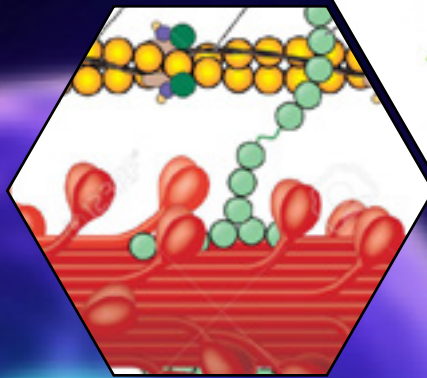
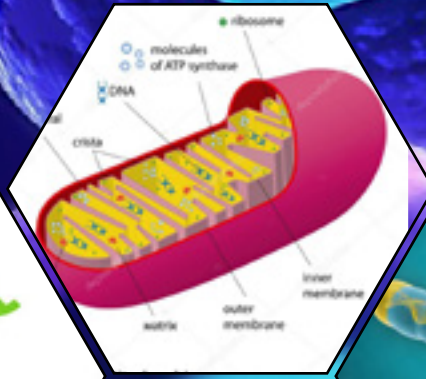
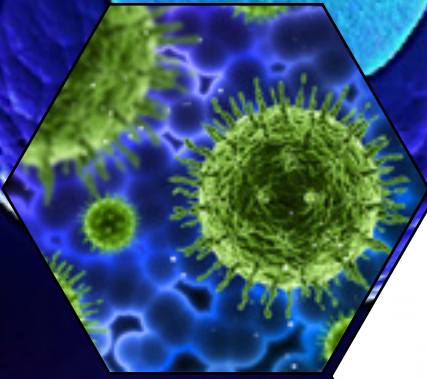


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

دروس علوم الحياة و الأرض



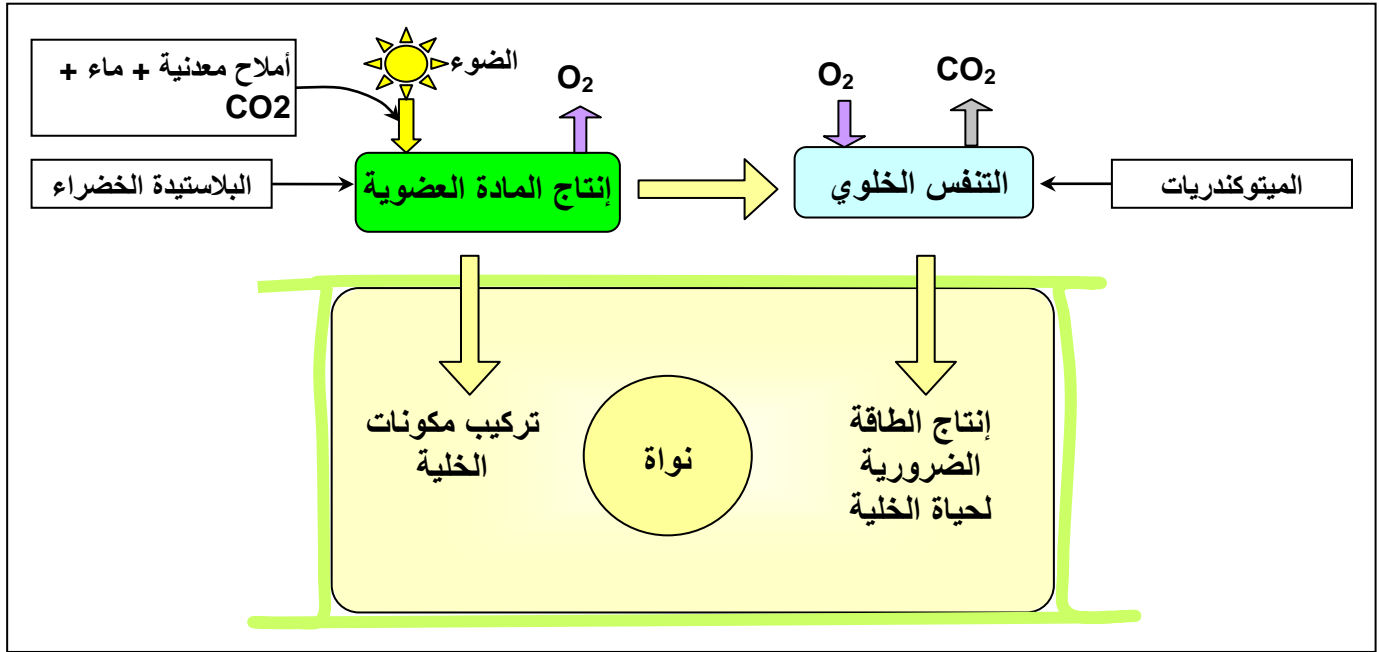
ثانية باكالوريا علوم الحياة و الأرض

تصميم و نشر الأستاذ
صبير سوفيان

الدروس من إنجاز الأستاذ
يوسف الأندلسي

استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة

مدخل عام:



تنتج النباتات اليخضورية، المواد العضوية، من سكريات، دهنيات، وبروتينات، بواسطة ظاهرة التركيب الضوئي. خلال المرحلة المضاءة من التركيب الضوئي، يتم تحويل الطاقة الضوئية الملتقطة من طرف خلايا النبات، إلى طاقة كيميائية على شكل جزيئات ATP (الأدينوزين ثلاثي الفوسفات Adénosine Triphosphate) حسب التفاعل التالي :



خلال المرحلة المظلمة، تستعمل الطاقة المخزنة في ATP في تفاعلات تركيب المواد العضوية. تستعمل الخلايا المادة العضوية لتجديد مكوناتها من جهة، وللتزود بالطاقة اللازمة لنشاطها من جهة أخرى. وبما أن شكل الطاقة المستعملة من طرف الخلايا الحية هو ATP فلا بد من استخلاص الطاقة الكامنة في المواد العضوية المستهلكة لتصبح على شكل ATP ، يمكن بعد ذلك استعماله في مختلف الظواهر المستلزمة للطاقة، كالنقل النشط، الحركة، والتركيبات الخلوية.

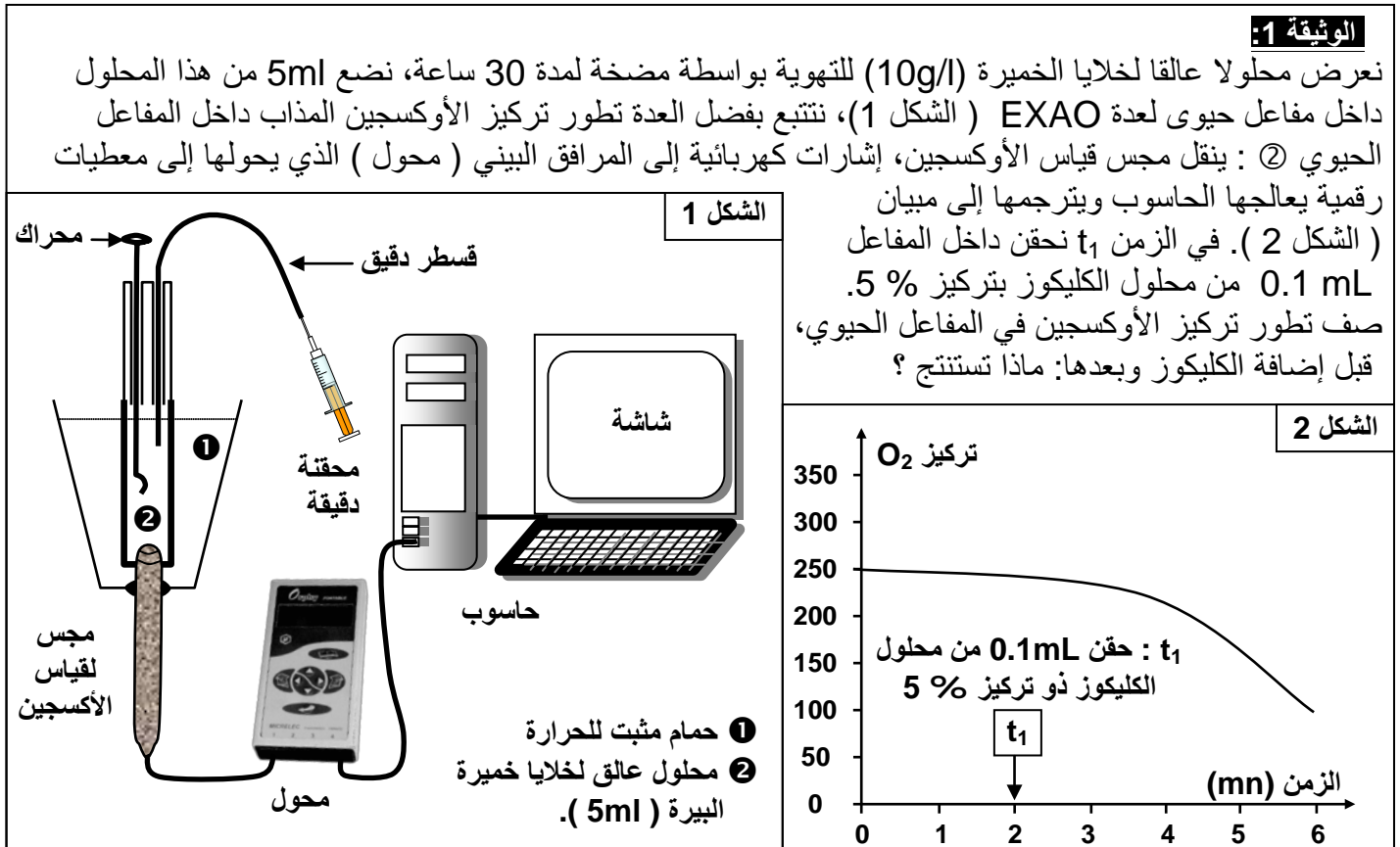
- 1) ما هي الظواهر الخلوية التي تمكن من استخلاص الطاقة على شكل ATP من المواد العضوية المستهلكة ؟
- 2) كيف تستفيد الخلية من ATP المستخلص ؟
- 3) كيف توظف المواد العضوية في بناء المادة الحية ؟

تحرير الطاقة الكامنة في المواد العضوية

1 - الكشف عن أنماط التفاعلات المسؤولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية:

أ - التنفس ظاهرة خلوية لهدم الأغذية:

a - تجربة: أنظر الوثيقة 1.



b - تحليل واستنتاج:

قبل إضافة الكليكوز، تكون نسبة الأوكسجين مستقرة. مباشرة بعد إضافة الكليكوز، تنخفض نسبة الأوكسجين في الوسط. نستنتج من هذه المعطيات أن خلايا الخميرة تستهلك الأوكسجين لهدم الكليكوز. نقول ادن أن خلايا الخميرة تننفس.

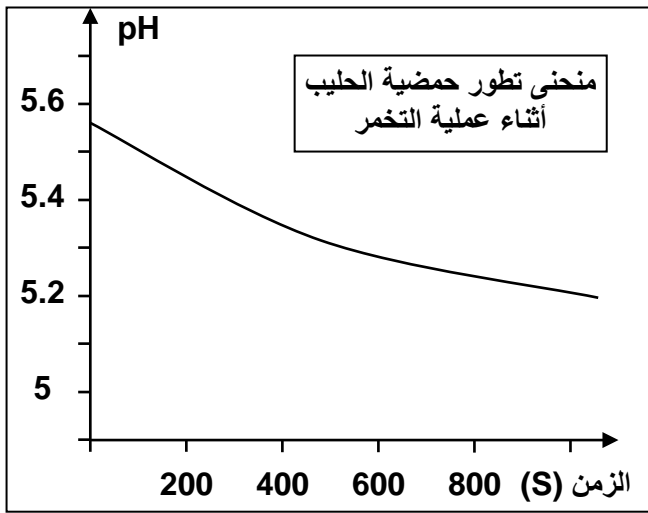
ب - التخمر ظاهرة خلوية أخرى لهدم الأغذية:

a - التخمر اللبني: (Fermentation lactique).

☒ تجربة : أنظر الوثيقة 2.

☑ تحليل واستنتاج : بعد 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (40°C) نلاحظ انخفاض قيمة ph أي ارتفاع قيمة حمضية الحليب.

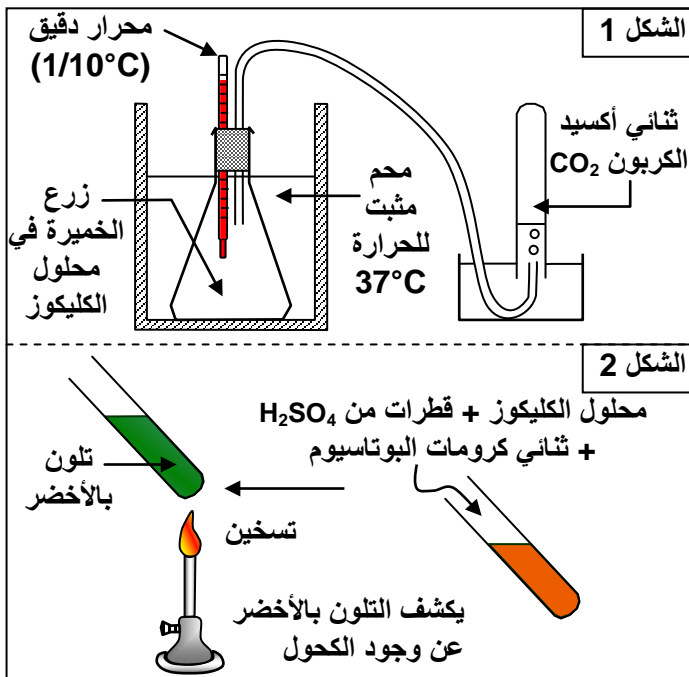
نستنتج من هذه الملاحظة أنه تم هدم الكليكوز المكون للاكتوز، وتحوله إلى حمض لبني Acide lactique، وذلك في غياب الأوكسجين. نتكلم ادن عن ظاهرة التخمر اللبني



الوثيقة 2: نأخذ عينة من الحليب الكامل الطري ونفرغها في بوقال ذي حجم 250 ml. نحرص على ملء البوقال إلى آخره لطرده الهواء (للحصول على تفاعل حي لا هوائي) نضع داخل الحليب مقياس pH الذي نربطه بعدة EXAO قصد تتبع تطور حمضية الحليب أثناء عملية التخمير (تحول الكليكوز المكون للاكتوز إلى حمض لبنني، ويتم ذلك دون طرح CO₂) ، نترك التحضير لمدة 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (40°C)، بعد ذلك نتتبع تطور قيمة pH بواسطة عدة EXAO فنحصل على النتائج المبينة أمامه.
صف تطور المنحنى واستنتج العلاقة بين هذا التطور وهدم الكليكوز.

b - التخمير الكحولي: Fermentation alcoolique

☒ **تجربة:** أنظر الوثيقة 3.



الوثيقة 3

- * البروتوكول التجريبي : أنظر الشكل 1.
- نضع محلول الكليكوز في قارورة (5g/l) .
- نزرع الخميرة في محلول الكليكوز.
- نضع التحضير في ماء ساخن (37 °C) .
- * النتائج :
- انخفاض كمية الكليكوز في الوسط.
- طرح CO₂ في الأنبوب.
- ارتفاع طفيف لدرجة الحرارة.
- ظهور الكحول في وسط الزرع. (نكشف عن الكحول بواسطة التفاعل المبين في الشكل 2) .
- انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية، قارن بين التخمير اللبني والتخمير الكحولي.
- قارن بين مظاهر التنفس ومظاهر التخمير.

☑ **تحليل واستنتاج :**

التخمير اللبني هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك تكون الحمض اللبني دون طرح CO₂.



التخمير الكحولي هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك كحول هو الايتانول (Ethanol) مع طرح CO₂.



- تستعمل الخلايا الكليكويز كمستقلب طاقي، ويمكنها هدمه بطريقتين مختلفتين حسب ظروف :
- التنفس : في وسط حيويائي Aérobie (غني بالأوكسجين)، يتم الهدم الكلي للكلليكويز وتحويله إلى CO₂ وماء وهي مواد معدنية دون قيمة طاقة.
 - التخمر : في وسط حيلاهوائي Anaérobie (غياب الأوكسجين)، يخضع الكليكويز لهدم غير تام، وتحويله إلى جزيئات عضوية لا تزال تخزن الطاقة الكيميائية.

II - انحلال الكليكويز على مستوى الجبلة الشفافة. Le hyaloplasme

① تعرف البنيات الخلوية المتدخلة في التنفس والتخمر

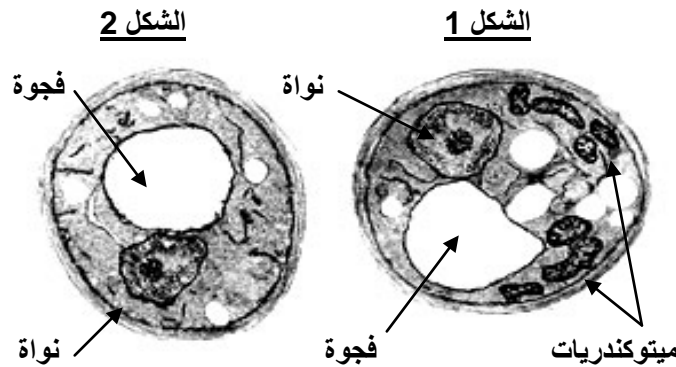
a - تجارب وملاحظات : أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: تجربة

خميرة البيرة فطر مجهري وحيد الخلية يمكن أن يعيش في وسط غني بالأوكسجين (وسط حيويائي) ووسط يفتقر للأوكسجين (وسط حيلاهوائي) توضع الخميرة في وسط غني بالأوكسجين يحتوي على الكليكويز فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر تضاعف كثيرا مع انخفاض كميتي الكليكويز والأوكسجين وارتفاع كميتي CO₂ و H₂O في الوسط وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر غنية بعضيات خلوية تسمى الميتوكوندريات (الشكل 1).

توضع الخميرة في وسط يفتقر للأوكسجين يحتوي على الكليكويز فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر زاد نسبيا مع انخفاض كمية الكليكويز وارتفاع كمية CO₂، مع تكون كحول الاثانول C₂H₅OH في الوسط، وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر تحتوي على ميتوكوندريات قليلة وضامرة (الشكل 2).

انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية حدد العلاقة بين وجود الميتوكوندريات، ووجود ثنائي الأوكسجين في الخلية، مبينا موقعي كل من التنفس والتخمر داخل الخلية.



b - تحليل واستنتاج :

يتبين من هذه المعطيات أنه في الظروف الحيوائية، أي خلال ظاهرة التنفس، يتطلب هدم الكليكويز وجود عضيات خلوية خاصة هي الميتوكوندريات (Mitochondries)، بينما في الظروف الحيلاهوائية، أي خلال ظاهرة التخمر، لا يتطلب هدم الكليكويز وجود الميتوكوندريات.

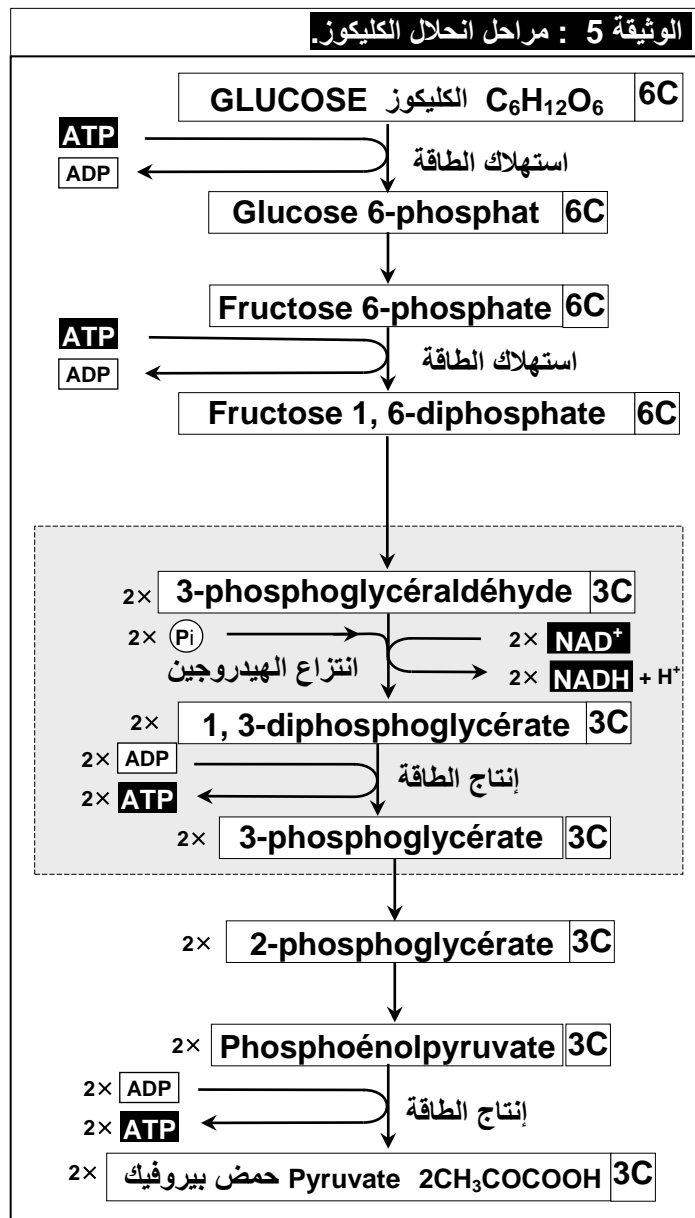
يبتدئ كل من التنفس والتخمر بمرحلة مشتركة تتم داخل الجبلة الشفافة، وهي انحلال الكليكويز (glycolyse). فتستمر تفاعلات التخمر في الجبلة الشفافة، بينما يتطلب التنفس تدخل الميتوكوندريات.

② مراحل انحلال الكليكويز

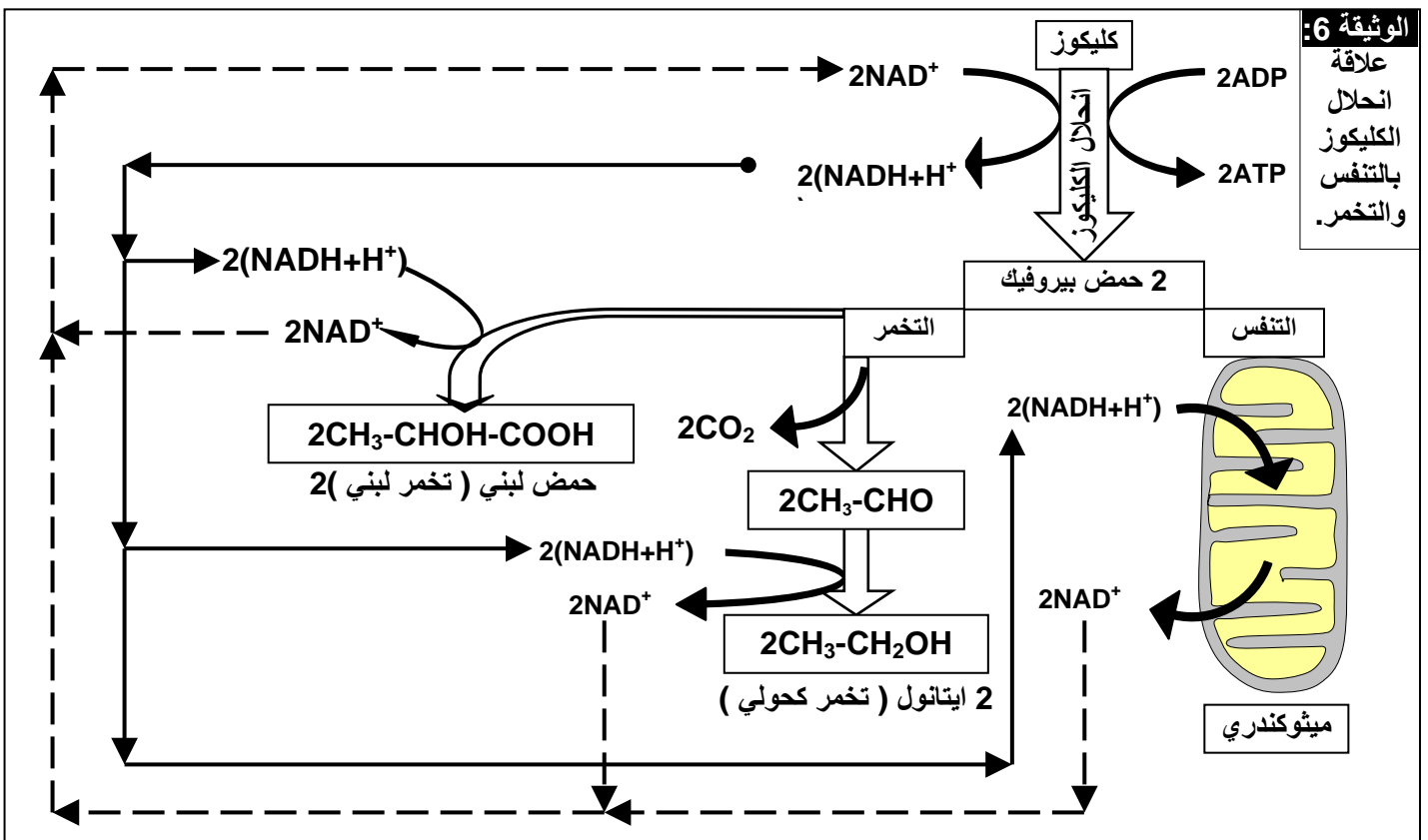
a - تفاعلات انحلال الكليكويز :

تعطي الوثيقة 5 والوثيقة 6، التفاعلات الكيميائية لانحلال الكليكويز. انطلاقا من هذه المعطيات، استخرج الأشكال الطاقية الناتجة عن انحلال الكليكويز.

الوثيقة 5 : مراحل انحلال الكليوز.



الوثيقة 6:
علاقة
انحلال
الكليوز
بالتنفس
والتخمير.



b - استنتاج :

داخل الجبلة الشفافة ينحل الكليكوز حسب سلسلة من التفاعلات الكيميائية، المحفزة بأنزيمات نوعية. وهي تفاعلات غير مستهلكة للأوكسجين، وتتم على ثلاث مراحل:

• المرحلة الأولى:

يتحول الكليكوز فوسفات إلى فريكتوز ثنائي الفوسفات، بعد تثبيت مجموعة فوسفاتية آتية من ATP.

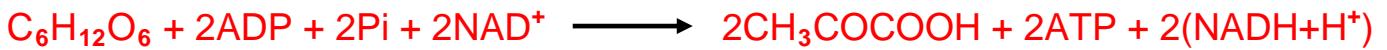
• المرحلة الثانية:

ينشطر الفريكتوز ثنائي الفوسفات إلى جزيئين من سكر ثلاثي فوسفات (2 غليسير ألدريد فوسفات). تخضع كل من هاتين الجزيئتين إلى انتزاع الهيدروجين (أكسدة)، بواسطة مستقبل للهيدروجين (NAD^+ = Nicotinamide adénine dinucléotide). الشكل المؤكسد NAD^+ يختزل ويحول إلى $NADH + H^+$ مع تقسفر جزيئي الغليسير ألدريد فوسفات، اللتان تتحولان إلى حمض غليسير ثنائي الفوسفات.

**• المرحلة الثالثة:**

تسلم جزيئتا الحمض الغليسير ثنائي الفوسفات، مجموعتيهما الفوسفاتية إلى ADP وتتحولان إلى جزيئين من حمض البيروفيك (Acide pyruvique $CH_3COCOOH$)، بينما يتحول ADP إلى ATP.

ملحوظة: لكي تستمر عملية انحلال الكليكوز، يجب إعادة أكسدة $NADH + H^+$. وتتم هذه الأكسدة، إما خلال التنفس الخلوي، عند وجود الأوكسجين، أو خلال التخمر في غياب الأوكسجين.

③ الحصيلة الطاقية لانحلال الكليكوز:

ادن الحصيلة الطاقية لانحلال الكليكوز هي تركيب جزيئين من ATP بالنسبة لكل جزيئة من الكليكوز.

III - التأكسدة التنفسية ودور الميتوكوندريات.**① ماذا يحدث على مستوى الميتوكوندري ؟ :**

a - تجارب : لمعرفة مصير حمض البيروفيك، أنجزت التجارب المبينة على الوثيقة 7.

الوثيقة 7 : تجربة

نهرس خلايا كبد فأر في محلول عيار له $ph=7.4$ من أجل عزل الميتوكوندريات. نعرض الخليط لنبذ ذي سرعة كبيرة يمكن من الحصول على قعيرة culot من الميتوكوندريات.

نخلط جزءا من القعيرة بمحلول عيار ملائم، ونضعه في مفاعل إحيائي لعدة EXAO، ثم نتتبع على شاشة الحاسوب تطور تركيز ثنائي الأوكسجين (المبيان أمامه).

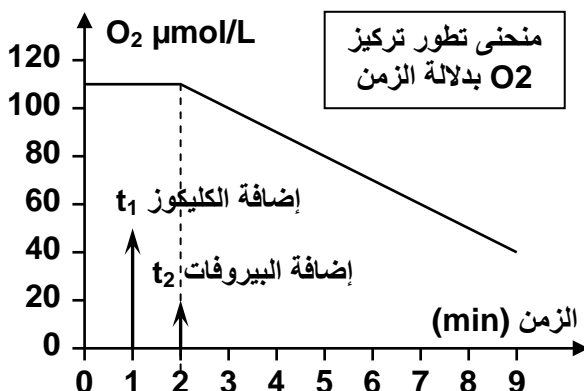
في الزمن t_1 نضيف إلى المفاعل الإحيائي كمية قليلة من الكليكوز، وفي الزمن t_2 نضيف كمية قليلة من حمض البيروفيك.

(1) حلل منحنى تطور تركيز O_2 بدلالة الزمن.

