+.
- **شرط تولد كمون العمل:** أن يكون التنبيه يساوي أو أكبر من العتبة.
- **عتبة التنبيه:** هي انفتاح عدد معين من القنوات الفولطية كاف لتوليد كمون عمل.

5- النقل المشبكي

- **آلية النقل المشبكي**
  - تصل موجة زوال الاستقطاب (كمونات العمل) إلى الزر المشبكي فتنفتح القنوات الفولطية الخاصة بشوارد Ca^{++}.
  - تدخل هذه الشوارد في العصبون قبل مشبكي وتحرض طرح المبلغ العصبي الأستيل كولين (Ach) في الشق المشبكي عن طريق الاطراح الخلوي.
  - يتثبت الأستيل كولين على المستقبلات الكيميائية الخاصة به في الغشاء بعد المشبكي مسببة انفتاحها ودخول شوارد Na^+.
  - التدفق الداخلي لـ Na^+ يولد موجة زوال استقطاب في الغشاء بعد مشبكي.
  - يفقد المبلغ العصبي نشاطه (فعاليته) نتيجة إماهته بواسطة الانزيم أستيل كولين أستراز فتنغلق قنوات Na^+ المتربطة بالكيمياء ويعود الغشاء بعد المشبكي لحالة الراحة.
- **ملاحظة:** يمكن أن يعطى في تمرين مبلغ عصبي آخر غير الـ Ach والـ GABA ولكن سيكون لهما تأثير أحد المبلغين السابقين فقط. أي كل المبلغات العصبية إما تنبه أو تثبط العصبون بعد مشبكي.

- **مقارنة بين المشبك المنبه والمشبك المثبط**

مشبك منبه SE	مشبك مثبط SI
يحرر في الشق المشبكي المبلغ العصبي الـ **الأستيل كولين**	يحرر في الشق المشبكي المبلغ العصبي الـ **GABA**
تنفتح قنوات كيميائية خاصة بشوارد **الصوديوم** Na^+	تنفتح قنوات كيميائية خاصة بشوارد **الكلور** Cl^-
ينتج عن التدفق الداخلي لهذه الشوارد **زوال في استقطاب** في الغشاء بعد مشبكي يسمى **كمون بعد مشبكي تنبيهي (PPSE)**	ينتج عن التدفق الداخلي لهذه الشوارد **فرط في استقطاب** الغشاء بعد مشبكي يسمى **كمون بعد مشبكي تثبيطي (PPSI)**
ينتشر في الخلية بعد مشبكية إذا كان يساوي أو يفوق العتبة **(ينشطها)**	**يثبط** الخلية بعد مشبكية

- **السيالة العصبية مشفرة بتركيز المبلغ العصبي:** يرتبط تركيز المبلغ العصبي في الشق المشبكي بتواتر كمونات العمل القبل مشبكية، والذي بدوره يحدد سعة الكمون العمل بعد مشبكي PPS.

6- الإدماج العصبي

- **مقارنة بين التجميعين الزمني والفضائي**

تجميع فضائي: دمج عدة كمونات قبل مشبكية (إثنان على الأقل): **أولا** تصل من نهايات عصبية مختلفة، **ثانيا**: تصل في نفس الوقت.
تجميع زمني: دمج عدة كمونات قبل مشبكية: **أولا** تصل من نفس النهاية العصبية، **ثانيا:** متقاربة زمنيا (تفصل بينها مدة زمنية قصيرة جدا).

- **الكمون الناتج عن الادماج العصبي في المحور الاسطواني:** بعد تولد الكمونات بعد المشبكية التنبيهية (PPSE) والتثبيطية (PPSI) في الغشاء بعد مشبكي (في الجسم الخلوي) تصل جميعها إلى منطقة التجميع (منطقة ارتباط المحور الأسطواني بالجسم الخلوي). والكمون الناتج في المحور الأسطواني (كمون راحة أو كمون عمل) يتوقف على محصلة مجموع هذه الكمونات الواردة. إذا كانت المحصلة تساوي أو تفوق العتبة فإنه يتولد كمون عمل ينتشر في المحور الأسطواني. وإذا كانت المحصلة أقل من العتبة أو فرط استقطاب فإنه ينتج كمون راحة في المحور الاسطواني.

