



لا تنسوا زيارة موقعنا
منتديات التعليم الشامل

www.bac35.com

ومتابعتنا على منصات التواصل الإجتماعي



facebook.com/bac35

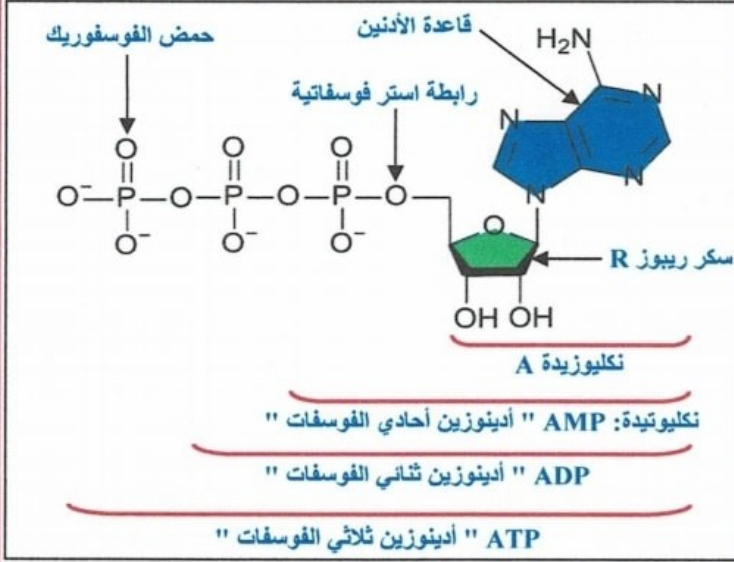
منتديات التعليم الشامل



bac35com

- إماهة جزئية: تتم بتدخل إنزيمات ARNase (الريبونوكلياز)، ينتج عنها أربعة أنواع من النكليوتيدات (تحت وحدات) أو نكليوزيدات.
- إماهة كلية: تتم في وسط قاعدي قوي به NaOH وفي درجة حرارة مرتفعة، ينتج عنها الوحدات البنائية للنكليوتيدة (تحت الوحدات) وهي: أربعة أنواع من القواعد الأزوتية (A، G، C، U) + سكر ريبوز + حمض الفوسفوريك.

الشكل التالي يوضح مكونات كل من النكليوتيدة والنكليوزيدة:



3/ استنساخ المعلومة الوراثية:

مقارنة بين ADN وARN:

ARNm	ADN	أوجه المقارنة
الحمض النووي الريبي	الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين	التسمية
خطية	حلزونية مزدوجة	البنية
يتكون من سلسلة واحدة	يتكون من سلسلتين	عدد السلاسل
U، C، G، A	T، C، G، A	القواعد الأزوتية
ريبوز R	ريبوز منقوص الأكسجين D	سكر الريبوز
في النواة والهيولى	في النواة فقط	التواجد
قصير	طويل جدا	الطول
وسيط ينقل المعلومة الوراثية	دعامة المعلومة الوراثية	الدور

تعريف الاستنساخ: هو ظاهرة تحدث في النواة يتم خلالها التصنيع الحيوي لجزيئات الـ ARNm انطلاقا من سلسلة واحدة من الـ ADN تدعى بالسلسلة الناسخة (المستسخة أو المعبرة أو القالب).
- تحتاج هذه عملية الاستنساخ إلى توفر أربعة عناصر هي:

دورها	العناصر الضرورية
- حاملة للمعلومة الوراثية.	- المورثة (ADN)
- استنساخ ARNm انطلاقا من السلسلة المستسخة.	- إنزيم ARN بوليميراز
- تستهلك أثناء الاستنساخ.	- طاقة على شكل ATP
- وحدات بنائية للـ ARNm.	- نكليوتيدات ريبية حرة

تتم ظاهرة الاستنساخ وفق المراحل التالية:

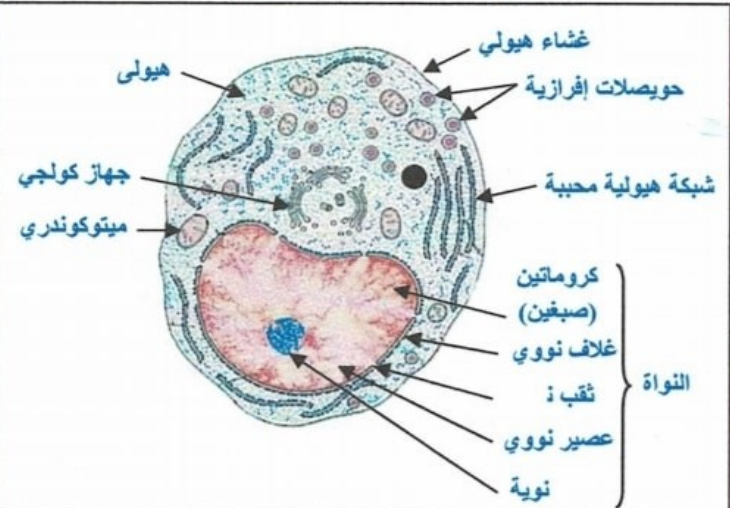
أ- مرحلة البداية (الانطلاق): يتم فيها تثبيت أنزيم الـ ARN بوليميراز على بداية المورثة فيفكك حلزونة ADN عن طريق كسر الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد (سلسلتي ADN) لتتشكل ما يعرف بعين الاستنساخ.

ب- مرحلة الاستطالة: على مستوى عين الاستنساخ يتم دمج النكليوتيدات الحرة وفق قاعدة التكامل بين أزواج القواعد مما يسمح

1/ تذكير بالمكتسبات:

- يعتبر الـ ADN الدعامة الوراثية للكائن الحي، يتواجد في النواة عند حقيقيات النواة ويكون محمولا من طرف الصبغيات.
- تكون المعلومات الوراثية منظمة في صورة مورثات (جينات)، وكل مورثة تتكون من عدد ونوع وترتيب دقيق لقواعد أزوتية.
- يُترجم التعبير المورثي على المستوى الجزيئي، بتركيب بروتين مصدر النمط الظاهري للفرد على مختلف المستويات: العضوي، الخلوي والجزيئي، وللعلم فإن أي تغيير يمس النمط الوراثي (طفرة) قد يؤدي إلى تغيير النمط الظاهري.

يمثل الشكل التالي رسما تخطيطيا لما فوق بنية خلية حيوانية:



رسم تخطيطي يوضح ما فوق بنية خلية حيوانية ملاحظ بالمجهر الإلكتروني النافذ

2/ مقر تركيب البروتين:

- يتم تركيب البروتين عند حقيقيات النوى في هيولى الخلايا انطلاقا من الأحماض الأمينية الناتجة عن الهضم.
- يؤمن انتقال المعلومة الوراثية من النواة إلى مواقع تركيب البروتينات، نمط آخر من الأحماض النووية يدعى الحمض النووي النووي الرسول أو ARNm، ونوع المعلومة الوراثية التي يحملها ARNm هي التي تحدد نوع البروتين المصنوع.
- الحمض الريبي النووي عبارة عن جزيئة قصيرة، تتكون من خيط مفرد واحد، متشكل من تتالي نكليوتيدات ريبية تختلف عن بعضها حسب القواعد الأزوتية الداخلة في تركيبها: الأدينين A، الغوانين G (قواعد أزوتية بيورينية تتكون من اجتماع حلقيتين: سداسية + خماسية)، والسيتوزين C، اليوراسيل U (قواعد أزوتية بيريميدينية تتكون من حلقة واحدة سداسية).
- النكليوتيد الريبي هو النكليوتيد الذي يدخل في بنائه سكر الريبوز (سكر خماسي الكربون ينتمي إلى عائلة البنتوزات C₅H₁₀O₅) اليوراسيل (U) قاعدة أزوتية مميزة للأحماض الريبية النووية (ARN).
- تتكون النكليوتيدة من اتحاد قاعدة أزوتية بسكر الريبوز على مستوى ذرة الكربون رقم 1، واتحاد حمض الفوسفوريك H₃PO₄ بذرة الكربون رقم 5 برابطة استر فوسفاتية.
- النكليوزيدة تنشأ من اتحاد قاعدة أزوتية بسكر الريبوز.
- في ARN ترتبط النكليوتيدات ببعضها بروابط فوسفو ثنائية الإستر.

ملاحظة: يتم التعرف على التركيب الكيميائي للـ ARNm عن طريق إماهته، يوجد نوعين من الإماهة:

بأستطالة سلسلة ARNm المتشكل.

ج- مرحلة النهاية: عند الوصول إلى نهاية المورثة ينفصل أنزيم الـ ARN بوليمراز، وتعود سلسلتا الـ ADN إلى حالتها الطبيعية وتتشكل سلسلة ARNm لها نفس طول المورثة.

A: عدد القواعد الأزوتية في الرامزة.

B: عدد أنواع القواعد الأزوتية.

C: عدد أنواع الرامزات.

◀ نلاحظ أن عدد الرامزات هو 64 منها:

- ثلاث رامزات لا تشفر لأي حمض أميني (رامزات توقف القراءة) وهي: UAA, UAG, UGA، تنتهي عملية الترجمة عند أي منها.

- وتبقى 61 رامزة ذات معنى، مع العلم أنه يمكن أن تشفر لنفس الحمض الأميني عدّة رامزات، تدعى هذه الخاصية بالترادف.

◀ الرامزة AUG والرامزة UGG تشفر كل منهما لحمض أميني واحد.

◀ تم فك رموز الشفرة الوراثية من قبل العالم نورينبرج ومساعدوه.

◀ خصائص جدول الشفرة الوراثية:

التثليث: كل 3 قواعد أزوتية تشكل رامزة ترمز لحمض أميني معين. الترادف: تشفر عادة لنفس الحمض الأميني عدّة رامزات فمثلا

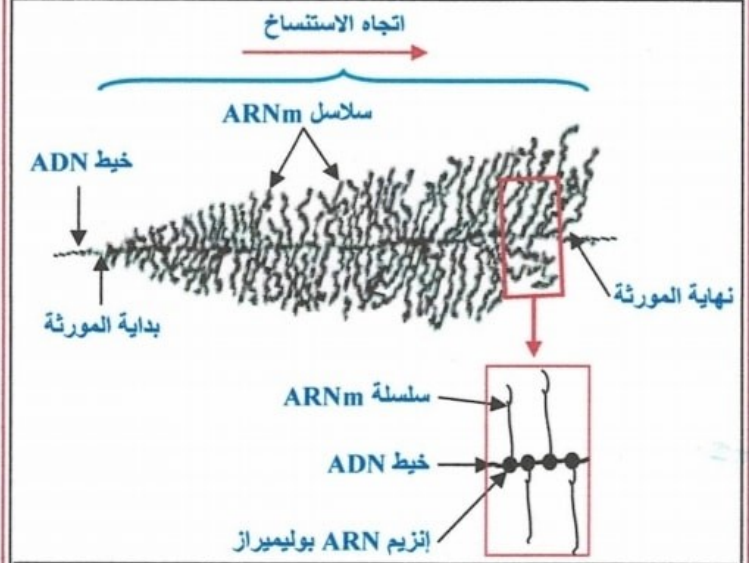
للـ Arg 6 رامزات (معظم الأحماض الأمينية لها رامزات تقدر بـ 2 أو 3 أو 4 أو 6).

الشمولية: وتعني أن جدول الشفرة الوراثية شامل لمعظم الكائنات الحية مع وجود استثناءات تدعى بالشفرة الشاذة، فمثلا الرامزة

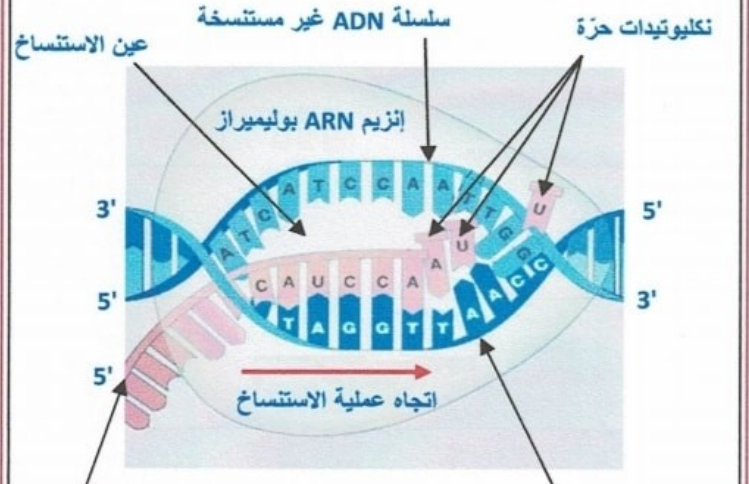
UGA ترمز للحمض الأميني Trp عند الميتوكوندري.

وجود إشارات بداية ونهاية: إشارة البداية هي الرامزة AUG، وإشارات النهاية هي UAA, UAG, UGA.

وإشارات النهاية هي UAA, UAG, UGA.



صورة توضح ظاهرة الاستنساخ المتعدد ملاحظة بالمجهر الإلكتروني



رسم تخطيطي يوضح مرحلة الاستطالة من ظاهرة الاستنساخ

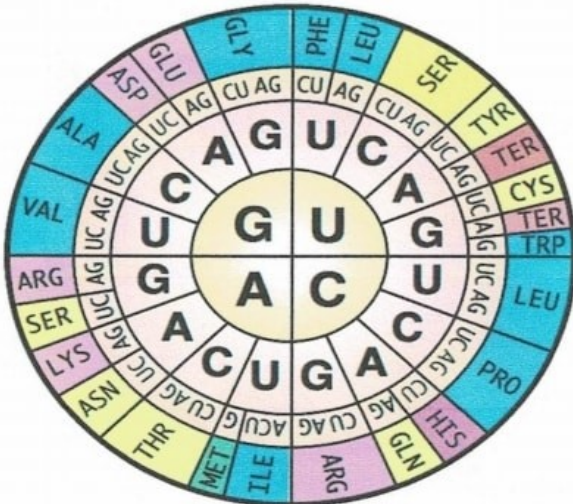
ملاحظات:

◀ تكون نكليوتيدات سلسلة ARNm متكاملة مع سلسلة الـ ADN الناسخة، أما عند مقارنة تتابع نكليوتيدات سلسلة ARNm مع السلسلة غير الناسخة للـ ADN نجد أنها تتماثل معها وتختلفان عن بعضهما في استبدال النكليوتيدة T في الـ ADN بالنكليوتيدة U في الـ ARNm. ◀ تتم عملية الاستنساخ في اتجاه واحد فقط 5' ← 3'، ويمكن أن تستنسخ مورثة واحدة أو عدّة مورثات في نفس الوقت.

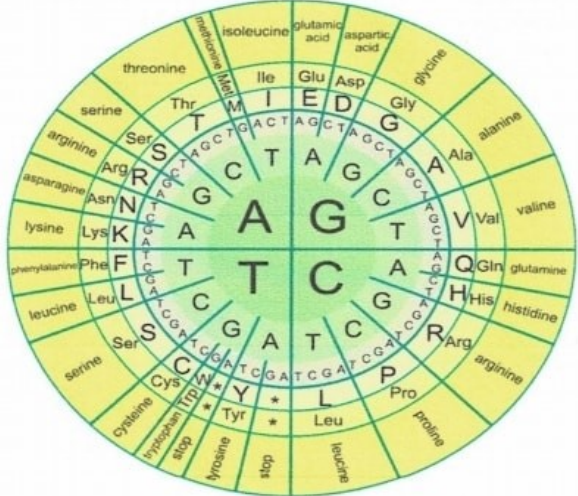
4/ الترجمة:

◀ تعريف الترجمة: هي ظاهرة تحدث في الهيولى يتم خلالها التعبير عن المعلومة الوراثية التي يحملها الـ ARNm إلى متتالية أحماض أمينية. ◀ تُنسخ المعلومة الوراثية بشفرة خاصة تدعى بالشفرة الوراثية. ◀ وحدة الشفرة الوراثية هي ثلاثية من القواعد تدعى الرامزة تُشفر لحمض أميني معين في البروتين.

◀ تحوّل اللغة النووية الممثلة بأربعة أحرف (4 أنواع من ق أ) إلى لغة بروتينية ممثلة بـ 20 حرفا (20 نوعا من أ) حسب العلاقة التالية:



جدول الشفرة الوراثية: الأحماض الأمينية وما يقابلها من رامزات ARNm



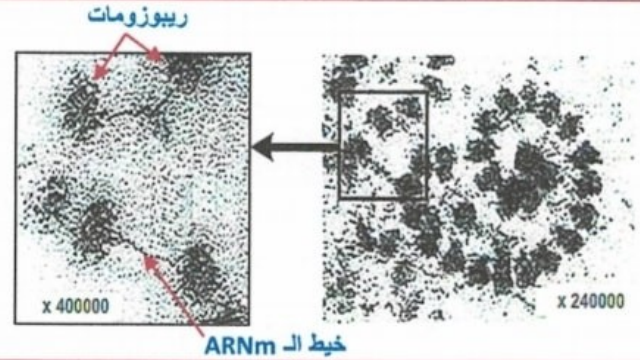
جدول الشفرة الوراثية: الأحماض الأمينية وما يقابلها من رامزات ADN

يمكن دراسة تتابع القواعد الأزوتية في كل من الـ ADN والـ ARN وتتابع الأحماض الأمينية في البروتين باستخدام برنامج **Anagène**، يمكننا هذا البرنامج من:

- عرض تتالي النوكليوتيدات في الـ ADN والـ ARN.
- مقارنة متعددة لقطع ADN (مورثات)، أو قطع من الـ ARN أو لسلاسل بيبتيديّة.
- يسمح باستنساخ ADN إلى ARNm.
- ترجمة ARNm إلى سلسلة بيبتيديّة.

5- مراحل الترجمة:

تعريف متعدد الريبوزوم (بوليزوم): يمثل ارتباط عدد كبير من الريبوزومات بخيوط ARNm. دوره: تسمح القراءة المتزامنة للـ ARNm من طرف عدد كبير من الريبوزومات بتكوين كمية كبيرة من البروتين في مدة زمنية وجيزة. الصورة المولدة تظهر متعدد الريبوزوم.

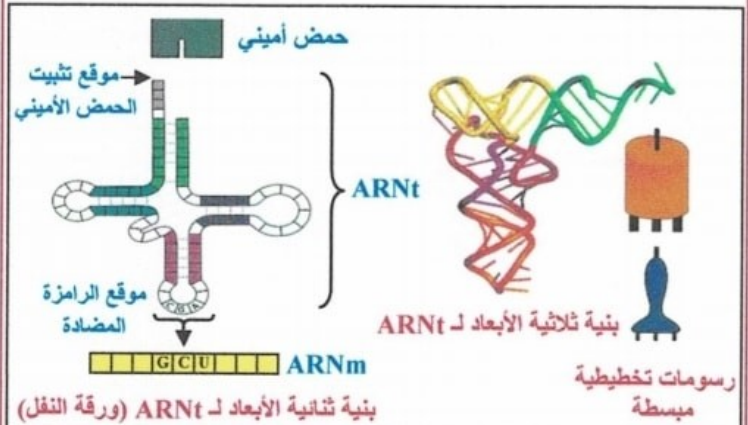


صورة توضح متعدد الريبوزوم (بوليزوم) ملاحظ بالمجهر الإلكتروني

يوجد ثلاث أنواع من ARN في الهولي:

- **ARNr (الريبوزومي)**: يعتبر من مكونات الريبوزوم، وهو الآخر ثلاث أنواع تختلف في معامل الترسيب (S): 16 S, 23 S, 5 S.
- **ARNt (الناقل)**: ينقل الأحماض الأمينية المنشطة لتقديمها خلال الترجمة، معامل ترسيبه 4 S.
- **ARNm (الرسول)**: وسيط ينقل المعلومة الوراثية من النواة إلى الهولي، معامل ترسيبه مختلف وهو يتعلق بطوله.

الأشكال التالية تمثل رسومات تخطيطية تخص بنية الـ ARNt:



رسومات تخطيطية مبسطة بنية ثنائية الأبعاد لـ ARNt (ورقة النفل)

ملاحظة:

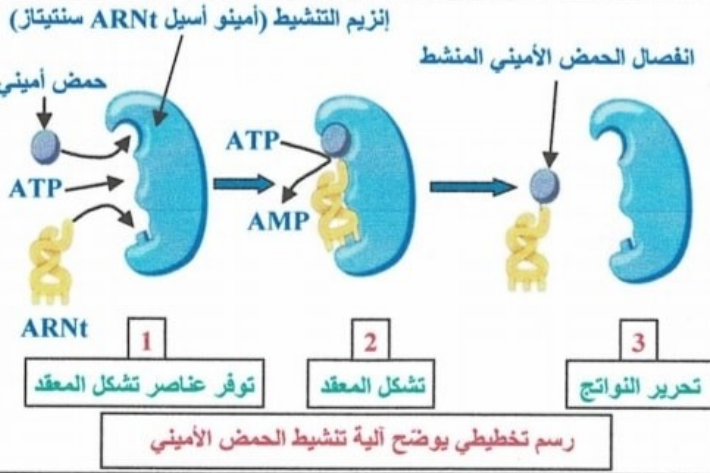
لـ ARNt تخصص وظيفي مزدوج، فهو يحتوي على موقع علوي لتثبيت الحمض الأميني الخاص به ومن ثم تقديمه إلى الريبوزوم، كما أنه يحمل رامزة مضادة تسمح له بالتعرف على الموقع المناسب لتثبيت الحمض الأميني الذي يحمله حسب الرامزة الموافقة على ARNm.

تدعى المرحلة التي يتم فيها ربط الحمض الأميني بـ ARNt الخاص به بتنشيط الحمض الأميني، يتم ذلك وفق المراحل التالية:

المرحلة 1: "توفر عناصر تشكيل المعقد" وهي: إنزيم التنشيط، ARNt، حمض أميني، طاقة (ATP).

المرحلة 2: "تشكل معقد إنزيم - مادة تفاعل": حيث ترتبط عناصر التفاعل، ARNt، حمض أميني، ATP بالموقع الفعال للإنزيم ليتشكل معقد إنزيم- مادة تفاعل.

المرحلة 3: "حدوث التفاعل وتحرير النواتج": يحدث التفاعل بإمهاة ATP للحصول على طاقة تستعمل في ارتباط الحمض الأميني بـ ARNt ثم تحرير النواتج المتمثلة في الحمض الأميني المنشط.

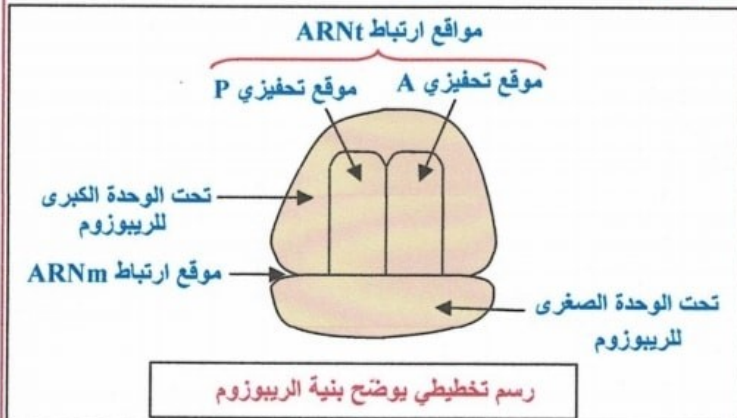


متطلبات عملية الترجمة، مع شرح دورها:

العناصر الضرورية	دورها
ARNm -	- نقل نسخة من المعلومة الوراثية من النواة إلى الهولي.
- الأحماض الأمينية	- وحدات بنائية للبروتين.
- الريبوزومات	- مقر قراءة رامزات ARNm وترجمتها إلى أحماض أمينية.
ARNt -	- تثبيت ونقل الأحماض الأمينية وتحديد موقعها في السلسلة الببتيدية بواسطة الرامزة المضادة.
- طاقة على شكل ATP	- تستهلك أثناء تنشيط الأحماض الأمينية.
- إنزيمات نوعية	- تتدخل أثناء تنشيط الأحماض الأمينية.

الريبوزومات وعضيات متكونة من تجمع بروتينات وجزيئات ARNr، وهي تتشكل من تحت وحدتين: تحت وحدة صغيرة، تحمل أساسا موقع قراءة الـ ARNm وتحت وحدة كبيرة تحمل أساسا موقعين تحفيزيين P و A.

تتكون تحت الوحدة الكبرى للريبوزوم من 31 نوعا من البروتينات ونوعين من ARNr (5 S و 23 S)، أما تحت الوحدة الصغرى للريبوزوم فهي تتكون من 21 نوعا من البروتينات بالإضافة إلى ARNr الذي معامل ترسيبه 16 S.



◀ مراحل حدوث ظاهرة الترجمة:

أ- مرحلة البداية (الانطلاق):

يتثبت ARNm على تحت الوحدة الصغرى للريبوزوم على مستوى الشق، ثم يتموضع ARNt البادئ والحامل للحمض الأميني Met الموافق لرمزة الانطلاق AUG، ثم ترتبط تحت الوحدة الكبرى للريبوزوم (يرتبط ARNt البادئ بالموقع التحفيزي P).

ب- مرحلة الاستطالة:

يتموضع ARNt الثاني والحامل للحمض ح2 في الموقع التحفيزي A نتيجة حدوث تكامل بين رامزة ARNm ورامزة المضادة لـ ARNt، تتكون رابطة ببتيدية بين Met وحم2، كما تنكسر الرابطة الناشئة بين Met وARNt البادئ ليغادر هذا الأخير الموقع P، يتحرك الريبوزوم بمسافة رامزة واحدة (3 قواعد) في الاتجاه 5' ← 3' مما يسمح بشغور الموقع A الذي يرتبط به ARNt ثالث حامل للحمض ح3 وهكذا تستمر عملية الترجمة، يؤدي ذلك إلى ترجمة ARNm واستطالة السلسلة الببتيدية.

ج- مرحلة النهاية:

تنتهي الترجمة بوصول موقع القراءة للريبوزوم إلى إحدى رمازات التوقف (UAA, UAG, UGA)، يؤدي ذلك إلى تفكك الرابطة بين

الحمض الأميني الأخير والـ ARNt الحامل له مما يسمح بتحرر السلسلة الببتيدية، كما يتم انفصال Met البادئ، وتنفصل تحت وحدتي الريبوزوم عن بعضهما، ويفكك ARNm، وبذلك تنتهي عملية الترجمة.