(2) على ماذا يدل تغير كمية O_2 في الوسط ؟

(3) ما هي الظاهرة الفيزيولوجية التي يعبر عنها المنحنى وأين تتم؟

(4) ماذا تستنتج بخصوص التفاعلات التي تتم داخل الميتوكوندري؟



b - تحليل واستنتاج :

(1) قبل t1 يكون استهلاك الأوكسجين من طرف الميتوكوندريات ضعيف جدا، وعند إضافة الكليكوز في الزمن t1 لا يتغير استهلاك الأوكسجين. أما عند إضافة حمض البيروفيك فإن نسبة استهلاك الأوكسجين ترتفع.

(2) يدل تغير كمية الأوكسجين في الوسط على كون الميتوكوندريات تستعمله خلال نشاطها.

(3) الميتوكوندريات تستهلك الأوكسجين يعني أن الأمر يتعلق بظاهرة التنفس الخلوي.

(4) نستنتج أن الميتوكوندريات لا تستعمل الكليكوز مباشرة، بل تستعمل ناتج انحلال الكليكوز، الذي هو حمض البيروفيك.

إن التفاعلات الكيميائية التي تطرأ على حمض البيروفيك بوجود الأوكسجين، داخل الميتوكوندري، تشكل التأكسيدات التنفسية وهي تفاعلات حيوائية.

c - خلاصة :

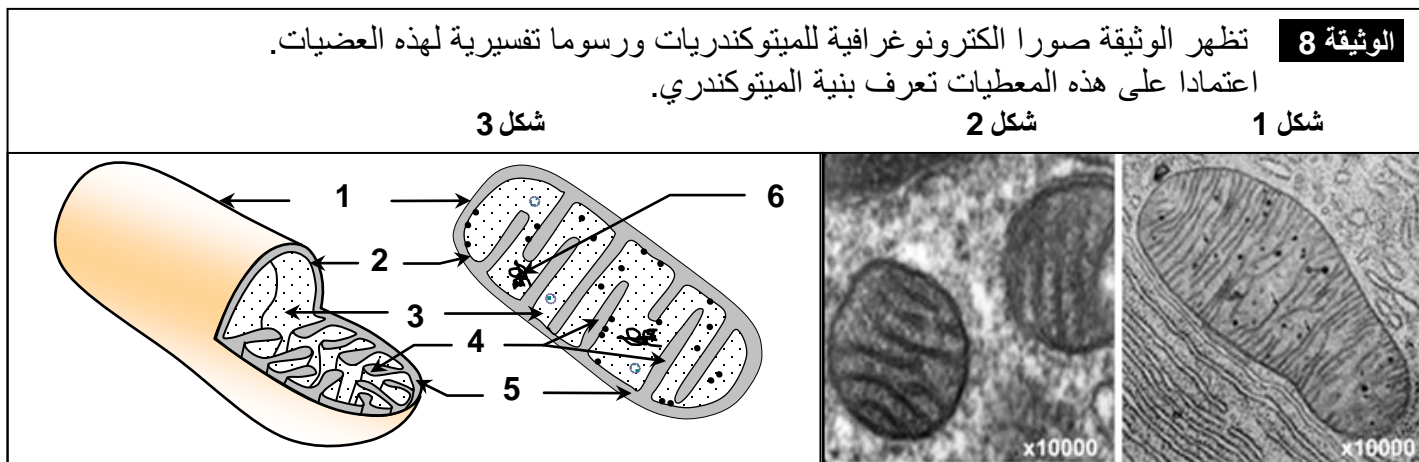
يتعرض مستقلب الكليكوز إلى تفكيك :

- الأول خارج الميتوكوندري على مستوى الجبلة الشفافة، و لا يحتاج إلى الأوكسجين، و يسمى انحلال الكليكوز. (glycolyse)

- الثاني على مستوى الميتوكوندري و يحتاج إلى الأوكسجين و يسمى التأكسيدات التنفسية. و يعتبر حمض البيروفيك هو المستقلب الذي يتعرض للتأكسيدات التنفسية.

② بنية ومكونات الميتوكوندريات :

a - فوق بنية الميتوكوندري : أنظر الوثيقة 8.



الشكل 1 = ملاحظة الكترونوغرافية لمقطع طولي للميتوكوندري.

الشكل 2 = ملاحظة الكترونوغرافية لمقطع عرضي للميتوكوندري.

الشكل 3 = رسم تخطيطي تفسيري لفوق بنية الميتوكوندري.

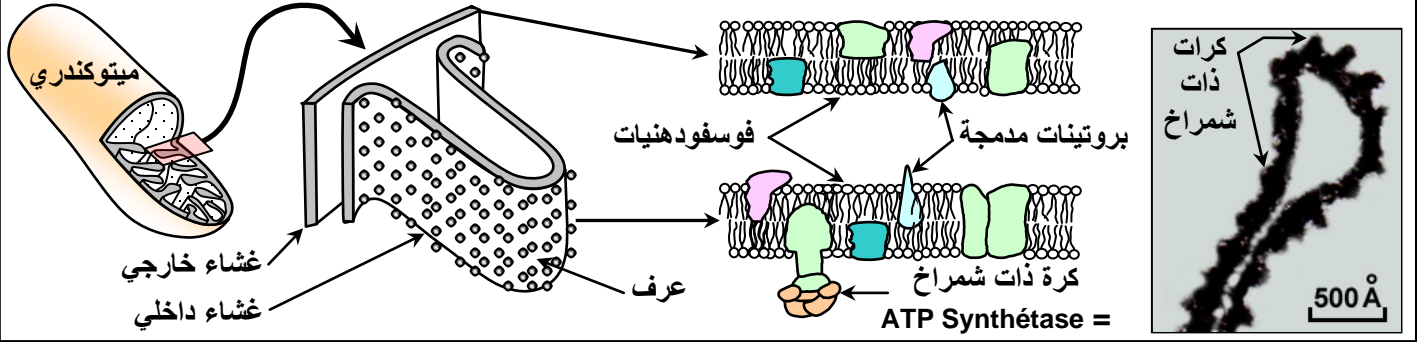
عناصر الشكل 3 من الوثيقة: 1 = غشاء خارجي . 2 = غشاء داخلي . 3 = ماتريس . 4 = أعراف . 5 = حيز بيغشائي . 6 = ADN.

تعتبر الميتوكوندري من عضيات الخلية، وتتكون من غشاء مزدوج، يحيط بمادة عديمة اللون تسمى ماتريس (matrice)، تتخللها تفرعات للغشاء الداخلي تسمى أعراف (crêtes).

b - التركيب البيوكيميائي للميتوكوندري : أنظر الوثيقة 9، الوثيقة 10.

الوثيقة 9 : تعطي الوثيقة بنية الغشاء الداخلي للميتوكوندري ملاحظة بالمجهر الالكتروني، مع رسم تفسيري للبنية الجزيئية للغشاءين الداخلي والخارجي.

ماذا تستخلص من مقارنة البنية الجزيئية للغشاءين الداخلي والخارجي للميتوكوندري؟



الوثيقة 10: التركيب الكيميائي للميتوكوندري.

قارن التركيب الكيميائي لكل من الغشاء الداخلي والخارجي للميتوكوندري والماتريس، واربط بين هذه المعطيات وبنية الميتوكوندري.

الماتريس	الغشاء الداخلي	الغشاء الخارجي
<ul style="list-style-type: none"> ▪ جزيئات صغيرة كربونية. ▪ أنزيمات متنوعة. ▪ ناقلات الالكترونات والبروتونات. ▪ ATP و ADP و P. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ بروتينات 80 %. ▪ دهنيات 20 %، طبيعتها مختلفة عن الجزيئات الموجودة بالغشاء السيتوبلازمي. ▪ أنزيمات تساهم في تفاعلات أكسدة اختزال. ▪ ATP سنتتاز. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ بروتينات 62 %. ▪ دهنيات 38 % ذات طبيعة شبيهة بتلك الموجودة بالغشاء السيتوبلازمي.

يلاحظ اختلاف في التركيب بين الغشاء الخارجي، والداخلي، والماتريس، إذ تكون الماتريس غنية بالأنزيمات المزيلة للهيدروجين والمزيلة للكربون، غنية بناقلات البروتونات والالكترونات و ATP، أما الغشاء الداخلي فيتميز بوجود مركبات أنزيمية مسؤولة عن تفسر ADP إلى ATP. وتدخل هذه الأنزيمات في تركيب الكرات ذات شمراخ. (sphère pédonculée).

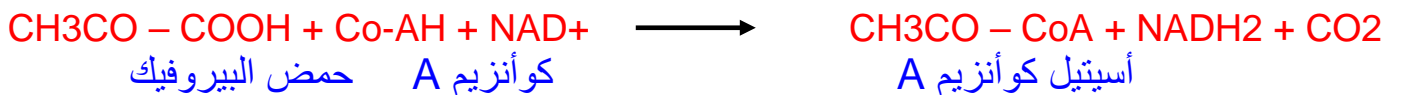
IV - دور التأكسدات التنفسية في إنتاج ATP:

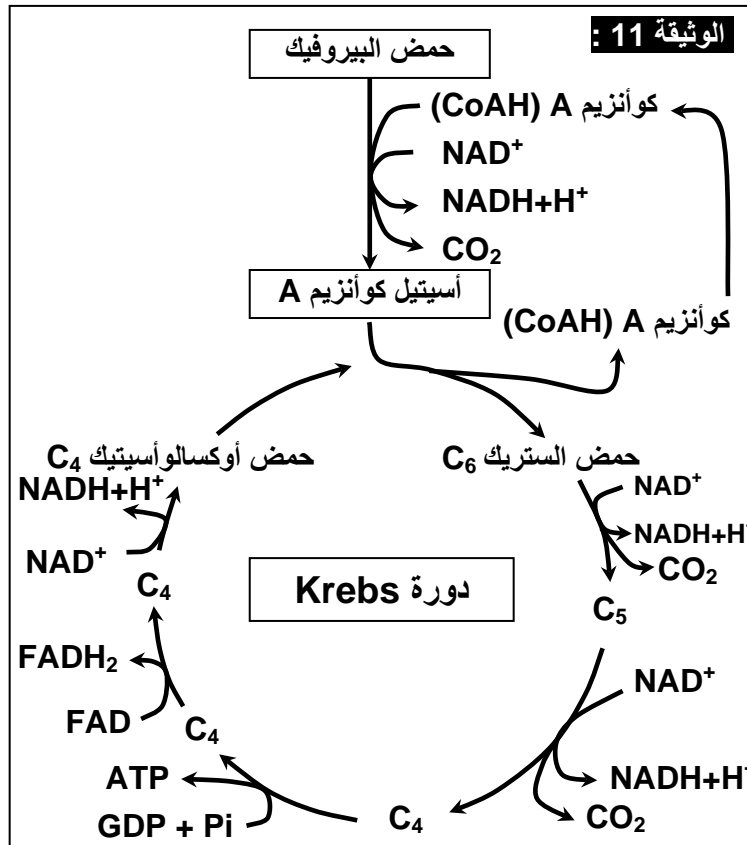
① تفاعلات دورة Krebs والأكسدة التنفسية :

عند انتقاله إلى الميتوكوندري، يخضع حمض البيروفيك لمجموعة من التفاعلات، بوجود الأوكسجين، وتسمى التأكسدات التنفسية. تبدأ هذه التفاعلات في الماتريس، حيث يتم هدم حمض البيروفيك عبر مراحل:

a - المرحلة الأولى: تكون الأسيتيل كوانزيم A. أنظر الوثيقة 11.

تحت تأثير أنزيمات نوعية، مزيلة للهيدروجين ومزيلة للكربون، يتكون الأسيتيل كوانزيم A في الماتريس، انطلاقاً من حمض البيروفيك.





b - المرحلة الثانية: دورة Krebs. انظر الوثيقة 11.

- هي دورة بيوكيميائية تتكون من سلسلة من تفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين.
- ينضم أسيتيل كوانزيم A إلى حمض أوكسالوأسيتيك (C₄) ، ليعطي حمض الستريك (C₆).
- يحرر الكوانزيم A، قصد تثبيت شق لأستيل جديد.
- يخضع حمض الستريك لتفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين، بتواجد أنزيمات خاصة، لنحصل في الأخير على حمض الأوكسالوأسيتيك، هذا الأخير يعاود التفاعل مع أسيتيل كوانزيم A.
- خلال دورة Krebs يتم تحرير CO₂، واختزال جزيئة NAD و FAD



وتركب جزيئة ATP انطلاقا من أكسدة جزيئة GDP.

التفاعل الإجمالي لهدم حمض البيروفيك في الماتريس:

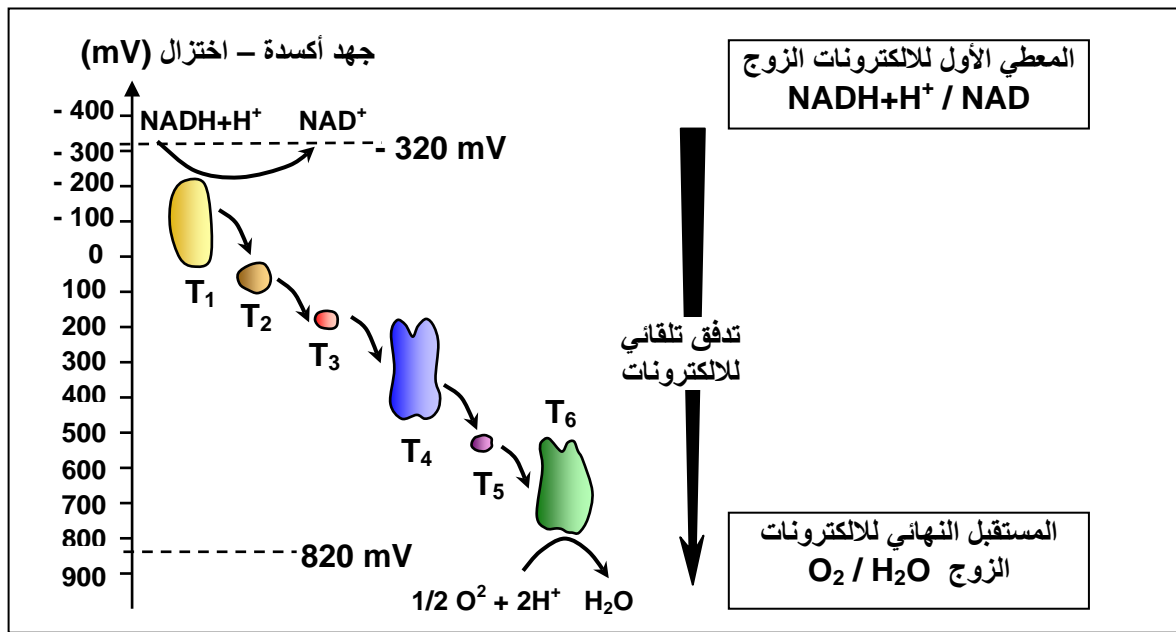


c - المرحلة الثالثة: مصير NADH+H⁺ و FADH₂.

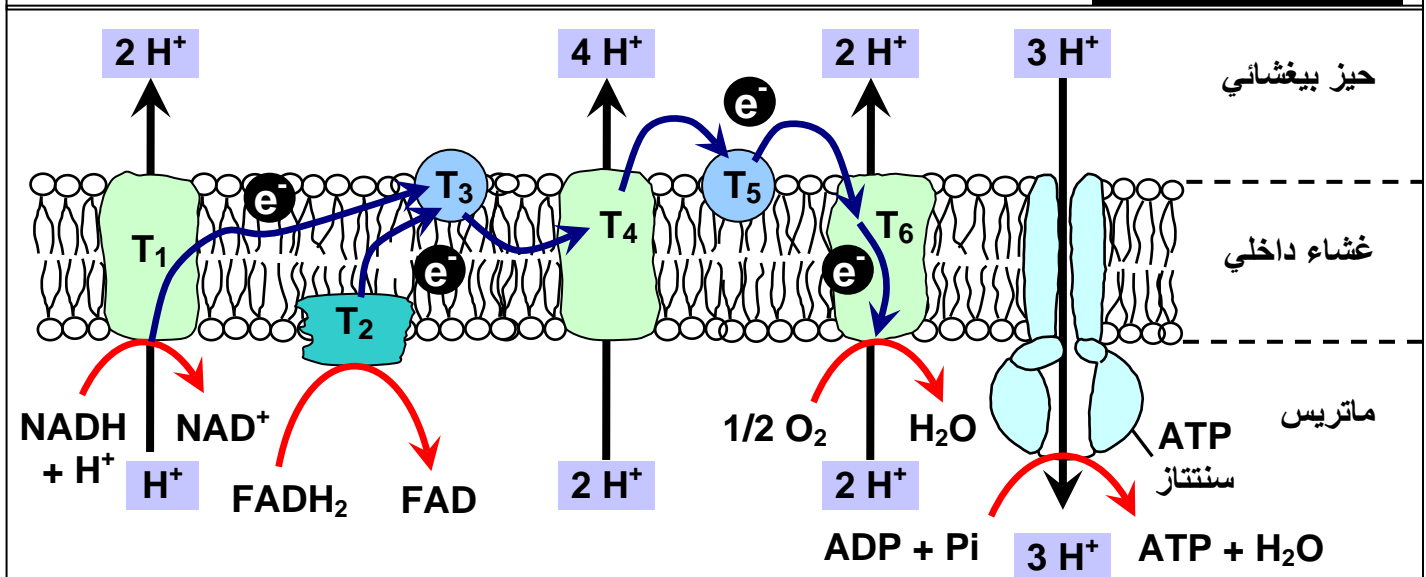
☒ انطلاقا من الوثيقة 12، والوثيقة 13، وضح كيف تحصل الأكسدة التنفسية، وأبرز أهميتها في تكون ممال البروتونات H⁺ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكوندري.

الوثيقة 12:

يتم نقل الإلكترونات من الزوج $\text{NADH}+\text{H}^+/\text{NAD}^+$ إلى الزوج $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ بواسطة تفاعلات أكسدة-اختزال، عبر السلسلة التنفسية، وذلك بشكل تلقائي حسب تبدل الجهد أكسدة - اختزال.



الوثيقة 13: الأكسدة التنفسية



✓ خلال تفاعلات أكسدة الكليكوز، يتم اختزال NAD^+ و FAD ، لتعطي $\text{NADH}+\text{H}^+$ و FADH_2 . ادن هذه جزيئات ناقلة للبروتونات والإلكترونات، يجب أن تعود إلى حالتها المؤكسدة. تتم أكسدة هذه المتقبلات داخل الغشاء الداخلي للميتوكوندري. حيث تطرح البروتونات H^+ في الحيز البيغشائي، بينما تسلم الإلكترونات إلى نواقل توجد على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري، وتكون السلسلة التنفسية (la chaîne respiratoire).

إن الإلكترونات تتدفق انطلاقاً من المعطي الأول $\text{NAD}^+/\text{NADH}+\text{H}^+$ إلى المستقبل النهائي وهو الزوج $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$. يسمى هذا التدفق الأكسدة التنفسية.

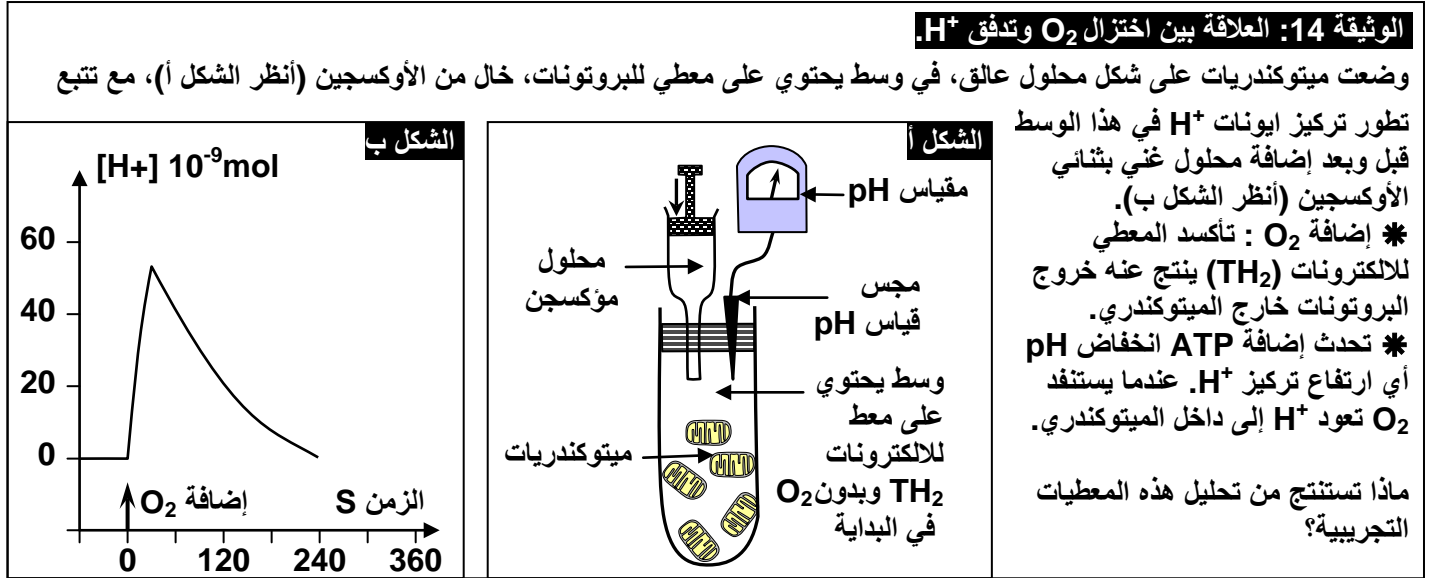
يتفاعل الأوكسجين المختزل O_2^- مع 2H^+ ، ليعطي جزيئة الماء، وتتم هذه العملية داخل ماتريس الميتوكوندري.



خلال مرور الإلكترونات من أول معط $\text{NADH} + \text{H}^+$ إلى آخر متقبل O_2 ، يتم طرح بروتونات H^+ داخل الحيز البيغشائي، فيرتفع بذلك تركيز H^+ في هذا الحيز، مما يترتب عنه ممال للبروتونات H^+ من جهتي الغشاء الداخلي.

② اختزال الأوكسجين والتفسفر المؤكسد: a - معطيات تجريبية:

التجربة الأولى: أنظر الوثيقة 14.



تحليل معطيات التجربة الأولى:

قبل إضافة O_2 ، تركيز H^+ في المحلول ضعيف (pH مرتفع). وبعد إضافة O_2 إلى الوسط، تم تسجيل ارتفاع سريع في تركيز H^+ (انخفاض PH)، ثم بدأ يتراجع تدريجياً.

يرجع ارتفاع تركيز H^+ في الوسط، بعد إضافة O_2 ، إلى انتقال النواقل (TH_2) أي (FADH_2 ، NADH_2) من حالتها المختزلة إلى حالتها المؤكسدة حسب التفاعل التالي:



يرجع انخفاض تركيز H^+ في الوسط بعد ذلك، إلى استنفاد O_2 اثر تفاعله مع الإلكترونات والبروتونات، حيث يعتبر المتقبل النهائي للبروتونات والإلكترونات، حسب التفاعل التالي:



التفاعل الإجمالي بعد إضافة O_2 للوسط هو :



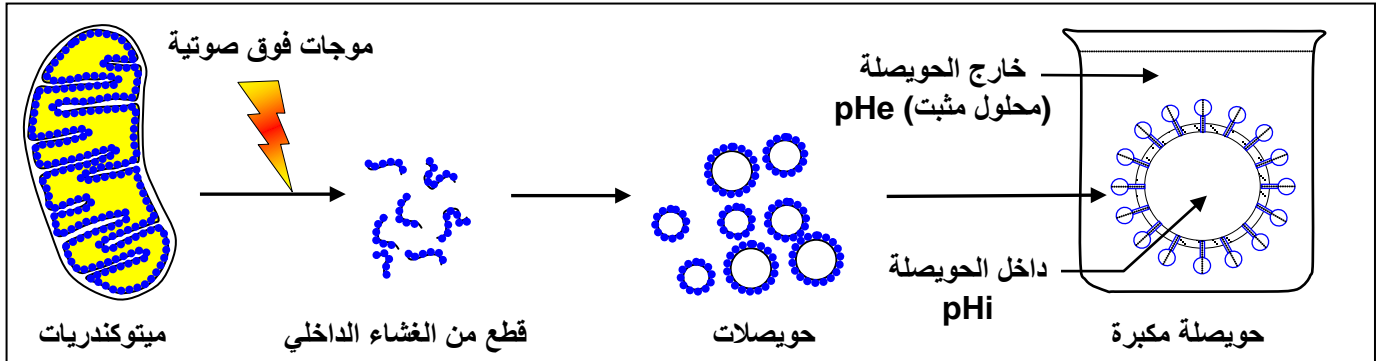
التجربة الثانية :

للكشف عن شروط إنتاج ATP على مستوى الكرات ذات شمراخ، نقوم بالتجارب المبينة على الوثيقة 15.

الوثيقة 15: الكشف عن دور الكرات ذات شمراخ (نقل البروتونات والتفسفر المؤكسد لجزيئة ATP).

*** التجربة a:**

بعد عزلها، تخضع الميتوكوندريات لفعل الموجات فوق الصوتية مما يؤدي إلى تقطيعها وجعل أعراف الغشاء الداخلي تتقلب وتكون حويصلات مغلقة، تكون الكرات ذات شمراخ المرتبطة بها موجهة نحو الخارج. توضع هذه الحويصلات بحضور ADP و Pi في محاليل مثبتة تختلف من حيث pH. المعطيات والنتائج التجريبية مبينة على الرسم أسفله:



- إذا كان pH الداخلي (pHi) أصغر من pH الخارجي (pHe)، يلاحظ تفسفر ADP.
- إذا كان pH الداخلي (pHi) يساوي pH الخارجي (pHe)، يلاحظ انعدام تفسفر ADP.

*** التجربة b:**

DNP (2,4dinitrophénol) مادة ذوابة في الدهون، بحضور هذه المادة يصبح الغشاء الداخلي للميتوكوندري نفوذا للبروتونات، في هذه الحالة يلاحظ أن اختزال الأوكسجين يتم بصفة عادية بينما يتوقف تفسفر ADP. انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية استخرج شروط تركيب ATP داخل الميتوكوندري. ثم أبرز العلاقة بين اختزال الأوكسجين والتفسفر المؤكسد.

تحليل معطيات التجربة الثانية:

✓ تبين التجربة a أن فسفرة ADP إلى ATP، يتم على مستوى الكريات ذات شمراخ (ATP Synthétase). وتتطلب هذه الفسفرة وجود فارق في تركيز H^+ بين الحيز البيغشائي والماتريس، حيث يفوق تركيزه في الحيز البيغشائي، تركيزه في الماتريس.

✓ تبين التجربة b أن الغشاء الداخلي للميتوكوندري ضروري لإنتاج ATP، فهو المسؤول عن خلق الفارق في تركيز H^+ ، بين الحيز البيغشائي والماتريس، هذا الفارق في التركيز يعتبر ضروريا لفسفرة ADP إلى ATP من طرف الكريات ذات شمراخ.

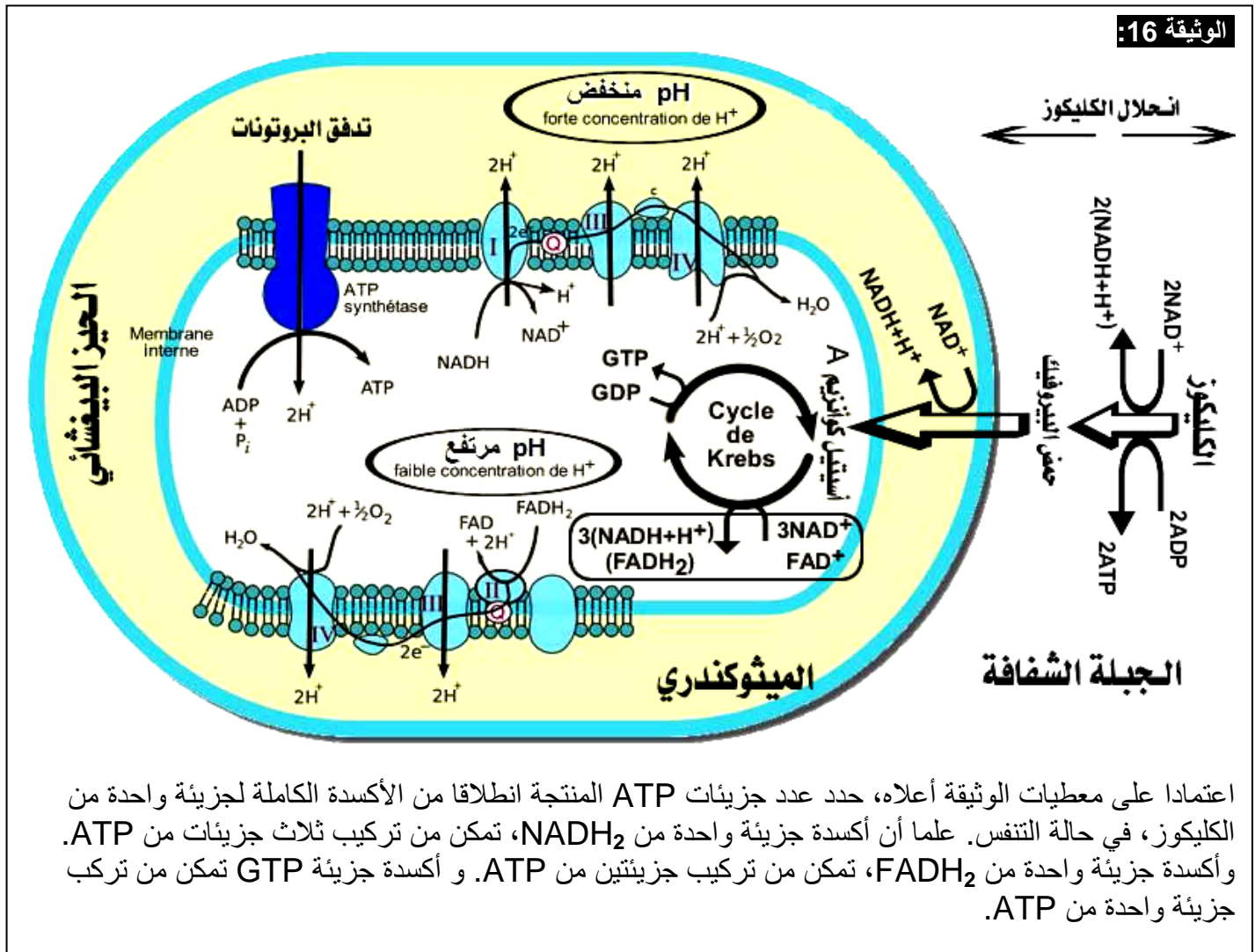
b - خلاصة:

عند وجود متقبل للالكترونات (O_2)، تتم أكسدة ($FADH_2$, $NADH_2$) (معط لالالكترونات)، الشيء الذي يعطي طرح للبروتونات H^+ ، فترتفع نسبتها داخل الحيز البيغشائي. بفعل اختلاف تركيز H^+ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكوندري، تتدفق هذه البروتونات إلى الماتريس عبر الكرات ذات شمراخ، والتي تستغل طاقة التدفق لتنتج ATP من خلال تثبيت مجموعة فوسفاتية على جزيئة ADP. تسمى هذه العملية التفسفر المؤكسد Phosphorylation oxydative.

V - مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس والتخمير:

① قياس مردودية التنفس والتخمير :

أ - المردود الطاقى للتنفس: أنظر الوثيقة 16.



اعتمادا على معطيات الوثيقة أعلاه، حدد عدد جزيئات ATP المنتجة انطلاقا من الأوكسدة الكاملة لجزيئة واحدة من الكليكوز، في حالة التنفس. علما أن أوكسدة جزيئة واحدة من NADH₂، تمكن من تركيب ثلاث جزيئات من ATP. وأوكسدة جزيئة واحدة من FADH₂، تمكن من تركيب جزيئتين من ATP. و أوكسدة جزيئة GTP تمكن من تركيب جزيئة واحدة من ATP.

إن الأوكسدة الكاملة لجزيئة الكليكوز، تعطي :

- خلال انحلال الكليكوز نحصل على $2\text{ATP} + 2(\text{NADH}+\text{H}^+) + 2$ جزيئتين من حمض البيروفيك.
- خلال دورة Krebs يتكون $3(\text{NADH}+\text{H}^+) + 1(\text{FADH}_2) + 1\text{ATP}$. اذن بالنسبة لجزيئتين من حمض البيروفيك، الناتجتين عن انحلال جزيئة واحدة من الكليكوز، يتكون $8(\text{NADH}+\text{H}^+) + 2\text{ATP} + 2(\text{FADH}_2)$.
- إن عدد ATP المركبة عند استهلاك جزيئة واحدة من الكليكوز هو:

المجموع :
38 ATP

4 ATP ←----- 4 ATP
30 ATP ←----- 10 (NADH+H⁺)
4 ATP ←----- 2(FADH₂)

نظريا نحصل على 38 ATP لكن في الواقع نحصل على 36 ATP فقط لأن نواقل NADH الناتجة في الغبلة الشفافة لا تدخل إلى الميتوكوندري ولكن تعوض بنواقل 2FADH باستثناء خلايا القلب والكبد حيث تعوض بنواقل NADH.

☒ أحسب المردود الطاقى للتنفس، علما أن الطاقة الإجمالية التي يمكن استخراجها من مول واحد من الكليكوز، تحت درجة حرارة 37°C ، وبوجود الأوكسجين، هي: 2860 KJ ، وأن حلمأة مول واحد من ATP، يؤدي إلى تحرير طاقة تساوي 30.5 KJ .

☑ بما أن مول واحد من الكليكوز يركب 38 ATP ، فالطاقة التي يحررها مول واحد من الكليكوز هي:
 $1159\text{ KJ} = (30.5 \times 38)$

ادن المردود الطاقى للتنفس هو:

$$40,5\% = 100 \times \frac{1159}{2860}$$

ب - المردود الطاقى للتخمير:

☒ أحسب المردود الطاقى للتخمير، علما أن استهلاك جزيئة واحدة من الكليكوز في حالة التخمير اللبني، يحرر فقط جزيئتين من ATP.

☑ المردود الطاقى للتخمير هو :

$$2.13\% = 100 \times \frac{(2 \times 30.5)}{2860}$$

② مقارنة وتفسير :

- أثناء التنفس يتحلل المستقلب (الكليكوز) كلياً، فيطرح مجموع الطاقة الكامنة فيه، على شكل طاقة كيميائية (1159 KJ)، وطاقة حرارية (1701 KJ)، مع تكوين حثالة معدنية ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) خالية من الطاقة.
- أثناء التخمير، لا يتحلل المستقلب (كليكوز) كلياً وبالتالي لا يطرح إلا جزء من الطاقة الكامنة (167 KJ)، جزء منها على شكل طاقة كيميائية (61 KJ)، وجزء على شكل طاقة حرارية (106 KJ)، مع حثالة عضوية (حمض لبني)، مازالت تحتوي على طاقة كامنة. $= (2860 - 167)/2 = 1346.5\text{ KJ/ac.lactique}$

دور العضلة الهيكلية المخططة في تحويل الطاقة

تمهيد:

يمكن كل من التنفس والتخمر من هدم المواد العضوية المستهلكة، وتحرير الطاقة الكامنة فيها، لتصبح على شكل ATP، قابل للاستعمال في مختلف الظواهر المستهلكة للطاقة، كالتفاعلات الكيميائية، مواجهة تغيرات درجة الحرارة، أو القيام بحركة. يعتبر التقلص العضلي اذن من الظواهر المستهلكة للطاقة.

- ✗ ما مصدر الطاقة اللازمة للنشاط العضلي؟
- ✗ ما هي البنيات المسؤولة عن التقلص العضلي؟
- ✗ كيف يتم التقلص العضلي؟
- ✗ كيف تستعمل الخلايا العضلية الكليكوز كمصدر للطاقة؟

1 - الدراسة التجريبية للتقلص العضلي.

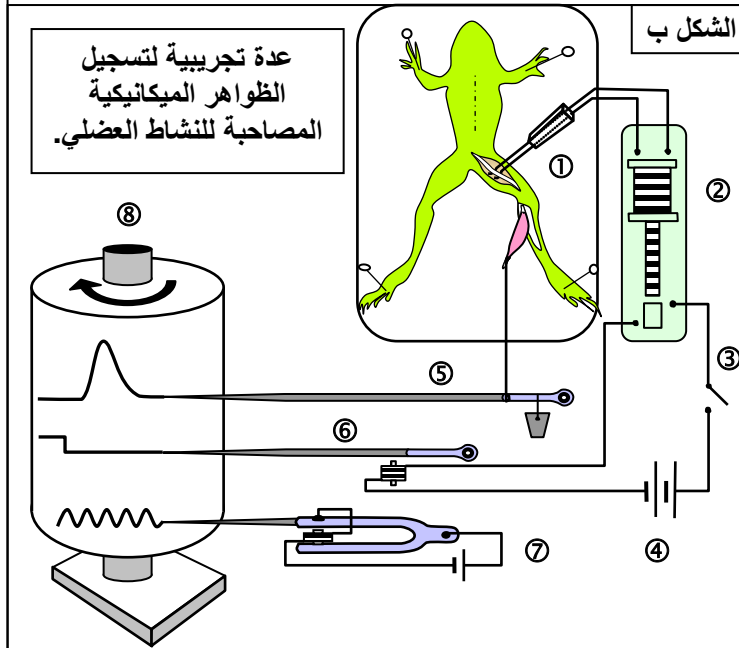
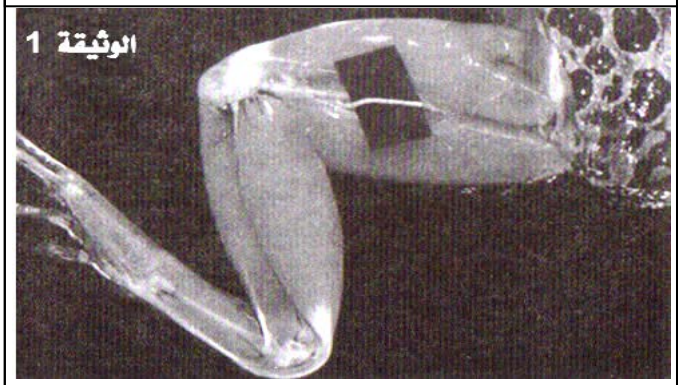
① تسجيل التقلص العضلي عند الضفدعة: أنظر التركيب التجريبي: الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تسجيل التقلص العضلي للطرف الخلفي لضفدعة.

لدراسة التقلص العضلي، يتم أخذ ضفدعة، فيخرب دماغها ونخاعها أشوكي، لإزالة كل ردود الفعل الإرادية واللاإرادية. بعد تثبيتها على لوحة خشبية، نشرح الطرف الخلفي لإبراز العصب الوركي (الشكل أ)، نقطع وتر العقب لعضلة بطن الساق، ونوصله بجهاز تسجيل التقلص العضلي (الشكل ب). نهيج العضلة إما مباشرة، بوضع الالكترودين المهيجين على سطحها، أو بصفة غير مباشرة، بوضع الالكترودين على العصب الوركي.

تهيج العضلة بواسطة مهيجات اصطناعية، تكون إما ميكانيكية، حرارية، كيميائية، أو كهربائية. استخراج الشروط التجريبية لتسجيل التقلص العضلي.

الشكل أ: تحضير عضلة بطن ساق ضفدعة



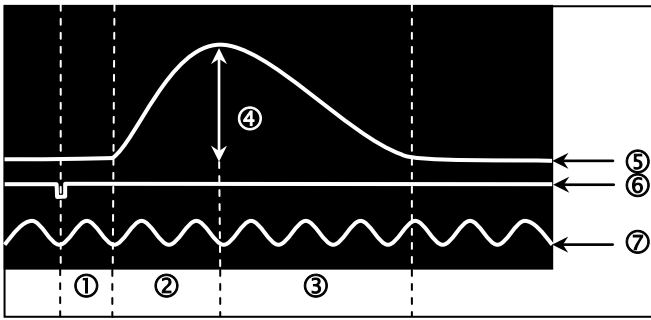
- ① = مساري التهيج، ② = مهيج، ③ = قاطع التيار الكهربائي، ④ = مصدر التيار الكهربائي،
- ⑤ = قلم مسجل، ⑥ = مسجل اشارة التنبيه، ⑦ = شوكة رنانة لتسجيل اشارة الزمن.
- ⑧ = أسطوانة مسجلة

لتسجيل التقلص العضلي:

- ✓ نستعمل الراسمة العضلية myographe، التي تعطينا تخطيطات عضلية myogramme.
- ✓ يجب أن تكون الضفدعة المستعملة مخربة الدماغ والنخاع الشوكي لحذف كل نشاط إرادي أو انعكاسي.
- ✓ التهيج يكون إما مباشرا على مستوى عضلة بطن الساق، أو عن طريق عصبها الوركي.
- ✓ يجب ضبط شدة التهيج أو التنبيه، المدة، وتردد التهيج وكذلك سرعة دوران الأسطوانة.

② - استجابة العضلة للتهيج الكهربائي:

a - استجابة العضلة لاهاجة منفردة: أنظر الوثيقة 2.



الوثيقة 2: استجابة العضلة للتهيج وحيد.

تعطي الوثيقة أمامه تسجيلاً لرعدة عضلية معزولة ناتجة عن تسليط اهاجة كهربائية واحدة فعالة على العضلة. حلل هذا التسجيل مع تحديد مختلف عناصره.

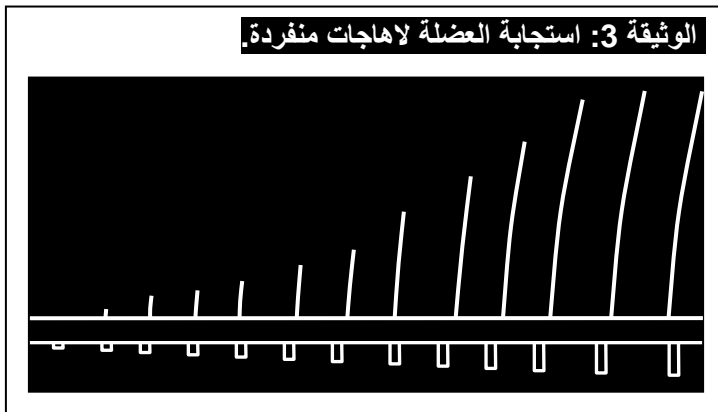
① = مرحلة الكمون = ② = مرحلة التقلص = ③ = مرحلة الارتخاء
④ = وسع = ⑤ = مخطط عضلي = ⑥ = إشارة التهيج
⑦ = إشارة التنبيه.

عند تسليط اهاجة فعالة، تستجيب العضلة للاهاجة، فنقول أنها هيوجة، (Excitable) ولها خاصية الاهتياجية. كما تستجيب بالتقلص، فنقول أنها قلوصة، وتسمى هذه الخاصية بالقلوصية. عند تطبيق اهاجة منفردة، نحصل على تقلص قصير الأمد، معزول، وبسيط، نتكلم عن رعدة عضلية (Secousse musculaire). والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاث مراحل:

- فترة الكمون: هي الفترة الزمنية الفاصلة بين لحظة الاهاجة وبداية الاستجابة.
- مرحلة التقلص: يرتفع خلالها توتر العضلة.
- مرحلة الارتخاء: خلالها تأخذ العضلة أبعادها الأولية.

ملحوظات:

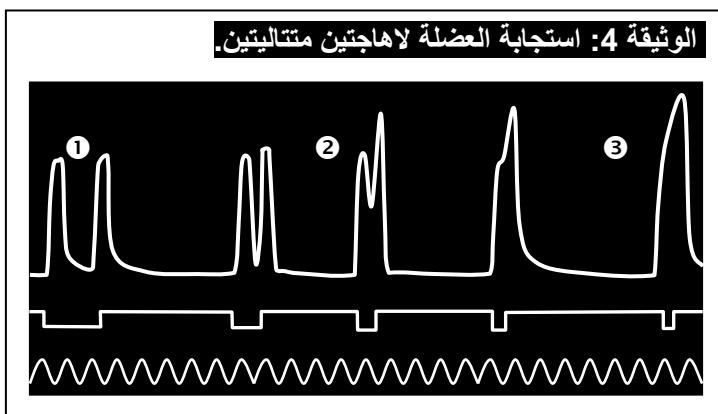
- ★ يتغير شكل التخطيط العضلي حسب سرعة الأسطوانة المسجلة.
- ★ أنظر الوثيقة 3:



الوثيقة 3: استجابة العضلة لاهاجات منفردة

عندما نخضع العضلة لاهاجات متباعدة، ذات شدة متصاعدة، لا تظهر الاستجابة إلا عندما تكون شدة التهيج تساوي أو أكبر من قيمة معينة، تسمى عتبة الاهاجة (Seuil d'excitation)، أو الريبواز.

b - استجابة العضلة لاهاجتين متتاليتين: أنظر الوثيقة 4



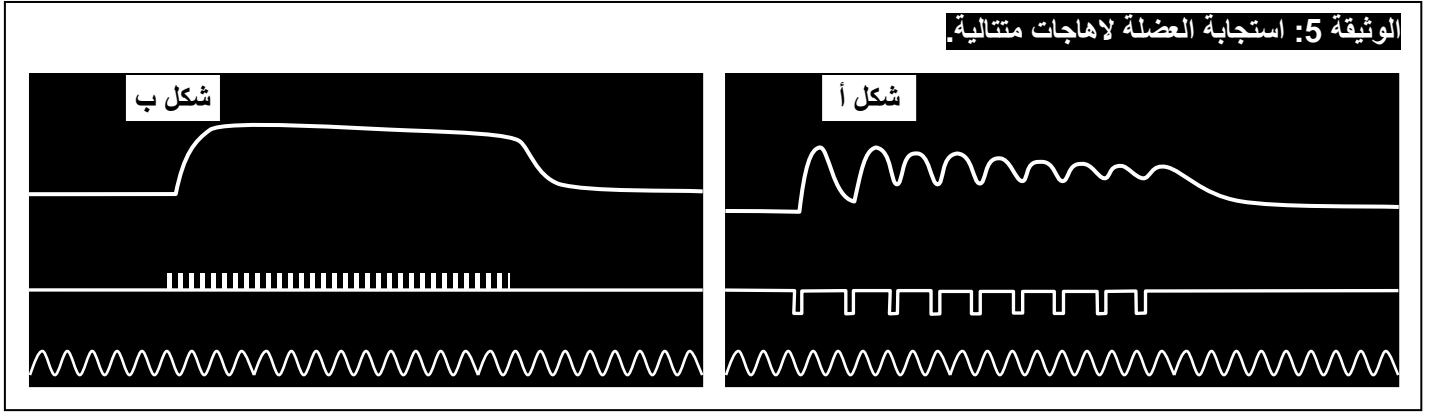
الوثيقة 4: استجابة العضلة لاهاجتين متتاليتين

تختلف الاستجابة في هذه الحالة حسب اللحظة التي تسلط فيها الاهاجة الثانية، وهكذا نميز ثلاث حالات:

- ① إذا وقع التهيج الثاني بعد انتهاء الرعدة الأولى، تكون الرعدتان متمائتين ومستقلتين.
- ② إذا وقع التهيج الثاني خلال مرحلة ارتخاء الاستجابة الأولى، يكون وسع الاستجابة الثانية أكبر من وسع الاستجابة الأولى، كما يبقى المنحنيان منفصلان. نتكلم عن الالتحام غير التام.

③ إذا وقع التهيج الثاني خلال مرحلة تقلص الاستجابة الأولى، يلاحظ تراكم المنحنيين. نتكلم عن الالتحام التام، يكون فيه وسع التوتر الاجمالي أكبر من وسع التوتر خلال رعدة معزولة.

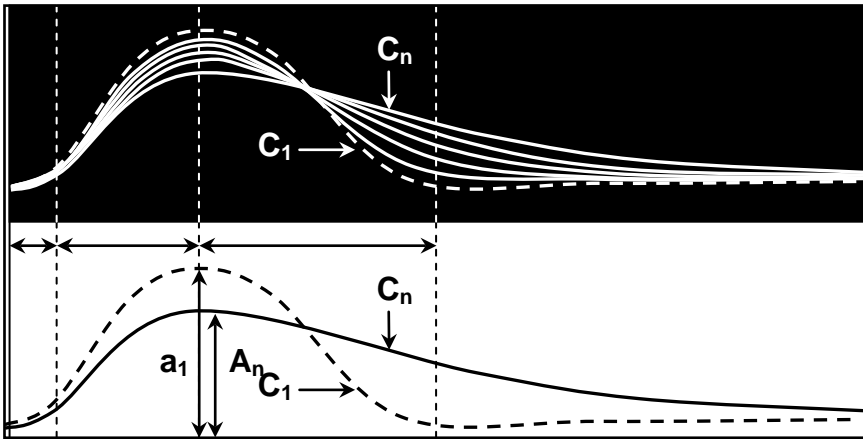
C - استجابة العضلة لاهجات متتالية: أنظر الوثيقة 5.



عند تطبيق سلسلة من الاهجات المتتالية، نلاحظ حالتين:

الشكل أ: عندما يكون تردد التهيجات ضعيف، نحصل على تسجيل مكون من ذبذبات متتالية، نسمي هذا التقلص الكزاز الناقص (Tétanos imparfait)، والذي يفسر بالتحام غير تام للرعشات العضلية، لأن كل تهيج يحدث خلال فترة الارتخاء للاستجابة السابقة.

الشكل ب: عندما يكون تردد التهيجات قوي، نحصل على تسجيل منبسط مستقيم، نسمي هذا التقلص الكزاز التام (Tétanos parfait)، والذي يفسر بالتحام تام للرعشات العضلية، لأن كل تهيج يأتي في فترة التقلص للاستجابة السابقة.



ملاحظة: استجابة العضلة المتعبة.

نضع العضلة لسلسلة اهاجات، فنسجل التخطيط العضلي الممثل على الشكل أ من الوثيقة أمامه. أما الشكل ب من نفس الوثيقة فيمثل رسماً للرعشة الأولى C_1 ، والرعشة الأخيرة C_n .

حدد من خلال الشكلين فيم يتمثل العياء العضلي؟

عندما تصبح العضلة متعبة، بعد خضوعها لعدة اهاجات، فإن وسع الاستجابة يصبح ضعيفا، كما أن مدة الارتخاء تصبح طويلة.

II - الظواهر التي تصاحب التقلص العضلي.

التقلص العضلي ظاهرة ميكانيكية ترافقها ظواهر حرارية، طاقة وكيميائية.

① الظواهر الحرارية المرافقة للتقلص العضلي:

عند القيام بمجهود عضلي، ترتفع درجة حرارة الجسم الداخلية، ويقاوم هذا الارتفاع بزيادة طرح الحرارة. هذا الطرح يختلف حسب شدة الجهد.

أ - التركيب التجريبي: أنظر الوثيقة 6، الشكل أ.

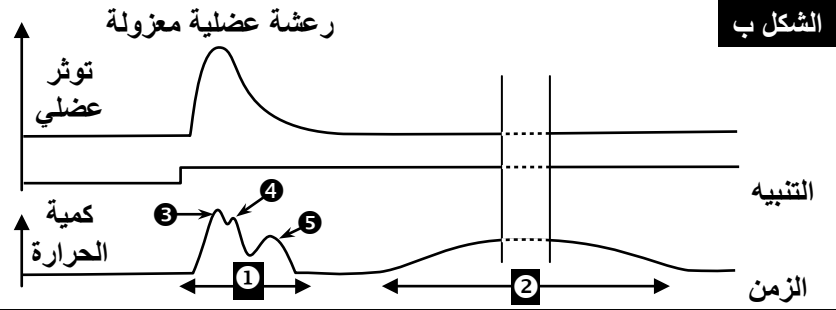
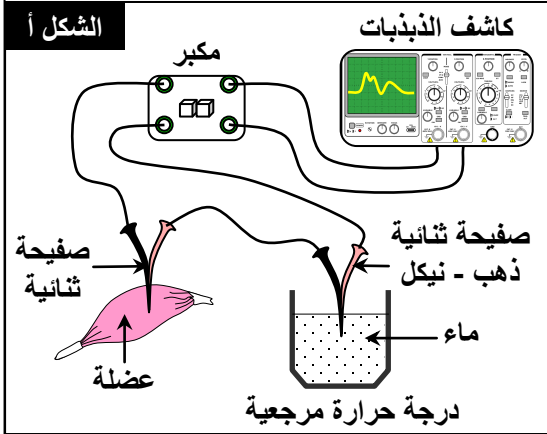
ب - النتائج التجريبية: أنظر الوثيقة 6، الشكل ب.

الوثيقة 6: الظواهر الحرارية المرافقة للتقلص العضلي.

نستعمل في هذه الدراسة تقنية العمود الحراري **Thermopile** (شكل أ)، إذ يتكون العمود الحراري من إبرتين كهروحراريتين، تتكون كل إبرة من معدنين مختلفين (نحاس و نيكل أو ذهب و نيكل). تغرز إحدى الإبرتين في العضلة ويحافظ على الأخرى في درجة حرارة ثابتة (إبرة مرجعية). إن اختلاف الحرارة بين الإبرتين، يولد فرق جهد كهربائي تتناسب شدته مع درجة حرارة العضلة المتقلصة.

يبين الشكل ب التسجيل المحصل عليه.

استخرج أنواع الحرارة المحررة من طرف العضلة في حالة نشاط.



ج - تحليل واستنتاج:

- خلال التقلص العضلي تنتج الحرارة، ويتوزع إنتاجها على مرحلتين أساسيتين:
- الحرارة الأولية: هي الحرارة الابتدائية، وتحرر في جزأين: جزء خلال التقلص (حرارة التقلص)، وجزء خلال الارتخاء (حرارة الارتخاء)، وتدوم بضع أجزاء من الثانية.
 - الحرارة المؤخرة: أو المتأخرة، وتحرر بعد التقلص العضلي، وتدوم من دقيقة إلى دقيقتين.

② الظواهر الكيميائية والطاقة:

أ - ملاحظات:

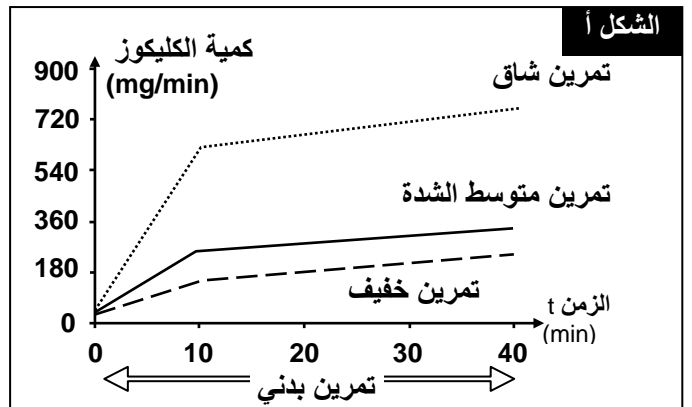
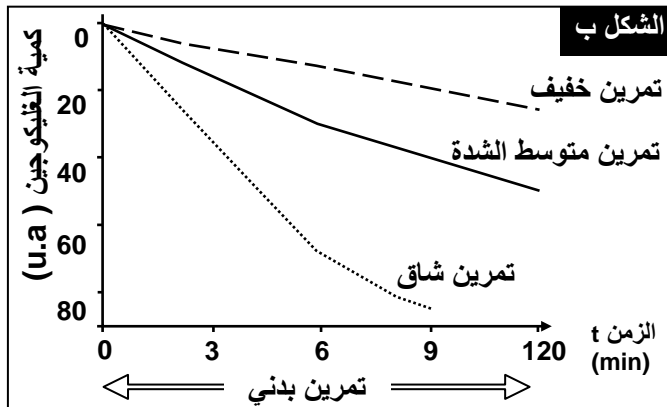
تبين الملاحظة المجهرية للنسيج العضلي، أنه غني بالشعيرات الدموية. يبرر التعرق الشديد للنسيج العضلي، بكون النشاط العضلي يرفع من حاجيات العضلة من الفيت والأكسجين، والتي تصل إلى العضلة عن طريق الدم.

ب - نتائج تجريبية: أنظر الوثيقة 7 والوثيقة 8.

الوثيقة 7: الظواهر الطاقية المصاحبة للتقلص العضلي.

تقاس داخل قاعات مجهزة بمعدات خاصة، التغيرات التي تطرأ على مجموعة من الثوابت في مستوى العضلات، وذلك بتحليل عينات عضلية تؤخذ من رياضيين أثناء قيامهم بتمارين مختلفة. نتائج هذا القياس ممثلة على الشكلين أ وب.

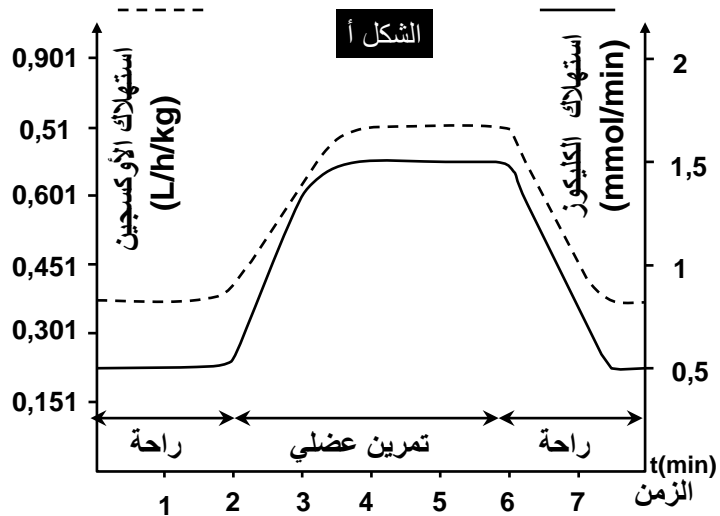
الشكل أ: قياس كمية الكليوكوز المستعملة من طرف عضلات الطرفين السفليين عند شخص خلال مجهود عضلي متزايد الشدة. **الشكل ب:** قياس كمية الغليكوجين بعضلات الطرفين السفليين عند شخص خلال مجهود عضلي متزايد الشدة. حل الرسوم البيانية، واستنتج متطلبات العمل العضلي.



الوثيقة 8: تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة قبل وبعد التقلص العضلي.

يعطي الشكل أ من الوثيقة تطور استهلاك ثنائي الأوكسجين والكليكوز. والشكل ب، تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، خلال الراحة وخلال المجهود العضلي. حلل واستنتج.