7- تأثير المخدرات

- **المادة P والانكيفالين:** مبلغان عصبيان تفرزهما النهايات العصبية في مشابك خاصة (في القرن الخلفي للنخاع الشوكي) وتتولد عنهما كمونات عمل في العصبون بعد مشبكي. لهاتين المادتين تأثير متضاد حيث المادة P مسؤولة عن الإحساس بالألم أما الانكيفالين فهي مزيلة للألم.
- **آلية عمل المادة P والانكيفالين:** بعد الإصابة أو تنبيه العصبون الحسي، فإنه ينشط ويحرر المادة P في الشق المشبكي فتولد سيالة عصبية بعد مشبكية تنتقل إلى المخ يترجمها إلى إحساس بالألم. بعد الإحساس بالألم، يرسل المخ سيالة عصبية تنشط عصبونا يفرز الأنكيفالين التي تثبط العصبون السابق الذي يطرح المادة P وبالتالي تمنع تولد الإحساس بالألم.
- **المورفين:** مادة طبية (مخدر) تستعمل بكمية محددة بدقة لتخفيف الإحساس بالألم (لها نفس تأثير الأنكيفالين).
- **كيفية تأثير المورفين:** للمورفين بنية فراغية مشابهة للأنكيفالين، عند حقنها تتثبت على المستقبلات الغشائية الخاصة بالأنكيفالين وتمنع نقل السيالة العصبية إلى المخ (السيالة العصبية التي تترجم إلى إحساس بالألم) فيفقد الإحساس بالألم.
- **تأثيرات أخرى للمخدرات:** تشترك المخدرات في أنها تؤثر على مستوى المشابك وتخل بالنقل المشبكي.
  - قد تشغل المستقبلات الخاصة بالمبلغ العصبي الطبيعي مسببة إعاقة عمله. مثل الكورار الذي يمنع تثبت الاستيل كولين.
  - قد تمنع إعادة امتصاص الوسيط الكيميائي مثل الكوكايين.
  - قد تحفز تحرير الوسيط الكيميائي.
  - قد تعطل نشاط انزيمات تفكيك الوسيط الكيميائي الطبيعي مثل الكحول.

الخلاصـــــــة

دور البروتينات في الاتصال العصبي

- **الحفاظ على استقطاب العصبون:** تعمل **مضخة** K^+ **و** Na^+ **و قنوات التسرب الخاصة بالـ** Na^+ **و الـ** K^+ ذات الطبيعة البروتينية على إحداث فرق في تدرج تركيز K^+ و Na^+ على جانبي الغشاء الهيولي وتولد كمون الراحة.
- **توليد وانتشار كمون العمل:** ينتج كمون العمل عن انفتاح **القنوات الفولطية لشوارد** Na^+ **و الـ** K^+ ذات الطبيعة البروتينية في الغشاء القبل مشبكي وينتشر نتيجة توزع هذه القنوات على طول الليف العصبي.
- **النقل المشبكي:** على مستوى المشبك، تتدخل **القنوات الفولطية البروتينية لشوارد** Ca^{++} في تحرير المبلغ العصبي في الشق المشبكي، والذي يؤثر على الغشاء البعد مشبكي عن طريق **مستقبلات نوعية** ذات طبيعة بروتينية.

كل ما يجب حفظه في وحدة التركيب الضوئي

ملخص موافق للمنهاج

النشاط 1: تذكير بالمكتسبات

- **تعريف عملية التركيب الضوئي:** آلية يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة في الجزيئات العضوية.
- **شروط عملية التركيب الضوئي:** لا تحدث عملية التركيب الضوئي إلا بتوفر شروط ثلاثة: اليخضور، الضوء والـ CO_2.
- **مظاهر عملية التركيب الضوئي:** أثناء قيام الخلية النباتية بعملية التركيب الضوئي فإنه يظهر: امتصاص الـ CO_2 والماء، طرح الـ O_2 وتركيب المادة العضوية.
- **المعادلة العامة لعملية التركيب الضوئي**
  - **معادلة تركيب الغلوكوز:** $6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$
  - **معادلة تركيب النشاء:** $n(CO_2) + 2n(H_2O) \rightarrow (CH_2O)n + nO_2 + nH_2O$