ملاحظات:

◀ يمكن أن تترجم نسخة ARNm إلى عدد كبير من متعدّدات الببتيد في نفس اللحظة بتدخل متعدّد الريبوزوم.

◀ ينتج متعدّد الريبوزوم عن تثبيت عدد كبير من الريبوزومات على

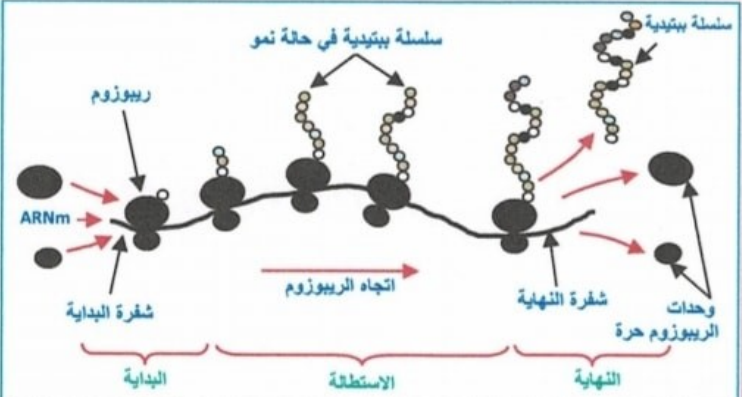
خيط ARNm.

◀ يكتسب متعدّد الببتيد المتشكل بنية ثلاثية الأبعاد ليعطي بروتينا وظيفيا، تدعى هذه العملية بنضج البروتين وهي تتم على مستوى جهاز كولجي.

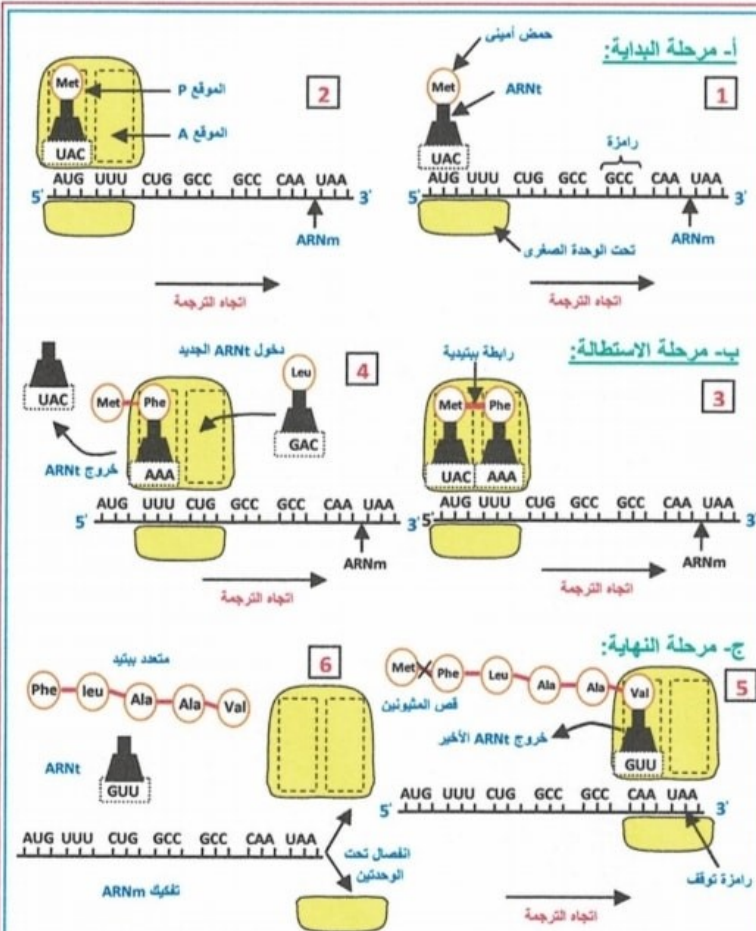
◀ تتم عملية الترجمة في الاتجاه 5' ← 3'.

◀ يقصد بالتعبير المورثي آليات تركيب البروتين وهي تشمل ظاهرتي الاستنساخ والترجمة.

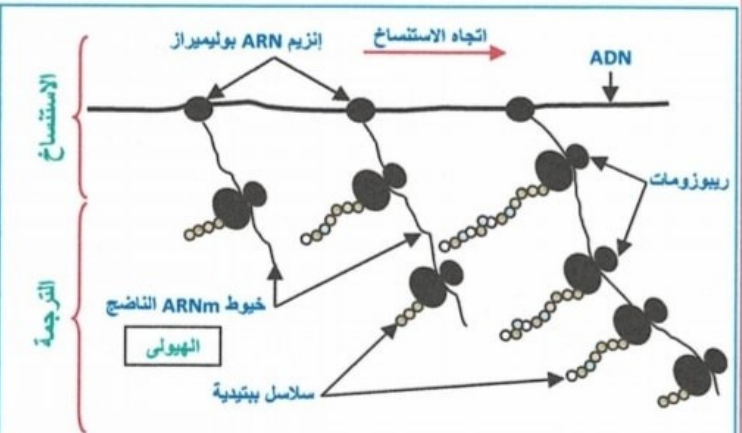
◀ عند بدائيات النواة كالبكتيريا يمكن لظاهرتي الاستنساخ والترجمة أن تحدثا في نفس المكان (الهيولى) وفي آن واحد.



رسم تخطيطي يوضح مختلف مراحل ظاهرة الترجمة



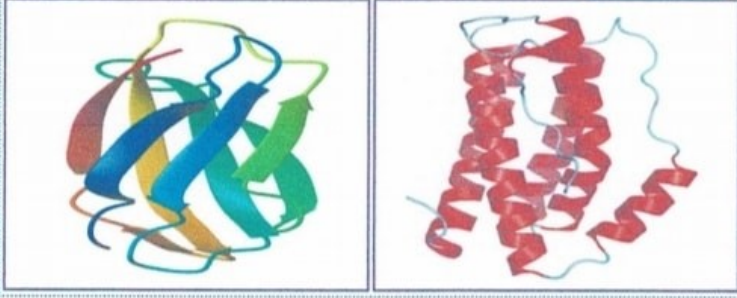
رسم تخطيطي يوضح مراحل حدوث عملية الترجمة



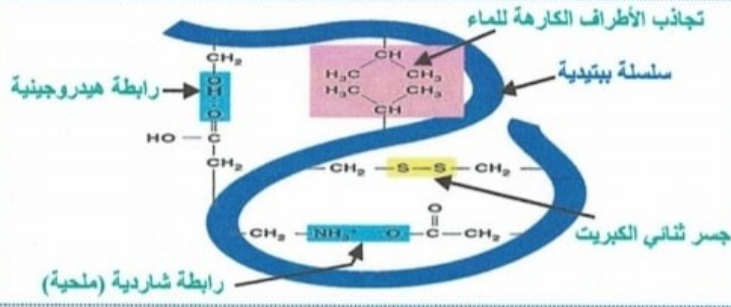
رسم تخطيطي يوضح آلية التعبير المورثي عند بدائيات النواة

أمثلة: الأنسولين، الليوزيم، الميوغلوبين، الأميلاز، ريبونوكلياز،

البنية الثالثية:



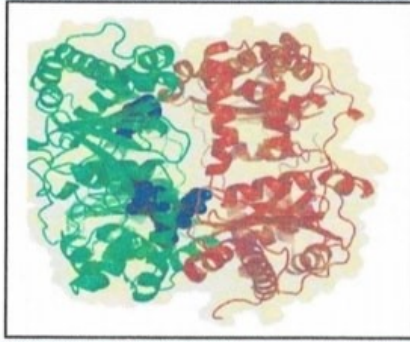
الشكل التالي يوضح الروابط التي تساهم في ثبات البنية الثالثية:



د- البنية الرابعة: تمثل تجمعا لسلسلتين ببتيديتين أو أكثر لكل منهما بنية ثالثة، تسمى كل سلسلة ضمن هذه البنية بتحت الوحدة، تحافظ هذه البنية على استقرارها لوجود روابط ضعيفة هي: الهيدروجينية، الملحية، تجاذب الجذور (الأطراف) الكارهة للماء.

أمثلة: - الهيموغلوبين: (4 تحت وحدات).
- إنزيم تريوز فوسفات إيزوميراز TPI (تحت وحدتين).
- مستقبل الأستيل كولين (5 تحت وحدات).
- جزيئات HLA (تحت وحدتين).

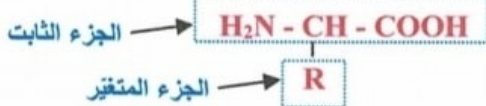
البنية الرابعة:



ملاحظة: تمثل البنيات الحلزونية α باستخدام برنامج راستوب بشكل شريط حلزوني أحمر، أما البنيات الوريقية β فتتمثل بشكل وريقات مطوية بلون أصفر أو أزرق، أما مناطق الإنعطاف فتتمثل بشكل خيط سميك أبيض.

3/ العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين:

الأحماض الأمينية مركبات عضوية رباعية العناصر CHON صيغتها العامة:



تتكون من جزأين:

* جزء ثابت: يحمل وظيفتين طرفيتين متعاكستين: وظيفة حامضية "COOH" أو كربوكسيلية، ووظيفة قاعدية "NH₂" أو أمينية، ترتبط هاتين الوظيفتين بذرة مركزية تدعى α كربون.

1/ تمثيل البنية الفراغية للبروتين:

تأخذ البروتينات بعد تركيبها على مستوى الريبوزومات بنيات فراغية محددة ومعقدة، بعد ذلك يتم توجيهها نحو المكان الذي تؤدي فيه وظيفتها داخل أو خارج الخلية.

يمكن تمثيل البنية الفراغية للبروتين باستعمال برنامج راستوب (Rastop)، يمكنا هذا البرنامج من:

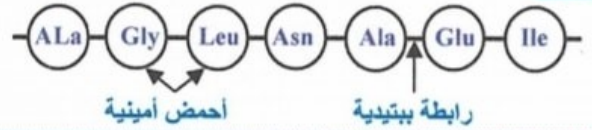
- الحصول على عدة نماذج جزيئية للبنية الفراغية للبروتين منها نموذج العود، المكس (الكرة)، الكرة والعود، الشريطي،
- دراسة البنيات الثانوية بتحديد عددها ونوعها في البروتين.
- تحديد عدد السلاسل الببتيدية في البروتين.
- تحديد عدد ونوع وتسلسل الأحماض الأمينية في البروتين.
- تحديد الجزء البروتيني والجزء غير البروتيني في الجزيئات.
- التعرف على الموقع الفعال في البروتين (الإنزيم).
- التعرف على مختلف أنواع الروابط في البروتين.

2/ مستويات البنية الفراغية للبروتين:

تمتاز البنية الفراغية للبروتين بتعقيدها وصعوبة تمثيلها، لذا قسّمت إلى أربعة مستويات بنائية متدرجة في التعقيد.

أ- البنية الأولية: تمثل تتابع للأحماض الأمينية مرتبطة فيما بينها بروابط ببتيدية (تكافئية) فقط لتكوّن سلسلة ببتيدية.

البنية الأولية:



ب- البنية الثانوية: تتكوّن من **النفاف** أو **انطواء** السلسلة الببتيدية ذات البنية الأولية لتكوّن بنيات ثانوية، نميز نوعين من هذه البنيات:

- * البنية الثانوية α (الحلزونية): تمثل **التفافا** للسلسلة الببتيدية في مناطق محددة بشكل حلزوني، وهي مكونة من سلسلة ببتيدية واحدة يضمن استقرارها روابط هيدروجينية للمجاميع (-CO-HN-).
- * البنية الثانوية β (الوريقية): تمثل **انطواء** للسلسلة الببتيدية في مناطق محددة لتأخذ شكل وريقات مطوية، وهي مكونة من سلسلتين ببتيديتين مرتبطتين بروابط هيدروجينية للمجاميع (-CO-HN-).

البنية الثانوية:



ج- البنية الثالثية: تمثل **انطواء** للسلسلة الببتيدية المحتوية على البنيات الثانوية α أو β أو كليهما، كما تحتوي على مناطق انعطاف، تحافظ هذه البنية على استقرارها لوجود أربعة أنواع من الروابط:

- * روابط هيدروجينية: تنشأ بين الوظائف الكيميائية للجذور R (-CO-HN-).
- * روابط ملحية (شاردية): تنشأ بين المجموعات السالبة والموجبة (الوظائف الحامضية "COO⁻" والقاعدية "NH₃⁺" للجذور R).
- * جسور كبريتية (ثنائية الكبريت): ناتجة عن جذري الحمض الأميني Cys.

- * تجاذب أو تداخل الجذور الكارهة للماء: للأحماض الأمينية الكارهة للماء مثل الأحماض الأمينية الأليفاتية (الخطية) والعطرية.

◀ ارتباط الأحماض الأمينية:

- ترتبط الأحماض الأمينية المتتالية في السلسلة الببتيدية بروابط تكافئية تدعى الرابطة الببتيدية.

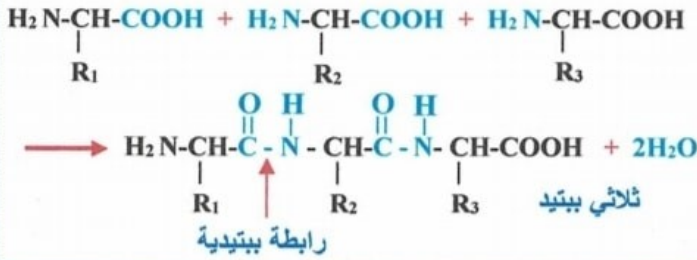


- تنشأ الرابطة الببتيدية من تفاعل المجموعة الحمضية "COOH-" للحمض الأميني الأول مع المجموعة القاعدية "NH₂-" للحمض الأميني الموالي، ينتج عن ذلك جزيئة ماء.

ملاحظات:

- عدد الروابط الببتيدية في البروتين يساوي عدد الأحماض الأمينية ناقص واحد (عدد الروابط الببتيدية = عدد أ - 1).
- عدد جزيئات H₂O الناتجة يساوي دائما عدد الروابط الببتيدية.

مثال عن تشكيل الرابطة الببتيدية:



◀ تتوقف البنية الفراغية للبروتين وبالتالي تخصصه الوظيفي على عدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية الداخلة في تركيبه والمحددة وراثيا، تنشأ بين هذه الأحماض الأمينية روابط متنوعة (هيدروجينية، جسور ثنائية الكبريت، شاردية، تجاذب الأطراف الكارهة للماء)، تتوضع هذه الروابط بطريقة دقيقة في السلسلة أو السلاسل الببتيدية حسب الرسالة الوراثية وهي تساهم في تحديد البنية الفراغية للبروتين واستقرارها، وبالتالي يظهر البروتين ببنية فراغية مميزة تسمح له بأن يؤدي وظيفته بالشكل الطبيعي.

◀ يمكن للطفرة أن تتسبب في تغيير الأحماض الأمينية المكوّنة للبروتين وبالتالي تغيير الروابط الناشئة بين الأحماض الأمينية أي فقدان الوظيفة.

◀ يمكن للروابط بين الجذور R للأحماض الأمينية أن تتفكك بسبب تأثير عوامل الوسط كالحرارة المرتفعة، درجة الحموضة (pH)، ...، يؤدي ذلك إلى تغيير البنية الفراغية للبروتين (تخريب)، يمكن للبروتين أن يستعيد بنيته الفراغية الطبيعية وبالتالي وظيفته الحيوية ويسمى التخريب عندئذ عكسي، وقد لا يستعيد البروتين بنيته الفراغية الطبيعية ويسمى التخريب عندئذ غير عكسي.

ملاحظة:

يمكن انطلاقا من عدد قليل من أ تشكيل عدد كبير من متعدّات الببتيد، ويمكن حساب ذلك من خلال العلاقتين التاليتين:

- **عدم تكرار أ** في متعدّد الببتيد ← n!، حيث n يمثل عدد أنواع أ.
- **بتكرار أ** ← nⁿ، حيث n عدد أنواع أ، و A عدد أ في متعدّد الببتيد.

مثال:

حساب عدد متعدّات الببتيد انطلاقا من 3 أنواع من أ:

$$\bullet \text{ (عدم تكرار أ): } 3! = 3 \times 2 \times 1 = 6$$

$$\bullet \text{ (بتكرار أ): } 3^3 = 27$$

* جزء متغير "R": عبارة عن جذر الكلي وهو مختلف من حمض أميني لآخر.

ملاحظات:

- الوظيفتين الطرفيتين: الحمضية "COOH-" والقاعدية "NH₂" هما مصدر الخاصية الأمفوتيرية (الحمقلية) للأحماض الأمينية.
- يوجد في الطبيعة عشرون نوعا من الأحماض الأمينية تدخل في تركيب أنواع البروتينات، تختلف فيما بينها في السلسلة الجانبية R.

◀ تصنيف الأحماض الأمينية:

- تصنف الأحماض الأمينية حسب السلسلة الجانبية R إلى:
 - أ- أحماض أمينية قاعدية: يحتوي جذرها R على وظيفة أمينية، وهي تشمل: الليزين (Lys)، الأرجينين (Arg)، الهستيدين (His).
 - ب- أحماض أمينية حمضية: يحتوي جذرها R على وظيفة حمضية، وهي تشمل: حمض الغلوتاميك (Glu)، حمض الأسبارتيك (Asp).
 - ج- أحماض أمينية متعادلة: لا يحتوي جذرها R على وظيفة أمينية ولا وظيفة حمضية، وهي تشمل 15 حمضا أمينيا المتبقية من بينها: السيرين Ser، الغليسين Gly،

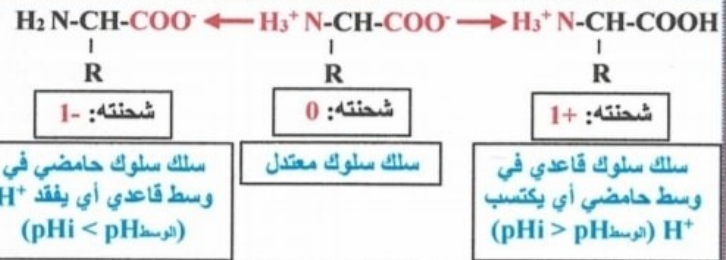
ملاحظات:

- تصنف الأحماض الأمينية حسب ذوبانها في الماء إلى:
 - أ- أ محبة للماء: مثل أ الحامضية والقاعدية والكحولية، تتوضع هذه الأحماض على سطح البروتين.
 - ب- أ كارهة للماء: مثل أ الأليفاتية والعطرية (ما عدا Tyr)، تتوضع هذه الأحماض داخل البروتين مشكلة مجاميع كارهة للماء تساهم في ثبات البنية الفراغية للبروتين.

• الحمضين الأمينيين Asn، Gln يصنفان ضمن أ المعتدلة، لاحظ أن جذرها R يحتوي على وظيفة أميدية "C=O NH₂".

◀ الخاصية الحمقلية للأحماض الأمينية:

تسلك الأحماض الأمينية سلوك الأحماض (تفقد H⁺) في الأوساط القاعدية (الوسط pH < pHi) أي تتأين الوظيفة الحامضية وتصبح شحنة الحمض الأميني سالبة، وتسلك سلوك القواعد (تكتسب H⁺) في الأوساط الحامضية (الوسط pH > pHi) أي تتأين الوظيفة القاعدية وتصبح شحنة الحمض الأميني موجبة، وتسلك سلوكا معتدلا إذا كان الوسط pH = pHi وتصبح شحنة الحمض الأميني منعدمة، وبالتالي فالأحماض الأمينية مركبات حمقلية أو أمفوتيرية.



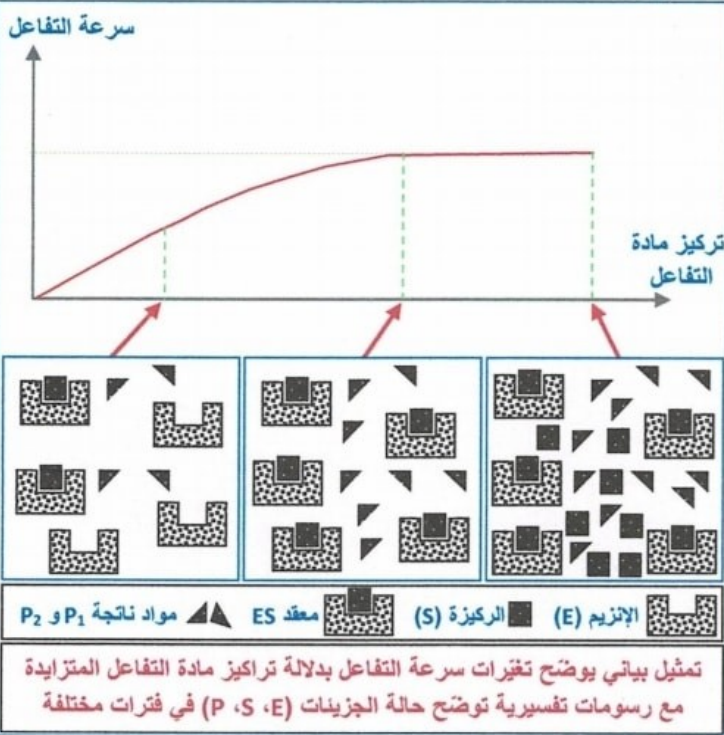
مخطط يبين سلوك حمض أميني في أوساط مختلفة الـ pH

ملاحظات:

- تسمى درجة pH التي يكون عندها الحمض الأميني متعادل كهربائيا بنقطة التعادل الكهربائي أو pHi.
- تقع pHi أ الحامضية (Asp و Glu) في المجال الحامضي القوي (في حدود 3 = pH)، وتقع pHi أ المعتدلة (15 ح أ) في المجال المعتدل (5 = pH إلى 6.3 = pH)، وتقع pHi أ القاعدية (His و Lys و Arg) في المجال القاعدي (7.64 = pH إلى 10.76 = pH)



◀ بزيادة تركيز مادة التفاعل (S) تزداد سرعة التفاعل (النشاط الإنزيمي)، وفي مرحلة معينة تثبت سرعة التفاعل نتيجة تشبع كل المواقع الفعالة للإنزيمات أي أن كل الوحدات الإنزيمية في حالة نشاط.



ملاحظات مهمة:

- بما أن الموقع الفعال هو جزء (حيز) صغير من الإنزيم فهذا يعني أن أغلب الأحماض الأمينية المكونة للإنزيم لا تشارك مباشرة في التفاعل.
- يختلف عدد الأحماض الأمينية المشكلة للموقع الفعال من إنزيم إلى آخر.
- تتكون المواقع الفعالة غالبا من أحماض أمينية ذات مواضع متباعدة في البنية الأولية، بينما تكون متقاربة فضائيا، يعود ذلك إلى انطواء (التفاف) السلسلة الببتيدية.
- تكون الروابط الناشئة بين مادة التفاعل والموقع الفعال للإنزيم ضعيفة (انتقالية) يسهل تكسيرها.

◀ يتم قياس النشاط الإنزيمي باستخدام التجريب المدعم بالحاسوب ExAO.

مكونات هذا الجهاز:

- المفاعل الحيوي: عبارة عن وعاء محكم الغلق يتم فيه التفاعل، توضع فيه المحاليل والمواد المتفاعلة والإنزيم، هذه الأخيرة يتم إضافتها عن طريق الحقن.
- مسبار (لاقط): يساهم في قياس تركيز المواد (مواد التفاعل S، المواد الناتجة P، تركيز الإنزيم E،)، داخل المفاعل الحيوي بصورة مستمرة، كما يمكن قياس تغيرات درجة الحرارة T، درجة الحموضة pH،،
- وسائط (محول): لربط اللواقط بالحاسوب.
- حاسوب: مزود ببرنامج خاص يسمح بعرض النتائج على الشاشة بشكل منحنيات.

مزايا التجريب المدعم بالحاسوب ExAO:

- يسمح بالقياس السريع للمواد المتفاعلة أو النواتج بدقة.
- يسمح لنا بمتابعة سير التفاعل على شاشة الحاسوب بصورة لحظية

1/ تذكير بالمكتسبات:

تتمثل الإنزيمات الهاضمة في الأميلاز والبروتياز والليباز، تفرزها غدد هاضمة، تعمل على تبسيط الأغذية المعقدة إلى مغذيات، تمتاز بالتخصص الوظيفي فلكل إنزيم مادة يؤثر عليها تسمى مادة التفاعل أو الركيزة S.

2/ العلاقة بين بنية ووظيفة الإنزيم:

المفهوم الدقيق للإنزيم:

الإنزيم بسيط حيوي، وسبط لأنه يدخل في التفاعل ويسرع حدوثه ولا يستهلك خلاله، أي بعد حدوث التفاعل يسترجع شكله الطبيعي، وحيوي لأنه من طبيعة بروتينية ناتج عن ارتباط عدد ونوع وترتيب معين من أحماض أمينية، يتميز الإنزيم بتأثيره النوعي تجاه مادة التفاعل (الركيزة) ونوع التفاعل، يعمل في شروط ملائمة (مثلى) من الـ pH والحرارة.

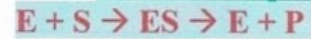
◀ يرتكز التأثير النوعي للإنزيم على مادة التفاعل على تشكل معقد أنزيم - مادة التفاعل (ES)، تنشأ أثناء حدوثه روابط انتقالية بين جزء من مادة التفاعل وجذور الأحماض الأمينية المكونة للموقع الفعال. ◀ يمكن لمادة التفاعل أن تتكامل مباشرة مع الموقع الفعال للإنزيم أي بدون حدوث تكامل محفز، وفي حالات أخرى يحدث التكامل بين الموقع الفعال للإنزيم ومادة التفاعل نتيجة تحفيز مادة التفاعل للإنزيم ليغير شكل موقعه الفعال فيصبح مكملا لشكل مادة التفاعل، تدعى هذه الحالة بالتكامل المحفز.

◀ إن تغيير شكل الموقع الفعال للإنزيم يسمح بحدوث التفاعل لأن المجموعات الكيميائية الضرورية لحدوثه تصبح في الموقع المناسب للتأثير على مادة التفاعل.