خلال ساعة بالنسبة ل 1kg من العضلة		الشكل ب
في حالة نشاط	في حالة راحة	
56.325	12.220	حجم الدم الذي يعبر العضلة ب (l)
5.207	0.307	حجم O_2 المستهلك ب (l)
5.950	0.220	حجم CO_2 المطروح ب (l)
8.432	2.042	كمية الكليكوز المستهلكة ب (g)
0	0	البروتينات المستهلكة ب (g)
0	0	الدهون المستهلكة ب (g)



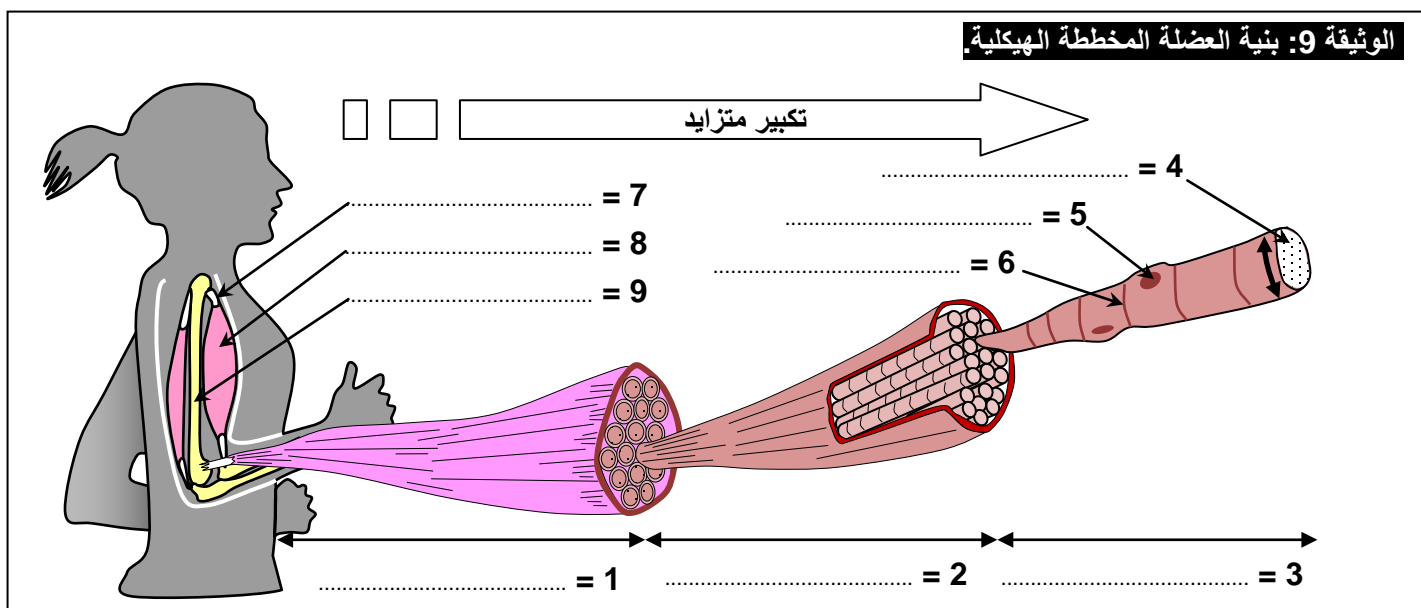
ج - تحليل واستنتاج:

نلاحظ خلال المجهود العضلي، ارتفاع استهلاك الكليكوز، ويلاحظ في نفس الوقت، انخفاض مدخرات العضلة من الغليكوجين. نلاحظ كذلك عند المجهود العضلي، ارتفاع استهلاك الأوكسجين، مع طرح المزيد من ثاني أكسيد الكربون. انطلاقاً من هذه المعطيات، نستنتج أن الطاقة اللازمة للنشاط العضلي، تأتي من تفاعل أكسدة الكليكوز، الناتج عن حلمأة الغليكوجين.

III - بنية وفوق بنية النسيج العضلي.

① بنية العضلة الهيكلية المخططة:

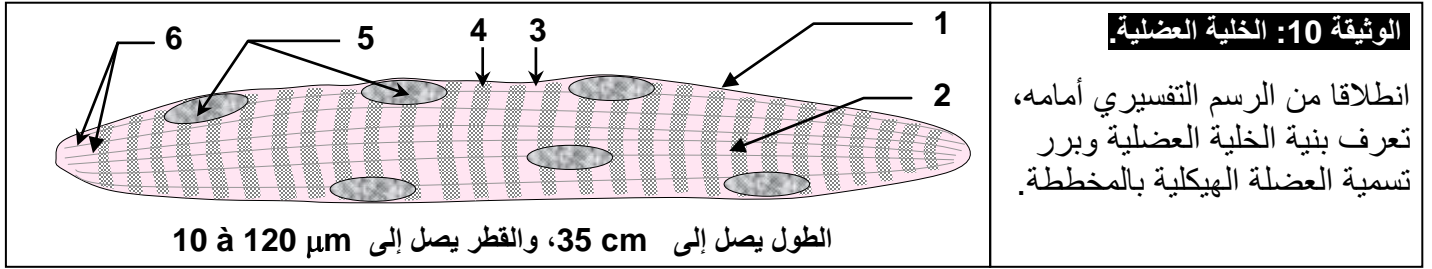
أ - ملاحظات بالعين المجردة: أنظر الوثيقة 9.



تكون العضلات مثبتة على العظام، وتظهر جزأين: جزء أحمر مرن، يسمى بطن العضلة، وهو أحمر بوجود بروتين خاص يسمى الخضاب العضلي (Myoglobin)، وجزء أبيض لؤلئي (nacré)، يوجد في نهايتي العضلة، ويسمى وتر عضلي (Tendon).

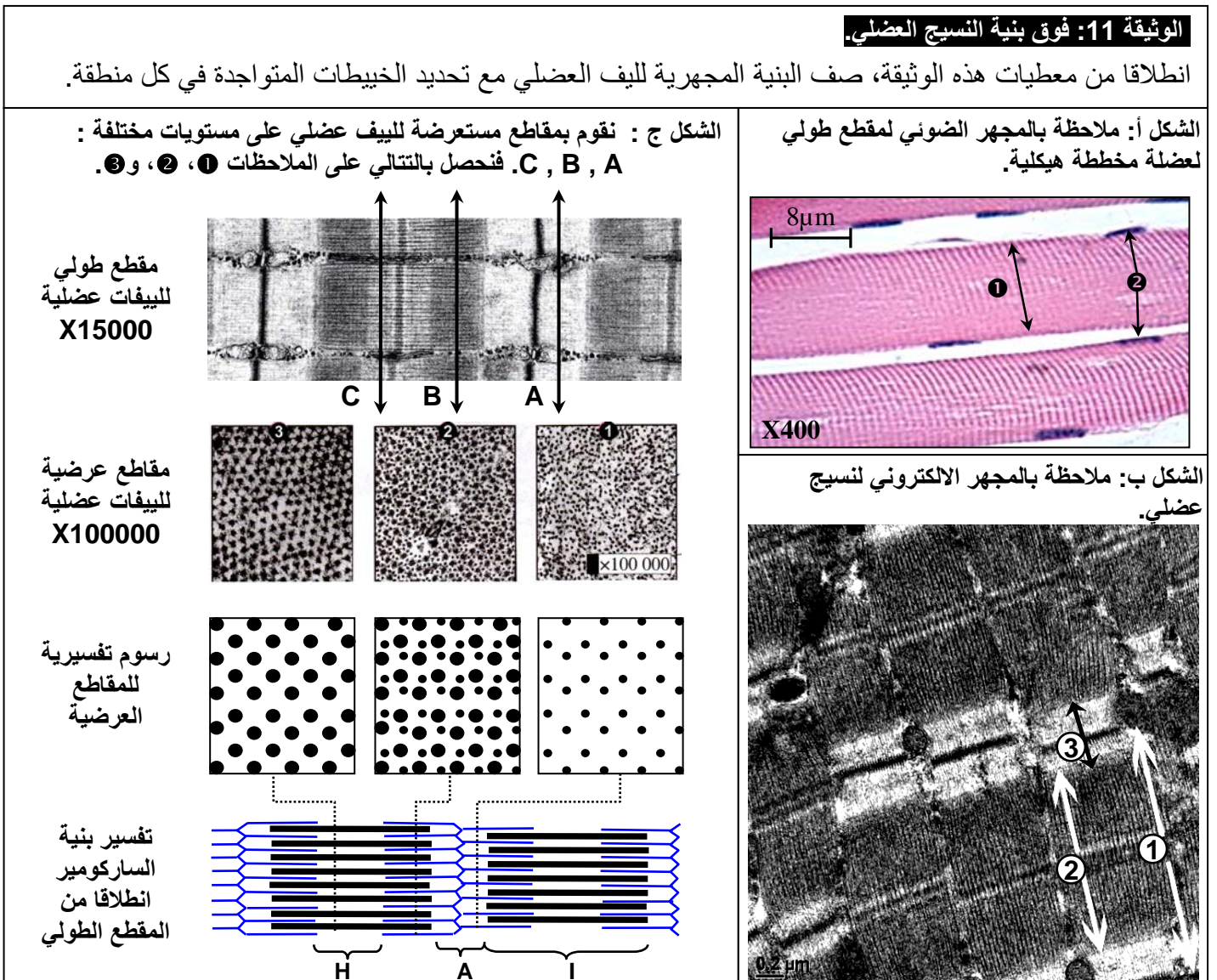
تبين ملاحظة المقطع العرضي للعضلة أنها تتكون من كتل مفصولة عن بعضها بواسطة نسيج ضام، هي الحزم العضلية (Faisceau musculaire).
يتبين من تأرييب العضلة (Délacération) أنها ذات بنية ليفية.

ب - ملاحظات مجهرية: أنظر الشكل أ، وثيقة 11 والوثيقة 10.

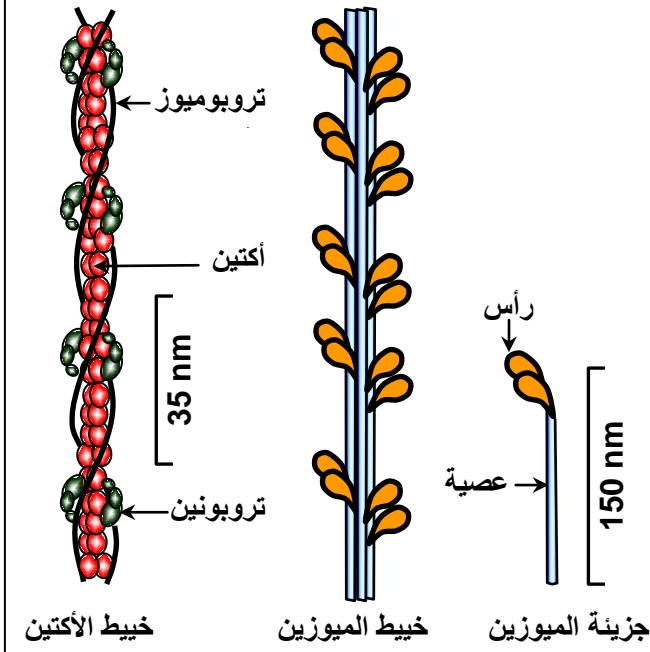


تتكون العضلة الهيكلية المخططة من عدد كبير من الألياف، كل ليف هو عبارة عن خلية مستطيلة مخططة، وتحتوي على عدة مئات من النوى مرتبة على المحيط، نتكلم عن مختلط خلوي.
كل ليف عضلي يكون محاطاً بغشاء سيتوبلازمي (ساركوليم)، ويحتوي على سيتوبلازم (ساركوبلازم).
تظهر الخلية العضلية (الليف العضلي) مخططة طولياً، لوجود لبيفات عضلية داخل الساركوبلازم. وتظهر هذه الخلية مخططة عرضياً، لكون اللبيفات العضلية تتكون من تناوب أشرطة قاتمة وأشرطة فاتحة.

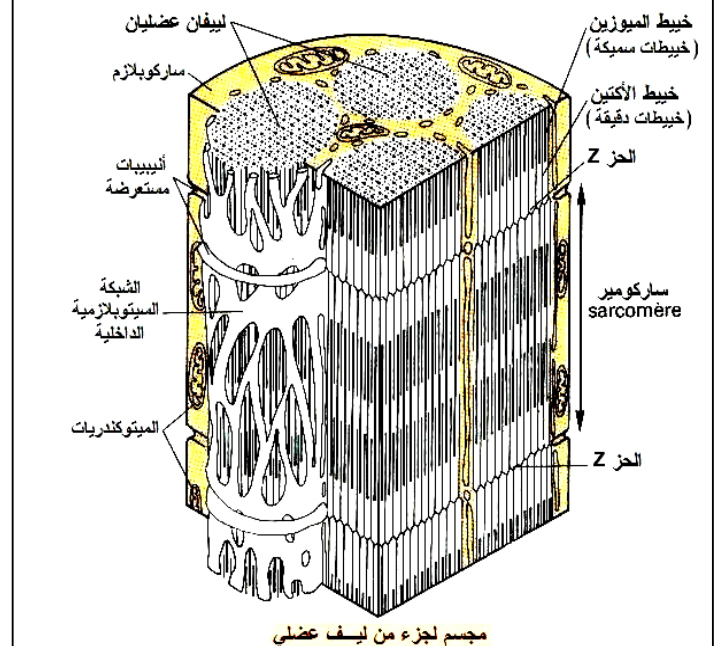
② فوق بنية الليف العضلي: أنظر الوثيقة 11 والوثيقة 12.
أ - الملاحظات بالمجهر الإلكتروني:



الوثيقة 13: البنية الجزيئية للخيوط العضلية



الوثيقة 12: مجسم لجزء من ليف عضلي.



تبين هذه الملاحظة أن اللييفات العضلية تتكون من تناوب نوعين من الأشرطة:

- أشرطة فاتحة (Isotropique=I) تتكون من خييطات دقيقة من بروتين يسمى الأكتين (Actine)، ويتوسطها الحز Z. (Strie Z) (de l'allemand *zwischen*, signifiant "entre")
- أشرطة قاتمة (Anisotropique=A)، تتكون من خييطات الأكتين، وخييطات سميكة من بروتين يسمى الميوزين (Myosine)، وتتوسطها المنطقة (de l'allemand *heller, plus pâle* H) التي تحتوي على خييطات الميوزين فقط.

يتكون كل ليف عضلي من وحدات متتالية تسمى الساركوميرات (Sarcomère)، توجد بين حزي Z. ويعتبر الساركومير الوحدة البنوية للليف العضلي. يحتوي الساركوبلازم على عدد كبير من الميتوكوندريات، وكمية هامة من الغليكوجين، كما يحتوي على شبكة ساركوبلازمية وافرة، تحتوي على كمية كبيرة من الكالسيوم.

ب - البنية الجزيئية للخيوط العضلية: أنظر الوثيقة 13.

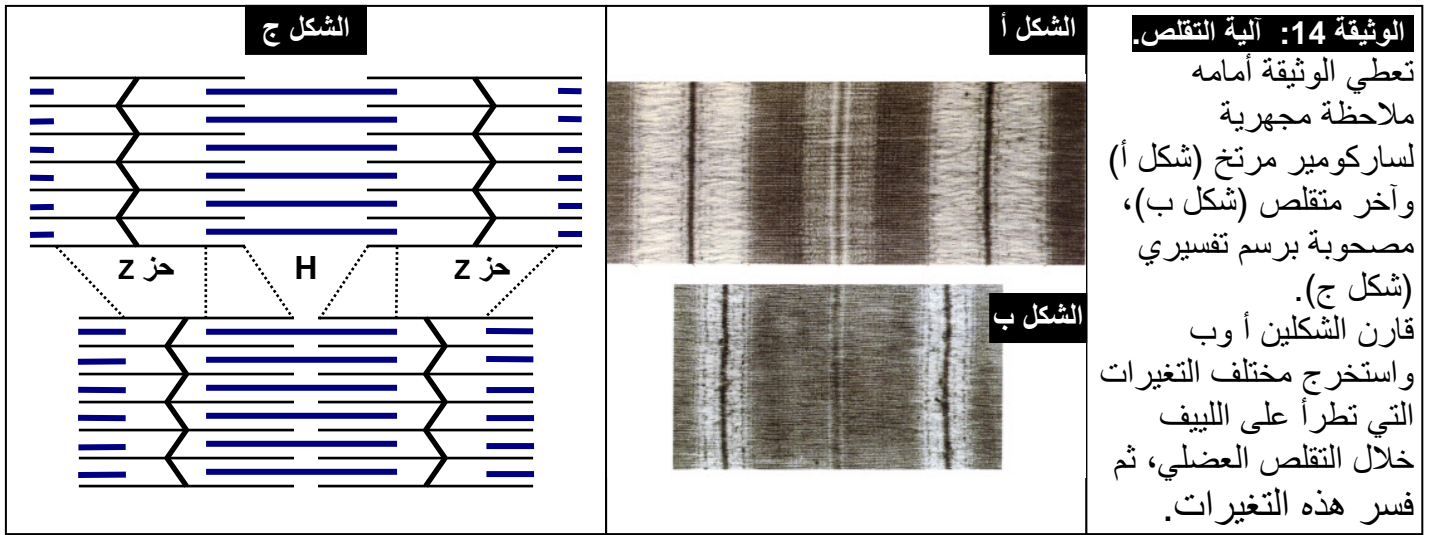
يتكون كل خييط دقيق، أو خييط الأكتين من بروتين يدعى الأكتين، وهو الطاعي، بالإضافة إلى بروتينين آخرين هما التروبونين والتروبوميوزين. يتكون الخييط السميك أو خييط الميوزين، من حزمة من جزيئات بروتين الميوزين، وكل جزيئة ميوزين تتكون من رأسين كرويين وعصية.

IV - آلية التقلص العضلي.

① ماذا يحدث أثناء التقلص العضلي؟

أ - ملاحظات مجهرية:

☒ تم تجميد عضلة في حالة راحة، وعضلة متقلصة. بعد ذلك تم انجاز مقاطع على مستوى العضلتين، لتتم ملاحظتهما بالمجهر الالكتروني. تمثل الوثيقة 14، نتيجة هذه الملاحظة.



☑ نلاحظ أن تقلص العضلة يصاحبه :

- تقصير على مستوى الساركوميرات (تقارب حزبي Z).
- ينقص طول الشريط الفاتح I، والمنطقة H.
- يبقى طول الشريط القاتم A ثابت.

ب - تفسير واستنتاج:

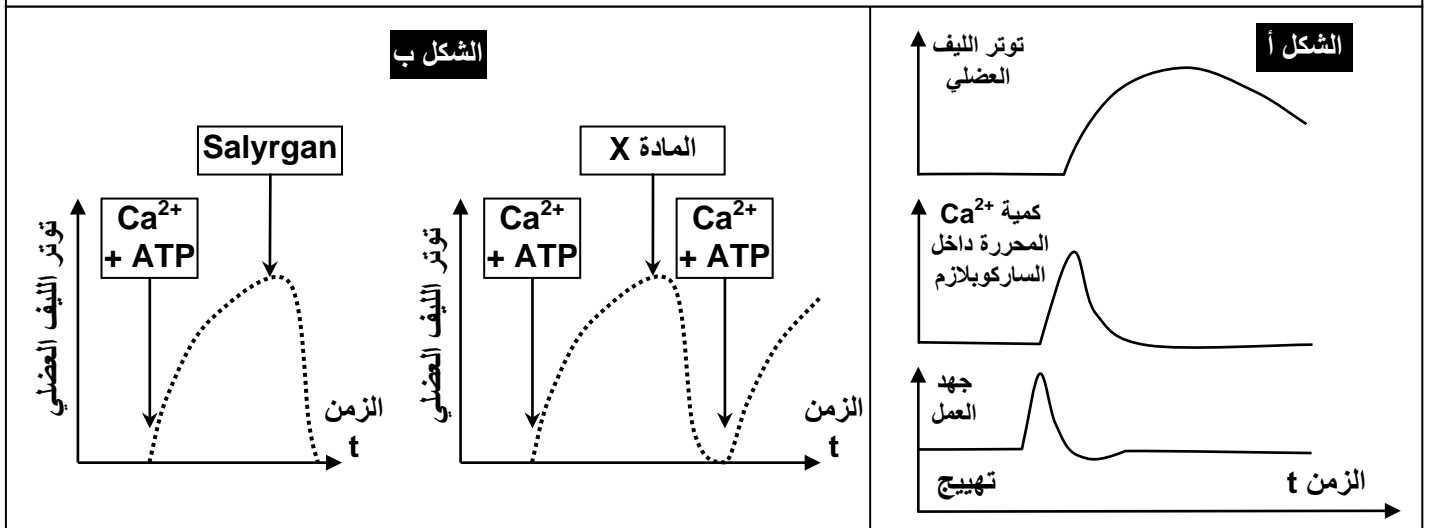
بما أن طول الأشرطة الفاتمة يبقى ثابت، نستنتج أن التقصير الملاحظ في الساركومير ليس ناتجا عن تقصير في الخييطات العضلية، بل عن انزلاق هذه الخييطات بعضها بالنسبة لبعض، في اتجاه مركز الساركومير (انزلاق الأكتين على الميوزين)، فينتج عن ذلك اقتراب حزبي Z واختزال المنطقة H. نتكلم عن آلية انزلاق الخييطات. Glissement des filaments.

② آلية انزلاق الخييطات ؟

أ - معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: دور الكالسيوم و ATP في حدوث التقلص العضلي.

يعطي مبيان الشكل 1، نتائج قياس كل من كمية Ca^{2+} داخل ساركوبلازم الخلية العضلية وتوترها بعد تهييجها. يعطي مبيان الشكل 2، نتائج تأثير وجود أو عدم وجود ATP و Ca^{2+} ، على توتر الليف العضلي. (المادة X هي مادة كيميائية ترتبط بالكالسيوم وتمنع فعله. المادة Salyrgan، هي مادة كابحة لحمأة ATP).
 حلل هذه المنحنيات، واستنتج دور ATP و ايونات الكالسيوم في حدوث التقلص العضلي.

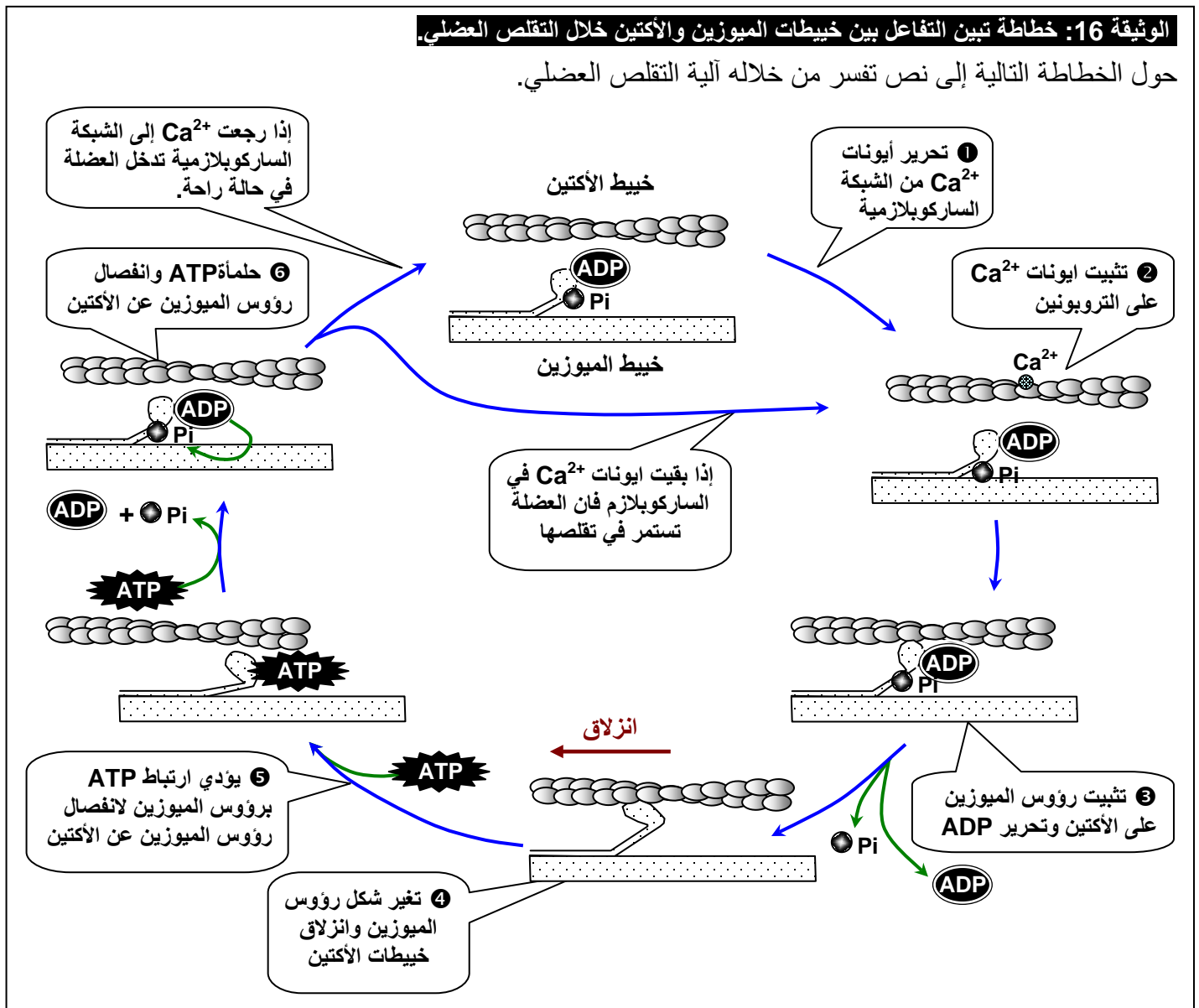


لقد بينت دراسات أخرى أن هناك تالف بين رؤوس الميوزين والأكتين، وبوجود أيونات الكالسيوم، ترتبط رؤوس الميوزين بالأكتين فيتشكل مركب الأكتوميوزين الذي يكون بنيات خاصة تسمى القناطر المستعرضة (Ponts transversals). بالاعتماد على هذه المعطيات والمعطيات السابقة، بين العلاقة بين أيونات الكالسيوم ونشوء القناطر المستعرضة.

ب - تحليل واستنتاج:

- الشكل أ: بعد تهيج العضلة مباشرة، نلاحظ ارتفاع تركيز الكالسيوم داخل سيتوبلازم الخلية العضلية، متبوعا بارتفاع توتر الليف العضلي.
 - الشكل ب: نلاحظ أن الليفيات العضلية تتقلص بسرعة عند وجود ATP، وإيونات الكالسيوم. وعندما يمنع حلمأة ATP بفعل Salyrgan، يختفي توتر الليف. أما عندما يمنع فعل Ca^{++} ، يختفي توتر الليف، رغم وجود ATP.
- نستنتج من هذه المعطيات أن توتر الليف العضلي يستلزم وجود ATP و Ca^{++} . هذا الأخير يعمل على تحرير مواقع الارتباط بين الميوزين والأكتين، لتتكون قناطر مستعرضة.

ج - خلاصة: آلية التقلص العضلي. أنظر الوثيقة 16



يتطلب التقلص العضلي وجود ATP، وايونات الكالسيوم، ويتم كما يلي:

- عند تنبيه الليف العضلي، تحرر الشبكة الساركوبلازمية ايونات الكالسيوم.
- بحضور Ca^{++} ، يتم تحرير مواقع ارتباط رؤوس الميوزين على الأكتين، والتي كانت محجوبة ببروتينات التروبوميوزين، فتتكون بذلك قناطر الأكتوميوزين.
- تلعب مركبات الأكتوميوزين دور أنزيم محفز لحلمة ATP، وتحرير طاقة تؤدي إلى دوران رؤوس الميوزين في اتجاه مركز الساركومير، وهذا ما يؤدي إلى تقلصه.
- عند انتهاء التنبيه، يضخ Ca^{++} داخل الشبكة الساركوبلازمية، فترتبط جزيئة أخرى ل ATP برؤوس الميوزين، مما يؤدي إلى انفصال الأكتين عن الميوزين، وحدوث الارتخاء.

V – كيف يتم تجديد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي ؟

أ – معطيات تجريبية:

تعطي الوثيقة 2، تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، قبل وبعد التقلص. قارن معطيات جدول الوثيقة، واقترح تفسيراً لقيم ATP، قبل التقلص وبعده.

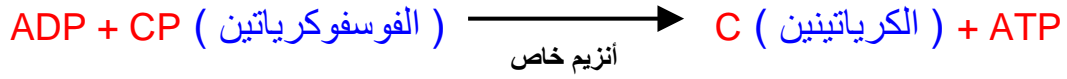
الوثيقة 17: تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة قبل وبعد التقلص. تعطي الوثيقة تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، قبل وبعد التقلص. قارن معطيات جدول الوثيقة، واقترح تفسيراً للتغيرات الملاحظة قبل التقلص وبعده.					
التجارب	الملاحظات	المواد المعيارية	نتائج المعايير		الاستنتاجات
			قبل التقلص	بعد التقلص	
①	تقلص العضلة لمدة 3 دقائق	غليكوجين	1.62	1.21	
		حمض لبني	1.5	1.95	
		ATP	2	2	
		فوسفوكرياتين	1.5	1.5	
②	تقلص العضلة في نفس ظروف التجربة السابقة	غليكوجين	1.62	1.62	اهاجة العضلة بوجود الحمض الأيودي الأسيتيك (مادة توقف انحلال الكليكوز)
		حمض لبني	1.5	1.5	
		ATP	2	2	
		فوسفوكرياتين	1.5	0.4	
③	العضلة تتقلص بصفة عادية ثم تتوقف	غليكوجين	1.62	1.62	اهاجة العضلة بوجود الحمض الأيودي الأسيتيك ومادة مانعة للفوسفوكرياتين كيناز (أنزيم ضروري لانحلال الفوسفوكرياتين)
		حمض لبني	1.5	1.5	
		ATP	2	0	
		فوسفوكرياتين	1.5	1.5	

ب – تحليل واستنتاج:

① : نلاحظ خلال التجربة الأولى أن نسبة الغليكوجين تنخفض، ونسبة الحمض اللبني ترتفع، بينما نسبة ATP، والفوسفوكرياتين، تبقى ثابتة.

يدل ثبات نسبة ATP في هذه التجربة، رغم استهلاكه خلال التقلص العضلي، على أنه يتجدد باستمرار. ويتم هذا التجديد بواسطة التخمر اللبني، حيث تمت حلمة الكليكوجين إلى كليكوز، يخضع هذا الأخير للتخمر ليعطي حمض لبني + ATP.

② : خلال التجربة الثانية، انخفاض نسبة الفوسفوكرياتين فقط. تدل هذه النتائج على أن تجديد ATP في هذه الحالة يتم بواسطة الفوسفوكرياتين، وهي مادة غنية بالفوسفات، تجدد ATP، حسب التفاعل التالي:



③ : خلال التجربة الثالثة، توقفت العضلة عن التقلص بعد استنفاد مخزونها من ATP ، يدل هذا على عدم تجديد ATP.