النشاط 2: مقر عملية التركيب الضوئي

- **مقر عملية التركيب الضوئي:** تتم تفاعلات التركيب الضوئي داخل الصانعة الخضراء.
- **وصف بنية الصانعة الخضراء:** عضية ذات شكل بيضوي محاطة بغشائين بلاستيديين خارجي وداخلي يحصر بداخله سائل يسمى المادة الأساسية أو الحشوة أو ستروما. تحتوي الحشوة على صفائح بعضها كبيرة تسمى صفائح حشوية والبعض الآخر صغيرة تسمى كيسات أو تيلاكويد. تتوضع فوق بعضها مشكلة الغرانا أو البذيرات. تحتوي الحشوة كذلك على حبيبات نشوية، ADN، وريبوزومات.
- **المميزات البنيوية للصانعة الخضراء**
  - **ذات بنية حجيرية:** لأنها مقسمة إلى ثلاث فراغات: 1- المسافة بين الغشائين، 2- التجويف الذي تملأه الحشوة، 3- تجويف الكيسات.
  - اختلاف التركيب الكيموحيوي لكل من أغشية التيلاكويد والحشوة.
- **طبيعة تفاعلات عملية التركيب الضوئي**: أكسدة إرجاعية (أكسدة الماء وإرجاع الـ CO_2).

النشاطين 3 – 4: مراحل عملية التركيب الضوئي

	المرحلة الكيموضوئية	المرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن وبنسون)
تعليل تسمية المرحلة	**كيموضوئية:** سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية يشترط حدوثها توفر الضوء	**كيموحيوية:** سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية لا تتطلب الضوء بشكل مباشر
المقر	غشاء التيلاكويد (السلسلة التركيبية الضوئية)	الحشوة
الشروط	**خارجية:** الضوء **داخلية:** التيلاكويد، مستقبل الالكترونات، ADP وPi، بالإضافة للانزيمات	**خارجية:** CO_2 **داخلية:** نواتج المرحلة الكيموضوئية (ATP و $NADPH,H^+$)، بالإضافة للانزيمات
النتائج	انطلاق الـ O_2، إرجاع مستقبل الالكترونات $NADPH,H^+$، تركيب الـ ATP	تركيب سكريات، تجديد مرافق الإنزيم $NADP^+$ وADP + Pi
البنيات والجزيئات المتدخلة ودورها	**أنظمة ضوئية:** تقتنص الفوتونات الضوئية وتحرر الكترونات (تتأكسد) **نواقل الالكترونات:** تنقل الالكترونات المتحررة. **الكرية المذنبة:** تركب الـ ATP **مرافق الانزيم $NADPH,H^+$:** ينقل الالكترونات والبروتونات اللازمة لحدوث المرحلة الكيموحيوية (إرجاع الـ CO_2). **إنزيمات:** إنزيم أكسدة الماء، وإنزيم ريدوكتاز لإرجاع مرافق الانزيم $NADP^+$.	**المركب ريبيلوز ثنائي الفوسفات RuDP:** مادة أيضية وسيطة يدمج معها الـ CO_2 لبدأ سلسلة تفاعلات حلقة كالفن وبنسون. **إنزيم ريبيلوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز Rubisco:** يدمج الـ CO_2 مع RuDP. **مرافق الانزيم $NADPH,H^+$:** نقل البروتونات والالكترونات اللازمة لتفاعلات الإرجاع . **ATP:** فسفرة المواد الأيضية الوسيطة.
المعادلة	$H_2O + NADP^+ + ADP + Pi \rightarrow 1/2O_2 + NADPH,H^+ + ATP$	$6CO_2 + 18ATP + 12NADPH,H^+ \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 18ADP + 6Pi + 12NADP^+$

المرحلة الكيموضوئية

- **بنية غشاء التيلاكويد:** يتكون غشاء التيلاكويد من طبقة فوسفوليبيدية مضاعفة تحتوي على نظامين ضوئيين PSI وPSII، نواقل الألكترونات وإنزيم الـ ATP سنتاز. يسمى مجموع هذه المركبات **بالسلسلة التركيبية الضوئية.**

- **النظام الضوئي:** معقد بروتيني ضمن غشاء الكيس يحتوي على عدد كبير من جزيئات أصبغة التركيب الضوئي (اليخضور وأشباه الجزرين).