◀ تكون سرعة التفاعل الإنزيمي كبيرة في وجود الإنزيم، وتكون بطيئة أو حتى منعدمة في غيابه.

◀ يعمل الإنزيم غالبا على نوع واحد من مادة التفاعل، وقد يكون للإنزيم أكثر من مادة تفاعل فمثلا إنزيم الهكسوكيناز مواد تفاعله تتمثل في السكريات السداسية (غلوكوز، فركتوز، غالكتوز،)

◀ يلخص التفاعل الإنزيمي بالمعادلة التالية:



حيث يمثل:

E: الإنزيم S: مادة التفاعل (ركيزة)

ES: معقد إنزيم - ركيزة

P: مادة ناتجة.

- أما في حالة حدوث تكامل محفز فنكتب المعادلة بالشكل التالي:



حيث يمثل E': الإنزيم بعد تغيير شكل موقعه الفعال.

◀ تقاس سرعة التفاعل (النشاط الإنزيمي) بكمية المادة المستهلكة (S) أو الناتجة (P) خلال وحدة الزمن.

◀ توجد عدة أنواع من التفاعلات الإنزيمية منها تفاعلات التحويل، تفاعلات الهدم، تفاعلات البناء.

◀ يمكن للإنزيم أن يحتوي على موقع فعال أو أكثر.

تعريف الموقع الفعال:

هو جزء (تجويف) صغير من الإنزيم، يتشكل من عدد قليل من أحماض أمينية محددة وراثيا (عددا، نوعا وترتيبا)، ذات تموضع فراغي دقيق، يسمح بالتعرف النوعي على الركيزة وتثبيتها والتأثير عليها نوعيا، بعض الأحماض تشكل موقع التثبيت (الارتباط) وبعضها الآخر يشكل موقع التحفيز (التنشيط).

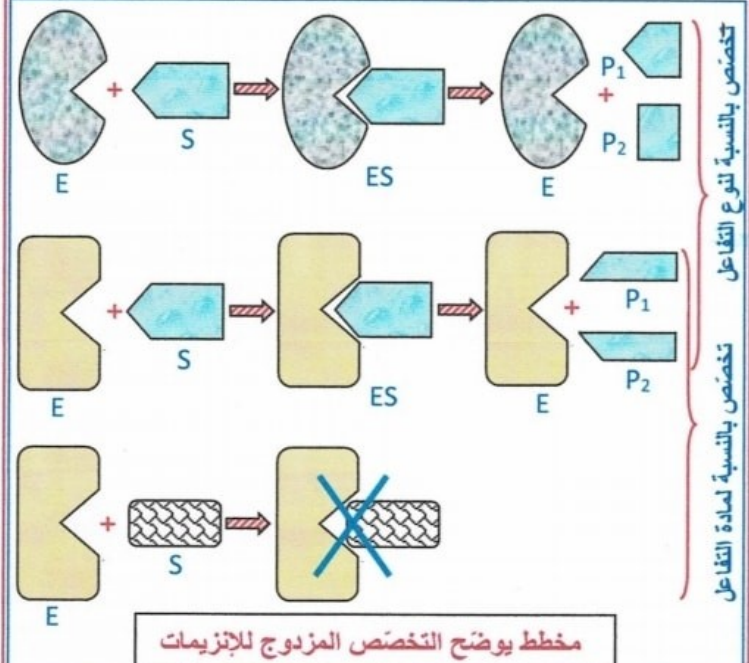
(أنية)، أي لا ننتظر انتهاء التجربة للحصول على النتائج.

- يسمح لنا بمشاهدة تأثير إضافة مركبات أو تغييرات في شروط التفاعل مباشرة.

- يسمح بالاحتفاظ بالنتائج في ذاكرة الحاسوب للرجوع إليها في أي وقت ومقارنتها مع النتائج الأخرى، كما يمكن إجراء رسم للمنحنى في نفس المعلم للتجربة السابقة لغرض المقارنة.

تعريف النوعية الإنزيمية:

للإنزيمات تخصص وظيفي مزدوج (نوعية إنزيمية): نوعية تجاه مادة التفاعل (أي لكل إنزيم مادة تفاعل يعمل عليها)، ونوعية تجاه نوع التفاعل (أي كل إنزيم يحفز حدوث نوع معين من التفاعل).



3/ دراسة تأثير تغيرات درجة pH الوسط على نشاط الإنزيم:

لكل إنزيم درجة حموضة (pH) مثلى، يكون نشاطه عندها أعظما، حيث تكون البنية الفراغية للإنزيم مستقرة تسمح بحدوث التكامل البنوي للموقع الفعال مع مادة التفاعل حيث تتشكل روابط كيميائية ضعيفة (انتقالية) بين بعض المجموعات الكيميائية الحرة للأحماض الأمينية للموقع الفعال وجزء من مادة التفاعل فتصبح المجموعات الكيميائية الضرورية لحدوث التفاعل في الموقع المناسب للتأثير على مادة التفاعل لذلك يكون النشاط الإنزيمي أعظما.

عند قيم pH الأخرى:

يتناقص النشاط الإنزيمي كلما ابتعدنا عن قيمة pH المثلى، حيث تؤثر درجة حموضة الوسط على الحالة الكهربائية للوظائف الجانبية الحرة للأحماض الأمينية في السلاسل الببتيدية وبالخصوص تلك الموجودة على مستوى الموقع الفعال، بحيث:

- في الوسط الحمضي (pH الوسط أصغر من pHi): تسلك الأحماض الأمينية المكونة للإنزيم سلوكا قاعديا أي تكتسب H⁺ وتصبح الشحنة الكهربائية الإجمالية للإنزيم موجبة.
- في الوسط القاعدي (pH الوسط أكبر من pHi): تسلك الأحماض الأمينية المكونة للإنزيم سلوكا حامضيا أي تفقد H⁺ وتصبح الشحنة الكهربائية الإجمالية للإنزيم سالبة.

- يفقد الموقع الفعال شكله المميز، بتغير حالته الأيونية وهذا ما يعيق تثبيت مادة التفاعل وبالتالي يمنع حدوث التفاعل، أي يصبح الإنزيم غير فعال.

ملاحظات:

- نقطة التعادل الكهربائي للإنزيم pHi ليست هي درجة pH المثلى.
- تختلف درجة pH المثلى من إنزيم لآخر فمثلا:

- * إنزيم الببسين المعدي نشاطه يكون أعظما عند pH = 2.
- * إنزيمات الليزوزوم نشاطها يكون أعظما عند pH = 5.
- * إنزيمات الهيولى الخلوية نشاطها يكون أعظما عند pH = 7.
- * كما توجد إنزيمات أخرى نشاطها يكون أعظما في المجال القاعدي مثل أستيل كولين إستراز والتربسين.



4/ دراسة تأثير تغيرات درجة الحرارة على نشاط الإنزيم:

لكل إنزيم درجة حرارة مثلى يكون نشاطه عندها أعظما (مثلا 37 °م عند الإنسان)، أي أن النشاط الإنزيمي يتم ضمن مجال محدد من درجة الحرارة، حيث عند درجة الحرارة المثلى تكون البنية الفراغية للإنزيم مستقرة تسمح بحدوث التكامل البنوي للموقع الفعال مع مادة التفاعل فتصبح المجموعات الكيميائية الضرورية لحدوث التفاعل في الموقع المناسب للتأثير على مادة التفاعل، لذلك يكون النشاط الإنزيمي أعظما.

عند القيم الأخرى لدرجة الحرارة:

- عند درجة الحرارة المنخفضة (مثلا 0 °م): تنعدم حركة الجزيئات، أي تقل التصادمات بين الإنزيم والركيزة، فيتباطأ تشكل المعقد الإنزيمي ES ويتوقف النشاط الإنزيمي، أي أن درجة الحرارة المنخفضة تؤثر بالتثبيط.

- أما عند درجة الحرارة المرتفعة (مثلا 60 °م): تتخرب بنية الإنزيم بسبب تفكك الروابط غير التكافؤية فيفقد الإنزيم بنيته الفراغية المميزة نهائيا وبالتالي يفقد الوظيفة التحفيزية، أي أن درجة الحرارة المرتفعة تؤثر بالتخريب.

ملاحظات:

- التأثير الذي تسببه درجة الحرارة المنخفضة يكون عكسيا أي عند رفع درجة الحرارة إلى المثلى يستعيد الإنزيم نشاطه، بينما التأثير الذي تسببه درجة الحرارة المرتفعة يكون غير عكسي (تخريب) أي عند وضع الإنزيم في درجة الحرارة المثلى لا يستعيد نشاطه بسبب تفكك الروابط بين الجذور R للأحماض الأمينية.

- يكمن الفرق بين التفاعل الإنزيمي والكيميائي أن:

* التفاعل الإنزيمي لا يتم إلا في وجود الإنزيم، وهو يزداد بزيادة درجة الحرارة وصولا إلى T المثلى، ثم يتناقص إذا ازدادت T عن المثلى.

* بينما التفاعل الكيميائي (مثل تفاعل ماء الجير مع CO₂) يعطي كربونات الكالسيوم) لا يحتاج إلى الإنزيم، كما أن سرعة التفاعل الإنزيمي تزداد بزيادة T.

- توجد عدة عوامل خارجية تؤثر على النشاط الإنزيمي منها درجة pH، تركيز الإنزيم، درجة الحرارة، تركيز مواد التفاعل، وجود المثبطات الإنزيمية،.....

يتميز الموقع الفعال ببنية فراغية متكاملة مع مادة تفاعل معينة، تتمثل هذه البنية في نوع وعدد وترتيب محدد للأحماض الأمينية.

تتوقف البنية الفراغية وبالتالي التخصص الوظيفي للإنزيم على الروابط التي تنشأ بين أحماض أمينية محددة (روابط كبريتية، روابط شاردية ...) ومتوسطة بكيفية دقيقة في السلسلة الببتيدية، عند تفكيك هذه الروابط يفقد الإنزيم بنيته الفراغية فيصبح غير فعال.

1- تذكير بالمكتسبات:

رفض الطعم:

- يمثل الطعم في قطعة نسيج أو عضو نقلها من شخص معطي (مانح) إلى شخص مستقبل (أخذ)، إذا كان هذين الشخصين متماثلين وراثيا نلاحظ قبول الطعم، حيث يظهر الطعم بلون أحمر وردي دلالة على وصول الدم إليه، أما إذا كانا مختلفين وراثيا فإننا نلاحظ رفضا للطعم حيث يتعفن بعد 10-12 يوما من الزرع.

- يتم قبول الطعم عند النقل من الشخص إلى نفسه، أو بين التوأمن الحقيقيين، ويتم رفض الطعم عند النقل بين شخصين متبايعين وراثيا.

2- الذات واللذات:

◀ يتضمن الغشاء الهولي ثلاث مكونات وهي: الدهون (40%)، البروتينات (58%)، السكريات (2%).

- يتكوّن الغشاء الهولي من طبقتين فوسفوليبيديتين، كما نلاحظ توضع جزيئات أخرى هي الكوليسترول بين جزيئات الدسم الفسفورية، يمكن أن تتبنت على الدسم جذور سكرية وتدعى عندئذ بالجليكوليبيد.

- تتخلل طبقتي الفوسفوليبيد بروتينات مختلفة الأحجام ومتباينة الأوضاع وتتمثل في البروتينات الكروية والليفية، تقسم البروتينات الكروية إلى قسمين: ضمنية (العابرة للغشاء) وسطحية (داخلية أو خارجية)، يمكن أن ترتبط بالبروتينات جذور سكرية مشكلة ما يعرف بجليكوبروتينات.

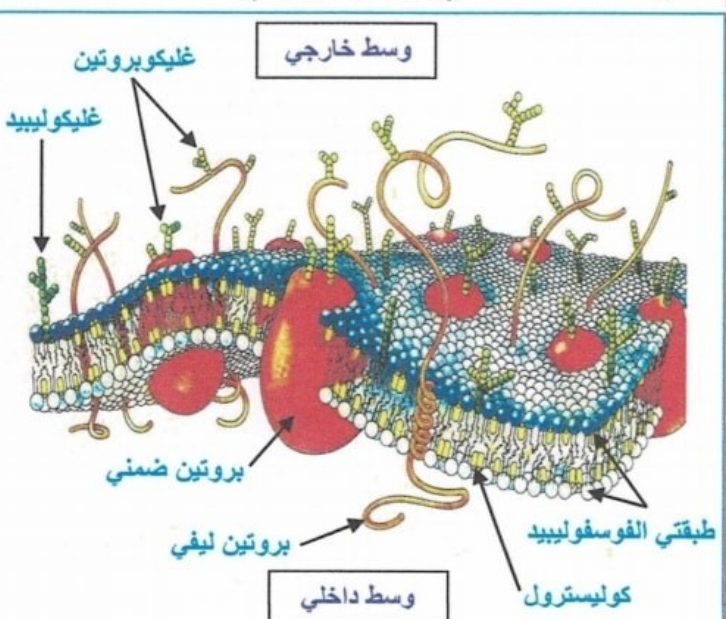
- تعتبر الجليكوبروتينات من أهم الجزيئات المميزة للسطح الخارجي للغشاء الهولي وهي المحددة للذات.

- سمي الغشاء الهولي بالفيسفاساني لتنوع مكوناته (بروتينات ودسم وسكريات) واختلافها من حيث الأحجام والأشكال.

- وسمي بالمانع لأن مكوناته في حركة ديناميكية مستمرة (غير مستقرة) أي تكون به البروتينات والفوسفوليبيدات في حركة مستمرة بالنسبة لبعضها البعض، وهذا ما توكده تجربة التهجين الخلوي بين خلية إنسان وخلية فأر.

ملاحظة:

يجب حفظ تجربة توضح خاصية الميوعة للغشاء الهولي (تجربة التهجين الخلوي: الوثيقة 05 ص 77)، وتجربة توضح نوع الجزيئات المحددة للذات (الوثيقة 07 ص 78).



رسم تخطيطي يوضح البنية الفيسفاسانية المانعة للغشاء الهولي

◀ تُعرّف الذات بمجموعة من الجزيئات الخاصة بالفرد المحددة وراثيا والمحمولة على أغشية خلايا الجسم، تمثل هذه الجزيئات مؤشرات الهوية البيولوجية وهي تسمح بالتمييز بين الذات واللذات، تشمل هذه الجزيئات نظام معقد التوافق النسيجي الرئيسي CMH، ونظاما ABO وRh.

• نظام CMH: هو جزء من الذخيرة الوراثية، تشفر مورثاته (عددها 10) لمجموعة جزيئات غشائية ذات طبيعة غليكوبروتينية تدعى

HLA (المستضد المفاوي البشري)، حيث يملك كل فرد منا تركيبة بروتينية خاصة من جزيئات HLA مرتبطة بالتعدد الأليلي للمورثات المشفرة لهذه البروتينات، تتحدد جزيئات الذات وراثيا وهي تمثل

مؤشرات الهوية البيولوجية للفرد، تصنف هذه الجزيئات إلى صنفين: CMHI أو HLA1: توجد على سطح جميع خلايا العضوية ماعدا كريات الدم الحمراء.

• CMHII أو HLA2: توجد على سطح بعض الخلايا المناعية وهي الخلايا للمفاوية B والبلعيمات الكبيرة.

ملاحظات مهمة:

- تمتاز مورثات CMH بأنها:

• متنوعة (A, B, C, DRB, DQA, DQB, DPA, DPB, β2m).

• تعدد الأليات كل مورثة، والفرد لا يحمل إلا أليلين منها.

• تماثلة السيادة أي لا توجد سيادة بين مختلف الأليات.

• مرتبطة أي معظمها محمولة على الصبغي رقم 6 وقربية جدا من الصبغي الآخر.

تسمح الخصائص الثلاث الأولى لمورثات CMH بإنتاج عدد كبير جدا من التراكيب الوراثية الممكنة يصل إلى الملايير، لذلك يصعب إيجاد فردين متماثلين الـ CMH باستثناء التوأم الحقيقي.

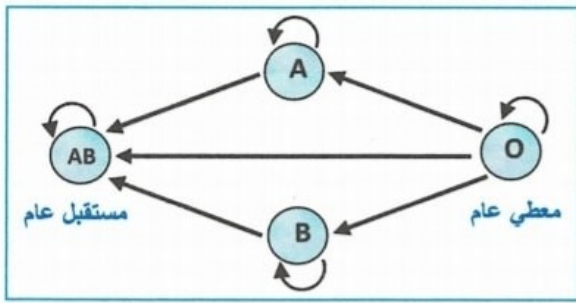
- يمكن للخلية أن تحمل 6 أنواع مختلفة من جزيئات HLA1، و6

أنواع أخرى من جزيئات HLA2.

- الجدول التالي يوضح مقارنة بين نوعي HLA:

HLA II	HLA I	أوجه المقارنة	
		طبيعتها الكيميائية غليكوبروتينية، يتكوّن كل منهما من سلسلتين ببتيديتين من نوع α و β وبالتالي فبنيتهما رابعة، وكل منهما يحتوي على جسر كبريتية ويمتلك موقعا لتثبيت محدد للمستضد، يقع هذا الموقع ناحية الوسط الخارجي.	أوجه التشابه
2 لهما نفس الطول أي متناظرتين	غير متناظرتين، حيث α طويلة و β قصيرة	عدد السلاسل والتناظر	أوجه الاختلاف
α1 / β1	α1 / α2	منطقة تثبيت الببتيد المستضدي	
مفتوح الطرفين موجود بين السلسلتين β و α	مطلق الطرفين تكوّنه السلسلة α فقط	طبيعة حيز التثبيت للمستضد الببتيدي	أوجه الاستيعاب
عن طريق السلسلتين β و α معا	عن طريق السلسلة α فقط	التثبيت على الغشاء الهولي	
β2 و β1 / α2 و α1	β2m / α3 و α2 و α1	نوع السلاسل	
نستنتج من ذلك أنه بالرغم من وجود الاختلاف في بنية جزيئات HLA1 و HLA2 إلا أنهما يشتركان في الوظيفة والتي تتمثل في عرض الببتيدات المستضدية.			

- تشفر للسلسلة β2m مورثة محمولة على الصبغي رقم 15.
- عدد الأليات كل مورثة من مورثات CMH غير ثابت لأنه في كل

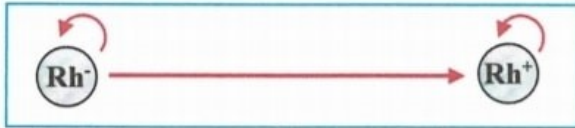


• نظام Rh:

- يتحدد عامل الريزوس وراثيا بمورثة محمولة على الصبغي رقم 01 لها أليلين فقط، أحدهما سائد يؤدي إلى إنتاج بروتين غشائي يسمى المستضد D فتوصف الزمرة التي تحتوي عليه بـ Rh^+ ، والثاني متنحي لا ينتج عنه أي بروتين مستضدي فتوصف الزمرة التي لا تحتوي عليه بـ Rh^- مع العلم أن Rh^+ سائد على Rh^- .
- الجدول التالي يوضح العلاقة بين المورثة والنمط الظاهري:

Rh^-	Rh^+	
Rh^- / Rh^-	Rh^+ / Rh^-	Rh^+ / Rh^+
نقي	هجين	نقي

- المخطط التالي يلخص حالات نقل الدم الجائزة:



3- الجزيئات الدفاعية في الحالة الأولى:

خطوط دفاع الجسم:

- تملك عضويتنا ثلاث خطوط دفاعية تمكنها من التصدي لمختلف العوامل الغريبة وهي:

نوع الدفاع II	نوع الدفاع I	
الخط الدفاعي الثالث	الخط الدفاعي الثاني	الخط الدفاعي الأول
1- الرد المناعي الخلوي بتدخل اللقويات B (LB) المفرزة للأجسام المضادة.	البالعات بنوعها (الماكروفاج، ومفصصة النواة) المسؤولة عن الاستجابة الالتهابية	الحواجز الدفاعية الطبيعية والتمتملة في الجلد، المخاط، الدموع، العرق، اللعاب، حموضة المعدة، صماغ الأذن،
2- الرد المناعي الخلوي بتدخل اللقويات T (LT).	الدفاع النوعي (المناعة النوعية)	الدفاع اللا نوعي (المناعة اللا نوعية)

- يسمى الدفاع I باللا نوعي لأنه لا يختص بنوع معين من الأجسام الغريبة (المستضدات) بل هو شامل لكل أنواع الأجسام الغريبة.
- أما الدفاع II فيسمى بالنوعي لأنه يختص بنوع محدد من المستضدات الذي حرض على إنتاجها.
- يسبب دخول مولدات الضد إلى العضوية إنتاجا مكثفا للأجسام المضادة، ترتبط الأجسام المضادة نوعيا مع المستضدات التي حرضت إنتاجها.
- الأجسام المضادة جزيئات ذات طبيعة بروتينية تنتمي إلى مجموعة الغلوبولينات المناعية من النوع (γ) غلوبولين.
- وصف تقنية الانتشار المناعي: تتم حسب الخطوات التالية:
- يحضر طبق بتري به مادة الجيلوز "الهلام" وتحدث في الجيلوز حفرة مركزية وحفر محيطية.
- توضع الأجسام المضادة في الحفرة المركزية ومستضدات منحلة

سنة يكتشف العلماء أليلات جديدة، ويصل عددها حاليا إلى آلاف الأليلات لكل مورثة.

• نظام ABO: عبارة عن جزيئات ذات طبيعة غليكوبروتينية محمولة على سطح كريات الدم الحمراء فقط، وهي ناتجة عن تعبير مورثة محمولة على الزوج الصبغي رقم 09.

• نظام Rh (عامل الريزوس): عبارة عن جزيئات ذات طبيعة بروتينية (المستضد D) محمولة على سطح كريات الدم الحمراء فقط، وهي ناتجة عن تعبير مورثة محمولة على الزوج الصبغي رقم 01. أما اللاداة فهي تعرف بأنها كل المكونات الغريبة عن الذات والتي يؤدي دخولها إلى العضوية إلى حدوث استجابة مناعية نوعية من أجل إقصائها.

ملاحظات مهمة تتعلق بنظامي ABO و Rh:

• نظام ABO:

- عند كل الأفراد توجد 4 زمرد دموية معروفة وهي A، B، AB، O، مع وجود لبعض الزمر النادرة مثل زمرة بومباي، الجدول التالي يوضح خصائص كل زمرة:

الزمرة	المستضدات الغشائية على سطح الكريات الحمراء	الأجسام المضادة في المصل
A	A	Anti-B
B	B	Anti-A
AB	A و B	لا شيء
O	لا شيء	Anti-A و Anti-B

• الجزيئات المميزة للزمر الدموية عبارة عن غليكوبروتينات تتكون من جزء بروتيني وجزء قاعدي سكري قليل التعدد (يتكون من 4 سكريات)، تشفر مورثة محمولة على الصبغي رقم 19 للإنزيم H مسؤول عن ربط سكر خامس يدعى فيكوز بالجزء السكري القاعدي ليتشكل ما يعرف بالمؤشر H (المستضد H) الذي يميز كريات الدم الحمراء ذات الزمرة O.

• تنتج الزمر الدموية عن نشاط مورثة محمولة على الصبغي رقم 09 لها ثلاث أليلات I^A و I^B و i^O ، مع العلم أن الأليلين I^A و I^B سائدين على الأليل i^O ، ولا توجد سيادة بين I^A و I^B ، أي I^A و I^B متماثلتي السيادة.

- لا يشفر الأليل i^O لتركييب أي إنزيم فتبقى الجزيئة القاعدية H كما هي مكونة من خمس سكريات (الزمرة O).

- يشفر الأليل I^A إلى تركيب إنزيم A يعمل على ربط N أستيل غلاكتو أمين (NAGA) بالجزيئة القاعدية H فيتشكل ما يعرف بالمستضد A المميز للزمرة A.

- يشفر الأليل I^B إلى تركيب إنزيم B يعمل على ربط الغلاكتوز (GAL) بالجزيئة القاعدية H فيتشكل ما يعرف بالمستضد B المميز للزمرة B.

- الجدول التالي يوضح العلاقة بين المورثة والنمط الظاهري:

الزمرة A	الزمرة B	الزمرة O	الزمرة AB
$I^A I^A$	$I^B I^B$	$i^O i^O$	$I^A I^B$
هجين	نقي	نقي	هجين

- توجد فصيلة دم نادرة تدعى فصيلة بومباي يصل الأشخاص الحاملين لها إلى 5 أشخاص لكل 1 مليون نسمة، ظهرت هذه الفصيلة نتيجة طفرة في المورثة المحمولة على الصبغي رقم 19 المشفرة للإنزيم H فلا يتم ربط السكر الخامس (فيكوز) بالجزء السكري القاعدي أي تبقى الجزيئة القاعدية مكونة من 4 سكريات فقط.
- المخطط التالي يلخص حالات نقل الدم الجائزة:

في الحفر المحيطية.

- تنتشر الأجسام المضادة والمستضدات في الهلام.
- يظهر قوس الترسيب بين الحفرة المركزية والحفر المحيطية إذا حدث ارتباط بين الأجسام المضادة والمستضدات، وفي حالة غياب الارتباط لا تتشكل أقواس الترسيب.
- ◀ تثبت هذه التقنية خاصية النوعية للاستجابة المناعية الخلطية.

ملاحظات مهمة:

- تتمثل خصائص الاستجابة المناعية النوعية الخلطية في أنها مكتسبة، قابلة للنقل عن طريق المصل (الاستمصال)، نوعية.
- للأجسام المضادة عدة أسماء منها الرصاصات، الأضداد، AC، الغلوبولينات المناعية Ig.
- أما الجسم الغريب فله عدة أسماء من بينها المستضد، مولد الضد، مولد الراصة، Ag.
- لتحديد الطبيعة الكيميائية للجزيئات الدفاعية الموجودة في مصل الشخص المريض نلجأ إلى تفاعل بيوري أو تفاعل الأصفر الأحيوي والتي تعطي نتيجة إيجابية مع الأجسام المضادة، مما يدل على أنها ذات طبيعة بروتينية.