ج - طرق تجديد ATP:

حسب سرعة تدخلها يمكن تصنيف الطرق المجددة ل ATP، إلى ثلاثة أنواع:

a - الطرق اللاهوائية السريعة:

في أقل من 30 ثانية ينطلق تفاعل لتجديد ATP:

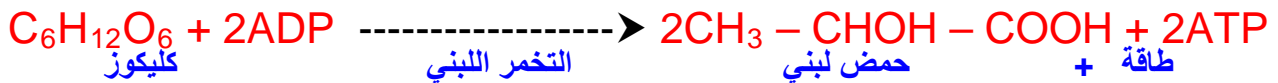
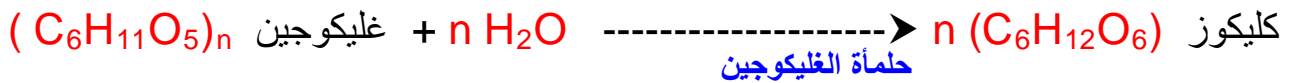
- بواسطة التفاعل بين ADP، تحت تأثير الأنزيم الميوكيناز MK (myokinase)



- بواسطة الفوسفوكرياتين : $\text{ADP} + \text{CP} \xrightarrow{\text{MK}} \text{ATP} + \text{C}$ يكون هذا التفاعل مصحوبا بتحرير حرارة، هي الحرارة الأولية.

b - الطرق اللاهوائية المتوسطة السرعة:

تتمثل في التخمر اللبني، حيث تتم حلمأة الغليكوجين العضلي إلى كليكوز، يخضع للانحلال في الجبلة الشفافة إلى حمض البيروفيك، الذي يتحول إلى حمض لبني.



c - الطرق الهوائية البطيئة:

تتمثل في التنفس الخلوي، حيث تتم حلمأة الكليكوجين العضلي إلى كليكوز، يتم هدمه بشكل تام بوجود الأوكسجين، ليتحول إلى CO_2 وماء، مع تحرير كمية كبيرة من الطاقة (ATP)، مع تحرير طاقة على شكل حرارة، هي الحرارة المؤخرة.

طبيعة الخبر الوراثي والية تعبيره – الهندسة الوراثية

مدخل عام :

رغم تنوع الكائنات الحية، ورغم الفروق البيفردية والسلالية داخل كل جنس، يلاحظ دائما أن هناك وحدة على مستوى الآلية الوظيفية عند كل الأجسام الحية، كما أن مختلف البروتينات المكونة لمختلف البنيات، تتكون من تسلسل الأحماض الأمينية، وتختلف هذه البروتينات فيما بينها بعدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية، وأن الصفات الشكلية والفيزيولوجية والسلوكية، تنتقل عبر السلالات المتعاقبة، الشيء الذي يبين أن هناك خبر وراثي ينتقل من جيل إلى آخر. وقد سخر الإنسان علم الوراثة، فيما يعرف بالهندسة الوراثية، لتعديل الصفات عند بعض الكائنات الحية.

- أين يتموضع الخبر الوراثي ؟
- كيف يتم نقل الخبر الوراثي من جيل لآخر؟
- ما هي الطبيعة الكيميائية للخبر الوراثي؟
- ما العلاقة بين الصفات الوراثية والخبر الوراثي؟
- ما علاقة نوع وترتيب الأحماض الأمينية للبروتينات بطبيعة الخبر الوراثي؟
- ما مبادئ الهندسة الوراثية وتقنياتها ؟ وما مجالات تطبيقها ؟

الفصل الأول:

طبيعة الخبر الوراثي

تمهيد:

يُنْتَج التوأمان الحقيقيان عن بيضة واحدة، بعد التقاء مشيج ذكري ومشيج أنثوي. تنقسم هذه البيضة إلى خليتين، تتطور كل منهما، لتعطيان في الأخير جنينين متشابهين، يشتركان في جل الصفات. هذا التشابه بين التوأمان يدل على أنهما تلقيا نفس الخبر من الخلية الأصلية (البيضة). وبالتالي فالصفات الوراثية، يحكمها برنامج وراثي دقيق، يتموضع على مستوى الخلايا، و ينتقل من خلية إلى أخرى أثناء تكاثرها.

- أين يتموضع الخبر الوراثي على مستوى الخلية؟
- كيف ينتقل هذا الخبر عبر خلايا الكائن الحي؟
- ما هي الطبيعة الكيميائية للخبر الوراثي؟

I – أين يتواجد الخبر الوراثي؟

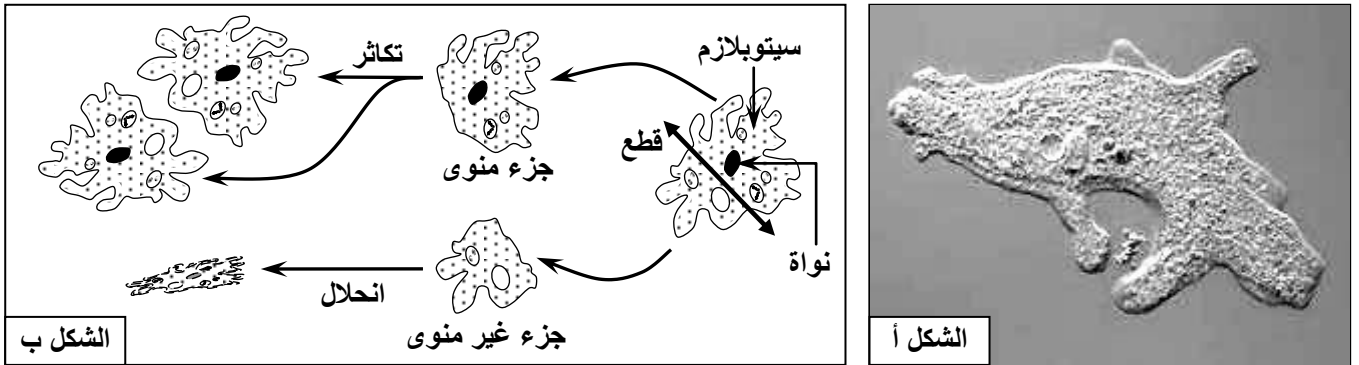
① الكشف عن تموضع الخبر الوراثي داخل الخلية

أ – تجربة القطع عند الأميبة Amibe : أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تجربة القطع عند الأميبة Amibe

الأميب (الشكل أ) كائن حي وحيد الخلية، وهي عبارة عن كتلة بروتوبلازمية مجهرية يتراوح قطرها بين 127 و 340µm، غير منتظمة الشكل تحتوي على نواة حقيقية واحدة، وتتحرك حركة انزلاقية بطيئة باستخدام الأرجل الكاذبة (Pseudopodes).

يبين الشكل ب من الوثيقة رسوما تخطيطية لمراحل تجربة القطع عند هذه الأميب.



ماذا تستخلص من تحليل نتائج هذه التجربة؟

نلاحظ أن الجزء الذي يحتوي على النواة يستمر في الحياة، ويتكاثر. نستنتج أن النواة ضرورية لحياة الخلية وتكاثرها.

ب – تجارب القطع والتطعيم عند الأستيبولاريا Acetabularia : أنظر الوثيقة 2.

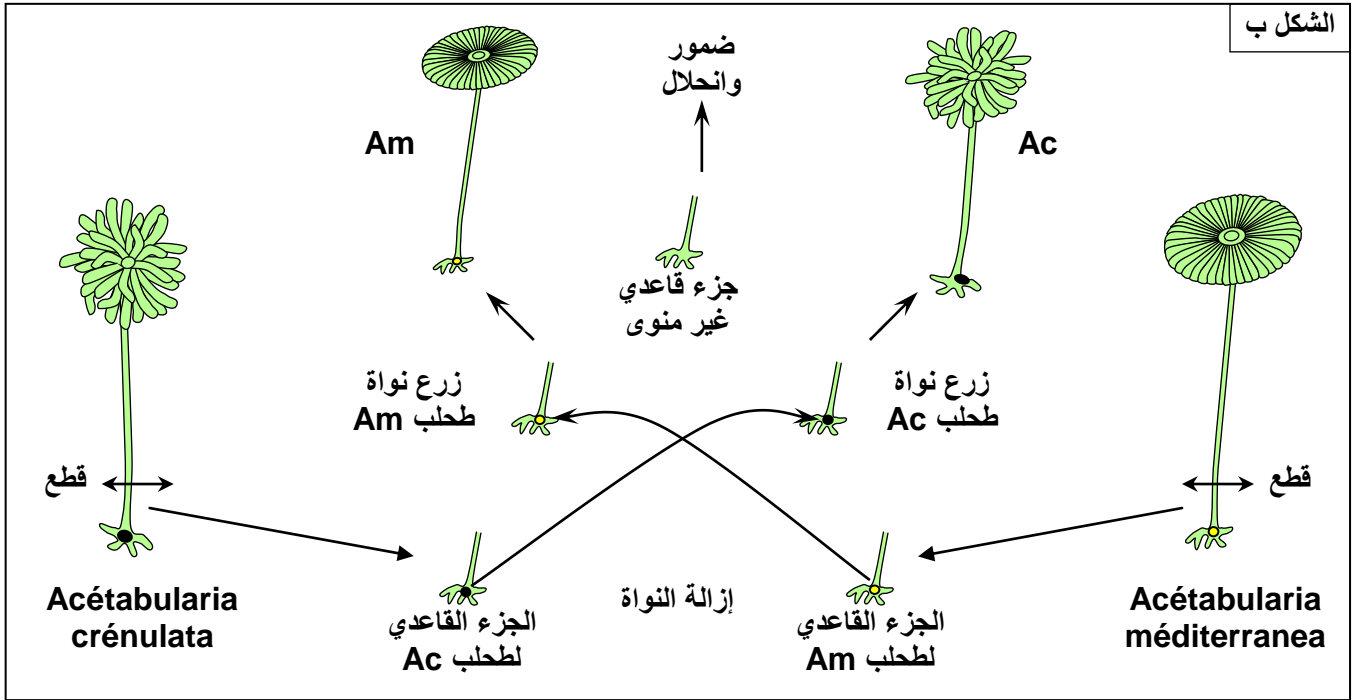
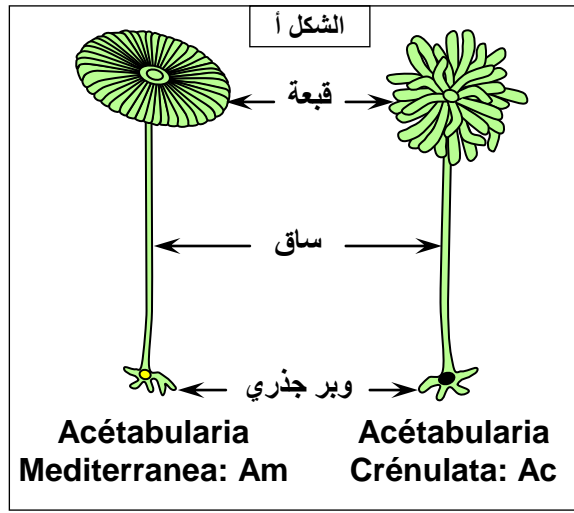
الوثيقة 2: تجارب القطع والتطعيم عند الأستيبولاريا

تعد الأستيبولاريا Acetabularia من بين الطحالب الخضراء البحرية الوحيدة الخلية. ويمثل الشكل أ رسوما تخطيطية لنوعين من هذا الطحلب.

قام Hamerling ومساعدوه بتجربة القطع والتطعيم على النوعين المذكورين أعلاه من طحلب الأستيبولاريا. يبين الشكل ب من الوثيقة ظروف ونتائج هذه التجربة.

(1) حدد الهدف من هذه التجربة.

(2) ضع فرضية تفسر بواسطتها تشكل القبعة.



(1) الهدف من هذه التجربة هو تحديد دور النواة في حياة الخلية.

(2) نلاحظ أن الوبر الجذري الذي يحتوي على النواة، وحده يستمر في العيش ويجدد خلية كاملة (طحلب)، بنفس صفات الخلية الأصل للنواة، أي أن شكل القبة مرتبط بنوع النواة. انطلاقاً من هذا يمكن افتراض أن النواة هي المسؤولة عن تشكل القبة، إذن هي الحاملة للخبر الوراثي.

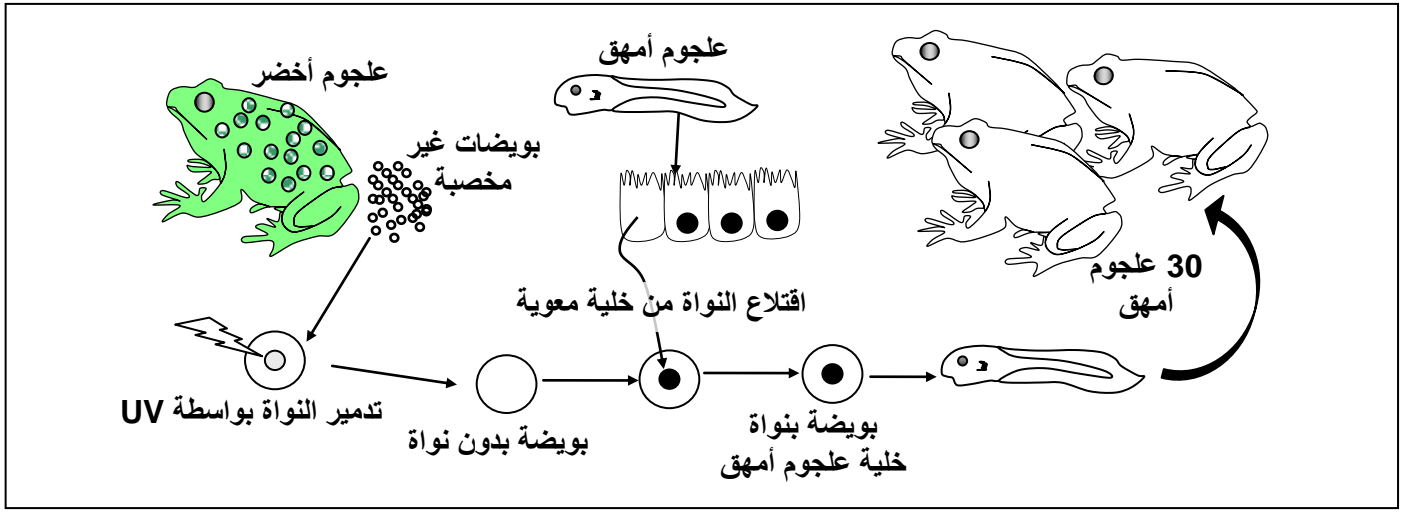
ج - تجربة الاستنساخ عند العلجوم (Crapaud) Xénopes : أنظر الوثيقة 3.



الوثيقة 3: تجربة الاستنساخ عند العلجوم (Crapaud) Xénope

قصد تحديد تموضع الخبر الوراثي داخل الخلية، قام العالم Gurdon سنة 1960 بتجربة على سلالتين من العلجوم: علجوم عادي (متوحش) وعلجوم أمهق (أنظر الصورة جانبه). لقد قام هذا العالم بأخذ نواة خلية معوية لشرغوف أمهق، وزرعها داخل بويضة علجوم عادي، بعد أن قام بتعريض هذه البويضة للأشعة فوق البنفسجية UV بهدف تدمير نواتها الأصلية. تمثل الرسوم التخطيطية أسفله مراحل التجربة والنتائج المحصل عليها.

انطلاقاً من معطيات هذه التجربة، بين كيف مكنت تجربة Gurdon من تأكيد المعطيات الواردة في تجارب التقطيع الخلوي عند الأستيبولاريا بخصوص تموضع الخبر الوراثي.



لقد أدى زرع نواة شرغوف أمهق داخل بويضة بدون نواة لعلاجوم عادي، إلى إعطاء علاجم مهقاء. يتبين من هذا أن العلاجم الناتجة عن الاستنساخ، لها صفات العلاجوم الذي أخذت منه النواة، وبالتالي فالصفة أمهق انتقلت من نواة العلاجوم الأمهق وليس سيتوبلازم العلاجوم العادي. هذه المعطيات تؤكد استنتاجات تجارب التقطيع الخلوي عند الأسيتابولاريا، حيث أن النواة هي موضع الخبر الوراثي.

② خلاصة:

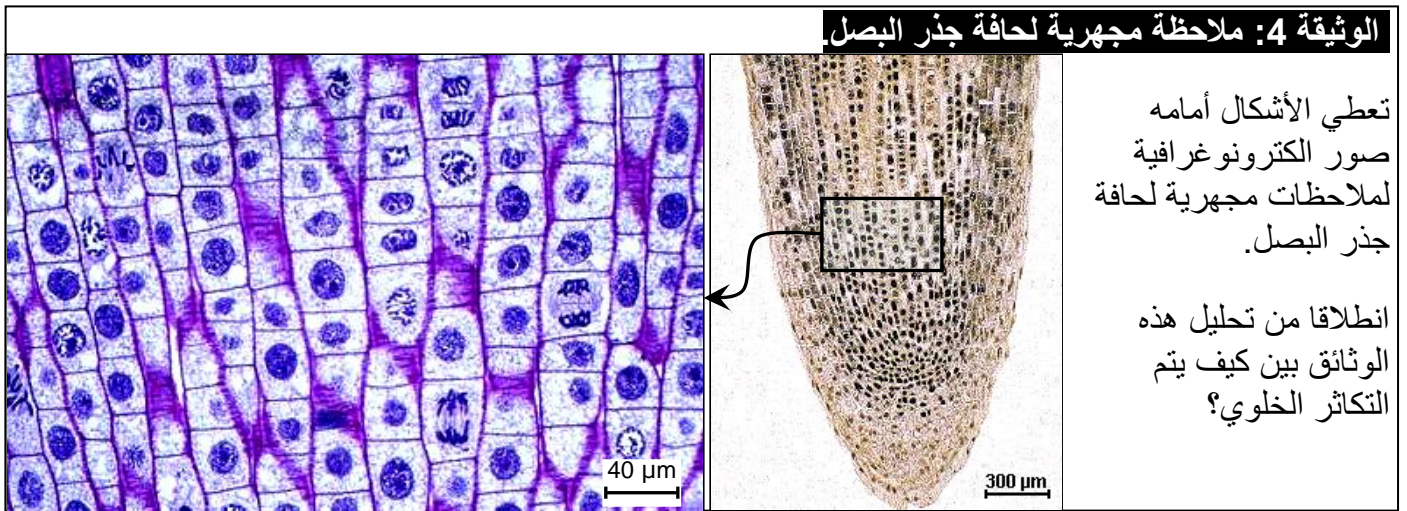
يتبين من كل التجارب السابقة أن النواة ضرورية لحياة الخلية ولتوالدها، وأن هذه النواة هي التي تتحكم في التكوين الشكلي للخلية. إذن المادة الناقلة للصفات الوراثية توجد في النواة. أي أن الخبر الوراثي يتواجد على مستوى النواة.

II - انتقال الخبر الوراثي عبر الانقسام الخلوي.

① الانقسام غير المباشر عند خلية نباتية.

يتم نمو المتعضيات وتجديد خلاياها بالتكاثر الخلوي، الذي يتم عبر الانقسام الخلوي، حيث تنقسم الخلايا الأم، لتعطي خلايا بنت مشابهة لها. ويسمى هذا الانقسام بالانقسام غير المباشر (Mitose). يحافظ هذا الشكل من التوالد على الهوية البيولوجية للخلية. فكيف تتدخل هذه الآلية في انتقال الخبر الوراثي؟

أ - ملاحظة خلايا نباتية في طور الانقسام غير المباشر. أنظر الوثيقة 4.

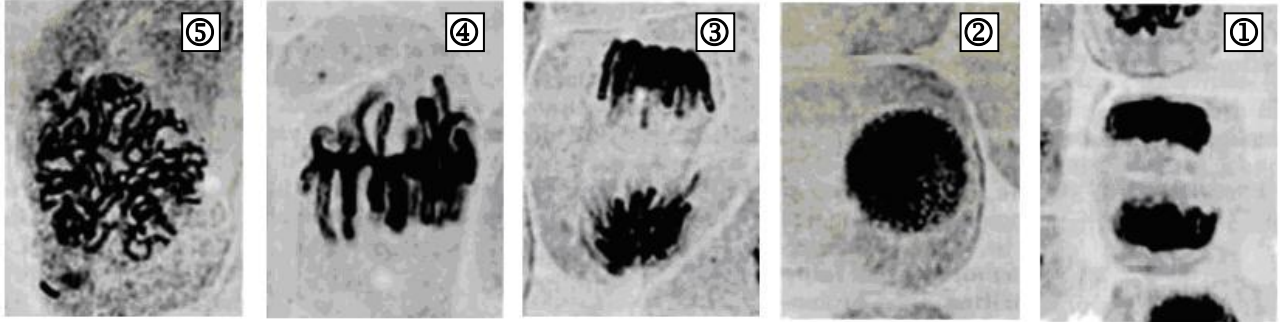


تبين هذه الملاحظة أن الجدر يتكون من خلايا صغيرة ذات نوى مختلفة المظهر: بعضها كبير الحجم، وكروي الشكل، محاطة بغشاء نووي، وتضم شبكة كثيفة من الخيوط النووية تسمى الصبغين كما تحتوي على نويات، تعتبر هذه الخلايا في طور السكون، بعض الخلايا تلاشت بها النواة وعوضت ببنيات على شكل خيوطات تسمى الصبغيات Chromosomes، وتعتبر في حالة انقسام غير مباشر.

الوثيقة 5: مراحل الانقسام غير المباشر.

- ★ يعطي الشكل أ من الوثيقة 5 صوراً الكترونوغرافية لبعض الخلايا في طور الانقسام. (1) أعط عنواناً مناسباً لكل صورة من الصور 1، 2، 3، 4، و5 بعد ترتيبها زمنياً والتعليق عليها.
- ★ يعطي الشكل ب من الوثيقة 5 رسوماً تخطيطية لملاحظات مجهرية لخلايا نباتية وحيوانية في طور الانقسام. (2) أعط الأسماء المناسبة لعناصر كل رسم ثم حدد اسم كل طور وعدد الصبغيات. ماذا تستنتج من ذلك؟ (3) صف أهم مميزات كل مرحلة من مراحل الانقسام غير المباشر؟

الشكل أ: صور الكترونوغرافية لبعض الخلايا في طور الانقسام.



الشكل ب: رسومات تخطيطية لملاحظات مجهرية لخلايا نباتية وحيوانية في طور الانقسام

خلية حيوانية		خلية نباتية		
عدد الصبغيات: 4	<p>1 = جدار هيكلي</p> <p>2 = غشاء سيتوبلازمي</p> <p>3 = سيتوبلازم</p> <p>4 = نوية</p> <p>5 = غشاء نووي</p> <p>6 = صبغيات</p>	<p>1 = كمة قطبية</p> <p>2 = جدار هيكلي</p> <p>3 = سيتوبلازم</p> <p>4 = صبغيات</p> <p>5 = ألياف قطبية</p> <p>6 = ألياف صبغية</p> <p>7 = نجيمة</p>	عدد الصبغيات: 6	المرحلة التمهيديّة
عدد الصبغيات: 4	<p>1 = كمة قطبية</p> <p>2 = جدار هيكلي</p> <p>3 = سيتوبلازم</p> <p>4 = صبغيات</p> <p>5 = ألياف قطبية</p> <p>6 = ألياف صبغية</p> <p>7 = نجيمة</p>	<p>1 = كمة قطبية</p> <p>2 = صبغيات</p> <p>3 = اختناق استوائي</p> <p>4 = نجيمة</p>	عدد الصبغيات: 6	المرحلة الاستوائية
عدد الصبغيات: 4+4	<p>1 = خليتان بنتان</p> <p>2 = فاصل غشائي</p> <p>3 = نواة بنت</p>	<p>1 = كمة قطبية</p> <p>2 = صبغيات</p> <p>3 = اختناق استوائي</p> <p>4 = نجيمة</p>	عدد الصبغيات: 6+6	المرحلة الانفصالية
عدد الصبغيات: 4	<p>1 = خليتان بنتان</p> <p>2 = فاصل غشائي</p> <p>3 = نواة بنت</p>	<p>1 = كمة قطبية</p> <p>2 = صبغيات</p> <p>3 = اختناق استوائي</p> <p>4 = نجيمة</p>	عدد الصبغيات: 6	المرحلة النهائية

1) الترتيب الزمني للصور مع التعليق:

★ الترتيب الزمني للصور هو: ② ← ⑤ ← ④ ← ③ ← ①.

★ التعليق على الصور:

- ✓ الصورة ②: قبل الدخول في الانقسام غير المباشر، تضم النواة شبكة كثيفة من الخيوط النووية هي الصبغين. نقول أن الخلية في مرحلة السكون Interphase.
- ✓ الصورة ⑤: يختفي الصبغين الذي يتجمع على شكل خيوطات تسمى الصبغيات Chromosomes. نقول أن الخلية في المرحلة التمهيديّة Prophase.
- ✓ الصورة ④: تموضع الصبغيات وسط الخلية مشكلة صفيحة استوائية. نقول أن الخلية في المرحلة الاستوائية Métaphase.
- ✓ الصورة ③: انفصال الصبغيات إلى مجموعتين، تهاجر كل مجموعة في اتجاه أحد قطبي الخلية. نقول أن الخلية في المرحلة الانفصالية Anaphase.
- ✓ الصورة ①: اختفاء الصبغيات ليحل محلها الصبغين في كل قطب من قطبي الخلية، حيث تتشكل نواتين يظهر بينهما فاصل. نقول أن الخلية في المرحلة النهائية Télophase.

2) الأسماء المناسبة لعناصر الشكل ب من الوثيقة وعدد الصبغيات: أنظر الشكل ب من الوثيقة. نستنتج من هذه المعطيات أن الانقسام غير المباشر يمكننا من المرور من خلية أم بعدد $2n$ من الصبغيات لنحصل على خليتين كل واحدة ب عدد $2n$ من الصبغيات، أي نفس الخبر الوراثي للخلية الأم.

3) مميزات مراحل الانقسام غير المباشر:

a - الطور التمهيدي La prophase

تتميز هذه المرحلة في بدايتها بتكاثف الصبغين و انتظامه على شكل خيوطات تسمى الصبغيات، كل صبغي مكون من وحدتين، نسمي كل واحد منهما صبيغي Chromatide، مرتبطين على مستوى الجزيء المركزي Centromère، في نهاية هذه المرحلة يتلاشى الغشاء النووي و النويات، وتظهر منطقة فاتحة في قطبي الخلية، هي عبارة عن كمات قطبية Calottes polaires، يظهر بينهما مغزل لالوني Fuseau achromatique.

b - الطور الاستوائي La métaphase

خلال هذه المرحلة تصبح الصبغيات أكثر وضوحا، و تتموضع على المستوى الاستوائي للخلية مكونة الصفيحة الاستوائية La plaque équatoriale، و يكتمل تشكل مغزل الانقسام.

c - الطور الانفصالي L'anaphase

تتميز هذه المرحلة بانسطار الجزيء المركزي، ليعطي جزيئين مركزيين، يتصل كل منهما بصبيغي، ليتضاعف عدد الصبغيات. تتكون مجموعتين متساويتين من حيث عدد الصبغيات، فنتم هجرة كل مجموعة نحو أحد قطبي الخلية نتيجة تقصير الألياف الصبغية إنها الهجرة القطبية.

d - الطور النهائي La télophase

تتجمع الصبغيات و تتشابك و تفقد شكلها الانفرادي الواضح، و تتحول إلى كتلة من الصبغين، ويتكون الغشاء النووي و النويات، و يختفي مغزل الانقسام، و يتكون جدار أولي للغشاء السيليلوزي يفصل بين خليتين بنتين تتوفران على نفس عدد الصبغيات.

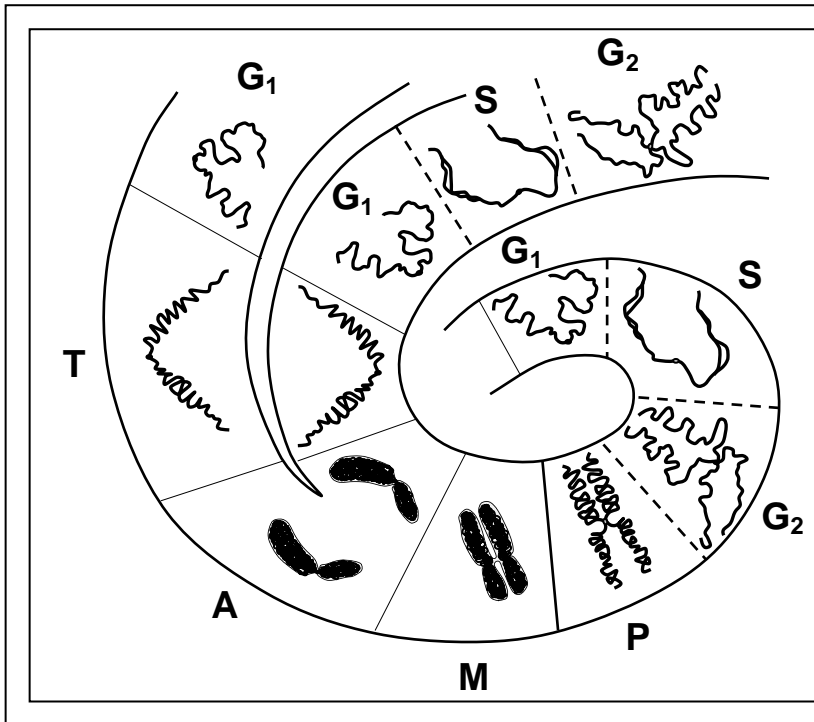
② الانقسام غير المباشر عند خلية حيوانية.

من خلال ملاحظة مراحل الانقسام غير المباشر عند خلية حيوانية، يتبين أنه يشبه انقسام الخلية النباتية في خطوطه العريضة، مع وجود اختلافين رئيسيين:

- تتوفر الخلية الحيوانية على عضي خاص يسمى الجسم المركزي Le centrosome، مكون من مريكزين 2Centrioles، يشكل كل واحد منهما نجيمة قطبية Aster، يتكون بينهما المغزل الالوني أثناء الانقسام الخلوي.

- خلال الطور النهائي، يتم انفصال الخليتين البننتين، بواسطة حلقة قلوصة تظهر على مستوى استواء الخلية، تنقبض فتفصل الخلية إلى جزأين متساويين، وتسمى هذه الظاهرة بالاختناق الاستوائي L'étranglement équatorial.

③ مفهوم الدورة الخلوية. أنظر الوثيقة 6.



الوثيقة 6: مفهوم الدورة الخلوية.