- **المصدر الأول للالكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية:** جزيئة الماء H_2O.

- **مصدر الـ O_2 المنطلق هو:** أكسدة جزيئة الماء.

- **المستقبل الأخير للالكترونات:** في الصانعة الخضراء: مرافق الانزيم النيكليوتيد أمين ثنائي نيكليو فوسفات $NADP^+$. تجريبيا: مستقبل اصطناعي مثل فيروسيانور البوتاسيوم.

- **آلية انتقال الالكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية:** تنتقل تلقائيا في نواقل متزايدة كمون الأكسدة والإرجاع.

- **طيف الامتصاص وطيف النشاط**

- يتكون الضوء الأبيض المرئي من سبعة إشعاعات (أطياف) تتغير أطوال موجاتها من 400 إلى 700 نانومتر، وهي على الترتيب: الأزرق، البنفسجي، النيلي، الأخضر، الأصفر، البرتقالي، الأحمر.

- **طيف الامتصاص:** تمتص جزيئات اليخضور الإشعاعات الضوئية بشدات مختلفة، فهي كبيرة في الإشعاعت الطرفية وأقل في الاشعاعات الوسطية وقليلة جدا في الاشعاع الأخضر.

- **طيف النشاط (شدة عملية التركيب الضوئي):** كلما زادت شدة الامتصاص زاد النشاط. فالإشعاعات الأكثر امتصاصا هي الأكثر فعالية في عملية التركيب الضوئي.

- **التفلور أو الاستشعاع:** يكتسب إلكترون من جزيئة اليخضور طاقة - فوتونات ضوئية - فينتقل من مداره الأصلي إلى مدار ذو مستوى طاقوي أعلى منه وتصبح جزيئة اليخضور في حالة تهيج. بعد زمن قصير جدا يعود إلى مداره الأصلي ويحرر الطاقة المكتسبة على شكل إشعاع أحمر (حالة استقرار).

- **آلية عمل النظام الضوئي:** يتكون النظام الضوئي من عدد كبير من الأصبغة الهوائية وصبغتين لمركز التفاعل. تستقبل كل صبغة هوائية فوتونات ضوئية فتتهيج وينتقل الكترون من مدار داخلي الى مدار خارجي. يعود الالكترون إلى مداره الأصلي وتتحرر منه الطاقة المكتسبة وتنتقل إلى صبغة هوائية مجاورة فتهيجها وهكذا... تصل الطاقة إلى صبغة مركز التفاعل فتتهيج بدورها وتحرر الكترون غني بالطاقة (اكسدة).

- **دور الأصبغة الهوائية:** التقاط الفوتونات الضوئية ونقلها لأصبغة مركز التفاعل.

- **دور أصبغة مركز التفاعل:** تتجمع فيها الطاقة الملتقطة من مختلف الجزيئات الهوائية وتتأكسد محررة إلكترون ذو طاقة عالية.

- **آلية المرحلة الكيموضوئية:** في وجود الضوء "يتأكسد" النظامان الضوئيان PSI وPSII ويحرر كل منهما إلكترونين.

بعد ذلك، تحدث "أكسدة الضوئية للماء" وفق المعادلة ($H_20 \rightarrow 2H^+ + 2é + 1/2O_2$). يطرح الـ O_2 في الوسط وترجِعُ الالكرونات النظام الضوئي الثاني $PSII^+$. تنتقل الالكترونات إلى النظام الضوئي الأول PSI^+، ثم إلى المرافق الانزيمي $NADP^+$ الذي يرجَع بواسطة الانزيم "NADP ريدوكتاز"وفق المعادلة ($NADP^+ + 2H^+ + 2é \rightarrow NADPH,H^+$).