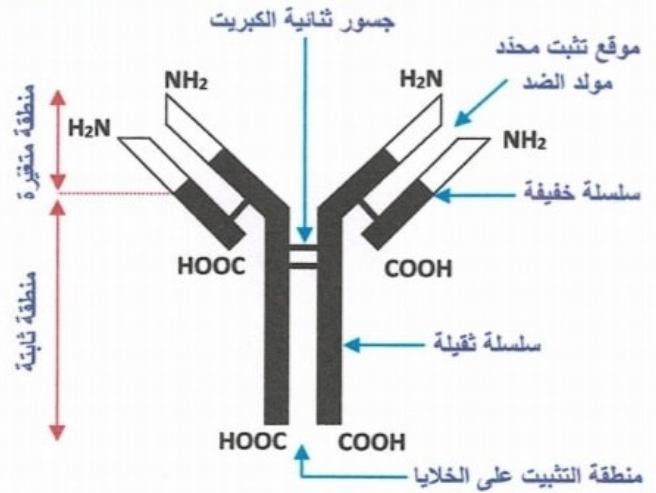
◀ وصف بنية الجسم المضاد:

- يتكوّن الجسم المضاد من أربع سلاسل ببتيدية: سلسلتان ثقيلتان H (Heavy) وسلسلتان خفيفتان L (Light)، ترتبط السلسلتين الثقيلتين ببعضهما بجسر ثنائي الكبريت، وترتبط كل سلسلة خفيفة بالسلسلة الثقيلة بجسر ثنائي الكبريت، فتظهر بنية الجسم المضاد على شكل حرف Y.

- تحتوي كل سلسلة من سلاسل الجسم المضاد على منطقة ثابتة ومنطقة متغيرة.

- يملك الجسم المضاد موقعين لتثبيت محددات المستضد تشكلها نهايات السلاسل الخفيفة والثقيلة للمناطق المتغيرة.

- ينتهي الجسم المضاد من الجهة الأخرى بموقع ارتباط على بعض المستقبلات الغشائية لبعض الخلايا مثل الخلايا البلعمية.



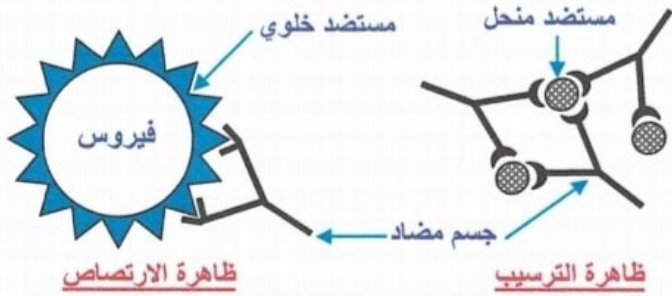
رسم تخطيطي تفسيري للجسم المضاد AC

4- المعقد المناعي:

- ◀ يتمثل المعقد المناعي (Ac - Ag) في ناتج الارتباط النوعي بين الجزء المتغير للجسم المضاد ومحدد المستضد الذي حرّض على إنتاجه (لا يرتبط المستضد كلية بالجسم المضاد وإنما جزء صغير منه يدعى محدد المستضد).
- يتشكل موقع تثبيت محدد المستضد من نهاية الجزء المتغير لكل من السلسلة الخفيفة والسلسلة الثقيلة والذي يأخذ بنية فراغية موائمة ومكملة لمحدد المستضد النوعي الذي حرّض على إنتاج الجسم المضاد.

◀ يوجد نوعين من المعقدات المناعية:

- ظاهرة الترسيب التي تحدث نتيجة ارتباط الأجسام المضادة مع مستضدات منحلّة مثل السموم.
- ظاهرة الارتصاص التي تحدث نتيجة ارتباط الأجسام المضادة مع مستضدات خلوية مثل فيروس، بكتيريا، كريات دم حمراء غريبة،... - يؤدي تشكل المعقد المناعي إلى إبطال مفعول المستضد ومنع تكاثره وانتشاره وإبطال سمّيته.



رسم تخطيطي تفسيري يوضح آلية تشكل المعقد المناعي

ملاحظة:

يؤدي تشكل المعقد المناعي إلى إبطال مفعول المستضد دون تخريبه وبواسطة الجزء الثابت للجسم المضاد يتثبت على مستقبلات غشائية للبالعات التي ترسل أرجلا كاذبة تقوم بلعمة المعقد المناعي وتفكيكه.

◀ **التخلص من المعقدات المناعية:** يتم ذلك بتدخل البالعات بنوعها (الكبيرة ومفصصة النواة) وفق المراحل التالية:

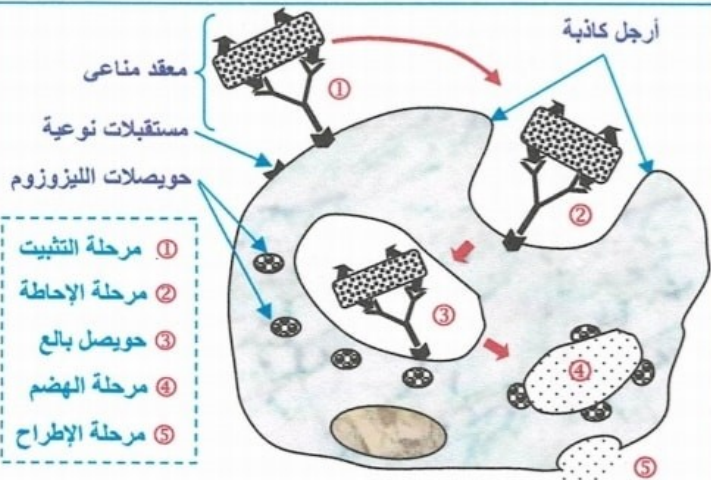
أ- مرحلة التثبيت: يتثبت المعقد المناعي البالعة نتيجة التكامل البنيوي بين الجزء الثابت للجسم المضاد والمستقبل الغشائي للبالعة (لاحظ الوثيقة 10 ص 90).

ب- مرحلة الإحاطة: ترسل البالعة استطالات هيلولية تحيط بالمعقد المناعي تسمى بالأرجل الكاذبة.

ج- تشكل حويصل الإقتناص أو الإدخال أو حويصل بالع: بعد اتحاد الأرجل الكاذبة يتشكل حويصل بالع يسحب في الهيلولي بداخله المعقد المناعي.

د- مرحلة الهضم: يحاط الحويصل البالع بحويصلات هيلولية غنية بإنزيمات الليزوزوم (يحتوي الليزوزوم على أكثر من 40 نوعاً من إنزيمات الإماهة التي تقوم بتفكيك البروتينات والدهون والسكريات والأحماض النووية)، وبعد إفراغ محتواها يتم تفكيك المعقد المناعي.

هـ- مرحلة الإطراح: يتم طرح نواتج الهضم وفق المراحل: هجرة ثم التحام ثم تحرير.



رسم تخطيطي يوضح مراحل حدوث ظاهرة البلعمة

5- مصدر الأجسام المضادة:

◀ تنتج الأجسام المضادة من طرف الخلايا البلازمية أو البلازموسيت (LBp) الناتجة عن تمايز LB، حيث تتشكل الخلايا LB في نخاع العظمي الأحمر وتكتسب كفاءتها المناعية فيه بتركيب مستقبلات غشائية تتمثل في جزيئات BCR عبارة عن أجسام مضادة غشائية. تتميز الخلية البلازمية بخصائص بنيوية تمكنها من إنتاج الأجسام المضادة بكميات كبيرة، تتمثل هذه الخصائص في: كبر حجم الخلية، نواة صغيرة ضمن هيولى كثيفة، نواة جانبية، شبكة هيولى غزيرة، جهاز جولجي متطور، كثرة الميتوكوندري ونموها، كثرة الحويصلات الإفرازية، غشاء هيولى متموج.

◀ أما الخلية LB فهي تمتاز بصغر الحجم، قليلة الهيولى، شبكة هيولى محببة غير نامية، جهاز جولجي غير متطور، قليلة الحويصلات الإفرازية، قليلة الميتوكوندري، هذه الخصائص لا تسمح للخلية LB بإنتاج الأجسام المضادة بالكميات المطلوبة.

◀ مقارنة بين الأجسام المضادة (Ac) المصلية والغشائية:

الغشائية Ac	المصلية Ac	البنية
		لها بنية فراغية متماثلة (رابعية)
أنتجتها الخلايا LB	أنتجتها خلايا بلازموسيت	المصدر
أجسام مضادة غشائية	أجسام مضادة سارية	التسمية
تتدخل في مرحلة التعرف على مولد الضد	تتدخل في مرحلة القضاء على مولد الضد (مرحلة التفتيز)	الدور

الانتخاب اللتي (النسيلي):

• يؤدي تعرّف الخلايا LB على المستضد إلى انتخاب (اختيار أو انتقاء) لمة من الخلايا LB تمتلك مستقبلات غشائية BCR متكاملة بنيويا مع محدّدات المستضد، إنه الانتخاب اللتي.

• تطرأ على الخلايا للمفاوية المنتخبة والمنشطة انقسامات تتبع بتمايز هذه الخلايا إلى خلايا منفذة (الخلايا البلازمية).

• إن خاصية النوعية للاستجابة المناعية ذات الوساطة الخلوية تستند على:

◀ وجود نسيالات من الخلايا LB، كل نسيالة تمتلك نوعا واحدا من الأجسام المضادة الغشائية (BCR) ذات موقع تثبيت خاص قادر على التعرف النوعي على محدّد مولد الضد والارتباط به نتيجة التكامل البنيوي بينهما، ذلك الارتباط يحدث التنشيط والتكاثر والتمايز مؤديا إلى إنتاج أجسام مضادة سارية ماثلة للأجسام المضادة الغشائية، ترتبط نوعيا مع نفس مولد الضد وتعديل مفعوله.

◀ نوعية كل جسم مضاد مرتبطة بتسلسل الأحماض الأمينية في المنطقة المتغيرة للسلاسل الثقيلة والخفيفة الخاصة به.

ملاحظة مهمة: عمر الخلايا البلازمية يتراوح من 4 - 28 يوما، بعد انتهاء مهمتها تتجه نحو نخاع العظام لتقبر هناك.

6- الجزيئات الدفاعية في الحالة الثانية:

تتمثل العناصر الدفاعية في الحالة الثانية بتشكيل LTC الناتجة عن تمايز LT₈ فهي استجابة ذات وساطة خلوية، تتمثل خصائص هذه الاستجابة المناعية في أنها مكتسبة، ونوعية.

7- طرق تأثير LT:

تتمثل شروط عمل LTC التخريبي في:

الإصابة: فالخلايا LTC لا تدمر إلا الخلايا المصابة.
تمائل الـ CMH: بين الخلايا المصابة والخلايا LTC.
النوعية: فالخلايا LTC لا تدمر إلا الخلايا المصابة بالمستضدات التي حرّضت على إنتاجها.

مراحل تدمير LTC للخلايا المصابة:

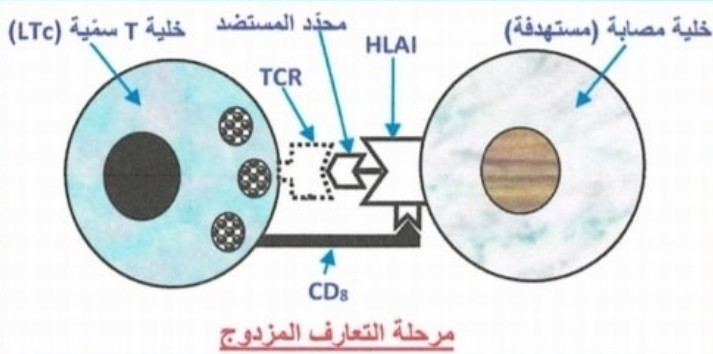
- تتعرّف LTC على الخلية المصابة نتيجة تماس الغشائين، حيث يتعرّف المستقبل الغشائي TCR الخلية LTC على معقد العرض (الببتيد المستضدي - HLAI)، كما يتعرّف CD₈ الخلية LTC على

CMHI المتواجد على سطح غشاء الخلية المصابة (تعرّف مزدوج).

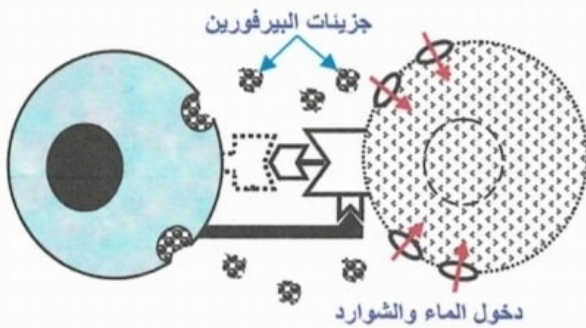
- نتيجة التعرف المزدوج، تفرز LT₈ جزيئات البيروفرين مع بعض الأنزيمات الحالة (مثل البروتياز، الغرانزيم المحلل للـ ADN،..). في منطقة التماس، تخترق جزيئات البيروفرين غشاء الخلية المصابة مشكلة قنوات.

- يدخل الماء والأملاح عبر هذه القنوات محدثا ذلك انفجار الخلية أي حدوث صدمة حلوية.

- يتم التخلص من الخلايا المخربة عن طريق ظاهرة البلعمة.



مرحلة التعرف المزدوج



مرحلة إنتاج البيروفرين وحدث صدمة حلوية

رسم تخطيطي يوضح آلية تدمير الخلية LTC للخلية المصابة

8- مصدر LT₈:

◀ تنتج الخلايا LT₈ من تمايز الخلايا LT₈ الحاملة لمؤشر CD₈، تتشكل الخلايا LT₈ في نخاع العظمي الأحمر وتكتسب كفاءتها المناعية بتركيب مستقبلات غشائية نوعية في الغدة السعترية (التيوسية)، تتمثل هذه المستقبلات في TCR و CD₈.

◀ يهدف التعريض لأشعة X إلى تخريب جميع الخلايا ذات الانقسام السريع بما فيها خلايا نقي العظام وبالتالي تصبح العضوية مجردة من الجهاز المناعي.

ويهدف نزع الغدة التيموسية (السعترية) للتأكد من خلو العضوية من الخلايا للمفاوية T ذات الكفاءة المناعية.

ملاحظة مهمة: تتمثل الأعضاء للمفاوية المركزية في نخاع العظم والغدة التيموسية، أما الأعضاء المحيطة فتتمثل في العقد للمفاوية، الطحال، صفائح بيير، اللوزتين.

الانتقاء اللتي لـ LT₈:

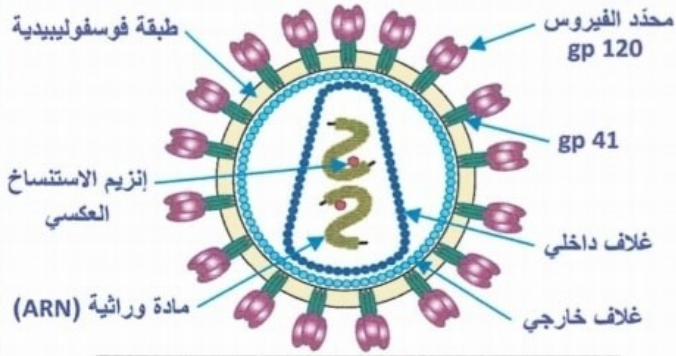
- يتم انتخاب الخلايا LT₈ المتخصصة ضد ببتييد مستضدي عند تماس هذه الأخيرة مع الخلايا المقدمة له (بالعات أو خلايا مصابة).

- تتكاثر الخلايا LT₈ المنتخبة وتشكل لمة من الخلايا، ثم تتمايز إلى LTC تمتلك نفس المستقبل الغشائي TCR.

9- تحفيز الخلايا للمفاوية LB و LT₈:

◀ تتم مراقبة تكاثر وتمايز الخلايا LB و LT ذات الكفاءة المناعية عن طريق مبلغات كيميائية تدعى الأنترلوكينات (السيوكينات) ذات الطبيعة الغليكوبروتينية من بينها الأنترلوكين 2 (IL₂) المفرز من قبل الخلايا LTh الناتجة عن تمايز LT₄ المحسنة.

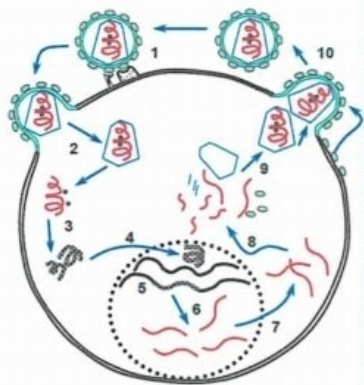
الفيروسية وهي عبارة عن جزيئي ARN، بالإضافة إلى ذلك نجد إنزيمات متنوعة تتمثل إنزيم الاستنساخ العكسي، البروتياز، الأنتيغراز.



رسم تخطيطي يوضح بنية فيروس HIV أو VIH

كيفية تطوّر شحنة الفيروس رغم غياب كل العضيات:

- يتطلب تكاثر فيروس VIH الخلية للمفاوية LT₄ وأنزيم الاستنساخ العكسي لذلك فهو من الفيروسات العاكسة أو الراجعة Retrovirus.
- يرتبط بروتين من نوع gp120 من مكونات الغلاف الفيروسي بمستقبلات غشائية نوعية تسمى CD₄ من مكونات غشاء الخلية للمفاوية LT₄.
- تتفكك المحفظة الفيروسية في مكان الارتباط مع اندماج الأغشية الخلوية ويتم تفرغ ARN وأنزيم الاستنساخ العكسي الفيروسي داخل الخلية المصابة.
- يحول أنزيم النسخ العكسي ARN الفيروسي إلى ADN فيروسي.
- يندمج ADN الفيروسي ضمن ADN الخلية المصابة.
- تبدأ بعد ذلك عملية نسخ عدد كبير من ARN الفيروسي، منها ما يشكل المادة الوراثية للفيروس أي يعاد نسخ الدعامة الوراثية للفيروس ومنها ما يترجم معطيا بروتينات فيروسية.
- تتجمع مكونات الفيروس المركبة وتحرر من الخلية المصابة بالنتج بأعداد كثيرة لتهاجم خلايا LT₄ أخرى سليمة.



- 1- مرحلة مهاجمة الفيروس للخلية LT₄.
- 2- التحام غشائي الفيروس مع غشاء الخلية LT₄ ودخول المحفظة إلى الخلية LT₄.
- 3- الاستنساخ العكسي لـ ARN الفيروس إلى ADN عن طريق إنزيم النسخ العكسي.
- 4- دخول ADN الفيروس إلى نواة الخلية LT₄.
- 5- التحام ADN الفيروسي مع ADN الخلية LT₄.
- 6- استنساخ مورثات الفيروس إلى ARNm.
- 7- خروج ARNm من النواة إلى الهيولى.
- 8- ترجمة ARNm إلى بروتينات فيروسية.
- 9- تجمع المكونات الجديدة (الـ ARN والبروتينات لتشكيل فيروس جديد).
- 10- تحرير الفيروسات الجديدة بظاهرة التبرعات الغشائية.

رسم تخطيطي يوضح دورة فيروس VIH في الخلية للمفاوية LT₄

- ◀ **طرق العلاج المقترحة:** توجد عدّة طرق معمول بها حاليا منها حقن أجسام مضادة باستطاعتها مهاجمة عدد كبير من نساقل VIH (مصنعة حديثا)، حقن جزيئات CD₄ من أجل منع الفيروس من التثبيت على الخلايا الحاملة لمؤشر CD₄، حقن المثبطات الإنزيمية تثبط عمل إنزيمات الفيروس، حقن جزيئات IL₂ من أجل تنشيط الاستجابة المناعية النوعية، حقن LT₄ وهمية،
- ◀ **تمرّ مراحل تطوّر المرض بثلاث مراحل:** ① إصابة أولية، ② ترقب (الإصابة بدون أعراض)، ③ مرحلة السيدا (SIDA) أو العجز المناعي، تظهر هذه الأخيرة عندما يتناقص عدد الخلايا LT₄ إلى أقل من 200 خلية الملم³.

◀ لا تؤثر الأنترلوكينات إلا على اللعافيات المنشطة أي اللعافيات الحاملة للمستقبلات الغشائية الخاصة بهذه الأنترلوكينات والتي تظهر بعد التماس بالمستضد.

10- دور اللعافيات خلال الاستجابة المناعية:

◀ يمكن أن تقوم البالعة بدور خلية عارضة للمستضد (CPA)، حيث تقوم باقتناص المستضد وهضم بروتيناته جزئيا، ثم تعرض محدّداته على سطح أغشيتها مرتبطة بجزيئات الـ CMH بنوعيه، CMH₁ إلى LT₈، وCMH₂ إلى LT₄، ترفق هذه العملية مع إنتاج لانتروكين 1 من أجل تنشيط LT₈ وLT₄.

تحديد الأنواع البروتينية المتدخلة في إقصاء اللادات:

نوع البروتين	المصدر	الدور
الليزوزيم (p)	العرق، الدموع، المخاط،	تفكيك جدران البكتيريا المكون من سكريات متعدّدة
جسم مضاد مصلي (ساري p)	الخلية البلازمية الناتجة عن تمايز الخلية LB	الارتباط بمحدّد مولد الضد وإبطال مفعول المستضد
جسم مضاد غشائي (p)	الخلية LB	يتدخل في مرحلة التعرف على مولد الضد
CD ₄ / TCR (gp)	LT ₄	التعرف المزدوج على المعقد (CMHIII) - ببتيد مستضدي
CD ₈ / TCR (gp)	LT ₈	التعرف المزدوج على المعقد (CMHI) - ببتيد مستضدي
الانتروكين 2 (IL ₂) (gp)	LT ₄ LTh الناتجة عن تمايز LT ₄	التحفيز الذاتي تحفيز باقي الخلايا للمفاوية المتحمّسة
الانتروكين 1 (gp)(IL ₁)	الخلايا العارضة والخلايا المصابة	تنشيط اللعافيات T ₈ و T ₄ وجذبها نحو معقد العرض
مستقبل غشائي نوعي	البالعة	تثبيت المعقد المناعي
مستقبل غشائي نوعي لـ IL ₂	LB / LT ₈ / LT ₄	تثبيت الأنترلوكين
البيرفورين (gp)	LTe المتميزة عن LT ₈	تشكيل ثقب على غشاء الخلية المصابة
CMHIII (gp)	البالعة الكبيرة	عرض الببتيد المستضدي لانتقاء لمة من LT ₄
CMHI (gp)	البالعة الكبيرة أو الخلايا المصابة	عرض الببتيد المستضدي لانتقاء لمة من LT ₈
الليزوزوم	البالعات	تفكيك المعقد المناعي الموجود بداخل الحويصل البالغ

ملاحظة: يمكن أن تقوم الخلايا للمفاوية B أيضا بدور خلايا عارضة للمستضد (CPA)، يتم ذلك في حالة المستضدات المنحلة فقط، حيث تقوم LB باقتناص المستضد بعد تثبته على BCR ثم تقوم بعرضه مرفوقا مع HLA2 إلى LT₄ ترفق هذه العملية بإفراز لـ IL₁.

11- فقدان المناعة المكتسبة:

◀ تتميز الخلايا المصابة بفيروس VIH بظهور أغشيتها غير مستوية تبدي تبرعات عديدة.

◀ يهاجم فيروس فقدان المناعة البشري VIH الخلايا LT₄ والبلعيمات الكبيرة (بلعيمات الأنسجة) وهي خلايا أساسية في التعرف وتقديم المستضد إلى جانب تنشيط الاستجابات المناعية.

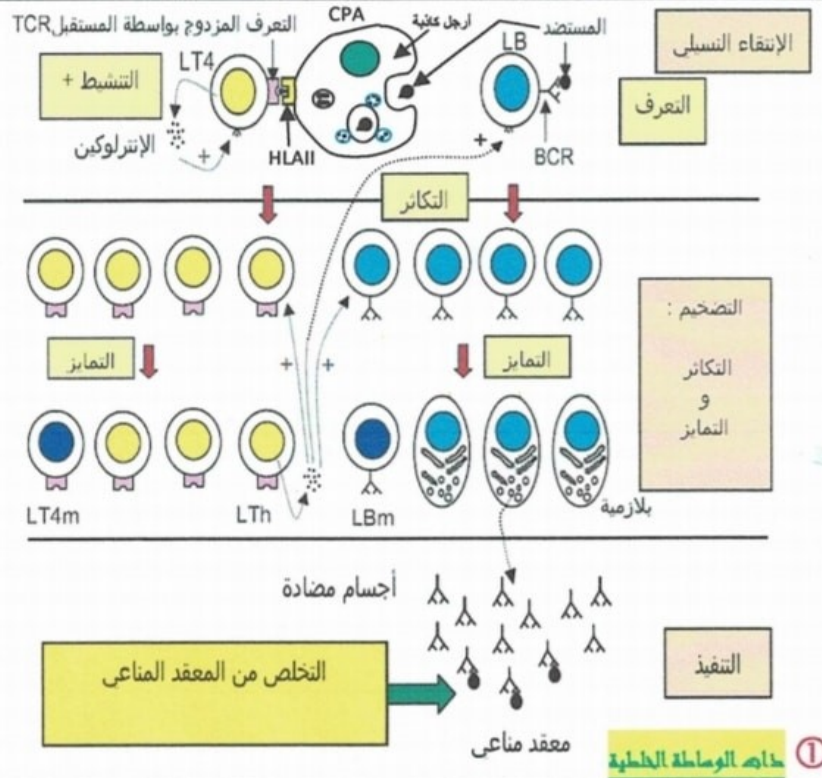
وصف بنية فيروس الـ VIH:

يظهر هذا الفيروس كروي الشكل محاط بطبقة فوسفوليبيدية تتخللها على مسافات منتظمة تقريبا غليكوبروتينات (gp41) تثبت عليها ناحية السطح غليكوبروتينات أخرى (gp120)، وبداخل الفيروس نجد غلafa داخلي يتكوّن من بروتين (p24/25) ضمنه المادة الوراثية

رموماه تحطيطية توضع مراحل حدوثه الامتجابية المناعية الذوقية.

① ذات الوساطة الخيطية: تنتهي بتشكيل LB المنتج للأجسام المضادة (Ac).