يبين الرسم التخطيطي أمامه، مظاهر الصبغيات خلال دورة خلوية.

ماذا تستخلص من تحليل هذه المعطيات؟

G_1 = مرحلة النمو الأولى
S = مرحلة التركيب
G_2 = مرحلة النمو الثانية
P = المرحلة التمهيدية
M = المرحلة الاستوائية
A = المرحلة الانفصالية
T = المرحلة النهائية

- ★ يكون كل انقسام غير مباشر مسبقا بمرحلة سكون، تتميز بالتطورات التالية:
 - ✓ في الفترة G_1 : يكون خيط الصبغين دقيقا وطويلا.
 - ✓ في الفترة S : يخضع الصبغين لعملية التضاعف.
 - ✓ في G_2 : الصبغين مضاعف. كل خيط يعتبر نسخة لقرينه المرتبط به على مستوى الجزيء المركزي.

- ★ بعد مرحلة السكون تدخل الخلية في الانقسام غير المباشر، والذي يتميز بالتطورات التالية:
 - ✓ في المرحلة التمهيدية (P): يتلوب الصبغين لتظهر الصبغيات.
 - ✓ في المرحلة الاستوائية (M): تظهر الصبغيات أقصى تلوب.
 - ✓ في المرحلة الانفصالية (A): تنفصل صبغيات كل صبغي لتعطي صبغيين متماثلين.
 - ✓ في المرحلة النهائية (T): يزال تلوب الصبغيات وتعود من جديد إلى حالة الصبغين لندخل في مرحلة السكون.

يمثل مجموع مرحلة الانقسام غير المباشر، ومرحلة السكون التي تسبقه، دورة خلوية. والتي تؤدي إلى ظهور خليتين بننتين جديتين. تأخذ كل خلية نفس الصبغيات أي نفس الخبر الوراثي كأختها، وهذا ما يفسر التشابه بين الخليتين البننتين من جهة وبين الخليتين البننتين والخلية الأم من جهة أخرى. اذن تنتقل الأخيرة الوراثية من جيل إلى آخر دون تغيير، فنتكلم عن النقل المطابق للخبر الوراثي.

III - الطبيعة الكيميائية للمادة الوراثية.

① الكشف عن الطبيعة الكيميائية للمادة الوراثية.

أ - تجربة Griffith (1928)

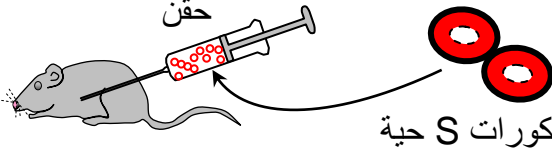


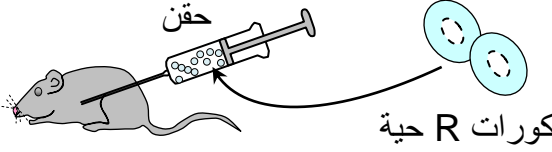

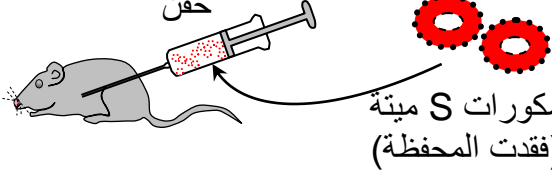

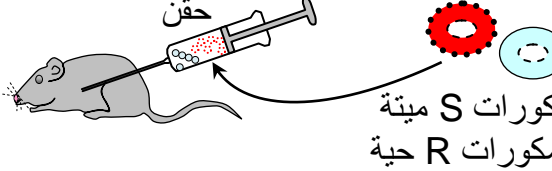


الوثيقة 7: تجربة Griffith.

في سنة 1928 قام العالم الإنجليزي Frederick Griffith بملاحظة المكورات الثنائية الرؤوية Les pneumocoques، وهي بكتريا تسبب التهاب الرئة، وتوجد على شكلين مختلفين:

- ✓ شكل يحتوي على محفظة (علبية) ويكون لمات ملساء، نرّمز لها بالحرف S (Smooth). يتميز هذا الشكل بكونه حاد (ممرض).
- ✓ شكل بدون محفظة ويكون لمات حرسة (خشنة)، نرّمز لها بالحرف R (rough). وهذا الشكل غير حاد.

الوثيقة 7: تجربة Griffith

في محاولة منه لتحويل البكتيريا S إلى بكتيريا R غير معدية، قام هذا العالم بالتجارب الملخصة على الجدول التالي:

التجربة	ظروف التجربة	النتائج	تحليل دم الفأر
①	 <p>حقن مكورات S حية</p>	 <p>موت الفأر</p>	 <p>S حية</p>
②	 <p>حقن مكورات R حية</p>	 <p>يبقى الفأر حيا</p>	<p>غياب المكورات الرئوية</p>
③	 <p>حقن مكورات S ميتة (فقدت المحفظة)</p>	 <p>يبقى الفأر حيا</p>	<p>غياب المكورات الرئوية</p>
④	 <p>حقن مكورات S ميتة + مكورات R حية</p>	 <p>موت الفأر</p>	 <p>S حية</p>

ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج أبحاث Griffith ؟

ب - تحليل واستنتاج:

★ التحليل:

- عند حقن فأر سليم بالمكورات الرئوية S حية، يلاحظ موت هذا الفأر. هي إذن بكتيريات حادة.
- عند حقن فأر آخر سليم بالمكورات R حية، يلاحظ بقاء هذا الفأر حيا. هي إذن بكتيريات غير حادة.
- بعد تدمير المكورات S وحقنها لفأر سليم، يلاحظ بقاء هذا الفأر حيا. إذن، فالمكورات S الميتة فقدت قدرتها المرضية، بفعل فقدانها للمحفظة.
- عند حقن فأر سليم بالمكورات S الميتة (غير المرضية)، والمكورات R، يلاحظ موت هذا الفأر. كما أن تحليل عينة من دم هذا الفأر الميت، كشف عن تواجد مكورات S حية.

★ استنتاج:

نستنتج أن العامل المسؤول عن موت الفأر، هو تواجد المحفظة، حيث أن المكورات R التي لا تتوفر على المحفظة لا تؤثر على الفأر.

نستنتج من التجربة الأخيرة لـ Griffith أن المكورات S الحية التي تم الكشف عنها في دم الفأر الميت، لا يمكن أن تنتج إلا عن تحول المكورات R الحية إلى S حية، ولتفسير هذا التحول افترض Griffith أن S الميتة، حولت R الحية، إلى S حية، وذلك عن طريق مادة نقلتها إليها، سماها Griffith : العلة المحولة Principle transformant.

ج - التحقق من فرضية Griffith:

a - تجربة Avery و مساعدوه: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: أبحاث McCarthy , MacLeod , Avery (1944).

لمعرفة العلة المحولة، أي تحديد العامل المسؤول عن تحول البكتيريا R غير الممرضة، إلى بكتيريا S ممرضة، قام هؤلاء الباحثون بإضافة أنزيمات خاصة لتفكيك بعض المكونات الكيميائية للبكتيريا، فكانت النتائج كالتالي:

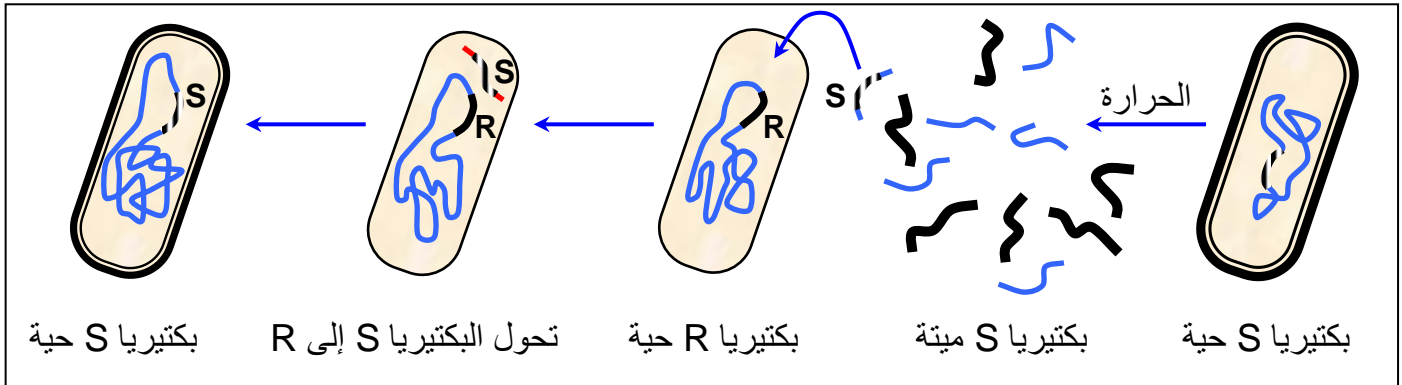
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل للبروتينات = تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل للدهون = تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل لـ ARN = تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل لـ ADN = عدم تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- حقن ADN بكتيريا S لبكتيريا R حية ثم حقن هذه الأخيرة للفأر = موت الفأر وبيبين تحليل دمه وجود بكتيريا S حية.

ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج تجربة Avery ومساعدوه؟

b - تحليل واستنتاج:

- نلاحظ أن العلة المحولة لا تتأثر بالأنزيمات المُحللة للبروتينات، والمحللة للدهون، والمحللة لـ ARN.
- نلاحظ أن التحول البكتيري لا يحدث عند استعمال أنزيمات محلل لـ ADN، (الحمض النووي الريبوزي ناقص الأكسجين (Acide désoxyribonucléique)). كما أن حقن ADN البكتيريا S، لبكتيريا R، يحول هذه الأخيرة إلى بكتيريا S حية.

نستنتج من هذه المعطيات أن العنصر المسؤول عن تحويل البكتيريا R الحية إلى بكتيريا S حية، هو ADN، وبالتالي فالعلة المحولة هي جزيئة ADN.

c - تفسير آلية التحول البكتيري: أنظر الرسم أسفله.

بعد موت المكورات S الحادة يتجزأ ADN إلى أجزاء صغيرة، فيدمج جزء من ADN المكورات S الميتة في ADN المكورات R الحية، التي تصبح لها القدرة على تركيب المحفظة المسؤولة عن المرض، وبالتالي تصبح مكورات S حية. يعني هذا نقل صفة وراثية جديدة من S إلى R.

d - دورة حياة العائيات Bactériophage: أنظر الوثيقة 9**الوثيقة 9: آلية تكاثر العائيات**

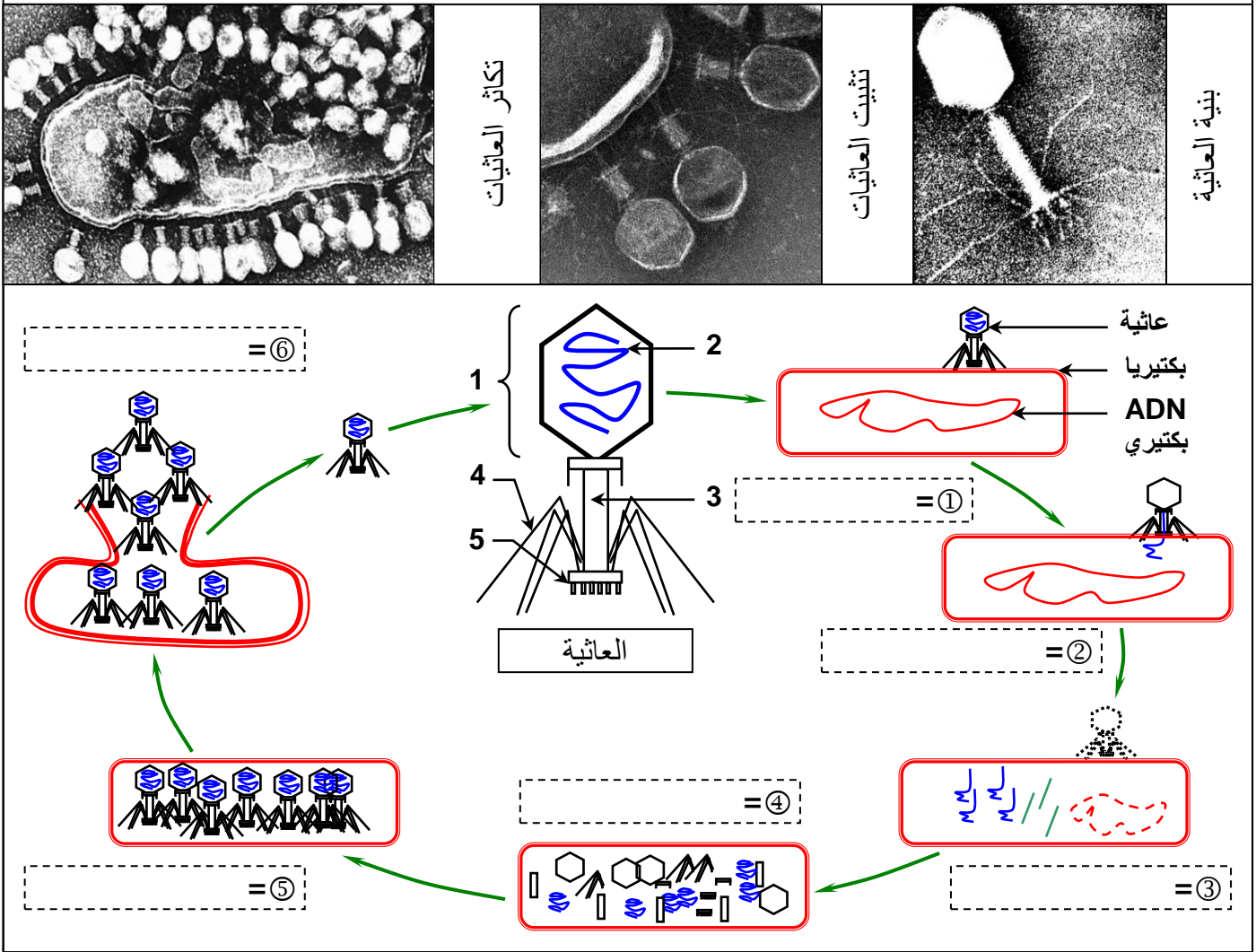
بعد تجارب Avery ومساعديه، واقتراحهم لطبيعة العلة المحولة، تمكن العالمين Alfred Hershey وChase Martha (1952)، من تأكيد الطبيعة الكيميائية للخبر الوراثي.

لقد اعتمد هذان العالمان في تجاربهم على تكاثر العائيات Bactériophage، التي تعتبر نوع من أنواع الفيروسات، التي تتكاثر على حساب البكتيريات، ويتم ذلك على مراحل (أنظر الصور الالكتروغرافية والرسم التخطيطي أسفله).

تعتبر الفيروسات نظاما حيا، لها شكل هندسي مكون من بروتينات يتوسطها حمض نووي ADN وأحيانا ARN كحالة الزكام والسيدا. ليس لها استقلال خاص بها بل تتكاثر على حساب خلايا أخرى.

اعتمادا على معطيات هذه الوثائق ماذا يمكنك استخلاصه من تفسير آلية تكاثر العائيات؟

الوثيقة 9: آلية تكاثر العاثيات



★ تتكون العاثية من رأس (1) يحتوي على جزيئة الـ ADN (2)، وتحيط بها طبقة بروتينية تسمى الغمد (3). تحتوي العاثية كذلك على خيوطات (4) ومسطح به أشواك (5) يُسهل عملية تثبيتها على البكتيريا.

★ تتكاثر العاثية على حساب البكتيريا، ويتم ذلك على مراحل هي:

- ① تثبيت العاثية على البكتيريا.
- ② تسرب جزيئة ADN العاثية إلى سيتوبلازم البكتيريا.
- ③ تضاعف ADN العاثية وتلاشي ADN البكتيريا.
- ④ تركيب مكونات العاثية داخل البكتيريا.
- ⑤ تجميع مكونات العاثية وتركيب عاثيات جديدة.
- ⑥ انفجار البكتيريا وتحرير عاثيات جدد مشابهة للعاثية الأصلية.

★ يتبين من دورة حياة العاثية أن هذه الأخيرة تحقق فقط خبرها الوراثي، المتمثل في جزيئة ADN، ليتم تركيب عاثيات جديدة مشابهة للعاثية الأصلية. وبذلك يتأكد أن ADN يمثل الخبر الوراثي.

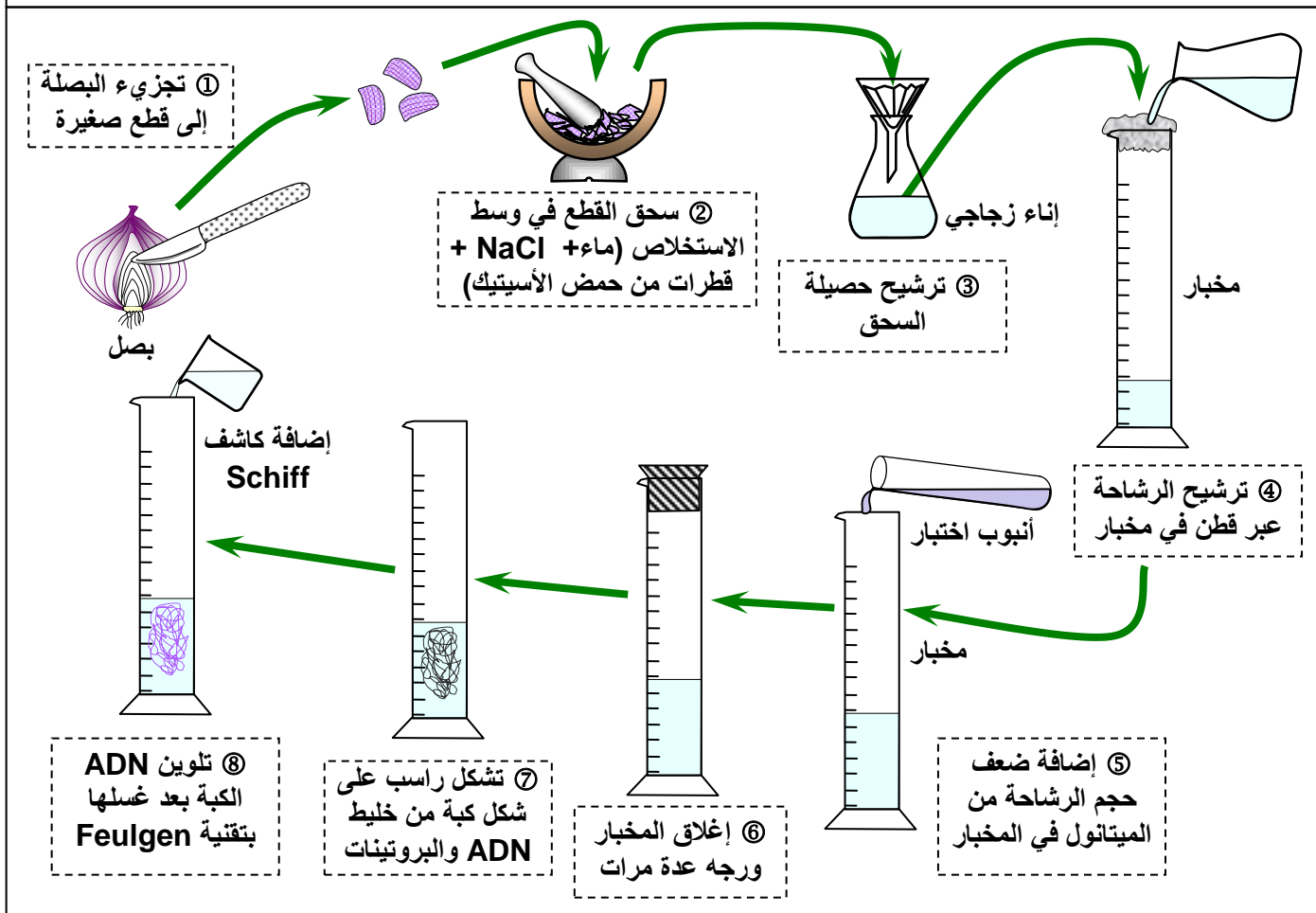
ه - خلاصة:

انطلاقاً من تجارب Griffith و Avery ومساعديه، إضافة إلى تجارب العالمين Hershey و Chase سبق يمكن استخلاص أن المادة الوراثية الحاملة للخبر الوراثي هي عبارة عن جزيئة ADN، تنموضع في النواة وتنتقل عبر الصبغيات خلال الانقسام الخلوي.

② استخلاص مادة ADN من الخلايا والكشف عنها. أنظر الوثيقة 10

الوثيقة 10: استخلاص مادة ADN من الخلايا والكشف عنها.

للكشف عن مادة ADN تستعمل طريقة Feulgen، إذ تعتمد هذه التقنية على استعمال كاشف schiff وهو مادة عديمة اللون يتلون بالأحمر عند اتصالها ب ADN. تبرز الرسوم أسفله مراحل تجربة استخلاص جزيئة ADN من خلايا بصلة البصل. إذا علمت أن الصبغين يتلون بالأحمر بواسطة كاشف Schiff، ماذا تستخلص من نتائج تجربة استخلاص ADN حول العلاقة بين الصبغين و ADN المستخلص.



تبرز نتائج تقنية Feulgen أن جزيئة ADN مكون أساسي للصبغيات، وهي بذلك الحاملة للخبر الوراثي.

ملحوظة: بينت دراسات أخرى وجود جزيئة ADN على مستوى الميتوكوندري والبلاستيدة الخضراء، لكنه نتحكم فقط في بعض خصائص هذه العضيات.

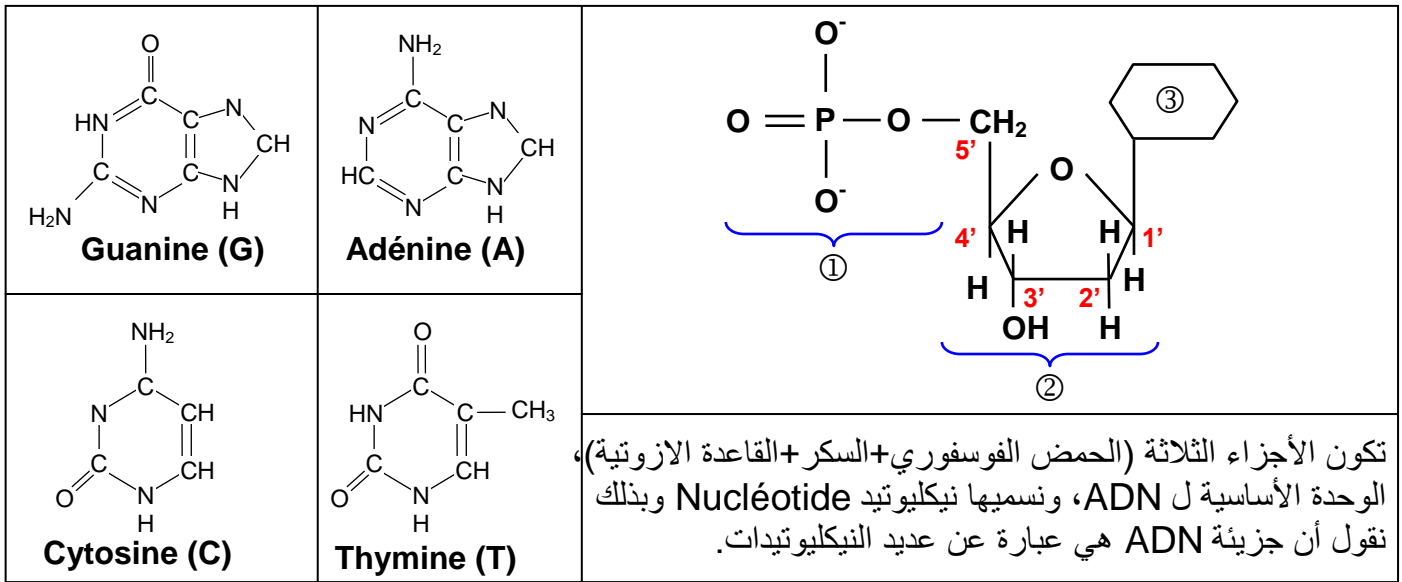
IV - التركيب الكيميائي لجزيئة ADN وبنيتها.

① المكونات الكيميائية لجزيئة ADN. أنظر الوثيقة 11

الوثيقة 11: التركيب الكيميائي لجزيئة ADN.

اعتمادا على الحلمة الأنزيمية، أمكن عزل مختلف مكونات جزيئة ADN، إذ تعتبر جزيئة ADN جزيئة كبيرة تتكون من ثلاثة عناصر هي:

- ① حمض فسفوري Acide phosphorique.
- ② سكر الريبوز ناقص الأكسجين Désoxyribose.
- ③ قاعدة ازوتية Base azotée وهي إما:
 - * الأدينين (A) Adénine، * الغوانين (G) Guanine، * التيمين (T) Thymine،
 - * السيتوزين (C) Cytosine.



يبنت حلماً جزيئات ADN، ذات مصادر مختلفة أنها تتكون من ثلاثة عناصر هي:

- حمض فوسفوري H_3PO_4 .
- سكر خماسي هو الريبوز ناقص أو كسجين $C_5H_{10}O_4$.
- قواعد ازوتية G، C، T، A.

و يمثل النيكليوتيد الوحدة الأساسية لـ ADN.

② بنية جزيئة ADN.

أ - نتائج أبحاث **Chargaff**: أنظر الوثيقة 12

الوثيقة 12: بنية جزيئة ADN.

ساهمت أبحاث العالم Erwin Chargaff سنة 1950 في فتح الباب أمام تحديد بنية جزيئة ADN. فلقد قام هذا الباحث بتحديد نسب القواعد الازوتية الأربعة، A، T، C، G، في جزيئات ADN ذات مصادر مختلفة، فحصل على النتائج الممثلة في الجدول أسفله.

نسبة القواعد الازوتية			التركيب من القواعد الازوتية ب %				الأجسام
A+G/C+T	G / C	A / T	T	C	G	A	
1.03	1.01	1.05	29.4	19.8	19.9	30.9	الإنسان
1.03	1.02	1.04	28.3	21.0	21.4	29.3	الخروف
0.97	0.95	0.98	29.3	21.5	20.5	28.8	الدجاج

ما المعلومات الممكن استخلاصها من أبحاث **Chargaff** بخصوص بنية الـ ADN؟

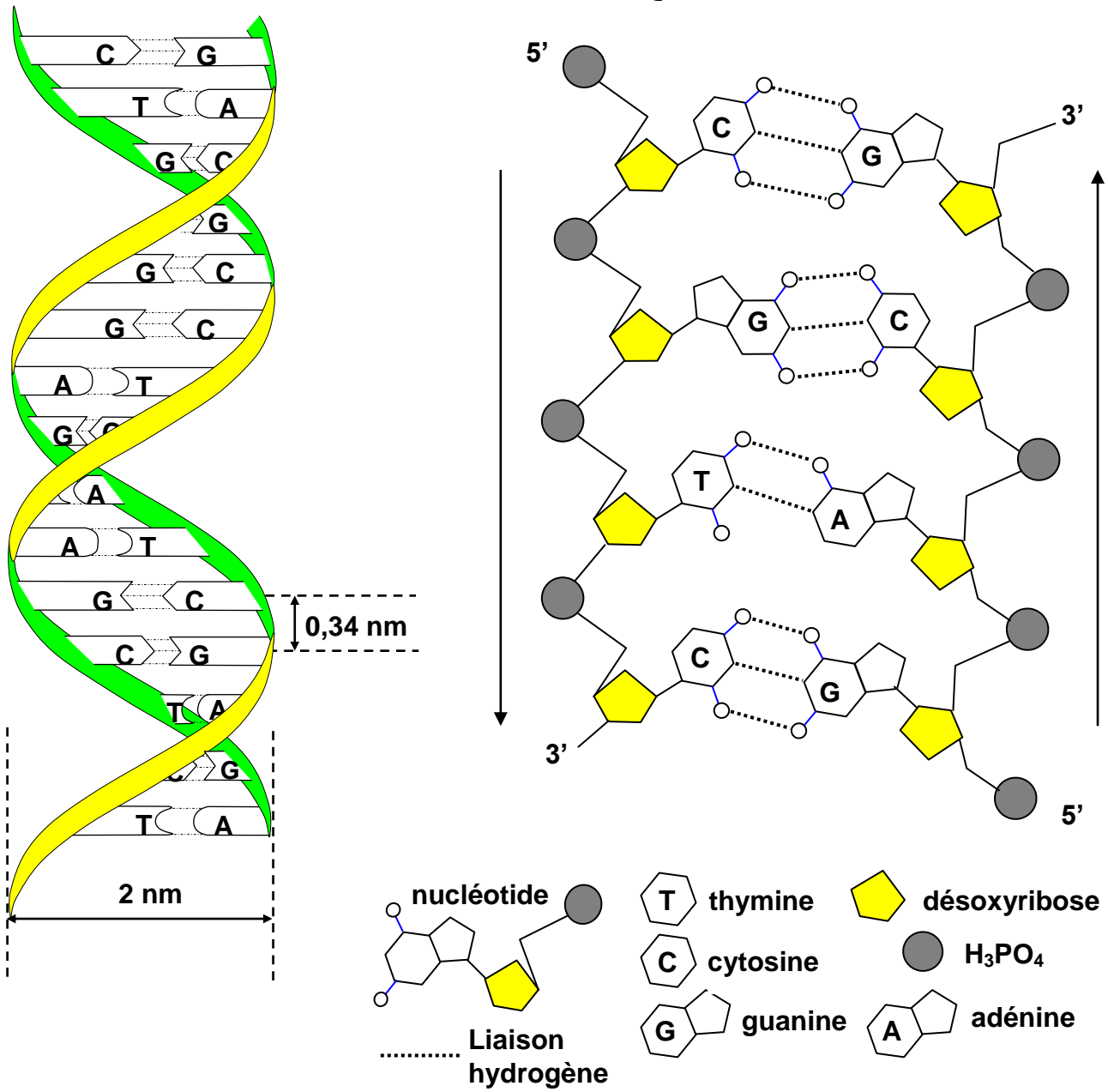
ب - تحليل واستنتاج.