تتراكم البروتونات في تجويف الكيس الناتجة من أكسدة الماء، كما أن الناقل T2 يضخ البروتونات كذلك أثناء انتقال الالكترونات، فيصبح تركيزها في التجويف أكبر من الحشوة، وبالتالي تنتشر على شكل سيل من البروتونات الخارجة عبر الـ ATP سنتاز. تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي وفق المعادلة ($ADP + Pi \rightarrow ATP + H_2O$). تسمى هذه العملية **بالفسفرة الضوئية.**

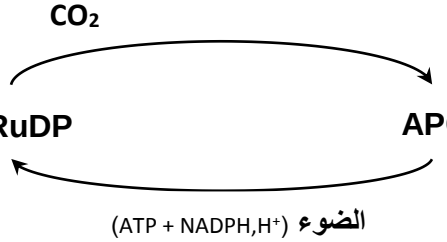
المرحلة الكيموحيوية

- **الكروماتوغرافيا:** تقنية تستعمل لفصل مكونات خليط ما حسب وزنها الجزيئي.

- **حلقة كالفن وبنسون:** يثبت الـ $C0_2$ على جزيئة خماسية الكربون: الريبولوز ثنائي الفوسفات (RuDP) مشكلا مركب سداسي الكربون الذي ينشطر سريعا إلى جزيئتين بثلاث ذرات كربون هو حمض الفوسفوغليسيريك (APG).

- **يراقب دمج الـ $C0_2$ بواسطة الإنزيم:** الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز (Rubisco).

- **العلاقة بين APG وRuDP**



في وجود الضوء والـ CO_2: يتحول الـ APG والـRuDP إلى بعضهما بشكل حلقي (ثبات ديناميكي).

في وجود الـ CO_2 فقط: يتشكل الـ APG انطلاقا من الـRuDP ، فيتراكم الـ APG وينفذ الـ RuDP.

في وجود الضوء فقط: يحدث العكس، يتجدد الـ RuDP انطلاقا من الـ APG، فيراكم الـ RuDP وينفذ الـ APG.

ملخص وحدة التنفس - الأكسدة الخلوية -

ملخص موافق للمنهاج

النشاط 1: تذكير بالمكتسبات

- **تعريف عملية التنفس:** ظاهرة حيوية يتم فيها هدم المادة العضوية (الركيزة) وتحويل الطاقة الكيميائية الكامنة فيها (في الروابط الكيميائية) إلى طاقة قابلة للاستعمال تخزن في مادة أيضية وسيطة تسمى الـ ATP.

- **شروط عملية التنفس:** لا تحدث عملية التنفس إلا بتوفر ثلاثة شروط: ثنائي الأكسجين (O_2)، مادة الأيض أو الركيزة وهي الغلوكوز، إنزيمات تنفسية.

ملاحظة: جزيئة الغلوكوز هي السكر الوحيد الذي تحدث له أكسدة خلوية لإنتاج الطاقة (العملة التي تصرف في العضوية).

- **مظاهر عملية التنفس:** أثناء قيام الخلية النباتية أو الحيوانية بعملية التنفس يظهر: امتصاص الـ O_2، طرح الـ CO_2، هدم مادة الأيض، تحرير طاقة على شكل ATP وحرارة (تفاعلات الأكسدة الخلوية تحرر حرارة).

- **المعادلة الإجمالية لعملية التنفس:** $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E$

النشاط 2: مقر عملية التنفس

- **مقر عملية التنفس:** تتم تفاعلات الأكسدة الخلوية في الميتوكوندري (مركز الطاقة في الخلية).

- **وصف بنية الميتوكوندري:** عضية ذات شكل بيضوي متطاول يحدها غشائين بلازميين: **غشاء خارجي** و**غشاء داخلي** يفصل بينهما **تجويف بين الغشائين**. يمتد من الغشاء الداخلي نتوءات (امتدادات) تسمى **الأعراف**. يشغل تجويف الميتوكوندري سائل يسمى **المادة الأساسية** يحتوي على **ADN**، **ريبوزومات** و**حبيبات ادخارية**.