② ذات الوساطة الخيطية: تنتهي بتشكيل LTc (القائلة T) التي تعمل على تدمير الخلايا المصابة



تمر الاستجابة المناعية ذات الوساطة الخيطية بالمراحل التالية:

أ- مرحلة التعرف والتشيط: يؤدي دخول المستضد إلى العضوية إلى انتخاب نسيلة معينة من LB نتيجة التكامل البنوي بين Bcr إلى الخلية LB ومحدد المستضد، بعد ذلك تنتشط LB المنتخبة وتصنع مستقبلات IL₂ وتبرزها على سطح غشائها. كما تقوم الخلية البلعمية الكبيرة بهضم المستضد جزئياً وعرض محدداته مرفوقة مع جزيئات CMHII، ترفق هذه العملية مع إفراز الـ IL₁ الذي يجذب وينشط نسيلة معينة من LT₄ (تعارف على محدد المستضد عن طريق جزيئات TcR و CD₄ (تعارف مزدوج)، بعد ذلك تنتشط LT₄ وتصنع مستقبلات IL₂ وتبرزها على سطح غشائها.

ب- مرحلة التكاثر: تقوم LT₄ بتحفيز نفسها على التكاثر عن طريق إنتاجها لجزيئات IL₂، كما تشرع LB المنشطة في التكاثر عن طريق الانقسامات الخيطية المتساوية تحت تأثير IL₂ المفرز من قبل LTh الناتجة عن تمايز LT₄.

ج- مرحلة التمايز: تحت تأثير IL₂ المفرز من طرف الـ LT₄ تتمايز هذه الأخيرة إلى:

• LTm: تحتفظ بخصائص المستضد في الذاكرة المناعية هي تستجيب بسرعة عند دخول نفس المستضد مرة أخرى.

• LTh: هذه الأخيرة تواصل إفرازها لـ IL₂ الذي يحث LB على التكاثر والتمايز إلى نوعين من الخلايا:

• البلازموسيت (LBp): منتجة ومفرزة للأجسام المضادة ضد المستضد الذي حرض العضوية على إنتاجها.

• خلايا لمفاوية ذات ذاكرة (LBm): تستجيب بسرعة عند دخول نفس المستضد مرة أخرى.

د- مرحلة التنفيذ: تعمل الأجسام المضادة المنتجة من قبل الخلايا البلازمية على تشكيل معقدات مناعية مع المستضدات التي حرضت على إنتاجها، يتم التخلص من المعقدات بظاهرة البلعمة.

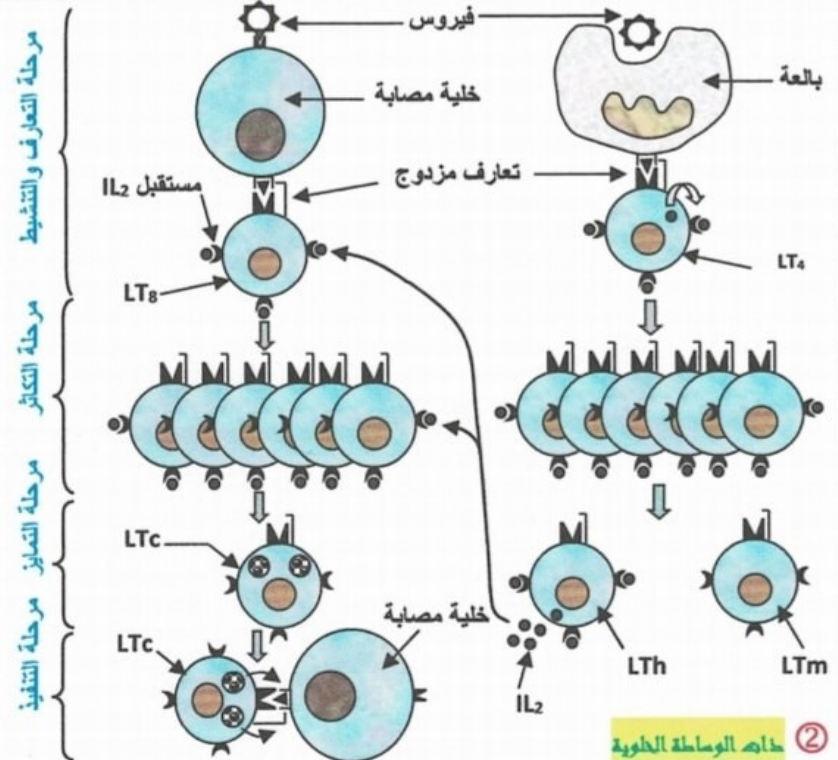
تمر الاستجابة المناعية ذات الوساطة الخيطية بالمراحل التالية:

أ- مرحلة التعرف والتشيط: تعرض الخلية المصابة على سطح غشائها ببتيد مستضدي، تتعرف الـ LT₈ على الخلية المصابة بفضل التكامل البنوي بين مستقبلاتها الغشائية (TCR) والببتيد المستضدي المرفوق بالـ HLA I إنه الانتخاب للمتي لإحدى نسايل LT₈ (تنتشط نسايل LT₈ المنتقاة وتصنع مستقبلات IL₂)، كما يحدث تعرف LT₄ على الببتيد المستضدي المعروف من طرف الخلايا العارضة للمستضد (CPA) مرفوقاً مع HLA II عن طريق مستقبلاتها الغشائية (TCR) إنه الانتخاب للمتي لإحدى نسايل LT₄ (تنتشط نسايل LT₄ المنتقاة وتصنع مستقبلات IL₂).

ب- مرحلة التكاثر: تتكاثر LT₄ المنتقاة مشكلة لمة من اللمفاويات، كما تتكاثر LT₈ المنتقاة مشكلة لمة من اللمفاويات.

ج- مرحلة التمايز: تحت تأثير الأنترلوكين المفرز من طرف الـ LT₄ تتمايز هذه الأخيرة إلى LTh و LTm هذه الأخيرة تواصل إفرازها لـ IL₂ الذي يحث LT₈ على التكاثر إلى LTc و LTm.

د- مرحلة التنفيذ: تتعرف الـ LTc تعرفاً مزدوجاً على الخلية المصابة وعن طريق إفرازها للبيرفورين والإنزيمات المحللة تتشكل ثقبوب بغشاء الخلية المصابة تسمح بدخول الماء والأملاح فتتفجر الخلية المصابة بصدمة حلوية، يتم التخلص من بقايا الخلايا المصابة بظاهرة البلعمة.



الدور	الخلايا المستهدفة	الخلايا المفرزة	جزيئات السيبتوكين
الجدب والتشيط	LT ₄ و LT ₈	الخلايا العارضة	الأنترلوكين 1 (IL1)
تنشيط التكاثر والتمايز	LT ₄ و LT ₈ و LB و حتى البالعات	الخلايا للمفاوية T ₄ و Th	الأنترلوكين 2 (IL2)

1- تذكير بالمكتسبات:

آلية عمل المشبك:

- يؤدي وصول الرسالة العصبية إلى التفرع النهائي إلى:
- دخول شوارد Ca^{2+} (الكالسيوم) وهجرة الحويصلات المشبكية نحو الغشاء قبل مشبكي.
- بعد تجمع الحويصلات المشبكية تلتحم بالغشاء قبل مشبكي وبالتالي يطرح الأستيل كولين في الشق المشبكي.
- ينتبذ الأستيل كولين على مستقبلاته النوعية بعد المشبكية نتيجة التكامل البنيوي مما يؤدي إلى تولد زوال استقطاب بعد مشبكي (دخول شوارد Na^+).
- يتدخل إنزيم أستيل كولين إستراز الموجود طبيعيا في الشق المشبكي ليفكك الأستيل كولين إلى أستيل + كولين وبالتالي إلغاء زوال الاستقطاب بعد المشبكي.
- يتم امتصاص الكولين من قبل الغشاء قبل مشبكي ليعاد تركيبه إلى أستيل كولين.

2- آلية النقل المشبكي:

مقر تأثير الأستيل كولين (ACh):

- يمتلك الغشاء بعد مشبكي مستقبلات من طبيعة بروتينية لـ ACh يمكن التعرف عليها بحقن مادة α بنغاروتوكسين مشعة، تستخلص هذه المادة من سم نوع من الثعابين وهي تشغل مواقع تثبت ACh، لأنها مماثلة له في الجزء المثبت على مستقبلاته النوعية.

بنية مستقبل الأستيل كولين:

- هو ذو طبيعة بروتينية مستواه البنائي رابعي لأنه يتكوّن من اتحاد 5 تحت وحدات، كل تحت وحدة عبارة عن سلسلة ببتيدية تخترق الغشاء 4 مرّات مستواها البنائي ثلثي، يتضمّن مستقبل الأستيل كولين موقعين لتثبيت الأستيل كولين وقناة فهو مستقبل قنوي (إينوفور)، هذه القناة ناتجة عن اجتماع 5 تحت الوحدات.
- تتواجد هذه المستقبلات على مستوى الغشاء بعد مشبكي للمشابك التنبيهية فقط، والمبلغ الكيميائي ACh هو المسؤول عن انفتاحها.
- في غياب ACh تكون قناة الإينوفور مغلقة، وبالتالي لا يتم دخول Na^+ عبر هذه القنوات، وعند ارتباطه بمواقع تثبته تنفتح قناة الإينوفور فتدخل شوارد Na^+ بظاهرة الميز (وفق تدرج التركيز)، يتولد عن ذلك تيارات داخلية سريعة.
- يدعى مستقبل الأستيل كولين أيضا بالقنوات الكيميائية أو المبوبة كيميائيا أو المرتبطة بالكيمياء.

ملاحظة:

- تمكّن العلماء من دراسة التيارات التي تعبر الغشاء عن طريق تقنية Patch-Clamp (حصر - قطعة)، حيث مكّنت هذه التقنية من تسجيل الظواهر الأيونية وفق عدّة مظاهر خلوية، فاختيار مظهر خلوي من مظاهر هذه التقنية يهدف إلى الإجابة عن أسئلة محدّدة. تتمثل هذه المظاهر في:

- الطريقة 1 (الشفط الخفيف): تهدف إلى عزل قناة غشائية واحدة أو أكثر دون فصلها عن الغشاء ودراسة التيارات التي تمرّ عبرها.
- الطريقة 2 (الشفط القوي): تهدف إلى جعل محتوى الخلية باتصال مع الماصة المجهرية وبالتالي دراسة التيارات التي تمرّ عبر مختلف القنوات الغشائية.
- الطريقة 3: تهدف إلى عزل جزء من الغشاء الهيولي الذي يحتوي على قناة واحدة أو أكثر وفصله كلية عن الخلية، ليتمّ بعد ذلك دراسة التيارات التي تمرّ عبرها.

آلية تأثير المبلغ العصبي الأستيل كولين:

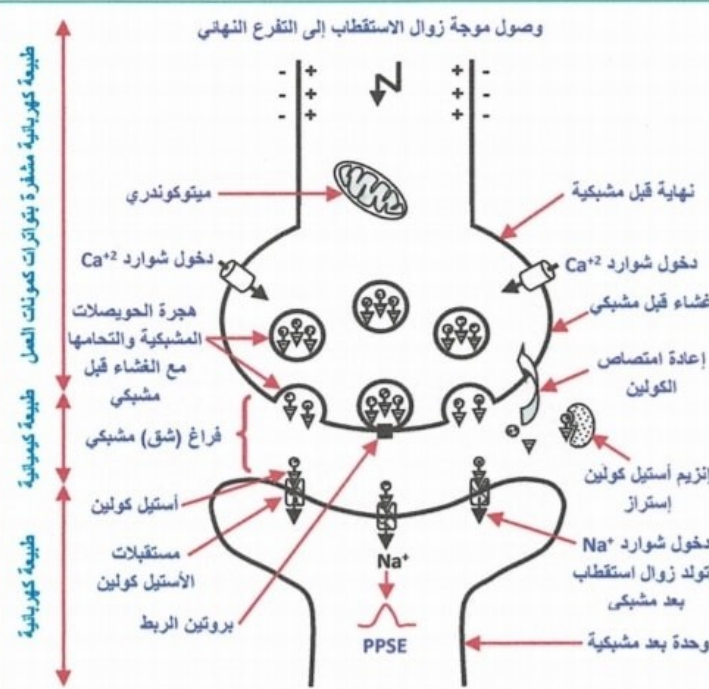
- تتوقف سعة زوال استقطاب الغشاء بعد المشبكي على عدد

المستقبلات القنوية المفتوحة خلال زمن معين.

- تصل سعة PPSE عتبة توليد كمون عمل إذا توفرت كمية كافية من الأستيل كولين في الشق المشبكي.
- يؤثر الأستيل كولين على مستوى الغشاء بعد مشبكي، حيث ينتبذ على مستقبلات قنوية نوعية مرتبطة بالكيمياء مؤديا إلى فتح القنوات، مما يسمح بتدفق داخلي لشوارد Na^+ .
- يفقد المبلغ العصبي (الأستيل كولين) نشاطه (فعالته) نتيجة الإماهة الإنزيمية بتدخل إنزيم أستيل كولين إستراز الموجود طبيعيا في الشق المشبكي.
- يمكن لإنزيم أستيل كولين إستراز أن يفقد نشاطه تحت تأثير بعض الأدوية مثل الأسرين والبيلوكاربين.

دور الكالسيوم في تغيير نمط التشفير:

- تكون الرسالة العصبية على مستوى الوحدة قبل مشبكية ذات طبيعة كهربائية مشفرة بتواترات كمونات العمل، وعند وصولها إلى النهاية قبل مشبكية تتسبب في انفتاح قنوات Ca^{2+} المرتبطة بالفولطية، تدخل شوارد Ca^{2+} إلى الهيولى قبل مشبكية وتؤدي إلى تحرير المبلغ العصبي الأستيل كولين عن طريق الإطراح الخلوي، ومنه تتغير الرسالة العصبية من طبيعة كهربائية إلى طبيعة كيميائية مشفرة بتركيز ACh المفرز في الفراغ المشبكي.
- يتسبب ACh في توليد رسائل عصبية بعد مشبكية مشفرة بتواترات كمونات العمل (طبيعة كهربائية).



رسم تخطيطي يوضح آلية انتقال الرسالة العصبية على مستوى مشبك تنبهي

3- كمون الراحة:

مصدر كمون الراحة:

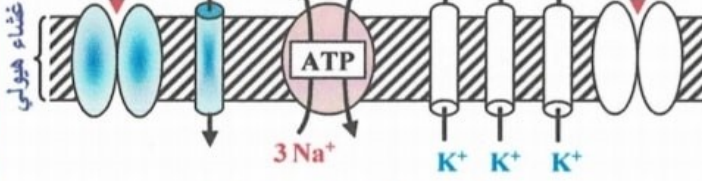
- يكون غشاء العصبون أثناء الراحة مستقطبا، أي تتوضع الشحن الموجبة على السطح والسالبة داخله، ويقدر فرق الكمون على جانبي الغشاء في هذه الحالة بـ -70mv وهو يتراوح عادة بين -60mv إلى -100mv .
- ينتج الكمون الغشائي للعصبون أثناء الراحة عن:
- ثبات التوزع الطبيعي وغير المتساوي لـ Na^+/K^+ بين الوسط

وسط خارج خلوي

$\uparrow\uparrow Ca^{+2}$ (10 أضعاف) Na^+ (15 ضعفا) CL^- K^+

كثافة الشحنة الموجبة هي الغالبة

قناة فولطية خاصة Na^+ مغلقة Na^+ $2K^+$ K^+ مغلقة قناة فولطية خاصة



كثافة الشحنة السالبة هي الغالبة

Pro^- $\downarrow\downarrow Ca^{+2}$ Na^+ CL^- (20 ضعفا) K^+

وسط داخل خلوي

رسم تخطيطي وظيفي يوضح آلية عمل البروتينات الغشائية خلال كمون الراحة

4- كمون العمل:

دور البروتينات في نشأة كمون العمل:

تمثل تغيرات الكمون الغشائي الناتج عن التنبيه في:

• زوال استقطاب سريع للغشاء مرتبط بتدفق داخلي لـ Na^+ نتيجة انفتاح قنوات Na^+ المرتبطة بالفولطية.

• عودة الاستقطاب ناتجة عن انغلاق قنوات الصوديوم المرتبطة بالفولطية تدريجيا، وانفتاح قنوات K^+ المرتبطة بالفولطية ليحدث تدفق خارجي لـ K^+ .

• فرط في الاستقطاب ناتج عن تأخر انغلاق القنوات المرتبطة بالفولطية لـ K^+ واستمرار خروج شوارد K^+ عبرها.

• تؤمن مضخة Na^+ / K^+ المستهلكة للطاقة (ATP) عودة

التراكيز الأيونية للحالة الأصلية، ومنه يسترجع الليف العصبي استقطابه وقابلية التنبيه من جديد بعد خروج شوارد Na^+ ودخول شوارد K^+ بالنقل الفعال بتدخل مضخة Na^+ / K^+ .

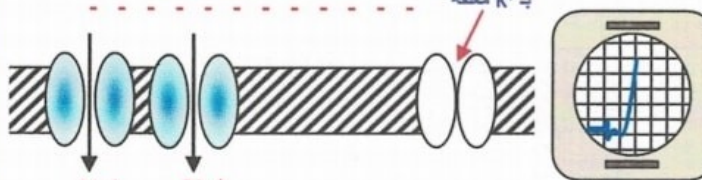
• **فكمون العمل** ما هو إلا زوال استقطاب ناتج عن تدفق أيونات Na^+ إلى الوسط الداخلي بعد فتح قنوات الصوديوم الفولطية ثم غلقها، وعودة الاستقطاب ناتجة عن تدفق أيونات K^+ إلى الوسط الخارجي بعد فتح قنوات البوتاسيوم الفولطية.

ويؤدي فتح وغلق قنوات Na^+ و K^+ الفولطية بصفة متتالية إلى انتقال وانتشار السائلة العصبية على طول الليف العصبي.

وسط خارج خلوي

$\uparrow\uparrow Ca^{+2}$ (15 ضعفا) CL^- K^+ (% 50) Na^+

كثافة الشحنة السالبة هي الغالبة



زوال استقطاب غشائي

كثافة الشحنة الموجبة هي الغالبة

(% 50) Na^+ Pro^- $\downarrow\downarrow Ca^{+2}$ CL^- (20 ضعفا) K^+

وسط داخل خلوي

الداخلي للخلية والوسط الخارجي، حيث يكون توزع Na^+ أعظمي في الوسط الخارجي (عادة 10 أضعاف)، أما K^+ فيكون أعظمي في الوسط الداخلي (عادة 20 ضعفا).

• ناقليّة شوارد البوتاسيوم K^+ أكبر من ناقليّة شوارد الصوديوم Na^+ بثلاث مرّات كون عدد قنوات K^+ المفتوحة باستمرار (قنوات الميز أو التسرّب) أكبر من عدد قنوات Na^+ بثلاث مرّات في وحدة مساحة غشائية.

وبالتالي **فالتباين** في توزع شوارد K^+ هو مصدر كمون الراحة، لذا يدعى هذا الكمون بكمون البوتاسيوم، كما تؤكد ذلك تجربة العالمين Hodgkin و cooll الموضحة ص 138.

مميّزات قنوات التسرّب:

- ذات طبيعة بروتينية.
- من ناحية التوضع هي عبارة عن بروتين ضمّني عابر للغشاء به قناة تكون مفتوحة باستمرار.
- تنقل الشوارد حسب تدرّج تركيزها.
- تمتاز بنقل اختياري (اصطفائي) فهناك قنوات خاصة بـ Na^+ وأخرى خاصة بـ K^+ .
- عدد قنوات K^+ أكبر من عدد قنوات Na^+ بثلاث مرّات.

ثبات كمون الراحة:

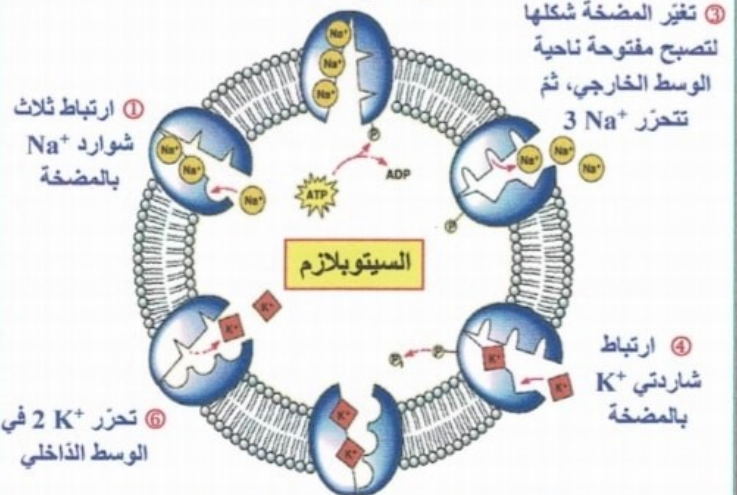
تؤمن مضخات Na^+ / K^+ ثبات الكمون الغشائي خلال الراحة (-70mv) المستهلكة للطاقة بطرد Na^+ نحو الخارج عكس تدرج التركيز والتي تميل إلى الدخول بظاهرة الميز، وإدخال شوارد البوتاسيوم K^+ التي تميل إلى الخروج كذلك بظاهرة الميز. - تُستمدّ الطاقة الضرورية لنقل الشوارد عكس تدرّج تركيزها من

إماهة ATP فهو نقل فعّال.

مميّزات مضخة Na^+ / K^+ :

- عبارة عن بروتين ضمّني كبير.
- تنقل شوارد Na^+ / K^+ عكس تدرّج التركيز، ويحتاج عملها إلى طاقة في صورة ATP (نقل فعّال)، تستهلك هذه الطاقة من أجل تغيير شكلها.
- تعمل بالنقل المزدوج، فهي تعمل في كل دورة على إخراج $3Na^+$ وإدخال $2K^+$ مع استهلاك جزيئة ATP.

2 فسفرة المضخة



تغير المضخة شكلها من جديد لتصبح مفتوحة

ناحية الوسط الداخلي

الوسط خارج خلوي

رسم تخطيطي يوضح آلية عمل مضخة K^+ / Na^+

ملاحظة: خلال دراسة الكمون الغشائي يتم استعمال الليف العصبي لحيوان الكلمار بسبب قطره الكبير 1mm (أكبر من الليف العصبي للإنسان بـ 1000 مرّة)، كما أنه يبقى حيا لعدة ساعات في ماء البحر.

تعمل المستقبلات القوية الموجودة على مستوى الغشاء بعد مشبكي على توليد PPSE في المشابك التنبيهية، و PPSI في المشابك التنبيهية.

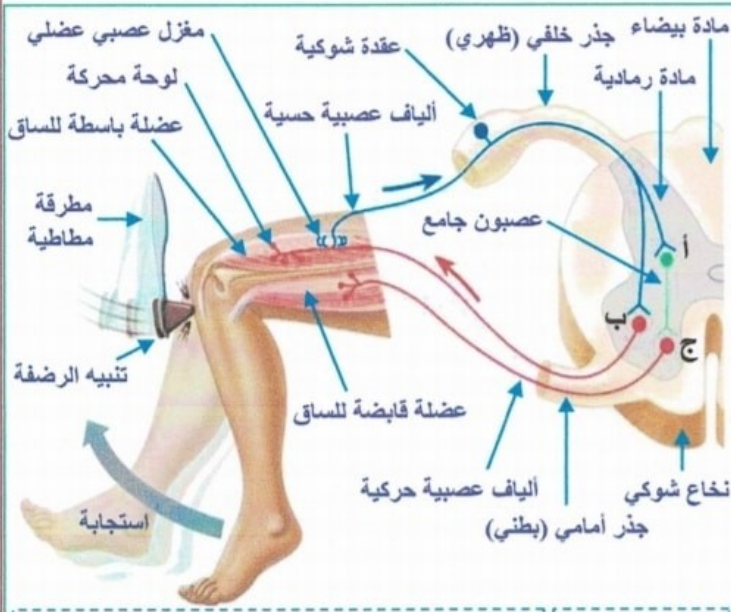
يمكن أن يترجم تأثير المبلغ العصبي على الغشاء بعد مشبكي بـ :
 زوال استقطاب الغشاء بعد مشبكي الذي يتسبب في ظهور كمون بعد مشبكي تنبيهية (PPSE) إذا كان المشبك تنبيهية.

فرط في استقطاب الغشاء بعد مشبكي الذي يتسبب في ظهور كمون بعد مشبكي تثبيطي (PPSI) إذا كان المشبك تثبيطي.

المستقبلات القوية التي تنشط بـ GABA لها وظيفة تثبيطية، حيث يسمح انفتاح هذه المستقبلات القوية بدخول Cl^- للخلية بعد مشبكية محدثة فرطاً في استقطاب الغشاء.

ملاحظة: لا يهدم GABA في الشق المشبكي بل يمتص من طرف الخلية قبل مشبكية أو الخلايا الدبقية.

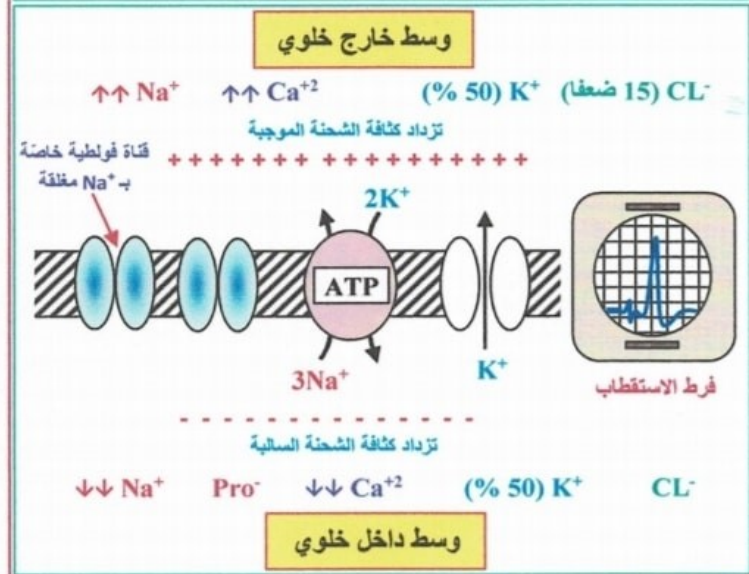
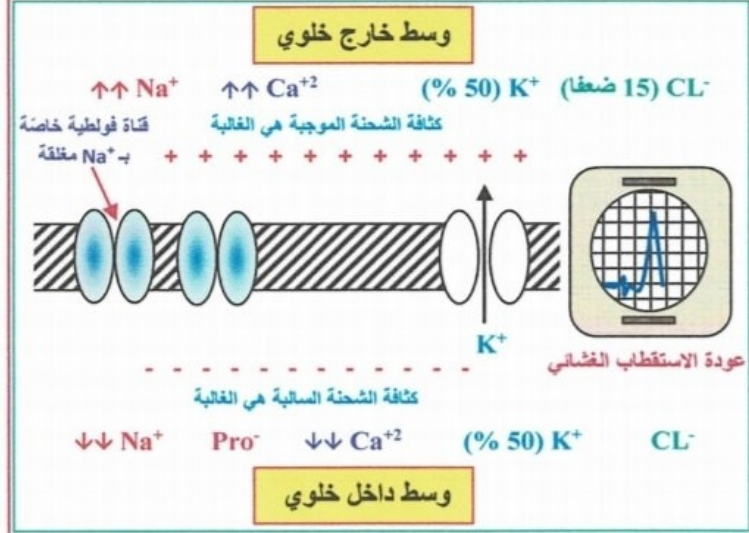
شرح دور المشابك في تنسيق عمل العضلات المتضادة: يمثل الشكل التالي دور العصبون الجامع المثبّط أثناء حدوث المنعكس العضلي (المنعكس الرضفي):



أ: مشبك تنبيهية
 ب: مشبك تنبيهية
 ج: مشبك تثبيطي

يتسبب التنبيه على مستوى الرضفة في تقلص العضلة الباسطة للساق وتمدد العضلة القابضة للساق وبالتالي تتحرك الساق لا إرادياً نحو الأمام، إنه المنعكس الرضفي.