نلاحظ بالنسبة لجميع المتعضيات أن العلاقة $1 = G/C = A/T$ ، كما أن $1 = (A + G) / (T + C)$ ، وذلك لأن مقدار A يساوي مقدار T، ومقدار C يساوي مقدار G. هذه المعطيات تدعو للافتراض أن هناك تكامل بين A و T من جهة وبين C و G من جهة أخرى. كما يمكن الافتراض أن هذه القواعد الازوتية مرتبطة فيما بينها (A مع T و C مع G).

ج - أنموذج **CRICK** و **WATSON** أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: نموذج Crick و Watson لتفسير بنية جزيئة ADN.

تعتبر أبحاث العالمين Crick و Watson سنة 1953، من أهم محطات تحديد بنية جزيئة الـ ADN بشكل دقيق، حيث اقترحا نموذج اللولب المضاعف الممثل في الوثيقة أسفله.
صف من خلال معطيات هذه الوثيقة كيف تندمج مختلف مكونات جزيئة الـ ADN.



انطلاقاً من نموذج Crick و Watson، يتبين أن جزيئة ADN، هي عبارة عن لولب مضاعف Double hélice، حيث يتكون كل لولب من متتالية من النيكليوتيدات، والتي ترتبط فيما بينها عن طريق الحمض الفسفوري بواسطة الكربون 5' لسكر الريبوز ناقص أكسجين للنيكليوتيد الأول والكربون 3' لسكر الريبوز ناقص أكسجين للنيكليوتيد الموالي، وهكذا إلى نهاية اللولب، وبالتالي تكون هناك نهايتين حرتين: 3' و 5'، ومن تم نصطلح على التوجيه 5' ← 3'. وبما أن جزيئة ADN لولب مضاعف، فلكي يكتمل اللولب يجب أن يكونا متضادا القطبية. نقول إن لولبي ADN مضادا التوازي. يرتبط اللولبان ببعضهما البعض، بروابط هيدروجينية على مستوى القواعد الازوتية.

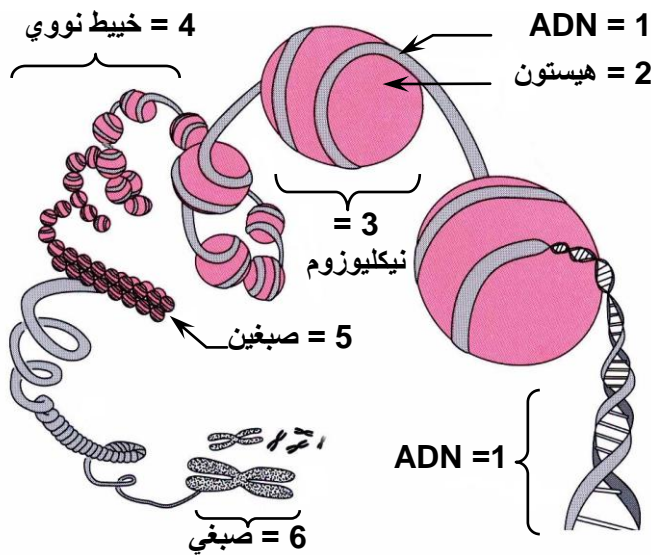
V - العلاقة بين الصبغين، الصبغيات، و ADN.

① **بنية الصبغين.** أنظر الشكل أ من الوثيقة 14.

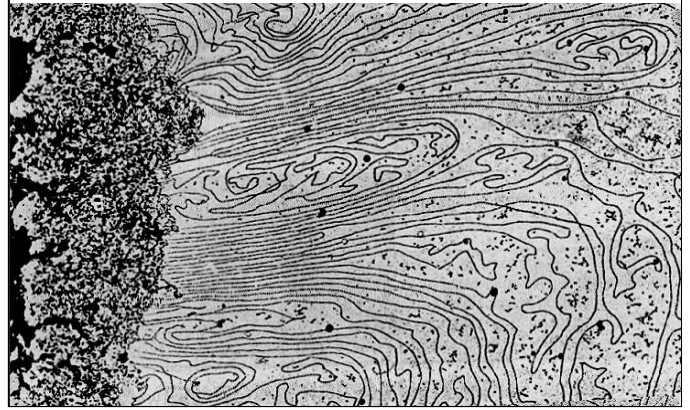
☒ يعطي الشكل أ من الوثيقة 14، ملاحظة بالمجهر الالكتروني لصبغي استوائي، تمت معالجته بواسطة أنزيمات نوعية تحلل البروتينات. انطلاقاً من هذه الملاحظة استخرج بنية الصبغين.

الوثيقة 14: العلاقة بين الصبغين الصبغيات وADN.

الشكل ب: نموذج تفسيري يبين العلاقة البنوية بين الخييط النووي والصبغي.



الشكل أ: ملاحظة الكرونوغرافية لصبغي استوائي معالج بواسطة أنزيمات نوعية تحلل البروتينات.



انطلاقاً من تحليل معطيات هذه الوثيقة، استخراج بنية

الصبغين والصبغيات وحدد العلاقة البنوية بين الصبغين الصبغيات وADN.

✓ تبين الملاحظة المجهرية لصبغين خلية أنه يتكون من خييطات متشابكة، يبلغ قطر الواحد منها 30nm، وتسمى هذه الخييطات خييطات نووية Les nucléofilaments. بينت الدراسات أن الخييط النووي يتكون من جزيئة ADN ملولبة حول حبات من البروتينات، مكونة نكليوزومات Nucléosomes، كما نسمي هذه البروتينات: هستونات Les histones.

② بنية الصبغيات. أنظر الشكل ب من الوثيقة 14.

إن للصبغين والصبغيات نفس التركيب الكيميائي، إذ يعتبر ADN مكون مشترك بين الصبغين والصبغيات:

- يلتف كل خييط ADN حول هستونات، فيشكل خييط نووي.
- تتلولب الخييطات النووية تلولبا طفيفا، فتشكل الصبغين.
- عند دخول الخلية في انقسام غير مباشر، يزداد تلولب الخييط النووي حول نفسه، فتظهر الصبغيات. ويصبح هذا التلولب شديدا وقصويا، في المرحلة الاستوائية، مما يجعل الصبغيات جد واضحة.
- في نهاية الانقسام تتم إزالة تلولب الخييطات النووية للصبغيات، لتعود إلى حالة الصبغين.

③ العلاقة بين الصبغين، الصبغيات، وADN.

يلاحظ خلال الانقسام الخلوي، أنه عندما تظهر الصبغيات، يختفي الصبغين، والعكس صحيح. كما أن للصبغين والصبغيات نفس التركيب الكيميائي (ADN + هستونات)، فهما إذن يمثلان عنصرا واحدا، يتغير شكله حسب درجة تلولب الخييط النووي، وذلك حسب مراحل الدورة الخلوية.

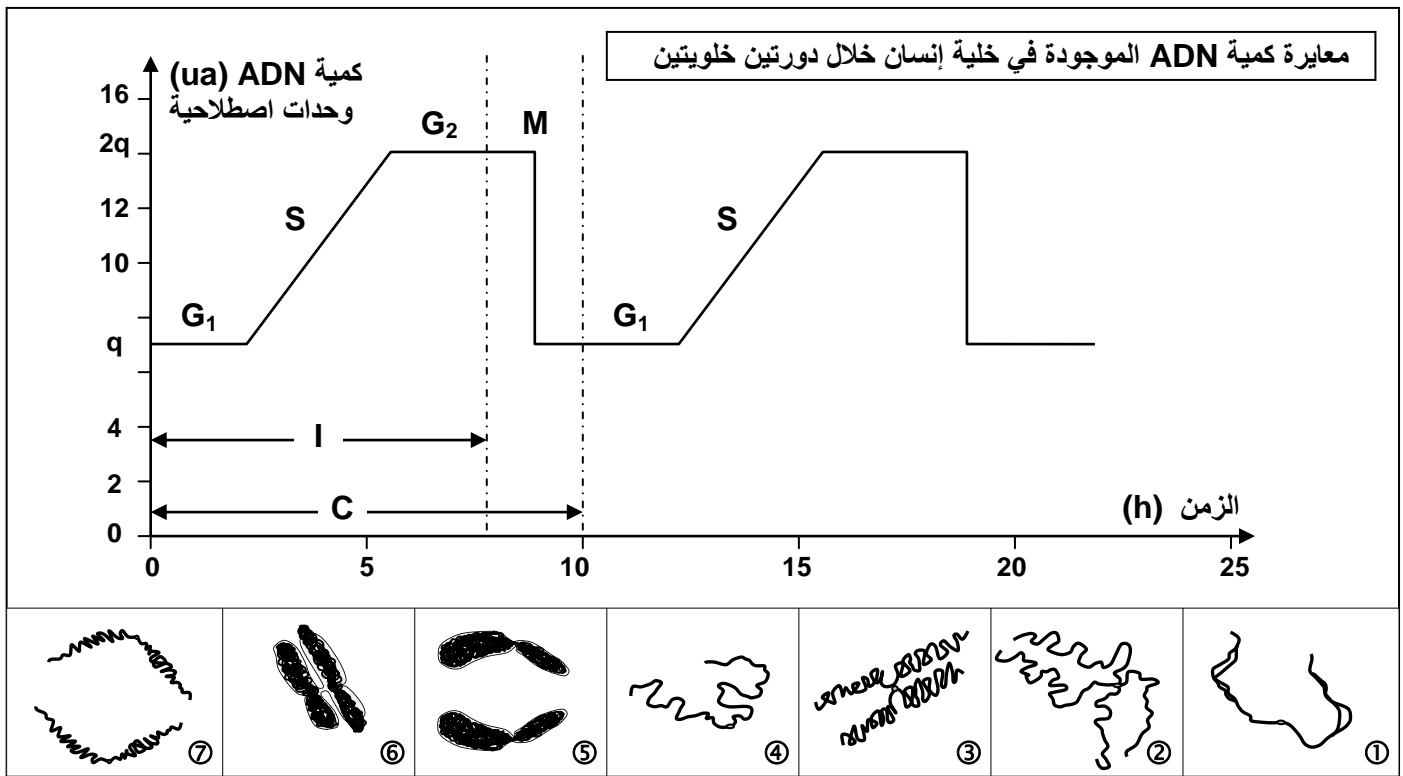
VI – آلية مضاعفة جزيئة ADN.

① الكشف عن مضاعفة جزيئة ADN. أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: آلية مضاعفة ADN وعلاقتها بالحفاظ على الخبر الوراثي.

يعتبر ال ADN المكون الأساسي للصبغيات والحامل الكيميائي للخبر الوراثي، وينتقل من جيل لآخر بواسطة الانقسام الخلوي غير المباشر. قصد فهم الآليات التي تضمن الحفاظ على الخبر الوراثي من دورة خلوية لأخرى، نقترح دراسة تطور كمية ال ADN خلال دورة خلوية (أنظر الصفحة الموالية).

- (1) سم المراحل المشار إليها بحروف على الوثيقة. ثم حدد المدة الزمنية التقريبية للمراحل: I، C، و M.
- (2) كيف تتطور كمية ADN في الخلية خلال الدورة الخلوية؟
- (3) أنسب كل شكل من أشكال الوثيقة (①، ②، ③، ...، ⑦)، لمرحلة الدورة الخلوية المطابقة له (M, G₂, S, G₁).
- (4) بين العلاقة بين كمية ADN في الخلية وشكل الصبغ في مختلف مراحل الدورة الخلوية.

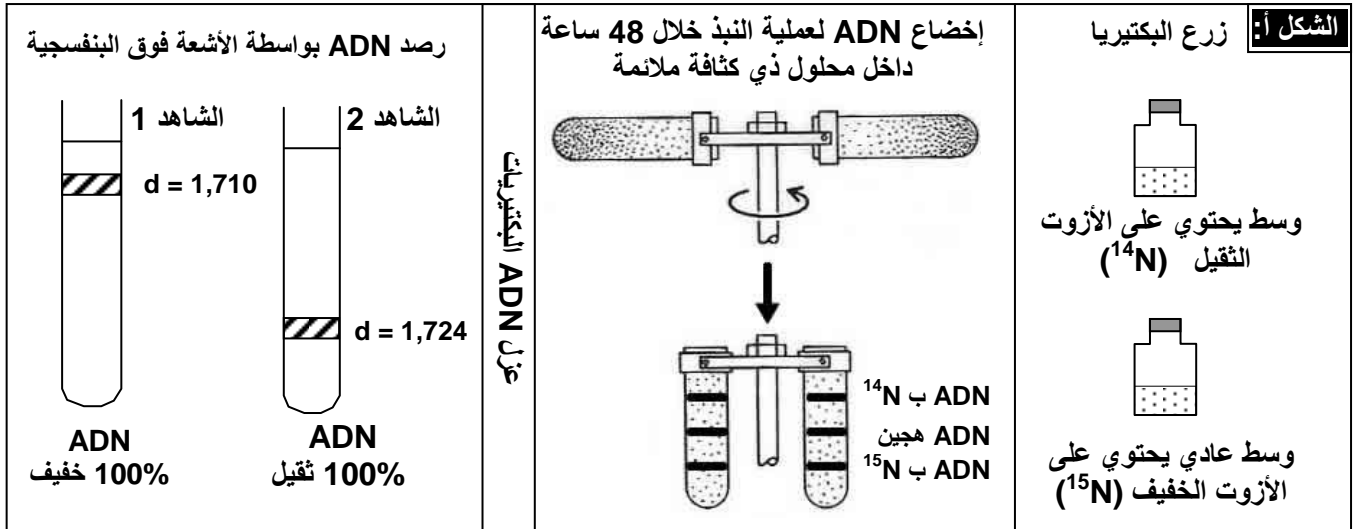


الوثيقة 16: تجربة Stahl و Meselson 1957.

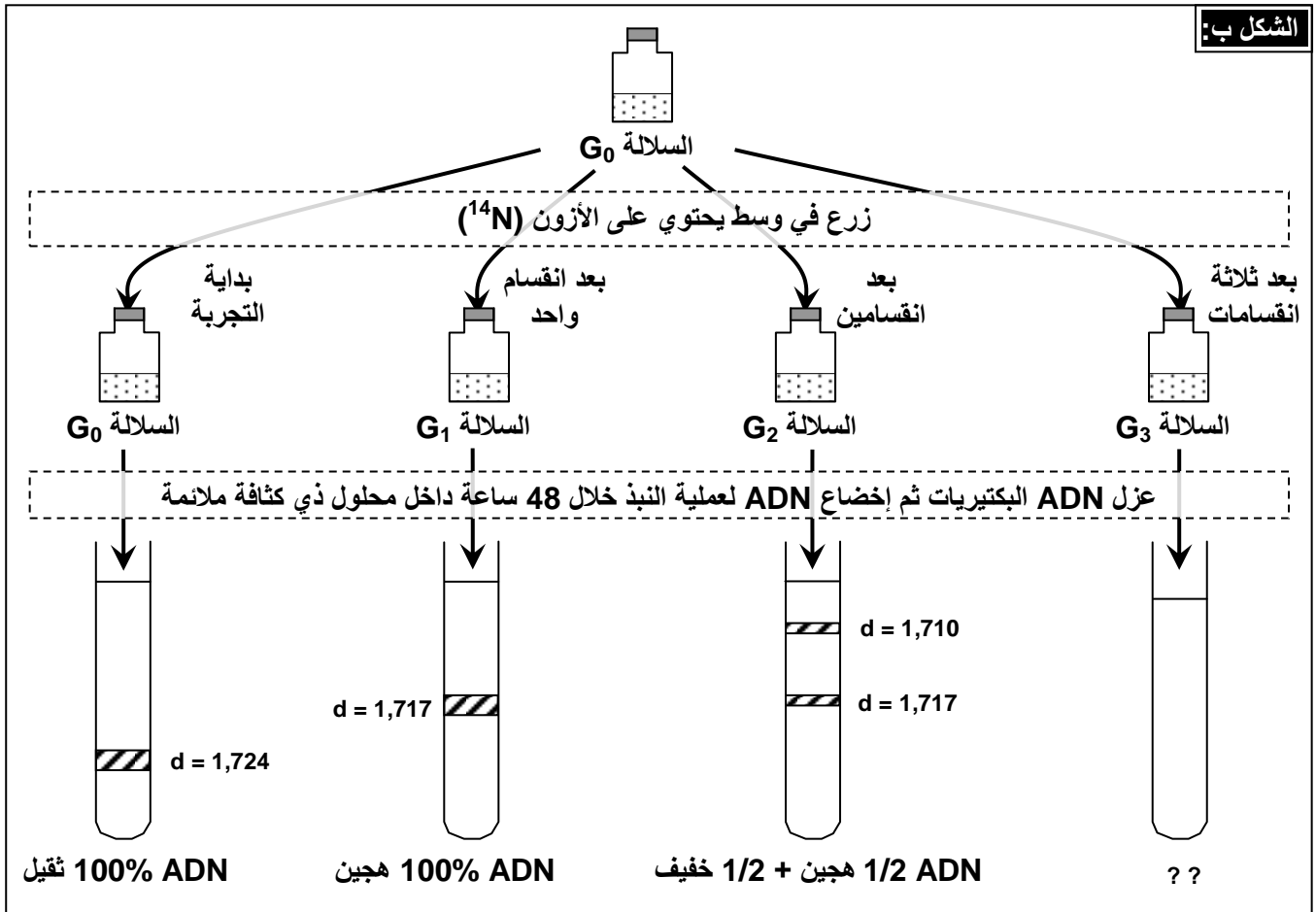
بهدف تحديد الكيفية التي تتم بها مضاعفة ADN، قام العالمان Stahl و Meselson بإجراء التجارب التالية:

★ قام العالمان بتحضير بكتيريات عادية، ذات ADN خفيف بوضعها في وسط اقتيائي يدخل في تركيبه الأزوت الخفيف ^{14}N ، فحصلوا على بكتيريات كلها ذات ADN خفيف (الشاهد 1).

★ بعد ذلك، زرعوا هذه البكتيريات في وسط مغذي، حيث المصدر الوحيد للأزوت هو الأزوت الثقيل ^{15}N . بعد عدة أجيال، حصل العالمان على بكتيريات ذات ADN ثقيل (الشاهد 2) : الجيل G_0 .



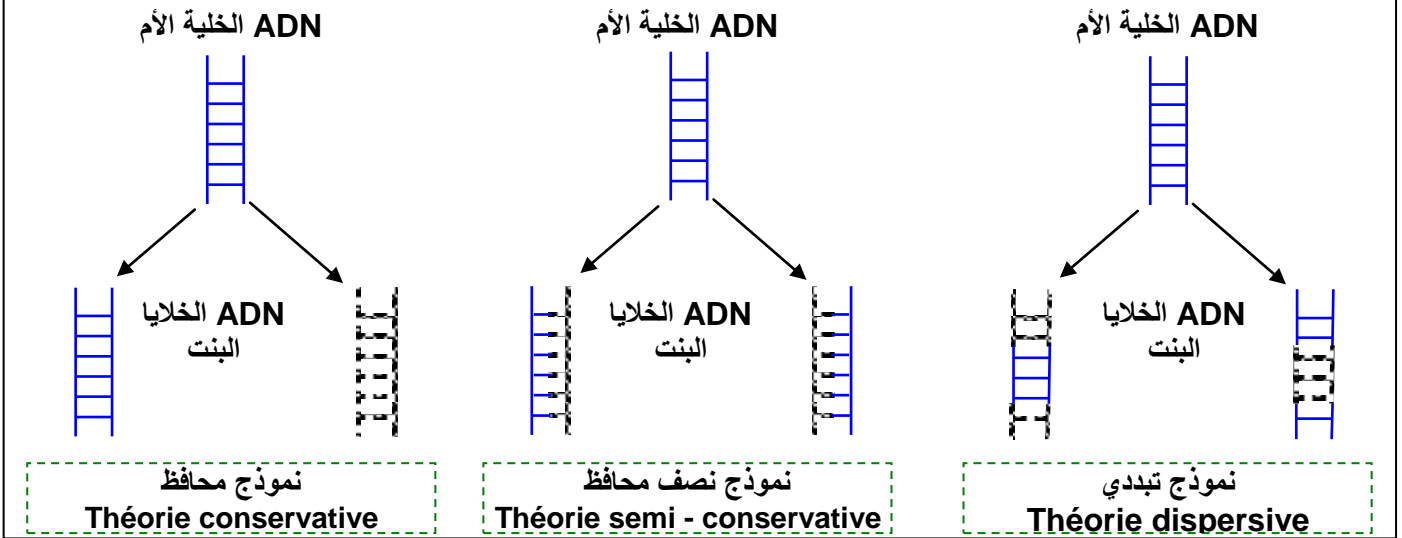
★ وضع العالمان عينة من بكتيريات الجيل G_0 في وسط اقتيائي به أزوت خفيف ^{14}N ، وقاما بقياس كثافة ADN هذه البكتيريات بواسطة تقنية النبذ Centrifugation، بعد انقسام واحد G_1 ، ثم بعد انقسام ثان G_2 ، ثم بعد انقسام ثالث G_3 . يمثل الشكل ب من الوثيقة النتائج التجريبية المحصل عليها.



(1) ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج تجربة Stahl و Meselson ؟
 (2) بالاعتماد على معطيات الوثيقة 17 ، ترجم الاستنتاجات السابقة على شكل رسوم تخطيطية محترما الطبيعة الفيزيائية لجزيئة ADN ، قصد تفسير نتائج تجربة Stahl و Meselson .

الوثيقة 17: النماذج المقترحة لتفسير آلية مضاعفة ADN.

لتحديد الكيفية التي تتم بها مضاعفة ADN تم اقتراح ثلاثة نماذج يمكن أن تتم بها هذه المضاعفة. تمثل الوثيقة أسفله رسوما تخطيطية للنماذج الثلاثة المقترحة: **الشريط القديم** **الشريط الجديد**

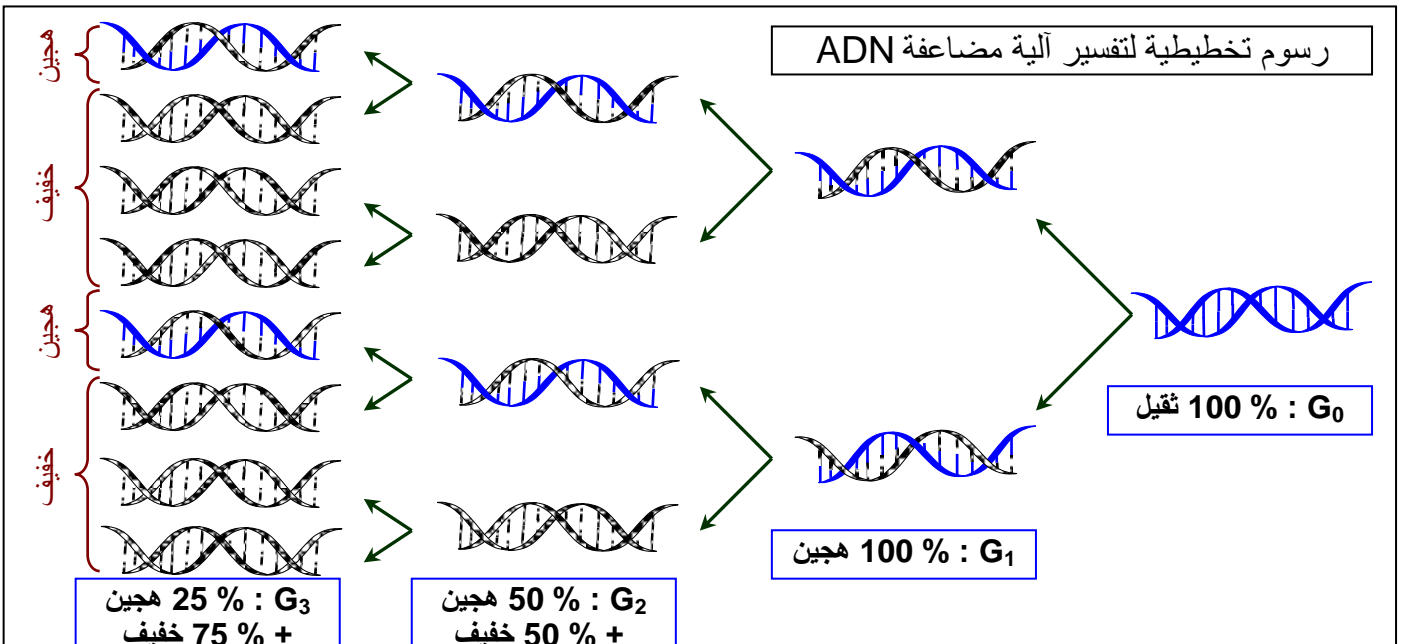


(1) يتبين من المعطيات التجريبية أن :

- ✓ الجيل G1: كل الخلايا لها $d(ADN) = 1.717$ كثافة وسيطة بين ADN الثقيل (1.724) وADN الخفيف (1.710) واعتبر هذا الـ ADN هجيناً.
- ✓ الجيل G2: 50% من الخلايا لها ADN هجين و 50% لها ADN خفيف.
- ✓ الجيل G3: 25% من الخلايا لها ADN هجين و 75% لها ADN خفيف.




بناءً على هذه النتائج، فإن بنية وكثافة ADN الجيل الأول G_1 لا يمكن تفسيرها إلا باعتبار كون نصف جزيئة ADN الجيل الأول تتوفر على ^{14}N والنصف الآخر على ^{15}N .
 وبنية وكثافة ADN الجيل الثاني G_2 لا يمكن تفسيرها إلا باعتبار كون نصف الجزيئات يطابق ADN الجيل الأول، والنصف الآخر من الجزيئات لا يتوفر إلا على ^{14}N فقط.

(2) من خلال ملاحظة النتائج المحصل عليها في تجربة Stahl و Meselson، يتبين أن النموذج نصف المحافظ هو الملائم لتفسير آلية مضاعفة ADN. أنظر الرسم أسفله:



الوثيقة 18: تجربة Taylor

وضع Taylor جذور نبات Bellevalia في وسط يحتوي على التيمدين معلم بالترينيوم H^3 ، وهو نظير إشعاعي النشاط للهروجين. وبعد مرور 8 ساعات (مدة طور السكون)، أخرج Taylor هذه الجذور ثم غسلها ووضعها في وسط اقتيائي محايد (غير مشع)، وتتبع اندماج التيمدين بالتصوير الإشعاعي الذاتي وذلك أثناء الانقسامات الخلوية، ومن أجل تسهيل ملاحظة الصبغيات، أضاف Taylor للمحلول الاقتيائي مادة الكولشيسين التي تمنع افتراق الصبغيات في نهاية الطور الاستوائي. فحصل على النتائج المبينة على الوثيقة التالية:

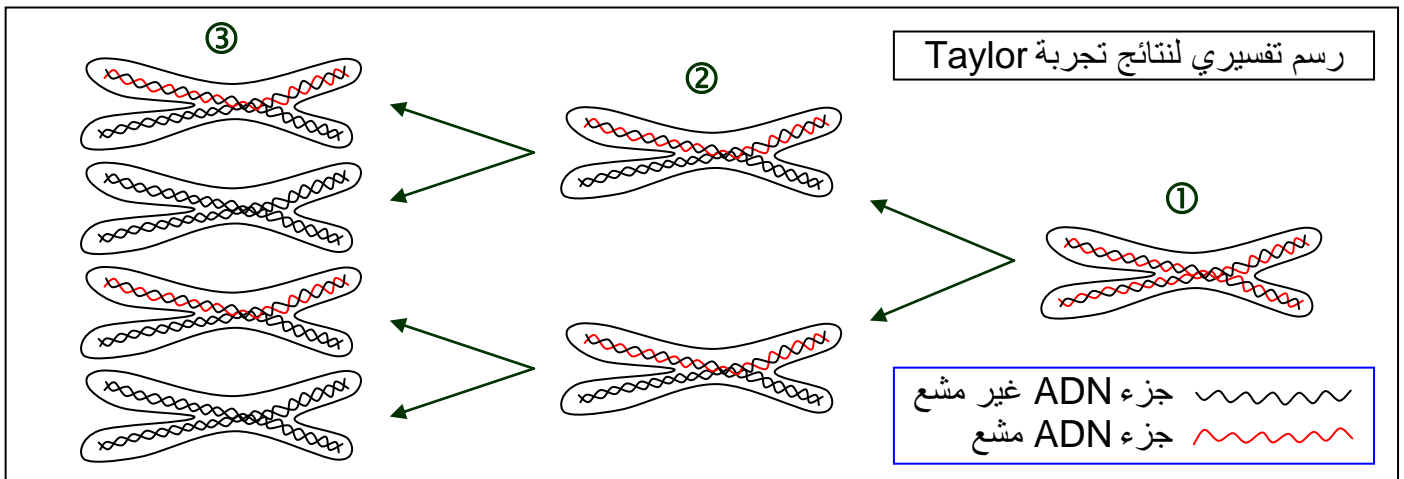
الوثيقة 3		
① مظهر الصبغيات بوجود التريينوم	② مظهر الصبغيات بعد وضعها في وسط محايد خلال مدة تقابل دورة خلوية	③ مظهر الصبغيات بعد وضعها في وسط محايد خلال مدة زمنية تقابل دورتين خلويتين
		

- 1) بين أهمية توظيف التيمدين والكولشيسين في هذه التجربة.
- 2) صف نتائج هذه التجربة.
- 3) فسر بواسطة رسوم نتائج هذه التجربة، مع العلم أن كل صبيغي يتكون من جزيئة ADN واحدة.

1) التيمدين مكون لـ ADN، يحتوي على التيمين كقاعدة ازوتية، وتم استعماله مشعا لرصد إدماجه في جزيئة ADN. الكولشيسين مادة توقف الانقسام غير المباشر في المرحلة الاستوائية، حيث تكون الصبغيات جد واضحة، مما يمكن من ملاحظتها وتحديد نشاطها الإشعاعي.