- **المميزات البنيوية للميتوكوندري**

- **البنية الحجيرية:** الميتوكوندري ذات بنية حجيرية (مقسمة إلى حجرات) لأن فضاءها مقسم إلى فراغين مختلفين يتمثلان في المسافة بين الغشائين والتجويف الذي تملأه الحشوة.

- **اختلاف التركيب الكيموحيوي لمكوناتها:** يختلف التركيب الكيموحيوي لكل من الغشائين الداخلي والخارجي، فالغشاء الداخلي يتركب من نسبة كبيرة من البروتينات الوظيفية تتمثل في إنزيمات ونواقل الاكترونات ومضخات البروتونات. كما أن الحشوة تحتوي على مركبات مختلفة تتمثل في إنزيمات أخرى ومواد أيضية.

- **طبيعة تفاعلات عملية لتنفس**: أكسدة إرجاع (أكسدة الغلوكوز وإرجاع الأكسجين).

الأنشطة 3 - 4 - 5: مراحل عملية التنفس

	المرحلة 1: التحلل السكري (الغلكزة)	المرحلة 2: حلقة كريبس	المرحلة 3: الفسفرة التأكسدية
تعريف	سلسلة من التفاعلات يتم فيها تحليل الغلوكوز إلى جزيئتي حمض البروفيك مع إنتاج ATP و $NADH,H^+$	سلسلة من التفاعلات يتم فيها أكسدة الأستيل مرافق الانزيم أ وطرح الـ CO_2 مع إنتاج ATP وإرجاع المرافقات الانزيمية NAD^+ و FAD^+	سلسلة من التفاعلات يتم فيها أكسدة نواقل البروتونات والالكترونات ($NADH,H^+$ و $FADH_2$) وتركيب ATP
المقر	الهيولى	المادة الأساسية للميتوكوندري	الغشاء الداخلي للميتوكوندري
الانزيمات	ليست مذكورة	**نازعات الهيدروجين:** تنزع الهيدروجين من المركب وترجع الناقل NAD^+ أو FAD^+ (يسمى التفاعل: أكسدة/إرجاع) **نازعات ثاني أكسيد الكربون:** تسمى كذلك **نازعات الكربوكسيل،** تنزع الوظيفة الكربوكسيلية **COOH**– من الحمض وتطرحه على شكل غاز CO_2 (يسمى التفاعل نزع كربوكسيل). - عند تدخل الانزيمين معا يسمى التفاعل: نزع كربوكسيل تأكسدية.	**الـ ATP سنتتاز:** يقوم بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الـ Pi باستعمال الطاقة المتحررة من سيل البروتونات المتدفق عبره.

المعادلة	$C_6H_{12}O_6 + 2NAD^+ + 2ADP + 2Pi \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2NADH,H^+ + 2ATP$	**المرحلة التحظيرية** $C_3H_4O_3 + CoA + NAD+ \rightarrow CH_3\text{-}CO\text{-}S\text{-}CoA + NADH,H^+ + CO_2$ **حلقة كريبس** $CH_3\text{-}CO\text{-}S\text{-}CoA + 3NAD^+ + FAD^+ + ADP + Pi \rightarrow CoASH + 2CO_2 + 3NADH,H^+ + FADH_2 + ATP$	$nNADH,H^+ + nFADH_2\ n/2O_2 + 5nADP + 5nPi \rightarrow nNAD^+ + nFAD^+ nH_2O + 5nATP$
النواتج	2 حمض البيروفيك، $2NADH,H^+$ و 2ATP	ATP ،$FADH_2$ ،$4NADH,H^+$ ،$3CO_2$	ATP, NAD^+, FAD^+, H_2O
الحصيلة الطاقوية	8ATP	30ATP	
دور الـ O_2	تتم في وجود وغياب الأكسجين	**تشترط ثنائي الأكسجين:** في وجود الـ O_2 تتجدد المرافقات الانزيمية NAD^+, FAD^+ اللازمة لحلقة كريبس	**تشترط ثنائي الأكسجين:** الـ O_2 هو المستقبل الأخير للالكترونات في السلسلة التنفسية.
العلاقة الوظيفية	التحلل السكري عملية منفصلة تحدث في الوسطين الهوائي أو اللاهوائي. حلقة كريبس والفسفرة التأكسدية يربط بينهما المرافقات الانزيمية حيث تُرجَع في حلقة كريبس وتتأكسد (تتجدد) في الفسفرة التأكسدية		