الشرح: يؤدي ضرب الرضفة إلى تمديد المفزل العصبي العضلي للعضلة الباسطة للساق فتتشكل رسالة عصبية حسيّة تنتقل عبر العصبون الحسي في الاتجاه الجاذب نحو النخاع الشوكي (مركز عصبي انعكاسي) على مستوى هذا الأخير تترجم الرسالة العصبية الحسيّة إلى رسالة حركية منبهة لأن المشبك (ب) تنبيهية، يتم على مستواه تحرير مبلغ عصبي منبه يتنبّث على مستقبلات خاصة على الغشاء بعد المشبكي متسبباً في انفتاح قنوات الصوديوم المرتبطة بالكيمياء، تدخل شوارد الصوديوم الموجبة إلى الخلية بعد المشبكية محدثة زوال الاستقطاب، ينجم عنه كمون منبه يدعى PPSE يسمح بنشأة كمون عمل ينتشر على طول العصبون الحركي المعصب للعضلة الباسطة للساق فتستجيب بالتقلص، بالتزامن مع ذلك يتم تثبيط العصبون الحركي المعصب للعضلة القابضة للساق عن طريق عصبون جامع، هذا الأخير يعمل على كبح انتقال الرسالة العصبية من العصبون الحسي إلى العصبون الحركي عن طريق المشبك (ج) التثبيطي الذي يتم على مستواه تحرير مبلغ عصبي مثبّط يتنبّث على مستقبلات خاصة على الغشاء بعد المشبكي متسبباً في انفتاح قنوات الكلور المرتبطة بالكيمياء، تدخل شوارد الكلور السالبة إلى الخلية بعد



5- آلية الإدماج العصبي:

يستقبل العصبون الحركي باستمرار رسائل عصبية منبهة تؤدي إلى توليد كمونات بعد مشبكية منبهة، ورسائل عصبية مثبّطة يتم الجمع بين الإفراط في الاستقطاب وزوال الاستقطاب في منطقة متخصصة من العصبون الحركي تدعى القطعة الابتدائية SI "segment initial" (بداية العصبون الحركي)، تؤدي المحصلة الناتجة عن الكمونات الغشائية حسب قيمتها إلى توليد (أو عدم توليد) كمون عمل.

آلية إدماج المعطومة العصبية على مستوى العصبون بعد مشبكي: يدمج العصبون بعد مشبكي مختلف الكمونات بعد مشبكية، وذلك بعملية تجميع يمكن أن تكون:

فضائي (فراغي): إذا كانت الكمونات قبل المشبكية مصدرها مجموعة من النهايات العصبية (من 2 فما فوق)، والتي تصل في الوقت نفسه إلى الوحدة بعد مشبكية.

زمني: إذا وصلت مجموعات من كمونات العمل المتقاربة (من 2 فما فوق) من نفس الليف قبل المشبكي.

نتحصّل على زوال استقطاب الغشاء بعد مشبكي بمعنى تولّد كمون عمل في العنصر بعد مشبكي، إذا بلغ مجمل الكمونات التنبيهية والتثبيطية عتبة توليد كمون العمل، وعلى عكس ذلك يبقى العصبون في حالة راحة، أي:

- العتبة $PPSE + PPSI \geq$ يتولد كمون عمل ينتشر.
 - العتبة $PPSE + PPSI <$ يتولد كمون عمل أقل من العتبة فلا ينتشر، أو يتولد فرط استقطاب، أو كمون راحة.
- دور البروتينات في الإدماج العصبي:

- يُستخدم المورفين في المجال الطبي لعلاج كل من الألم الشديد الحاد والمزمن.
- ينجم عن استخدام المورفين بشكل عشوائي خارج نطاق التوجيه الطبي إلى الإدمان الذي ينتهي بالموت.
- يقلل المورفين من الإحساس بالألم نتيجة تخفيض استجابة العصبون الناقل للألم.

آلية عمل المادة P والأنكيفالين:

تؤدي الإصابة أو تنبيه العصبون الحسي إلى انتقال رسالة عصبية حسية نحو النخاع الشوكي، يتم فصل العصبون الحسي للعصب الشوكي مع عصبون حسي آخر ينقل الرسالة العصبية إلى المخ (سطح الإحساس بالمخ)، يتم على مستوى هذا المشبك طرح المبلغ الكيميائي (المادة P)، الذي يتسبب في تولد زوال استقطاب بعد مشبكي ينتقل إلى المخ الذي يترجمه إلى إحساس بالألم. بعد الإحساس بالألم، يرسل الدماغ رسالة عصبية تنشيط عصبونا يفرز الأنكيفالين الذي يثبط العصبون السابق ويمنعه من طرح المادة P ومنه إلغاء الإحساس بالألم، في هذه الحالة يكون تأثير الأنكيفالين على قنوات Ca^{2+} في الغشاء بعد مشبكي، إذ يقلل من نشاطها وبذلك ينقص تحرير المادة P.

كيفية تأثير المورفين:

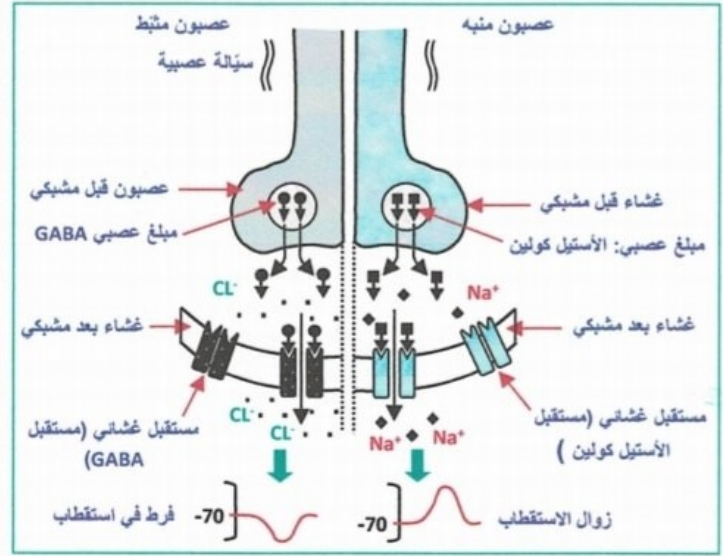
للمورفين بنية فراغية مشابهة للأنكيفالين على مستوى الجزء المثبت على مستقبلات الأنكيفالين، وبالتالي يعمل المورفين على التثبيت على المستقبلات الغشائية الخاصة بالأنكيفالين وبذلك يمنع نقل الرسالة العصبية إلى المخ، فيلغي الإحساس بالألم.

تأثيرات أخرى للمخدرات:

- تتشارك المخدرات في أنها تؤثر على مستوى المشابك وتدخل بالنقل المشبكي.
- فهي قد تشغل المستقبلات الخاصة بالمبلغ العصبي الطبيعي مسببة إعاقة عمله، مثل الكورار الذي يمنع تثبيت الأستيل كولين.
- وقد تمنع إعادة امتصاص الوسيط الكيميائي مثل الكوكايين.
- وقد تحفز تحرير الوسيط الكيميائي.
- وقد تعطل نشاط إنزيمات تفكيك الوسيط الكيميائي الطبيعي مثل الكحول.

المشبكية محدثة إفراطا في الاستقطاب، ينجم عنه كمون بعد مشبكي تثبيطي يدعى PPSI يمنع نشأة كمون العمل على العصبون المحرك المعصب للعضلة القابضة فتستجيب هذه العضلة بالتمدد، يؤدي ذلك إلى تحرك الساق نحو الأمام.

* رسم تخطيطي وظيفي "على المستوى الجزيئي" يوضح آلية تأثير المبلغات الكيميائية العصبية في حالة مشبك تنبيهي وآخر تثبيطي.



ملاحظة:

تعمل الأجسام العصبية الوترية الغولجية على تثبيط التقلص العضلي عندما يتجاوز قدرة العضلة على الاستجابة عن طريق إرسال رسالة عصبية حسية إلى النخاع الشوكي وعن طريق عصبون جامع يتم تثبيط العصبون الحركي المعصب لهذه العضلة فتستجيب بالتمدد.

6- تأثير المخدرات:

يمكن للنقل المشبكي أن يختل بتدخل العديد من الجزيئات الخارجية المستعملة إما لأغراض طبية أو لغيرها، تدعى هذه الجزيئات بالمخدرات.

مثال تأثير المورفين:

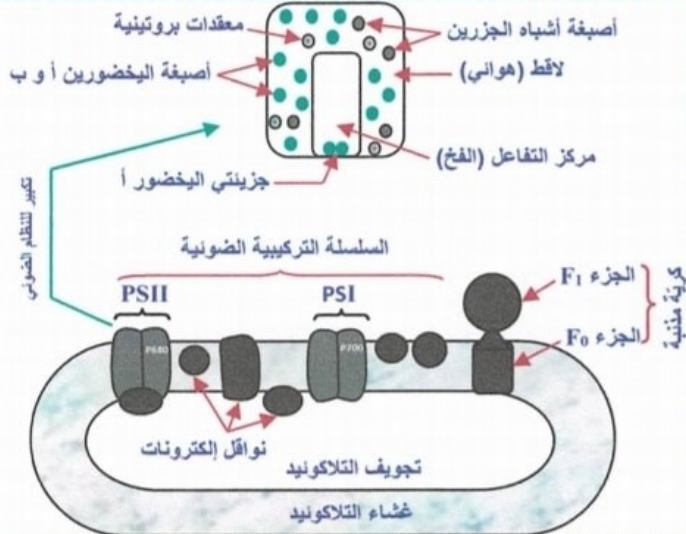
الجدول التالي يلخص أنواع البروتينات المتدخلة في الاتصال العصبي:

البروتينات	مقر تواجدها	دورها
القنوات الفولطية الخاصة بدخول Na^+ والخاصة بخروج K^+	في غشاء الخلية العصبية ما عدا جزء الغشاء بعد المشبكي المقابل للمشبك	تسمح بدخول Na^+ حسب تدرج التركيز مولدة زوال الاستقطاب، كما تسمح بخروج K^+ حسب تدرج التركيز مولدة عودة الاستقطاب، وبالتالي فالقنوات الفولطية الخاصة بـ Na^+ و K^+ هي مصدر كمون العمل في الغشاء قبل مشبكي
القنوات الفولطية الخاصة بدخول Ca^{2+}	تقع في غشاء النهاية المحورية قبل مشبكية فقط	تسمح بدخول شوارد Ca^{2+} إلى الهيولى قبل مشبكية حسب تدرج التركيز (الميز)، مما يسمح بتحرير المبلغ الكيميائي في الشق المشبكي
المستقبلات القنوية (القنوات الكيميائية)	تقع في الغشاء بعد مشبكي، أي في قطعة الغشاء المقابلة للشق المشبكي فقط	في المشابك التنبيهية تسمح هذه القنوات بدخول شوارد Na^+ حسب تدرج التركيز مولدة زوال استقطاب بعد مشبكي، وفي المشابك التثبيطية تسمح بدخول شوارد Cl^- حسب تدرج التركيز مولدة فرط استقطاب
قنوات التسرب الخاصة بدخول Na^+ والخاصة بخروج K^+	تقع على طول غشاء الخلية قبل مشبكية والخلية بعد مشبكية	تسمح هذه القنوات بدخول Na^+ بظاهرة الميز، وخروج K^+ بنفس الظاهرة، أي أن عملها يكون عكس عمل المضخة، كما أن عمل هذه القنوات هو مصدر كمون الراحة
مضخة K^+ / Na^+ (إنزيمات النفاذية)	تقع على طول غشاء الخلية قبل مشبكية والخلية بعد مشبكية	تسمح بنقل مزدوج لشارتي Na^+ و K^+ عكس تدرج التركيز، فهي تستهلك جزيئة ATP من أجل إخراج $3Na^+$ وإدخال $2K^+$ ، وبالتالي فهي تعمل على إعادة التوزع الطبيعي وغير المتساوي لشوارد Na^+ و K^+ ، أي الحفاظ على فرق التركيز في توزيعهما وبالتالي الحفاظ على كمون الراحة
مضخات الكالسيوم (Ca^{2+})	تقع في غشاء النهاية المحورية قبل مشبكية فقط	تعمل على إخراج Ca^{2+} بعد تحرير (إطراح) المبلغ الكيميائي في الشق المشبكي، لأن وجود شوارد Ca^{2+} هو المسؤول عن هذا الإطراح

- س . ت . ض . أولي: تتشكل من PSII مع النواقل T_1 ، T_2 ، T_3 .
- س . ت . ض . ثانية: تتشكل من PSI مع النواقل T_1 ، T_2 .
تنتهي السلسلة التركيبية الضوئية بكرة مذبذبة (ATP سنتاز)، حيث يكون الجزء F_0 ضمن الغشاء، أما الجزء F_1 فيكون ناحية الحشوة.
• تحوي الأنظمة الضوئية على أصبغة التركيب الضوئي والمتمثلة في الأصبغة اليخضورية (اليخضورين أ و ب)، أصبغة أشباه الجزرين (الكاروتينات)، بالإضافة إلى معقدات بروتينية، يقسم النظام الضوئي (PS) إلى قسمين:

- **لاقط (هواني):** يتكوّن من اليخضورين أ و ب (عدّة مئات)، وأصبغة أشباه الجزرين بالإضافة إلى معقدات بروتينية، ويرمز للأصبغة بالحرف P.

- **مركز التفاعل (الفخ):** يتكوّن من جزئيتين فقط من اليخضور أ، مع العلم أن النظام الضوئي PSII يتكوّن من $2P_{680}$ ، أما النظام الضوئي PSI فهو يتكوّن من $2P_{700}$ (يقصد بالرقمين 680 و 700 الطول الموجي الذي تكون فيه الصبغة في أقصى نشاطها).



رسم تخطيطي يوضح ما فوق بنية التيلاكويد (الكبيس) ملاحظ بالمجهر الإلكتروني النافذ

د- طبيعة تفاعلات عملية التركيب الضوئي ومراحلها:

• تلخص المعادلة الإجمالية للتركيب الضوئي التالية مجمل التفاعلات الكيميائية الحاصلة خلال ذلك:

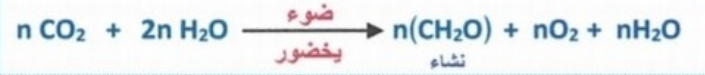
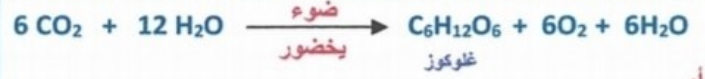


تظهر المعادلة السابقة أن التفاعلات الحاصلة خلال عملية التركيب الضوئي ما هي إلا تفاعلات أكسدة وإرجاع.

• وتبين الوثيقة 3 ص 179 مراحل حدوث عملية التركيب الضوئي حيث:

- الشكل (1) "الصناعات الخضراء في وجود الضوء وغياب CO_2 ": نلاحظ انطلاق O_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف.
 - الشكل (2) "تنقل الصناعات الخضراء إلى وسط مظلم وفي وجود CO_2 ": نلاحظ تثبيت CO_2 لفترة قصيرة ثم يتوقف.
 - الشكل (3) "الصناعات الخضراء في وجود الضوء و CO_2 ": نلاحظ انطلاق O_2 وتثبيت CO_2 باستمرار.
- ومنّه فانطلاق O_2 لا يحتاج إلى وجود CO_2 ، لكن CO_2 ضروري

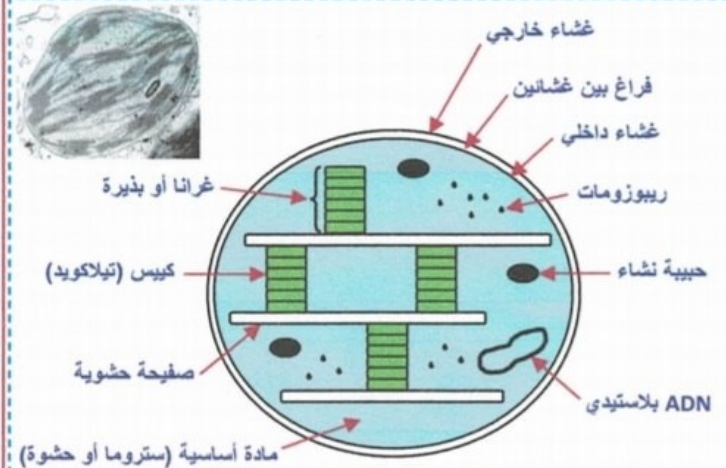
• التركيب الضوئي هو آلية يتم خلالها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة مخزنة في روابط المادة العضوية كالنشاء.
• يتم تركيب الجزيئات العضوية انطلاقا من عناصر معدنية صرفة تتمثل في الماء و CO_2 والأملاح المعدنية، يتم ذلك في وجود الضوء واليخضور ويرفق بطرح O_2 .
• تتم مجموع التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي داخل الصناعات (البلاستيدات) الخضراء.
• تكتب المعادلة الإجمالية للتركيب الضوئي بالشكل التالي:



1- ما فوق بنية الصناعات الخضراء (مقر عملية التركيب الضوئي):

أ- بنية الصناعات الخضراء: (الوثيقة 1 ص 177)

• الصناعات الخضراء عضوية خلوية تتواجد عند النباتات الخضراء والطحالب فقط، شكلها كروي محاطة بغلاف بلاستيدي مكون من غشاء خارجي وغشاء داخلي بينهما فراغ بين غشائين، داخل الصناعات الخضراء توجد كبيسات أو تيلاكويدات متجمعة مع بعضها فيما يعرف بالغرانا أو البذيرة، تتوضع الكبيسات على صفائح حشوية، يملأ الحيز الداخلي للصناعات بسائل يدعى الحشوة (ستروما أو مادة أساسية) تحتوي على حبيبات نشاء، ADN بلاستيدي، ريبوزومات، للصناعات الخضراء بنية حجيرية نظرا لوجود الفراغ بين غشائين، تجويف الكبيسات، حشوة، صفائح حشوية، تحدّد هذه التركيب بأغشية.



رسم تخطيطي يوضح ما فوق بنية الصناعات الخضراء ملاحظ بالمجهر الإلكتروني النافذ

ب- التركيب الكيموحيوي للصناعات الخضراء: (الوثيقة 2 ص 178)
يظهر الجدول ص 177 اختلاف التركيب الكيموحيوي لكل من أغشية التيلاكويد والحشوة ما يؤكد اختلاف التفاعلات الكيميائية الحاصلة في كل منهما.

ج- ما فوق بنية التيلاكويد:

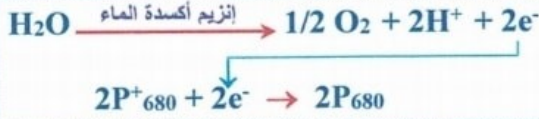
• تحتوي أغشية التيلاكويد (التيلاكويد) على أنظمة ضوئية (PSI و PSII) ونواقل إلكترونات (T_1 ، T_2 ، T_3 ، T_1 ، T_2)، يشكل مجموع الأنظمة الضوئية ونواقل الإلكترونات ما يعرف بالسلسلة التركيبية الضوئية، والتي تقسم إلى جزأين:

الضوئية الثانية (T₂, T₁) من كمون أكسدة ارجاع منخفض إلى كمون مرتفع لترجع NADP⁺ إلى NADPH.H⁺ وفق المعادلة:



يتم ذلك بتدخل أنزيم NADP ريدوكتاز.

- يسترجع PSII المؤكسد حالته المرجعة، وبالتالي قابلية التنبيه من جديد انطلاقاً من الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الماء (تحليل ضوئي للماء) بتدخل معقد إنزيمي تابع لـ PSII وفق المعادلة التالية:

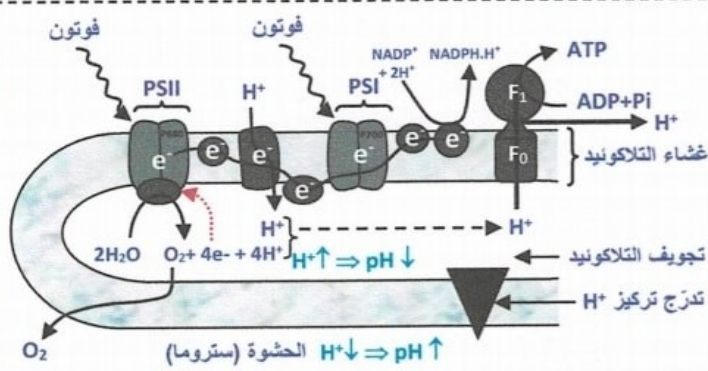


- يصاحب انتقال الإلكترونات عبر نواقل السلسلة التركيبية الضوئية الأولى فقداناً للطاقة تستغل من قبل الناقل T₂ (مضخة H⁺) من أجل ضخ H⁺ من الحشوة إلى تجويف التيلاكويد (نقل فعال)، يؤدي تراكم H⁺ الناتجة عن أكسدة الماء، وتلك المنقولة من الحشوة باتجاه التجويف إلى تولد تدرج في تركيز H⁺ بين التجويف والحشوة، ومنه تخرج H⁺ بالميز عبر منفذها الوحيد والمتمثل في الجزء F₀ من الكريات المذنبة، يؤدي سيل H⁺ الخارجة إلى توليد طاقة تسمح بفسفرة ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (Pi)، تدعى هذه العملية بالفسفرة الضوئية.

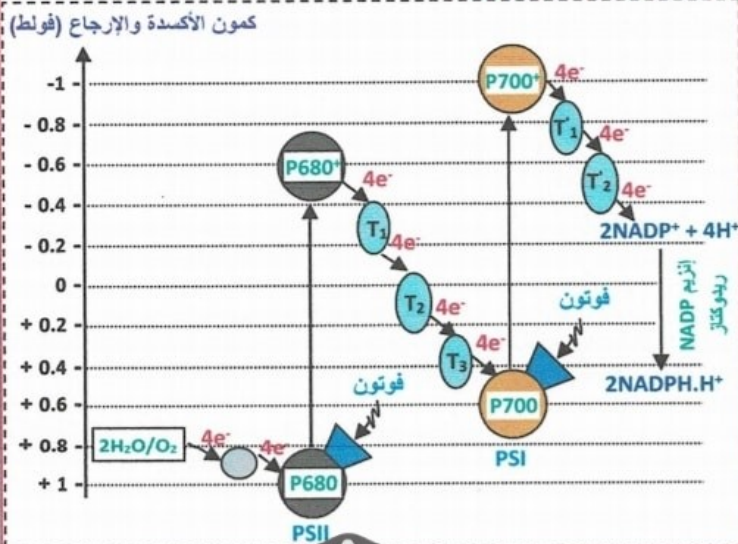
ملاحظة:

تلخص التجربة الموضحة في الوثيقة 12 ص 190 (تجربة ياغندروف) شروط تركيب ATP، لا يتم ذلك إلا إذا كان pH الحشوة قاعدي (تركيز H⁺ منخفض) و pH التجويف حامضي (تركيز H⁺ مرتفع).

الرسم التالي يلخص تفاعلات المرحلة الكيموضوئية:



المخطط التالي من المنهاج يوضح مسار انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية:



لاستمرار انطلاقه، كما أن تثبيت CO₂ لا يحتاج إلى ضوء، لكن الضوء ضروري لاستمرار تثبيته كما يظهر ذلك الشكل (3).

• نستخلص من كل ما سبق أن التركيب الضوئي يتم في مرحلتين:
- مرحلة كيموضوئية " تفاعلات أكسدة الماء": تحدث في أغشية التيلاكويد، وهي تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها طرح O₂.
- مرحلة كيموحيوية " تفاعلات ارجاع CO₂ إلى غلوكوز": لا تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها ارجاع CO₂ وتركيب المادة العضوية.

2- تفاعلات المرحلة الكيموضوئية:

أ- شروط عمل التيلاكويد: يحتاج عمل التيلاكويد أي حدوث تفاعلات المرحلة الكيموضوئية إلى توفر شروط أساسية هي:

• مستقبل إلكترونات والضوء: كما تظهر ذلك الوثيقة 1 ص 180، حيث لم تحدث تفاعلات المرحلة الكيموضوئية والمعتبر عنها بانطلاق O₂ إلا في وجود الضوء ومستقبل الإلكترونات، في هذه التجربة تم استخدام معلق من التيلاكويدات ومستقبل اصطناعي للإلكترونات لأن المستقبل الطبيعي والمتمثل في NADP⁺ (نيكوتين أميد أدينين ثنائي النكليوتيد فوسفات) يفقد خلال عملية الحصول على الكيسات، مع العلم أن الضوء يكون تأثيره عن طريق شدته من جهة، وعن طريق نوع الأطياف الضوئية من جهة أخرى.

• توفر ADP و Pi: (الوثيقة 3 ص 181)

تساهم إضافة ADP و Pi تحفيز تفاعلات المرحلة الكيموضوئية، ويؤدي ذلك إلى زيادة انطلاق O₂ وتركيب ATP.

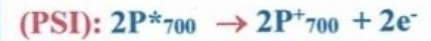
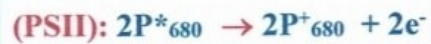
ب- آلية عمل التيلاكويد:

• إظهار مصدر الأكسجين المنطلق: (الجدول ص 183)

نستخلص من هذه النتائج أن مصدر غاز الأكسجين المنطلق هو أكسجين جزيئات الماء وليس أكسجين غاز الفحم (CO₂).

• تأثير الضوء على الأنظمة الضوئية: (الوثيقة 8 ص 186)

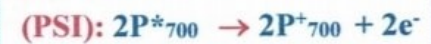
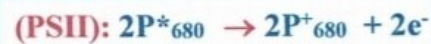
يؤدي تعرض النظام الضوئي للضوء (الفوتونات الضوئية) إلى التقاطها من قبل صبغة هوائية فينتقل إلكترون الطبقة الخارجية من مداره الأصلي إلى مدار أعلى، تصبح صبغة اليخضور عندئذ في حالة تهيج (عدم استقرار)، ومن أجل العودة إلى حالة الاستقرار يفقد الإلكترون الطاقة الملتقطة ويعود إلى مداره الأصلي، تلتقط الطاقة الضائعة من قبل صبغة أخرى مجاورة وتتكرر نفس الأحداث السابقة، يستمر انتقال الطاقة بين الأصبغة الهوائية والذي يعرف بانتقال الطاقة بين الهوائيات (الرينين) وصولاً إلى الأصبغة التفاعلية (صبغتي اليخضور "أ" لمركز التفاعل) والتي تهيج ثم تفقد إلكترونات وفق المعادلة التالية:



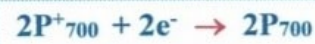
• تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموضوئية:

يمكن تلخيص تفاعلات المرحلة الكيموضوئية فيما يلي:

- يؤدي تعرض الأنظمة الضوئية PSII و PSI إلى تأكسد جزيئتي اليخضور "أ" لمركز التفاعل (لكل نظام ضوئي) تحت تأثير الفوتونات المقتنصة متخلية عن إلكترونين وفق المعادلة التالية:



- تنتقل الإلكترونات المفقودة من PSII إلى نواقل السلسلة التركيبية الضوئية الأولى (T₃, T₂, T₁) من كمون أكسدة ارجاع منخفض إلى كمون مرتفع لترجع PSI المؤكسد وفق المعادلة التالية:



- كما تنتقل الإلكترونات المفقودة من PSI إلى نواقل السلسلة التركيبية

الوثيقة 2 ص 192.

تظهر هذه النتائج أنه:

- بعد 2 ثانية: يظهر مركب APG (حمض فوسفو غليسريك: C₃) بكمية كبيرة، كما يظهر TP (تريبوز فوسفات: C₃) بكمية أقل، مع العلم أن TP نفسه PGal أو ما يعرف بفوسفو غليسريد الدهيد.

- بعد 5 ثواني: تقل كمية APG وتزداد كمية TP، كما يظهر مركب جديد يدعى HP (هكسوز فوسفات مثل الجلوكوز: C₆).

- بعد 15 ثانية: تقل كمية كل من APG وTP وتزداد كمية HP ويظهر مركب جديد يدعى R (ريبولوز ثنائي الفوسفات: C₅).

• نستخلص من ذلك أن APG يعد أول مركب ينتج عن دمج CO₂.

ملاحظة:

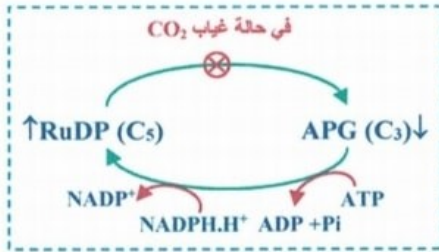
تعتمد تقنية التسجيل اللوني ذو البعدين على فصل مكونات خليط معين باستعمال ورق كروماتوغرافي حيث تفصل المكونات على الورق الكروماتوغرافي حسب درجة الذوبان والوزن الجزيئي، يستعمل في هذه التقنية مذيبان لفصل الجزيئات، المذيب الأول ينتشر أفقياً والمذيب الثاني ينتشر عمودياً.

ب- آلية ادماج أو ارجاع غاز CO₂: (الوثيقة 3 ص 194)

• من خلال الشكل (أ):

- في حالة وجود الضوء و CO₂: نفس ثبات كمية الإشعاع في كل من المركبين APG و RuDP بوجود توازن ديناميكي بينهما، فكل منهما يهدم من أجل تجديد المركب الآخر، حيث يتم ذلك بصفة دورية.

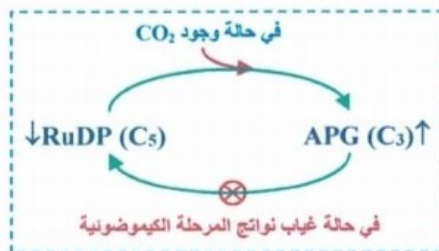
- في حالة وجود الضوء و غياب CO₂: نفس تناقص كمية الإشعاع في APG إلى أن تصل إلى قيمة منخفضة بهدمه من أجل بناء RuDP، وزيادتها في RuDP إلى أن تصل إلى قيمة أعظمية بعدم هدمه، يعود ذلك إلى وجود نواتج المرحلة الكيموسوية (ATP و NADPH.H⁺) والتي تستهلك خلال هدم APG من أجل بناء RuDP، ولا يهدم RuDP من أجل بناء APG بسبب غياب CO₂.



• من خلال الشكل (ب):

- في حالة وجود الضوء و CO₂: نفس ثبات كمية الإشعاع في كل من المركبين APG و RuDP بوجود توازن ديناميكي بينهما، فكل منهما يهدم من أجل تجديد المركب الآخر، حيث يتم ذلك بصفة دورية، يرفق ذلك بتركيب للسكريات السداسية (الهكسوزات) مثل الجلوكوز.

- في حالة غياب الضوء و وجود CO₂: نفس تناقص كمية الإشعاع في RuDP إلى أن تصل إلى قيمة منخفضة بهدمه من أجل بناء APG، وزيادتها في APG إلى أن تصل إلى قيمة أعظمية بعدم هدمه، يعود ذلك إلى وجود CO₂ الذي ينتج على RuDP (جزيئة خماسية الكربون) بتدخل إنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز، ولا يهدم APG من أجل بناء RuDP بسبب غياب نواتج المرحلة الكيموسوية (ATP و NADPH.H⁺).



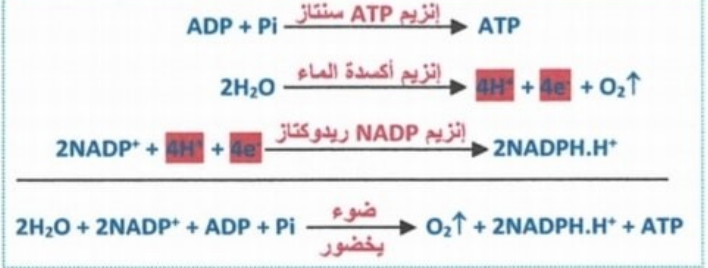
الشرح:

• في غياب الضوء لا يمكن للإلكترونات أن تنتقل تلقائياً (عشوائياً) من PSII غير المحفز إلى T₁، ومن PSI غير المحفز إلى T₁، لأن كمون الأكسدة الإرجاعية لـ PSII أكبر من كمون T₁، وكمون PSI أكبر من T₁، ومعلوم أنه لا يمكن للإلكترونات أن تنتقل تلقائياً من كمون مرتفع إلى كمون منخفض.

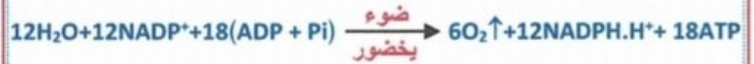
• في وجود الضوء يصبح انتقال الإلكترونات بين هذه العناصر ممكناً، حيث يتهيج PSII بعد اقتناصه للطاقة الضوئية فينخفض كمون أكسدته الإرجاعية مما ينتج عنه انتقال تلقائي للإلكترونات نحو نواقل السلسلة التركيبية الضوئية الأولى T₁، T₂، T₃ لترجع PSI المؤكسد، كما أن PSI هو الآخر يتهيج بعد اقتناصه للطاقة الضوئية فينخفض كمون أكسدته الإرجاعية مما ينتج عنه انتقال تلقائي للإلكترونات نحو نواقل السلسلة التركيبية الضوئية الثانية T₁، T₂، لتصل إلى آخر مستقبل هو NADP⁺ والذي يرجع إلى NADPH.H⁺ بتدخل إنزيم NADP ريدوكتاز، أما PSII المؤكسد فإنه يسترجع إلكتروناته المفقودة وبالتالي قدرته على التنبيه من جديد من التحلل الضوئي للماء، حيث تنتقل إلكترونات الماء إلى PSII من كمون أكسدة وإرجاع منخفض نحو كمون مرتفع.

الخلاصة

• تحدث تفاعلات المرحلة الكيموسوية على مستوى أغشية التيلاكويد وهي تتطلب توفر الضوء، اليخضور، الماء، ADP + Pi، مستقبل الإلكترونات والمتمثل في NADP⁺.
• تؤذي المرحلة الكيموسوية في النهاية إلى تركيب:
< غاز O₂ المنطلق.
• ATP: وهي جزيئات ذات طاقة عالية نتيجة عمل PSII.
• NADPH.H⁺: وهي مرافقات إنزيمية تحمل إلكترونين لهما طاقة عالية نتيجة عمل PSI.
- يمكن تلخيص تفاعلات المرحلة الكيموسوية في المعادلة التالية:



كما يمكن كتابة المعادلة التالية:



كتابة بيانات الوثيقة 13 ص 191:

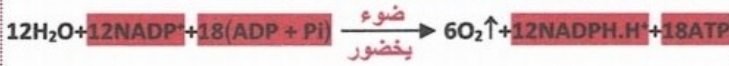
- 1- ماء
- 2- إلكترونات
- 3- بروتونات هيدروجين
- 4- إنزيم أكسدة الماء
- 5- ADP + Pi
- 6- ATP
- 7- غاز O₂
- 8- CO₂
- 9- سلسلة تركيبية ضوئية
- 10- كرية مذنبية
- 11- غشاء داخلي
- 12- غشاء خارجي
- 13- غشاء الكيبس
- 14- PSII
- 15- PSI
- 16- نواقل إلكترونات

3- المرحلة الكيموسوية:

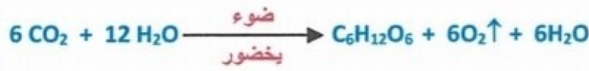
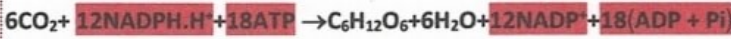
أ- آلية تثبيت CO₂:

• من أجل التعرف على مصير غاز CO₂ الممتص، ندرس تجربة كالفن ومساعدوه الموضحة في الكتاب ص 192، النتائج بتقنية التسجيل اللوني ذو البعدين والتصوير الإشعاعي الذاتي ممثلة في

• المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموضونية:



• المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموحيوية:



د- التكامل بين المرحلتين الكيموضونية والكيموحيوية:

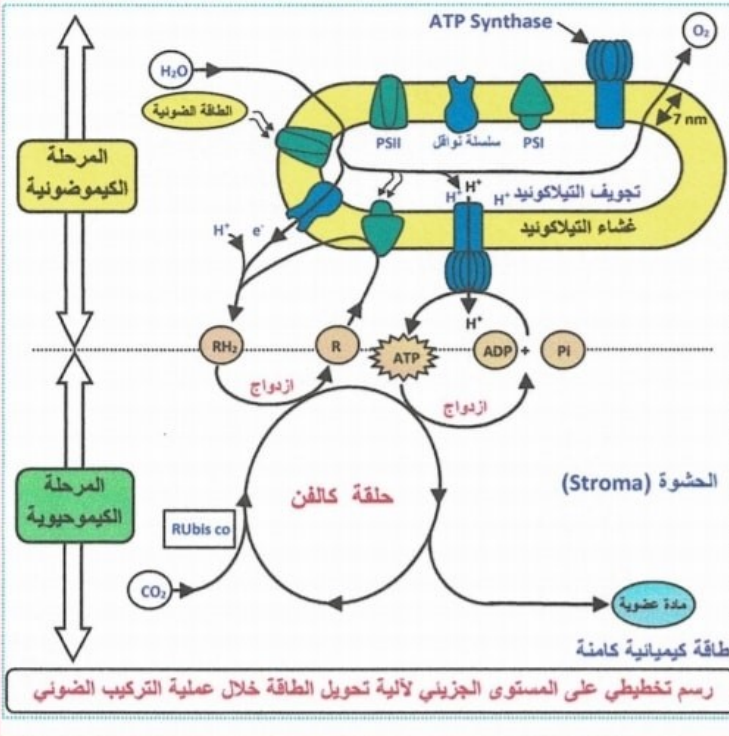
كما تظهر ذلك الوثيقة 5 ص 196.

كتابة بيانات الوثيقة:

- | | | |
|---|-----------------------|--------------------------|
| 1- ضوء | 2- غشاء التيلاكويد | 3- نظام ضوئي |
| 4- H ₂ O | 5- تيلاكويد (كيس) | 6- O ₂ |
| 7- الحشوة | 8- ADP | 9- P _i |
| 10- ATP | 11- NADP ⁺ | 12- NADPH.H ⁺ |
| 13- CO ₂ | 14- سكر | 15- مرحلة كيموضونية |
| 16- مرحلة كيموحيوية | | |
| 17- العنوان: مخطط يوضح التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي. | | |

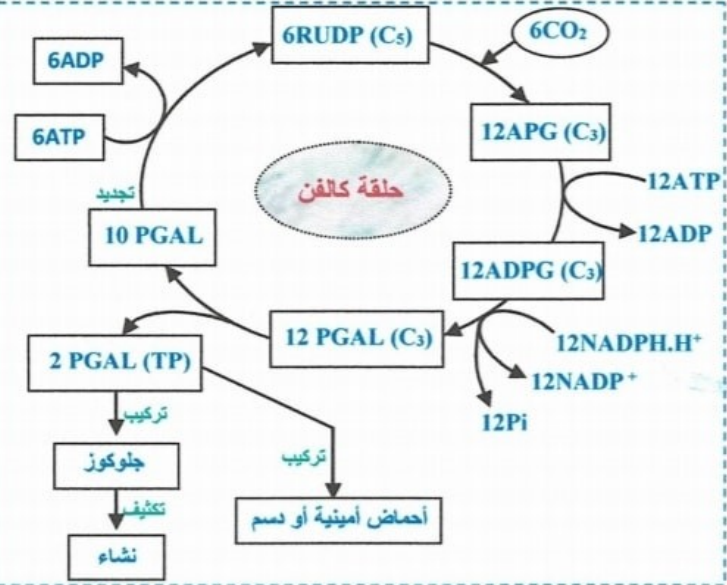
الحوصلة:

- المرحلتين متكاملتين، ف أثناء عملية التركيب الضوئي يتم على مستوى الصانعات الخضراء الجمع بين تفاعلات المرحلة الكيموضونية التي يكون مقرها التيلاكويد أين يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية تتمثل في ATP و NADPH.H⁺، هذين الأخيرين يستهلكان في تفاعلات المرحلة الكيموحيوية التي يكون مقرها الحشوة أين يتم إرجاع CO₂ إلى كربون عضوي، كما أن المرحلة الكيموحيوية تعمل على تجديد متطلبات المرحلة الكيموضونية والمتمثلة في المستقبل الطبيعي للإلكترونات و NADP⁺ وتجديد ADP و P_i.
- هناك **ازدواجية طاقة** بين المرحلتين الكيموضونية والكيموحيوية، فالمرحلة الكيموضونية تساهم في إنتاج مركبات طاقة تتمثل في ATP و NADPH.H⁺ (تفاعل محرر أو ناشر للطاقة)، تستهلك هذه المركبات خلال المرحلة الكيموحيوية (تفاعل ماص أو مستهلك للطاقة).



• نستخلص من ذلك أن:

- مستقبل CO₂ يتمثل في RuDP الذي يتحول إلى مركب آخر يدعى APG.
- تجديد مستقبل CO₂ (RuDP) يتم انطلاقا من إمامة ATP وأكسدة NADPH.H⁺، يؤدي ذلك باستمرار إلى تركيب السكريات السداسية.
- ج- مراحل حلقة كالفن: (الوثيقة 4 ص 195)



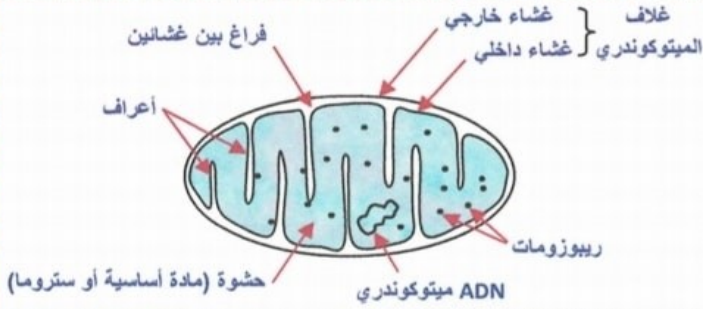
يمكن تلخيص ذلك في المراحل التالية:

- ينتبث CO₂ على مستقبلة RuDP (C₅) بتدخل إنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز، مشكلا مركبا سداسي الكربون (C₆) الذي سرعان ما ينشطر إلى جزيئين من APG (2C₃).
- يسفر APG إلى ADPG (حمض ثنائي فوسفو غليسيريك) مع إمامة ATP إلى ADP.
- يرجع ADPG وتزال فسفرته لينتج PGal مع أكسدة NADPH.H⁺ (يعتبر ATP و NADPH.H⁺ من نواتج المرحلة الكيموضونية).
- يؤدي تثبيت 6 جزيئات من CO₂ باستعمال 6 جزيئات من RuDP إلى إنتاج 12 جزيئة من PGal حيث تستعمل:
- جزيئين من PGal لإنتاج سكر سداسي الكربون كالغلوكوز أو إنتاج أحماض أمينية أو دسم حسب متطلبات الخلية.
- أما 10 جزيئات من PGal المتبقية فتستعمل لتجديد 6 جزيئات من المستقبل RuDP عبر تفاعلات يتم فيها استهلاك المزيد من جزيئات ATP (6 جزيئات).
- وبالتالي فهذه التفاعلات تتم في شكل حلقة يمكن تقسيمها إلى مرحلتين:
- **مرحلة 1:** يتم فيها إنتاج السكر الثلاثي (PGal) لغرض إنتاج سكر سداسي.
- **مرحلة 2:** يتم فيها استعمال PGal لتجديد مستقبل CO₂ والمتمثل في RuDP.

يمكن تلخيص تفاعلات المرحلة الكيموحيوية في المعادلة التالية:



- وبالتالي تستخرج المعادلة الإجمالية للتركيب الضوئي كما يلي:



رسم تخطيطي يوضح ما فوق بنية الميتوكوندري ملاحظ بالمجهر الالكتروني النافذ

د- معطيات كيموحيوية: (الوثيقة 4 ص 208)

يمثل الجدول نتائج التحليل الكيميائي لمكونات الهيولى وأجزاء ميتوكوندريّة مختلفة (الغشاءين الداخلي والخارجي والحشوة)، فالهيولى تحتوي على مواد الأيض المتمثلة في الجلوكوز وحمض البيروفيك، كما تحتوي على إنزيمات نازعات الهيدروجين، أما الغشاء الخارجي للميتوكوندري فهو يحتوي على نسب متساوية من البروتينات والدهن وهو غير وظيفي، أما الغشاء الداخلي فهو يحتوي على 80% بروتينات و20% دسم لأنه وظيفي، حيث تشكل النسبة الأكبر من البروتينات إنزيمات نازعات الهيدروجين، نواقل الإلكترونات (إنزيمات الأكسدة والإرجاع)، مضخات البروتونات، كرية مذنية (ATP سنتيتاز)، وتحتوي المادة الأساسية (الحشوة) على عدة إنزيمات من نوع نازعات الهيدروجين ونازعات الهيدروجين والكاربوكسيل (ثاني أكسيد الكربون) التي تستعمل عوامل مساعدة مؤكسدة (NAD⁺ و FAD)، كما تحتوي على مواد الأيض مثل حمض البيروفيك ومرافق الإنزيم (أ).

ومنه فاختلاف التركيب الكيموحيوي لكل من الهيولى والمادة الأساسية للميتوكوندري والغشاء الداخلي لها يؤكد اختلاف وظيفة كل منهم، فكل جزء من هذه الأجزاء تحدث على مستواه تفاعلات كيميائية نوعية تضمن سيرورة عملية التنفس.

ملاحظة: يحتوي الغشاء الخارجي على بروتينات كبيرة (بورينات) تسمح بمرور الجزيئات الصغيرة والأيونات بسهولة في الاتجاهين. هـ طبيعة تفاعلات عملية التنفس:



يظهر من خلال هذا التفاعل أن الجلوكوز يتأكسد محرراً غاز الفحم (CO₂) الذي يطرح إلى الوسط الخارجي، أما غاز O₂ الممتص فيرجع إلى ماء، ممّا يعني أن تفاعلات عملية التنفس ما هي إلا تفاعلات أكسدة وإرجاع.

2- التحلل السكري (الغلوكزة):

أ- مادة الأيض المستعملة من طرف الميتوكوندري:

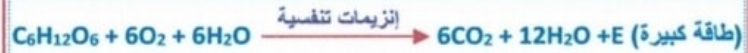
من الوثيقة 2 ص 210 يمكننا أن نستخلص أن مادة الأيض المستعملة من طرف الميتوكوندري تتمثل في حمض البيروفيك (CH₃ CO COOH).

ب- مراحل التحلل السكري في الهيولى:

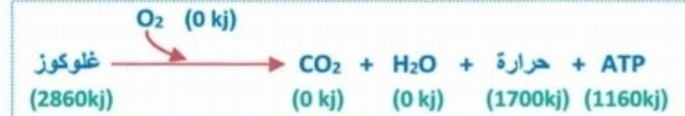
الوثيقة 4 ص 212 توضح مراحل التحلل السكري في الهيولى، حيث يستعمل الجلوكوز من طرف الخلية على شكل مفسفر (G6P) الذي

تذكير

- تعاني الطاقة الكيميائية الكامنة في الجزيئات العضوية من تغيرات تسمح بتحويلها إلى طاقة كيميائية قابلة للاستعمال في صورة ATP وفق ظاهرتي الهدم وهما التنفس والتخمر.
- التنفس ظاهرة حيوية يتم خلالها هدم كلي لمادة الأيض (الجلوكوز) في وجود O₂، وينتج عن ذلك غاز CO₂ وماء وطاقة قابلة للاستعمال في صورة ATP تستخدمها خلايا العضوية للقيام بمختلف نشاطاتها، أما الجزء الأكبر من الطاقة فهو يضيع على شكل حرارة.
- تكتب المعادلة الإجمالية للتنفس كما يلي:



أما المخطط التالي فيمثل المخطط الطاقي للتنفس:



1- مقر الأكسدة التنفسية:

أ- إظهار مقر الأكسدة التنفسية:

يتم ذلك باستخدام ملون حيوي يدعى أخضر الجانوس، حيث يكون أخضرا في الحالة المؤكسدة وديم اللون (شفافا) في الحالة المرجعة، تظهر معاملة خلايا الخميرة الموضوعة في الوسط الهوائي بهذا الملون إلى ظهور حبيبات ملونة بالأخضر تتمثل في الميتوكوندريات التي قامت بأكسدة أخضر الجانوس فتغير لونه إلى الأخضر لأنها وظيفية بسبب وجود O₂، أما معاملة خلايا الخميرة الموضوعة في الوسط اللاهوائي بهذا الملون فإظهار عدم ظهور حبيبات ملونة بالأخضر أي بقي أخضر الجانوس شفافا (حالة مرجعة)، لأن الميتوكوندريات غير وظيفية بسبب غياب O₂. نستخلص من ذلك أن الميتوكوندريات هي مقر تفاعلات الأكسدة التنفسية.

ب- المشاهدات المجهرية: (الوثيقة 1 ص 207)

تحتوي خلايا الخميرة الموضوعة في الوسط الهوائي على عدد كبير من الميتوكوندريات كبيرة الحجم ونامية الأعراف دلالة على أنها في حالة نشاط (وظيفية).

أما خلايا الخميرة الموضوعة في الوسط اللاهوائي فتحتوي على عدد قليل من الميتوكوندريات الضامرة وقليلة العدد دلالة على عدم نشاطها (غير وظيفية).

ج- ما فوق بنية الميتوكوندري: (الوثيقة 3 ص 208)

الميتوكوندري عضيات خلوية دقيقة تسبح في الهيولى، شكلها أنبوبي (خيطي) محاطة بغلاف يتضمن غشاءين خارجي وداخلي، يرسل الغشاء الداخلي استطالات عرضية نحو الداخل تسمى بالأعراف تعمل على زيادة مساحة سطح الفسفرة التأكسدية، يملأ الحيز الداخلي للميتوكوندري بسائل يدعى حشوة (ستروما أو مادة أساسية) تحتوي على ADN ميتوكوندري، ريبوزومات، للميتوكوندري بنية حجيرية مجزأة نظراً لوجود الفراغ بين غشائين، الأعراف، الحشوة، تحدد هذه التراكيب بأغشية.

- الرسم التخطيطي التالي يوضح ما فوق بنية الميتوكوندري.

استخراج نوع التفاعلات:

- **التفاعل 1:** يتثبت الأستيل على مركب رباعي الكربون (C₄), حيث تنتقل مجموعة الأستيل (C₂) إلى المركب (C₄) ليتشكل المركب (C₆), مع تحرير لمرافق الإنزيم (أ).
- **التفاعل 2:** يتعرض المركب (C₆) لإنزيم نازع الهيدروجين والكربوكسيل (نزع الكربوكسيل تأكسدية) ليتحول إلى المركب (C₅), ينتج عن ذلك ارجاع NAD⁺ إلى NADH.H⁺ وطرح CO₂.
- **التفاعل 3:** يتعرض المركب (C₅) لإنزيم نازع الهيدروجين والكربوكسيل (نزع الكربوكسيل تأكسدية) ليتحول إلى المركب (C₄), ينتج عن ذلك ارجاع NAD⁺ إلى NADH.H⁺ وطرح CO₂.
- **التفاعل 4:** فسفرة ADP إلى ATP (تركيب ATP).
- **التفاعل 5:** أكسدة للمركب رباعي الكربون (C₄) وإرجاع المرافق الإنزيمي FAD إلى FADH₂.
- **التفاعل 6:** تماكب (تحويل).
- **التفاعل 7:** أكسدة للمركب رباعي الكربون (C₄) وإرجاع المرافق الإنزيمي NAD⁺ إلى NADH.H⁺.