- **ملاحظة:** حلقة كريبس عبارة عن تسلسل 7 تفاعلات تتدخل فيها 7 انزيمات.

- **تمعدن الركيزة:** هو أكسدة المركب العضوي (يحتوي على طاقة) إلى جزيئات الـ CO_2 المعدني (الخالي من الطاقة).

- **ملاحظة:** يمكن أن تركب المادة الأيضية GTP عوضا عن ATP في الميتوكوندري وهي مركب طاقوي كذلك.

- **في السلسلة التنفسية (سلسلة الأكسدة والارجاع):** مصدر الالكترونات هو أكسدة النواقل $NADH,H^+$ و $FADH_2$ حسب معادلات الأكسدة:

$$FADH_2 \rightarrow FAD^+ + 2H^+ + 2é \qquad NADH,H^+ \rightarrow NAD^+ + 2H^+ + 2é$$

والمستقبل الأخير للالكترونات هو: ثنائي الأكسجين (الممتص) حسب معادلة الارجاع: $O_2 + 4é + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$

- **آلية انتقال الاكترونات في السلسلة التنفسية:** تنتقل تلقائيا في نواقل ذات كمون أكسدة إرجاع متزايد.

- **الفسفرة التأكسدية (أكسدة النواقل وفسفرة الـ ADP)**

تسمح تفاعلات الأكسدة والارجاع التي تتم على طول السلسلة التنفسية بضخ البروتونات من المادة الأساسية نحو الفراغ بين الغشائين مولدا بذلك تدرجا للبروتونات في هذا المستوى. يتم تشتت هذا التدرج الالكتروكيميائي (البروتونات المتراكمة بين الغشائين) بسيل (تدفق) عائد من البروتونات نحو المادة الأساسية بالانتشار عبر الـ ATP سنتيتاز. تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي Pi في مستوى الكرات المذنبة.

معلومات مهمة

- **العلاقة بين البنية والوظيفة:** قاعدة كبيرة في العلوم الطبيعية فـ **البنية تحدد الوظيفة** واختلاف البنية دليل على اختلاف الوظيفة. مثلا: يختلف التركيب الكيموحيوي لكل من غشاء التيلاكويد والحشوة في الصانعة الخضراء، هو دليل على اختلاف وظيفتهما في عملية التركيب الضوئي. نفس الشيء بالنسبة للغشائين الداخلي والخارجي للميتوكوندري، وكذلك الفرق بين الغشاء الداخلي والمادة الأساسية للميتوكوندري. رأينا وحدة بأكملها تتكلم عن هذه القاعدة وهي **"العلاقة بين بنية ووظيفة** البروتين". وفي وحدة المناعة، نستدل على أن الخلية البلازمية مفرزة للأجسام المضادة انطلاقا من بنيتها فقط. في بكالوريا 2014 نستدل في الاجابة على أن اللمفاوية LB غير مفرزة للأجسام المضادة انطلاقا من بنيتها (الغير متطورة بعكس البلازمية)... في هذه الوحدة، نستدل مثلا على نشاط الخلية بعدد الميتوكوندريات فيها، أو تطور بنيتها من عدمه (حجم كبير أو صغير، أعراف كبيرة ومتعددة أو قليلة وضامرة...).

- **الأيض:** تفاعلات التركيب الضوئي تفاعلات بناء للمادة العضوية (تمثيل حيوي)، وتفاعلات التنفس تفاعلات هدم، نسمي مجموع تفاعلات البناء والهدم في الخلية بعملية الأيض.