- ومنه فخلال تفاعلات حلقة كريبس تم تجديد المركب C₄ وفسفرة ADP إلى ATP في وجود الفوسفور اللاعضوي (Pi) مع ارجاع للنواقل المؤكسدة (NAD⁺ و FAD) وتحرير CO₂, أي أن نواتج هذه العملية (باعتبار 2 أستيل كو A) هي:



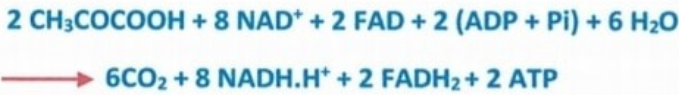
- تكتب المعادلة الإجمالية لحلقة كريبس كالتالي:

على مستوى الحشوة:



- كما أن المعادلة الإجمالية للأكسدة الخلوية (الخطوة التحضيرية + حلقة كريبس) تكتب بالشكل التالي:

على مستوى الحشوة:



- والجدول التالي يلخص الحصيلة الأولية للتحلل السكري وتفاعلات كريبس خلال هدم جزيئة غلوكوز:

المرحلة	ATP	NADH.H ⁺	FADH ₂	CO ₂
التحلل السكري	2	2	0	0
المرحلة التحضيرية	0	2	0	2
حلقة كريبس	2	6	2	4
المجموع	4	10	2	6

ملاحظة:

يتم إدخال حمض البيروفيك (البيروفات) إلى داخل الميتوكوندري عبر نواقل بروتينية خاصة تدعى pyruvate translocase.

4- الفسفرة التأكسدية:

أ- دور الغشاء الداخلي للميتوكوندري: (الوثيقة 2 ص 215)
تظهر هذه الوثيقة أن حقن O₂ ساهم في خفض درجة pH الوسط الخارجي نتيجة زيادة تركيز بروتونات الهيدروجين فيه (H⁺), فوجود O₂ حفز أكسدة النواقل المرجعة TH.H⁺ على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري, خلال ذلك تم ضخ H⁺ إلى خارج الميتوكوندري فانخفضت درجة pH, ونتيجة دخول H⁺ من جديد إلى

يفكك إلى جزئيتين من حمض البيروفيك (C₃) خلال ظاهرة كيميائية تدعى التحلل السكري (الغلوكزة) التي تحدث في هيولى الخلية بتدخل عدة إنزيمات من بينها إنزيمات نازعات الهيدروجين, يتم ذلك وفق 10 تفاعلات هي:

- التفاعل 1: فسفرة
 - التفاعل 2: تماكب (تحويل)
 - التفاعل 3: فسفرة
 - التفاعل 4: هدم (تفكيك)
 - التفاعل 5: تماكب (تحويل)
 - التفاعل 6: أكسدة مع إضافة Pi
 - التفاعل 7: نزع الفسفرة
 - التفاعل 8: تماكب (تحويل)
 - التفاعل 9: تماكب (تحويل)
 - التفاعل 10: تماكب نزع الفسفرة
- تكتب المعادلة الإجمالية للتحلل السكري بالشكل التالي:



- تتمثل نواتج عملية التحلل السكري في تركيب جزئيتين من حمض البيروفيك و 2ATP و 2NADH.H⁺.

3- حلقة كريبس: (الوثيقة 2 ص 214)

- ينفذ حمض البيروفيك إلى حشوة الميتوكوندري في وجود ثنائي الأوكسجين ليتم هدمه وفق سلسلة من التفاعلات بتدخل إنزيمات نازعات الهيدروجين ونازعات الهيدروجين والكربوكسيل, تدعى مجمل هذه التفاعلات بالأكسدة الخلوية وهي تشمل:

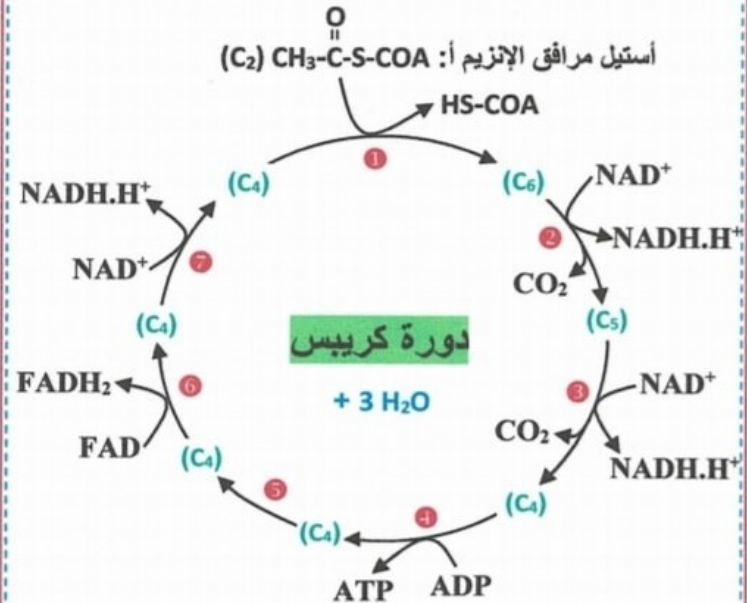
أ- الخطوة التحضيرية لحلقة كريبس:

يتم خلالها تحويل حمض البيروفيك إلى أستيل مرافق الإنزيم (أ) أو ما يعرف بالأستيل كو A بتدخل إنزيم نازع الهيدروجين والكربوكسيل, يدعى هذا التفاعل بنزع الكربوكسيل تأكسدية (أكسدة ونزع الكربوكسيل), وينتج عن ذلك ارجاع NAD⁺ إلى NADH.H⁺ وطرح CO₂ وفق المعادلة التالية:

على مستوى الحشوة:



ب- تفاعلات حلقة كريبس:



الموجودة في المادة الأساسية ويرجع إلى ماء وفق المعادلة التالية:

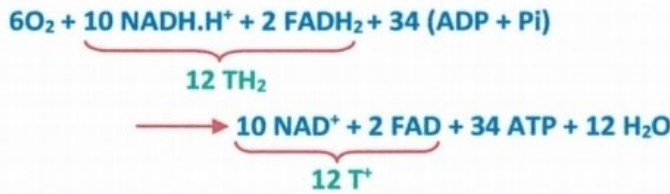


- يرافق انتقال الإلكترونات ضياع للطاقة تستعمل في النقل الفعّال (النقل الموضعي) للبروتونات من المادة الأساسية إلى الفراغ بين الغشائين عبر مضخات H^+ (T_1 و T_3 و T_5) يولدا ذلك تدرجا في تركيز H^+ في هذا المستوى، أي ينخفض pH الفراغ بين غشائين وحتى الوسط الخارجي لأن الغشاء الخارجي يحتوي على بورينات تسمح بخروج H^+ ، كما يرتفع pH الحشوة تدريجيا.
- بعد ذلك تدخل H^+ إلى الحشوة من جديد عن طريق الكرات المذبذبة بظاهرة الميز (حسب تدرج التركيز)، تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات بفسفرة ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (Pi) في مستوى الكرات المذبذبة حسب المعادلة التالية:



- وبالتالي فمقر التفاعلات الكيميائية لأكسدة المركبات المرجعة وإنتاج ATP هو الغشاء الداخلي للميتوكوندري، تدعى هذه العملية بالفسفرة التأكسدية، لأن فسفرة ADP إلى ATP مرتبطة بأكسدة النواقل المرجعة (TH_2).
- تكتب المعادلة الإجمالية للفسفرة التأكسدية كالتالي:

على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري:



→ كتابة بيانات و عنوان لمخطط الوثيقة 5 ص 217:

• العنوان: مخطط يبين مراحل هدم الجلوكوز في وسط هوائي.
• البيانات:

1- جلوكوز	5- غاز الفحم (CO_2)
2- حمض البيروفيك	6- $FADH_2$
3- $NADH.H^+$	7- غاز O_2
4- ATP	8- ماء
أ- تحلل سكري (غلوكزة)	ب- حلقة كربيس
ج- فسفرة تأكسدية.	

ملاحظة: تسمى مجمل تفاعلات الأكسدة الخولية والفسفرة التأكسدية بالأكسدة التنفسية ويرتبط حدوثها بالميتوكوندري.

→ حساب الحصيلة الطاقوية، المردود الطاقوي، الضياع الطاقوية، عدد جزيئات O_2 المرجعة إلى ماء حسب المعطيات التالية:

تقدر الطاقة الكامنة في جزيئة الجلوكوز 2860 KJ، وإماهة جزيئة ATP واحدة يحزر طاقة قدرها 30.5 KJ، وأكسدة $NADH.H^+$ يسمح بفسفرة 3ADP، وأكسدة $FADH_2$ يسمح بفسفرة 2ADP.

• حساب الحصيلة الطاقوية: (عدد جزيئات ATP)

المركبة	ATP	$NADH.H^+$	$FADH_2$
التحلل السكري	2	2	0
المرحلة التحضيرية	0	2	0
حلقة كربيس	2	6	2
الفسفرة التأكسدية	0	اكسدة 10 $NADH.H^+$	اكسدة 2 $FADH_2$
حصيلة عدد ATP	4	30	4
الحصيلة الإجمالية	38 ATP		

أي أن الحصيلة الطاقوية للتنفس (هدم جزيئة جلوكوز) هي 38 ATP.

• حساب المردود الطاقوي:

نعلم أن عدد جزيئات ATP الناتجة عن هدم جزيئة جلوكوز هي 38، وإماهة جزيئة ATP واحدة يحزر طاقة قدرها 30.5 KJ، أي:

داخل الميتوكوندري (الحشوة) يرتفع pH الوسط الخارجي تدريجيا ليعود إلى قيمته الأصلية $pH = 7$.

أما مادة DNP فهي تعمل على رفع درجة pH الوسط الخارجي بسرعة عن طريق جعل الغشاء نفوذا لبروتونات الهيدروجين.

معلومات مفيدة حول ثنائي نيترو فينول "Di Nitro Phenol"

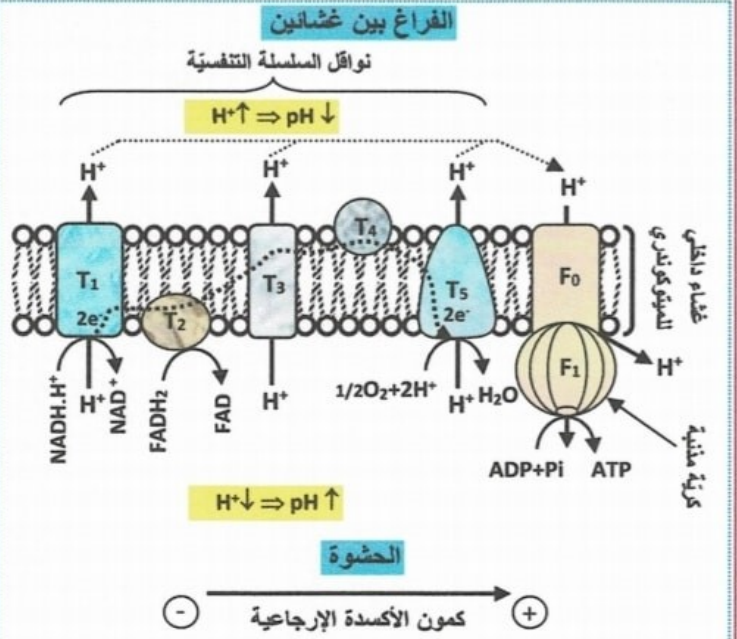
- هو مركب كيميائي ذو طبيعة كارهة للماء يمكنه فقد أو الارتباط بـ H^+ حسب تغير درجة pH.
- ينفذ بسرعة عبر الطبقة الدهنية للغشاء في الحالتين (قبل وبعد فقد بروتون الهيدروجين).
- يعمل على إدخال سريع لـ H^+ مما يؤدي إلى إزالة فرق التركيز الناتج عن ضخ البروتونات بواسطة نواقل السلسلة التنفسية.
- يمنع الازدواج بين الأكسدة (المنتجة للطاقة) والفسفرة (المستهلكة للطاقة) مما يؤدي إلى عدم تشكل ATP.
- مركب DNP لا يؤثر على إنزيم ATP Synthase وإنما يقوم بإدخال البروتونات بسرعة مما يحول دون دخولها عبر الإنزيم.

ب- علاقة تدرج تركيز H^+ بتركيب ATP: (الوثيقة 3 ص 216)

نستخلص من الجدول أن من شروط تركيب ATP على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري وجود تدرج في تركيز H^+ ، حيث يكون pH الوسط الخارجي منخفضا ويكون pH الحشوة مرتفعا، مع وجود وسلامة الكريات المذبذبة.

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

الرسم التخطيطي التالي يوضح آلية الفسفرة التأكسدية:



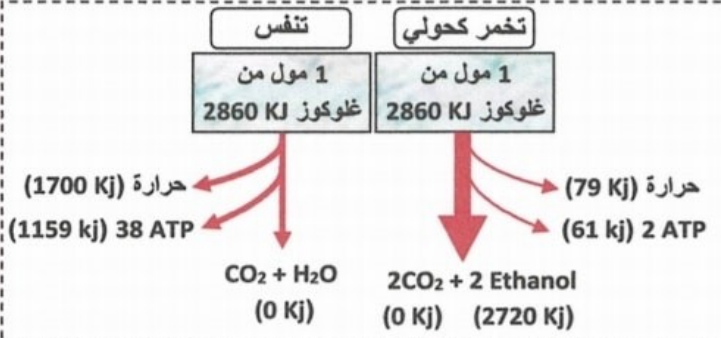
الشرح:

- على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري تتأكسد النواقل المرجعة (TH_2) بتدخل إنزيمات نازعات الهيدروجين، حيث يتأكسد $NADH.H^+$ على مستوى الناقل T_1 ، ويتأكسد $FADH_2$ على مستوى الناقل T_2 ، ينتج عن ذلك إلكترونات غنية بالطاقة وبروتونات هيدروجين، والمعادلة التالية تلخص ذلك:



- تتحرر البروتونات في المادة الأساسية، أما الإلكترونات فتنتقل عبر نواقل السلسلة التنفسية من الناقل ذي كمون الأكسدة الإرجاعية المنخفض إلى الناقل ذي كمون الأكسدة الإرجاعية المرتفع، أي من T_1 إلى T_2 إلى T_3 إلى T_4 إلى T_5 لتستقبل من طرف O_2 المستقبل النهائي للإلكترونات في السلسلة التنفسية الذي يرتبط مع البروتونات

البيروفيك وتركيب 2ATP و 2NADH.H^+
 • في وجود O_2 يستمر هدم حمض البيروفيك داخل الميتوكوندري (أكسدة تنفسية) وينتج عن ذلك ماء و CO_2 .
 • أما في غياب O_2 فتستمر تفاعلات هدم حمض البيروفيك في الهيولى لينتج في النهاية CO_2 وإيثانول، تدعى هذه الظاهرة بالتخمير الكحولي.
 وبالتالي تكون الطاقة الناتجة عن ظاهرة التخمر ضئيلة جدًا مقارنة بالطاقة التي تحصل عليها بظاهرة التنفس (تقريبًا أقل من 20 مرة).
 تمثل الوثيقة التالية القياسات الحرارية للطاقة الكامنة في جزيئة الجلوكوز وبعض نواتج التنفس والتخمير.



ج- إظهار كيفية تجديد النواقل خلال التخمر: (الوثيقة 4 ص 220)
 يحدث التخمر الكحولي في الهيولى على مرحلتين:
 • المرحلة الأولى: "تحلل سكري"، حيث يتفكك الجلوكوز تدريجياً إلى 2 حمض البيروفيك (كما في عملية التنفس) ويتم تركيب 2ATP و 2NADH.H^+
 • المرحلة الثانية: هدم حمض البيروفيك إلى أسيتالدهيد بنزع CO_2 منه، ثم يرجع الأسيتالدهيد إلى إيثانول عن طريق أكسدة النواقل NADH.H^+
 - تكتب المعادلة الإجمالية للتخمير الكحولي كالتالي:

على مستوى الهيولى:



كتابة بيانات وعنوان لمخطط الوثيقة 5 ص 220:

العنوان: مخطط يلخص آلية التخمر الكحولي في الهيولى.
 البيانات المرقمة:

1- جلوكوز
 2- حمض البيروفيك
 3- NADH.H^+
 4- ATP
 5- CO_2
 6- إيثانول
 أ: تحلل سكري.

س: أكسدة NADH.H^+ من أجل ارجاع الإيثانول إلى إيثانول.

الجدول التالي يوضح مقارنة بين التنفس والتخمير الكحولي:

التنفس	التخمير الكحولي
تحدث في تفاعلات التحلل السكري التي تحدث على مستوى هيولى الخلية وتسمح بإنتاج جزيئين من حمض البيروفيك وتركيب 2ATP و 2NADH.H^+ .	تحدث في وسط هوائي (وجود O_2)
كلاهما يحدث خلالهما هدم مادة الأيض من أجل إنتاج الطاقة القابلة للاستعمال وجزء من الطاقة يضيع بشكل حرارة	كلاهما يحدث خلالهما هدم مادة الأيض يتم تحرير CO_2
خلال هدم مادة الأيض يتم تحرير CO_2	يحدث في وسط لا هوائي (غياب O_2)
تكون الطاقة الناتجة قليلة جدا (2 ATP)	تكون الطاقة الناتجة كبيرة جدا (38 ATP)
تقوم به معظم الكائنات الحيّة	تقوم به بعض الكائنات الحيّة

$$1 \text{ ATP} \rightarrow 30.5 \text{ KJ} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} x = 38 \times 30.5 / 1 = 1159 \text{ KJ}$$

$$38 \text{ ATP} \rightarrow x$$

$$2860 \text{ KJ} \rightarrow 100\% \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} y = 1159 \times 100 / 2860 = 40.5 \%$$

$$1159 \text{ KJ} \rightarrow y$$

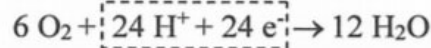
أي أن المردود الطاقي هو 40.5%.

حساب الضياع الطاقي:

$$\text{الضياع الطاقي} = 100 - 40.5 = 59.5 \%$$

هذه الطاقة تضيع بشكل حرارة.

حساب عدد جزيئات O_2 المرجعة إلى ماء:



وبالتالي فعدد جزيئات O_2 المرجعة إلى ماء هي 6.

الجدول التالي يوضح مقارنة بين آلية تركيب ATP على مستوى التيلاكويدات وعلى مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري:

آلية تركيب ATP في التيلاكويد	آلية تركيب ATP في غشاء الميتوكوندري
كلاهما يتم خلالهما أكسدة وانتقال إلكترونات عبر نواقل من كمون أكسدة ارجاع منخفض إلى كمون مرتفع	انتقال الإلكترونات يصاحبه ضياع للطاقة تستخدم من قبل المضخات في ضخ H^+ تستقبل الإلكترونات من طرف مستقبل نهائي للإلكترونات
تركيب ATP يكون على مستوى كرات مذنبية عند وجود تدرج في تركيز H^+	عدد نواقل الإلكترونات 5، وإضافة $\text{ADP} + \text{P}_i$ تحفز تفاعلات تركيب ATP في كليهما
مصدر الإلكترونات أكسدة الأنظمة الضوئية والماء	مصدرها أكسدة النواقل المرجعة: FADH_2 و NADH.H^+
المستقبل النهائي للإلكترونات هو NADP^+ الذي يرجع إلى NADPH.H^+	المستقبل هو O_2 الذي يرجع إلى ماء (H_2O)
عدد مضخات البروتونات هو 1 (T_2)	عدد مضخات البروتونات هو 3 (T_1 و T_2 و T_3)
- تنخفض كمون الأكسدة والإرجاع بفضل الطاقة الضوئية من PSII إلى T_1 ، ومن PSI إلى T_2 . - تزداد كمون الأكسدة والإرجاع من T_1 إلى PSI ، ومن T_2 إلى NADP^+ (وفق تدرج كمون الأكسدة والإرجاع).	- تزداد كمون الأكسدة والإرجاع من O_2 إلى FADH_2 و NADH.H^+ (وفق تدرج كمون الأكسدة والإرجاع).
تسمى الآلية فسفرة ضوئية	تسمى الآلية فسفرة تأكسدية

5- آليات تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في وسط لا هوائي:

أ- هدم الجلوكوز في غياب O_2 : (الوثيقة 1 ص 218)
 تظهر الوثيقة أن خميرة الخبز في وجود O_2 تقوم بظاهرة التنفس (امتصاص O_2 وطوح CO_2)، أما في غياب O_2 فتقوم بظاهرة التخمر، حيث يهدم الجلوكوز جزئياً إلى CO_2 وإيثانول (نواتج التخمر الكحولي).

وبالتالي فالتخمير يعرف بأنه ظاهرة حيوية يتم خلالها هدم جزئي لمادة الأيض (الجلوكوز) في غياب الأوكسجين وينتج عن ذلك تحويل جزئي للطاقة الكيميائية الكامنة الموجودة في الركيزة الأصلية (الجلوكوز).

ملاحظة:

• من بين الكائنات التي تقوم بظاهرة التخمر نجد الخمائر، البكتيريا، الخلايا النباتية، الخلايا العضلية.
 • التخمر أنواع من بينها التخمر الكحولي الذي تقوم به خميرة الخبز، كما يوجد التخمر اللبني (اللاكتيكي)، الزبدي، الخلي.
 ب- دراسة مقارنة للحصيلة الطاقيّة لآليتي التنفس والتخمير:

(الوثيقة 3 ص 219)

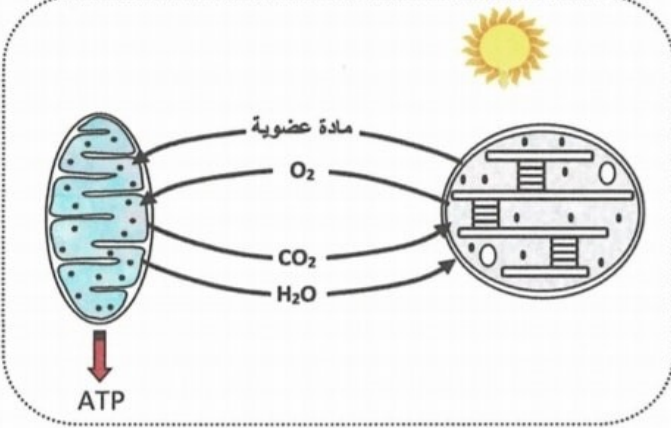
• تشترك ظاهرتي التنفس والتخمير في تفاعلات التحلل السكري التي تحدث على مستوى هيولى الخلية وتسمح بإنتاج جزيئين من حمض

حوصلة التحولات الطاقوية على المستوى الخلوي:
كتابة بيانات الوثائق 1، 2، 3 ص 228:

O ₂ -7	ATP -1
CO ₂ -8	NADPH.H ⁺ -2
NADH.H ⁺ -9	غلوكوز -3
-10 إيثانال	-4 نشاء
-11 إيثانول	-5 حمض البيروفيك
-6 أستيل مرافق الإنزيم (أ) أو أحد مركبات كريبس	-6 أستيل مرافق الإنزيم (أ) أو أحد مركبات كريبس
ب- مرحلة كيموضونية	أ- حلقة كالفن

الشرح:

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى التزود بالطاقة بصورة دائمة كما تتميز بقدرتها على تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى للمحافظة على حياتها، إلا أن الكائنات الحية تختلف في المصدر الذي تستمد منه طاقتها ونوع التحولات الطاقوية التي تتم داخل خلاياها. فعلى مستوى الخلية اليخضورية ذاتية التغذية وفي فترة النهار تحوّل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة في الجزيئات العضوية على مستوى الصانعة الخضراء (تركيب ضوئي)، يتطلب ذلك توفر H₂O و CO₂ (مواد معدنية) ليتمّ تصنيع المادة العضوية (مثل C₆H₁₂O₆) وطرح O₂، كما يتمّ تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الجزيئات العضوية إلى طاقة قابلة للاستعمال في صورة ATP على مستوى الميتوكوندريا مع استهلاك O₂ وطرح H₂O و CO₂، وبالتالي فالظاهرتان متكاملتان عند الكائنات ذاتية التغذية لأن نواتج كل ظاهرة طاوقية هي شروط حدوث الظاهرة الأخرى. (الوثيقة 1 ص 228) مع العلم أن فاعلية التركيب الضوئي أكبر من فاعلية التنفس أي أن امتصاص CO₂ أكبر من طرحه، كما أن طرح O₂ أكبر من امتصاصه.



وفي الليل تتوقف ظاهرة التركيب الضوئي وتستمر ظاهرة التنفس وبالتالي تكون المبادلات الغازية الحاصلة هي امتصاص O₂ وطرح CO₂ (الوثيقة 2 ص 228). أما على مستوى الخلايا غير ذاتية التغذية مثل الفطريات بأنواعها وخلايا الإنسان فيتمّ هدم المواد العضوية المستمدة من الوسط الخارجي في وجود O₂ لإنتاج H₂O و CO₂ وطاقة قابلة للاستعمال في صورة ATP وفق آليتي الهدم وهما التنفس والتخمّر، يتمّ التنفس في الوسط الهوائي ويتمّ خلاله إنتاج طاقة كبيرة نتيجة الهدم الكلي لمادة الأيض، أما في غياب O₂ فتهدم المادة العضوية جزئياً بظاهرة التخمر لإنتاج CO₂ وكحول وطاقة ضئيلة جداً، يسمّى هذا النوع من التخمر بالتخمّر الكحولي الذي تقوم به خميرة الخبز وأنواع من البكتيريا (الوثيقة 3 ص 228). تستعمل الخلايا جزيئات الـ ATP في أداء الوظائف المختلفة كالحركة، البناء (تركيب البروتين)، نقل الشوارد (مضخة K⁺/Na⁺، التقلص العضلي،.....