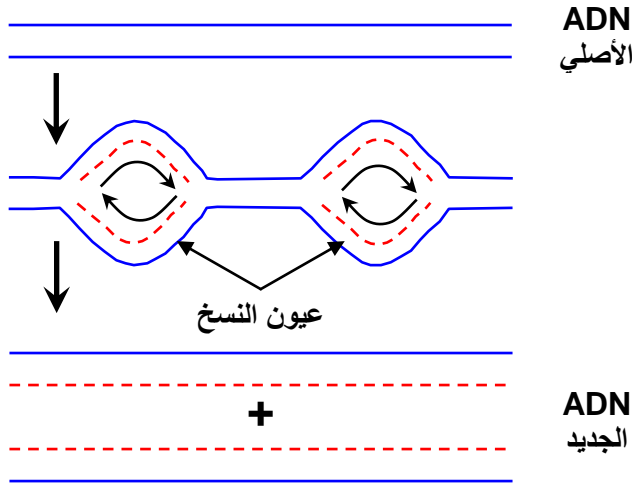
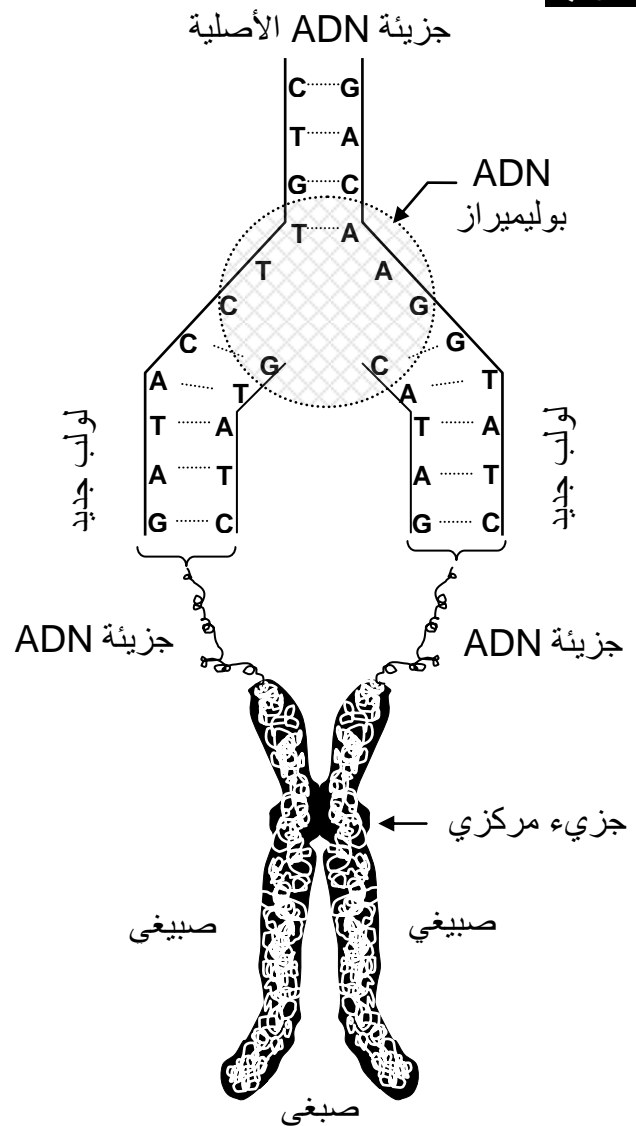
2) مباشرة بعد المعالجة بالتيمدين المشع، نلاحظ أن كل الصبغي يظهر نشاطا إشعاعيا. بعد مدة زمنية من المعالجة تقابل دورة خلوية، نلاحظ أن أحد صبيغي الصبغي يكون مشعا، والآخر غير مشع. بعد مدة زمنية تقابل دورتين خلويتين، نلاحظ أن نصف الصبغيات يكون غير مشع، والنصف الآخر يتكون من صبيغيات مشعة وصبيغيات غير مشعة.

3) تفسر نتائج هذه التجربة بكون كل لولب من لولبي ADN، يعمل كقالب يشيد عليه لولب مكمل، مما ينتج عنه تكون جزيئتين متماثلتين لجزيئة ADN الأصل. ويلاحظ أنه أثناء المضاعفة يتم الاحتفاظ على نصف كل جزيئة أصلية، لذلك نتكلم عن التركيب النصف محافظ. Semi conservatif. أنظر الرسم أسفله.

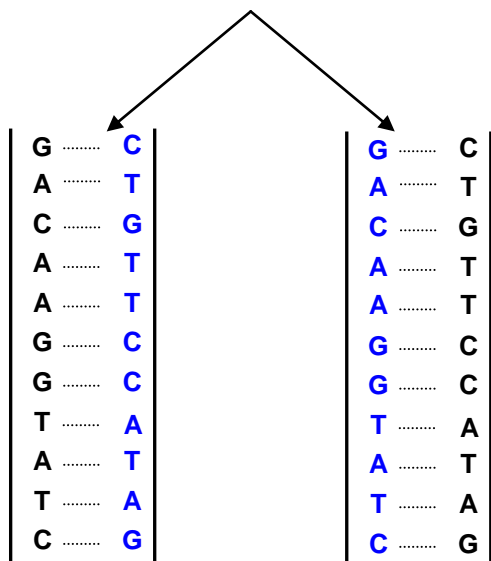
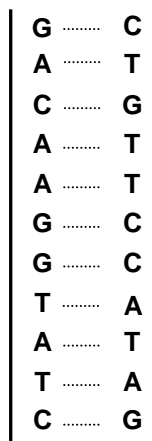


الوثيقة 18: آلية التضاعف نصف المحافظ لجزيئة ADN.

يعطي الشكل أ من الوثيقة ملاحظة الكرونوغرافية لصبغي في الفترة S من مرحلة السكون. تعطي الأشكال ب، ج، د من الوثيقة رسوما تخطيطية توضيحية لآلية المضاعفة نصف المحافظة لجزيئة ADN. من خلال معطيات هذه الوثائق، صف كيف تتم مضاعفة ال-ADN.

الشكل أ: ملاحظة الكرونوغرافية لصبغي في الفترة S من مرحلة السكون**الشكل ج:****الشكل ب:****الشكل د:**

جزيئة ADN الأصلية



جزيئتان ADN بنتان

يتطلب تركيب ADN جزيئة أصلية، ونيكليوتيدات حرة، وأنزيمات، و طاقة. ويتم التركيب الإحيائي لـ ADN على الشكل التالي:

- ❖ تحت تأثير أنزيم خاص، يتم تفريق اللولين المكملين، بانفصال الروابط الهيدروجينية الرابطة بين القواعد الازوتية، وبذلك تظهر مناطق افتراق اللولين على شكل عيون النسخ (الشكل أ).
- ❖ بلمرة تدريجية للنكليوتيدات تحت تأثير أنزيم ADN بوليميراز، حيث يستعمل كل شريط قديم كنموذج لتشديد شريط جديد، وذلك مع احترام تكامل القواعد الازوتية مع تلك المتواجدة في اللولب الأصلي، A مع T و C مع G (الشكل ب)، نتكلم عن النسخ الجزيئي لـ ADN.
- ❖ تتم استطالة الشريطين الجديدين في الاتجاهين على مستوى عين النسخ، (الشكل ج) مما يؤدي إلى اتساعها، فتلتحم ببعضها البعض ليتم الحصول على جزيئين بنتين من ADN، كل واحدة تتكون من شريط قديم، ورثته من الجزيئة الأصلية، مع شريط جديد (الشكل د).

ملحوظة:

بعد تدخل الهليكاز، الذي يقوم بفصل شريطي الـ ADN الأصليين، يتدخل أنزيم ADN بوليميراز، يعملان على تركيب الشريطين الجديدين. بما أن الهليكاز يتجه في منحنى واحد، وبما أن شريطي الـ ADN متعاكسا التوازي، فإن أنزيمي الـ ADN بوليميراز سيكون لهما منحنيان مختلفان: أحدهما سيكون له نفس منحنى الهليكاز، نتحدث عن استطالة متواصلة. بينما الأنزيم الآخر سيكون له منحنى معاكس لمنحنى الهليكاز، نتحدث عن استطالة متقطعة.

الفصل الثاني: تعبير الخبر الوراثي

تمهيد:

من خلال دراسة تجارب GRIFFITH تبين أن هناك علاقة بين المادة الوراثية (ADN)، وظهور أو غياب صفة معينة. فما هي هذه العلاقة؟ وكيف يتحكم ADN في ظهور صفات وراثية قابلة للملاحظة والقياس؟

I - مفهوم الصفة، المورثة، التحليل، والطفرة.

① مفهوم الصفة الوراثية.

الصفة الوراثية هي ميزة نوعية (مثل اللون) أو كمية (مثل الطول)، تميز فردا عن باقي أفراد نفس النوع، وتنقل من جيل لآخر، لذلك تسمى صفات وراثية. بعض الصفات تلاحظ بالعين المجردة (لون الأزهار مثلا)، في حين لا تبرز أخرى إلا بواسطة اختبارات أو تحاليل خاصة (الفصيلة الدموية مثلا).

② العلاقة بين الخبر الوراثي والصفة.

أ - تجارب. أنظر الوثيقة 1.

يعطي الشكل أسفله ملاحظة الكترولوغرافية لبكتيريا E.coli مع رسم تخطيطي توضيحي لبنية هذه البكتيريا

الوثيقة 1: التحول البكتيري عند Escherichia coli

نقوم بتجربة عند إحدى الكائنات الحية التي لها بنية بسيطة ودورة نمو قصيرة زمنيا مثل بكتيريا Echerichia-Coli (الشكل أمامه).

E.coli هي بكتيريا تكون عادة حساسة للمضاد الحيوي Antibiotique ستريبتومييسين Streptomycine، ويصطلح على تسميتها Strep S.

التجربة الأولى:

◀ نزرع بكتيريا حساسة للستريبتومييسين (Strep S) في وسط أدنى (أملاح معدنية + غراء + سكر) = (Mm) بدون ستريبتومييسين (علبة بيثري 1).

◀ نحضن هذه البكتيريات في حرارة 37°C لعدة ساعات، فنلاحظ ظهور مستعمرات بكتيرية (colonie) = (لمات بكتيرية clone).

◀ بعد ذلك، تم تشتيلها (نقلها) إلى أوساط مختلفة كما هو مبين على الوثيقة أسفله:

نسيج يستعمل للتشتيل

علبة 1: بكتيريا Strep S في وسط Mm بدون ستريبتومييسين

علبة 2: بدون ستريبتومييسين

علبة 3: Strep S في وسط Mm يحتوي على الستريبتومييسين

محلول عالق لبكتيريات Escherichia coli

Mm + ستريبتومييسين

- 1) انطلاقا من معطيات هذه التجربة، أعط تعريفا للـمة.
- 2) صف هذه التجربة، ثم حدد ما هو المشكل الذي تطرحه هذه النتائج؟
- 3) اقترح تفسيراً لنتائج هذه التجربة.

التجربة الثانية:

نضع بكتريا Strep S غير قادرة على العيش في وسط لا يحتوي على اللاكتوز (Lactose). وتتطلب هذه البكتريا هذا الأخير للعيش ولهذا يرمز إليها ب (Lac⁻)، اذن هذه البكتريا سيرمز إليها ب (Strep s , Lac⁻). إذا تتبعنا هذه التجارب فإننا نحصل بالإضافة للبكتريا المذكورة سابقا على أنواع أخرى والتي هي :

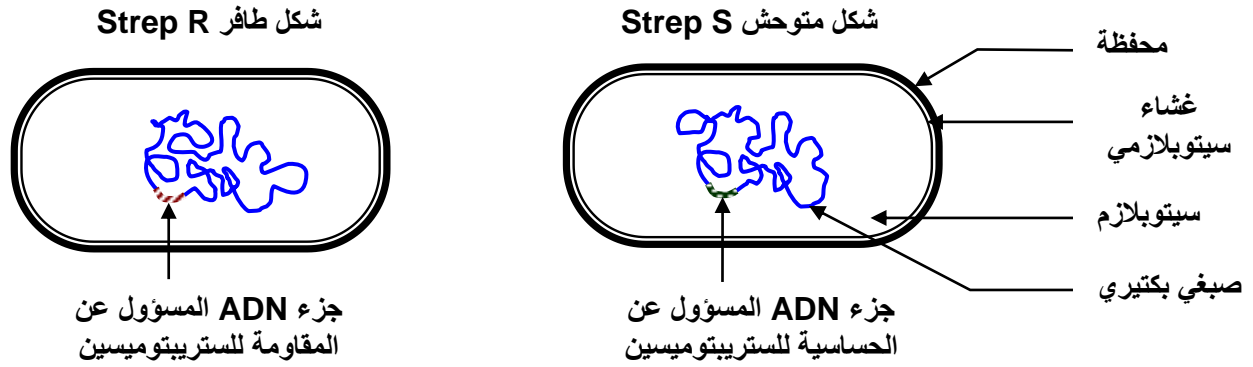
(Strep r , Lac⁻) ، (Strep r , Lac⁺) ، (Strep s , Lac⁺).

- 4) ماذا تستنتج من تحليل معطيات التجربة الثانية؟
- 5) اربط بين نتائج التجريبتين وبنية جزيئة ADN ثم استخلص مفهوم المورثة Le gène ومفهوم الحليل.

ب - تحليل واستنتاج.

- 1) الـمة هي مجموعة من الأفراد لهم نفس الخبر الوراثي، ومن تم نفس الصفات.
- 2) نلاحظ أن البكتريا لا تتكاثر عند وجود الستريبتومييسين (Strep S)، لكن تظهر تلقائيا بكتيريات أخرى في هذا الوسط، مقاومة للستريبتومييسين، نصلح على تسميتها (Strep R). المشكل المطروح هو كيف أصبحت البكتيريا Strep S بكتيريا Strep R؟
- 3) بما أن الصفة Strep S وراثية، والصفة Strep R بدورها وراثية، فإن المتحكم فيهما هو ADN. لا يمكن اذن تفسير تحول البكتيريا Strep S إلى بكتيريا Strep R إلا بحدوث تغير فجائي على مستوى ADN. وقد بينت دراسات أن قطعة من جزيئة الـ ADN، هي التي تتعرض للتغير عند هذه البكتيريا. ونسعى هذا التغير بالطفرة Mutation، فنقول أن البكتيريا Strep R بكتيريا طافرة أما البكتيريا Strep S فهي بكتيريا متوحشة.

رسم تخطيطي تفسيري لشكلي بكتيريا Escherichia Coli:



- 4) نلاحظ في هذه التجربة صفتين:

- ★ العلاقة بالستريبتومييسين: وتظهر شكلين، الشكل المتوحش Strep S، والشكل الطافر Strep R.
- ★ العلاقة باللاكتوز: وتظهر شكلين، الشكل المتوحش Lac⁻، والشكل الطافر Lac⁺.

وهكذا فالسلالة المتوحشة بالنسبة للصفتين هي: (Strep S, Lac⁻).
والسلالة الطافرة بالنسبة للصفتين هي: (Strep R, Lac⁺).

نلاحظ أن ظهور طفرة في صفة ما غير مرتبط بالضرورة بظهور طفرة في الصفة الأخرى، ويمكن تفسير ذلك بأن قطعتي ADN المتحكمتين في الصفتين مختلفتان.

- 5) بما أن التغير على مستوى المادة الوراثية ADN أدى إلى تغير على مستوى الصفة، فهذا يعني أن كل صفة يقابلها جزء خاص من ADN، يسمى مورثة Gène. وأن كل مورثة تظهر عدة أشكال تسمى حليلات Les allèles.

③ العلاقة مورثة - بروتين / بروتين - صفة.

أ – مثال أول : تجربة Beadle et Tatum : أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: تجربة Beadle و Tatum 1941

قصد الكشف عن العلاقة صفة - بروتين - مورثة، نعمل على استثمار معطيات تجربة Beadle و Tatum: النوروسبورا Neurospora عفن مجهري على شكل غزل فطري، ينمو عادة على الخبز. يمكن للسلاطة المتوحشة أن تعيش في وسط أدنى يحتوي على سكر + ماء + أملاح الأمونيوم. بينما توجد سلاطة طافرة غير قادرة على العيش في هذا الوسط.

نقوم بزرع السلاطة الطافرة في وسط أدنى + الحمض الأميني التريبتوفان L'acide aminé Tryptophane فنلاحظ أن هذه السلاطة قادرة على العيش والتكاثر في هذا الوسط وحده.

(1) ماذا تستنتج من هذه التجربة؟

يتم تركيب التريبتوفان عبر سلسلة من التفاعلات الأنزيمية، يمكن تلخيصها فيما يلي:



(2) ماذا تستخلص إذا علمت أن بعض السلالات الطافرة يكفيها وجود حمض أنترانيليك في الوسط لكي تعيش وتتكاثر؟

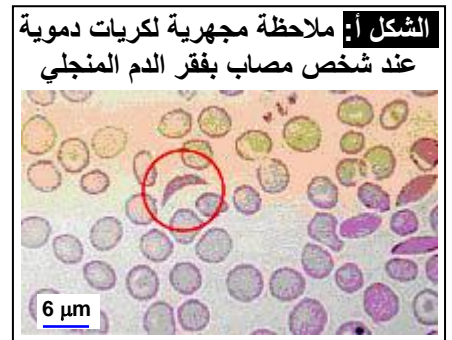
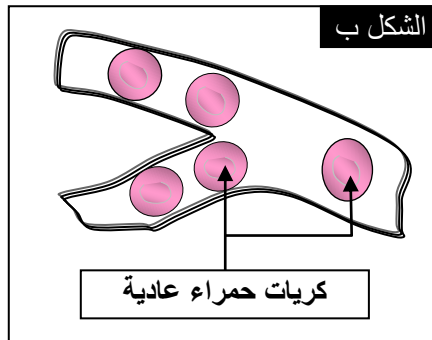
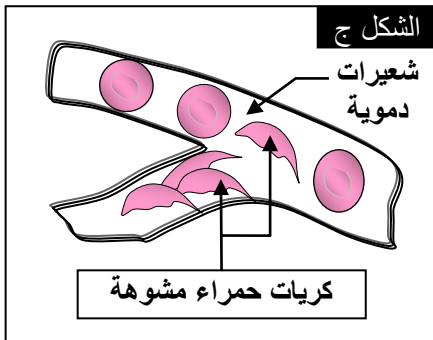
(1) نلاحظ أن السلاطة الطافرة غير قادرة على تركيب التريبتوفان في وسط أدنى يتكون من أملاح الأمونيوم فقط. لذا نرسم لهذه السلاطة بـ Try⁻، ونقول أنها سلاطة غير ذاتية التركيب للتريبتوفان Auxotrophe pour la tryptophane. بينما السلاطة المتوحشة Try⁺ فهي ذاتية التركيب للتريبتوفان Autotrophe pour la tryptophane. نستنتج من هذه الملاحظة أن الصفة مرتبطة بالقدرة على تركيب بروتيني معين.

(2) إن السلاطة الطافرة Try⁻ غير قادرة على تحديد التحول أملاح الأمونيوم ← حمض الأنترانيليك، لغياب الأنزيم E₁. نستخلص ادن أن كل صفة مرتبطة بتركيب بروتيني معين، والذي يرتبط بدوره بتركيب أنزيمي معين.

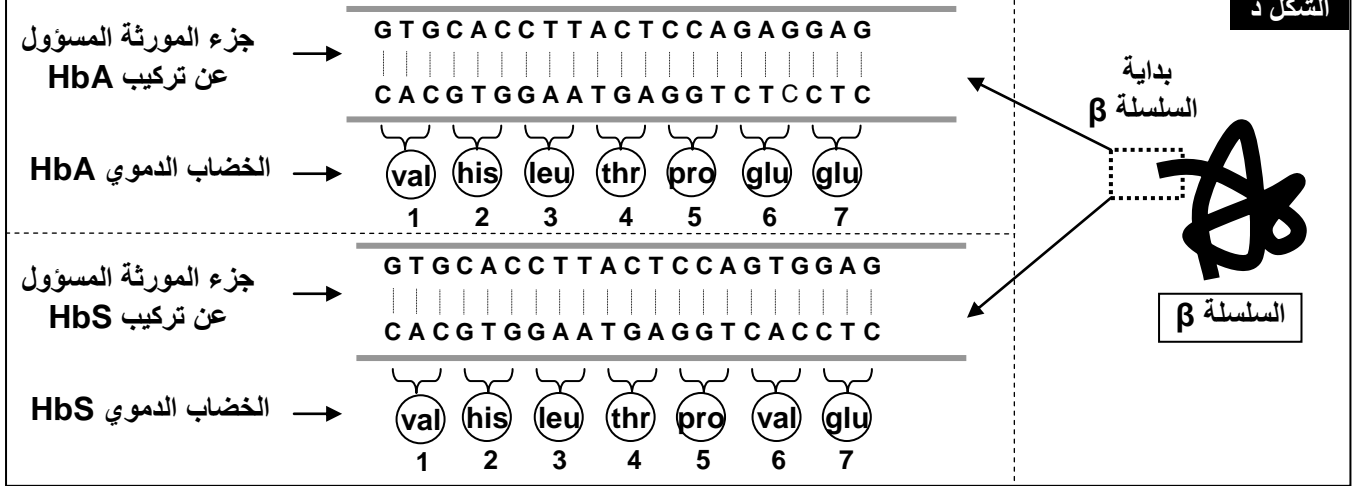
ب – مثال ثاني : فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme

الخضاب الدموي L'hémoglobine، بروتين يوجد داخل الكريات الحمراء وله دورين: دور وظيفي يتجلى في نقل الغازات التنفسية، ودور بنيوي يتجلى في إعطاء الشكل الكروي المقعر للكريات الحمراء. فقر الدم المنجلي مرض استقلابي ناتج عن تركيب خضاب دموي غير عادي (تشوه الكريات الحمراء تصبح منجلية الشكل) يرمز له بـ (HbS)، بينما يرمز لخضاب الدم العادي بـ (HbA). أنظر الشكل أ. عند تحرير (HbS) للأوكسيجين يصبح الخضاب غير دوّاب وبترسب على شكل ابر تشوه مظهر الكريات الحمراء التي تفقد ليونتتها وتسد الشعيرات الدموية، مما ينتج عنه فقر في إمداد الخلايا بالأوكسيجين. (الشكل ب والشكل ج)



يعطي الشكل د تسلسل الأحماض الأمينية المكونة لجزء من جزيئة الخضاب الدموي مع جزء من المورثتين المتحكمتين في تركيبهما.



(3) قارن سلسلتي HbA و HbS من جهة ومورثة HbA و HbS من جهة أخرى.
(4) ماذا تستنتج؟

- يكمُن الاختلاف الوحيد بين السلسلة β للخضاب الدموي HbA والخضاب الدموي HbS، في تعويض الحمض الأميني رقم 6 (Glu) في HbA بالحمض الأميني Val في HbS. وأن متتالية القواعد الأزوتية لجزء المورثة HbA تختلف عن متتالية القواعد الأزوتية لجزء المورثة HbS، إذ استبدل الزوج النيكلوتيدي رقم 17، حيث تم استبدال A – T في HbS بـ T – A في HbA.
- إن استبدال متتالية القواعد الأزوتية في المورثة، ترتب عنه تغيير في متتالية الأحماض الأمينية في البروتين. نستنتج أن هناك علاقة بين المورثة والبروتين. إن كل تغيير في بنية البروتين، يؤدي إلى تغيير في المظهر الخارجي لصفة معينة (تغير بنية الخضاب تغير شكل الكريات الحمراء)، هذا يدل على وجود علاقة بين الصفة والبروتين.

ج - خلاصة.

إن كل صفة تترجم وجود بروتين بنوي، أو نشاط بروتيني مختص، وأن كل تغيير في تعاقب القواعد الأزوتية (النيكليوتيدات) داخل جزيئة ADN، ينتج عنه تغيير في تعاقب الأحماض الأمينية داخل السلسلة البروتينية. وهذا يعني أن ترتيب النيكليوتيدات في جزيئة ADN، هو الذي يحدد طبيعة وترتيب الأحماض الأمينية في البروتينات. تسمى كل قطعة من ADN تتحكم في صفة وراثية معينة مورثة، وبما أن الصفة لها عدة أشكال، فإن للمورثة المتحكمة فيها عدة أشكال كذلك، وكل شكل يسمى حليلا Allèle.

مثال : صفة العلاقة بالستريبتوميسين لدى البكتيريا E.coli :
الحليل المتوحش StrepS، الحليل الطافر StrepR.

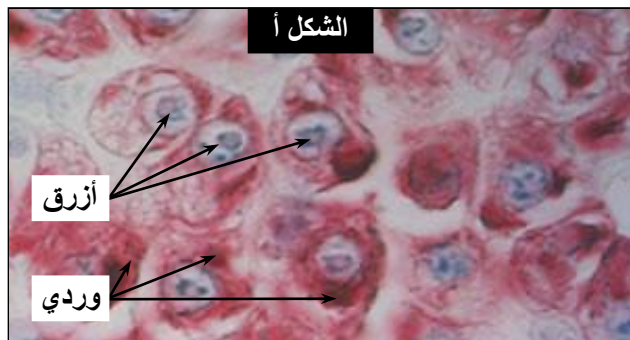
II - آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.

المورثات قطع من ADN، وموقعها النواة، أما تركيب البروتينات فيتم على مستوى السيتوبلازم. فما الذي يلعب دور الوسيط بين النواة والسيتوبلازم؟

① الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.

أ - معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 4.

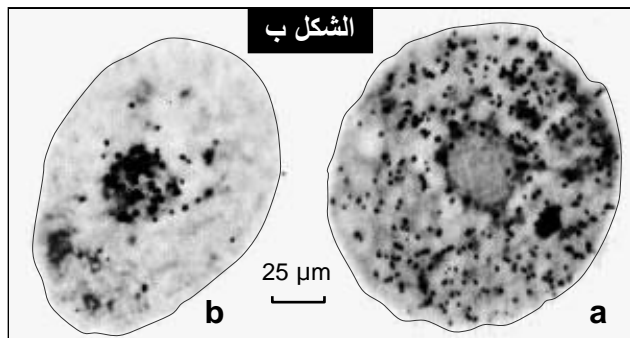
الوثيقة 4: الكشف عن الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.



الشكل أ

أزرق

وردي



الشكل ب

ماذا تستنتج من هذه المعطيات التجريبية؟ حدد الخاصية المميزة لـ ARN معللا نعتة بـ ARN الرسول.

تضم الخلايا جزئيات يقارب تركيبها الكيميائي تركيب ADN، وتسمى ARN. نكشف عن تموضع الجزئيتين معا في خلايا البنكرياس التي تنتج كمية كبيرة من البروتينات، باستعمال خليط من ملونين: أخضر الميتيل الذي يلون ADN بالأزرق المخضر، والبيرونين الذي يلون ARN بالوردي. أنظر الشكل أ من الوثيقة.

كما يمكن أن يضاف إلى وسط زرع الخلايا مكون نوعي لجزئية ARN مشع، ثم نلاحظ تطور الإشعاع داخل الخلية، فنحصل على النتائج المبينة على الشكل ب من الوثيقة:

a: صورة إشعاعية ذاتية لخلية زرعت مدة 15min بشير مشع نوعي لـ ARN.

b: صورة إشعاعية ذاتية لخلية مماثلة عرضت مدة 15min لنفس البشير المشع، ثم زرعت مدة 1h 30min في وسط يحتوي على بشائر أخرى عادية (غير مشعة). تمثل النقطة السوداء في الصور أمكنة وجود ARN المشع.

ب - تحليل واستنتاج.

★ انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة يتبين أن اللون الأزرق يتركز في النواة، بينما السيتوبلازم يظهر ملونا بالوردي. نستنتج من هذا أن ADN يتواجد بالنواة، بينما جزيئة ARN تتواجد بالسيتوبلازم.

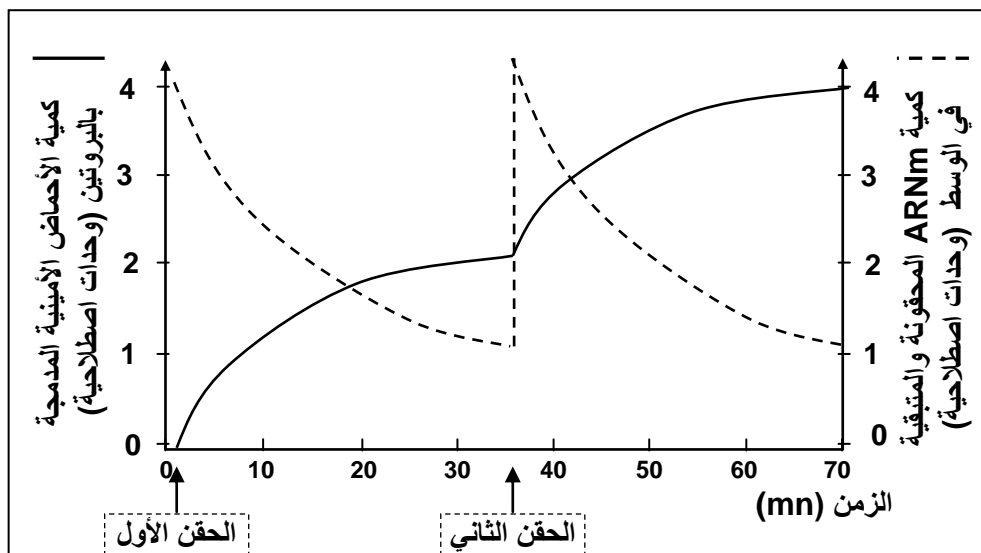
★ انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة نلاحظ في المرحلة الأولى من التجربة تركيز الإشعاع في نواة الخلية، وفي المرحلة الثانية من التجربة انتقل الإشعاع نحو السيتوبلازم.

نستنتج من هذا أن ARN يركب داخل النواة، وينتقل بعد ذلك إلى السيتوبلازم. وهكذا يمكن افتراض أن الوسيط بين المورثات في النواة، والبروتينات في السيتوبلازم، هو ARN، لذلك سمي ARN الرسول، ونرمز له بـ ARNm (ARN messenger).

ج - التحقق من الفرضية. أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: تجربة تركيب البروتينات في الزجاج.

انطلاقا من عصيات كولونية نعد مستخلصا يحتوي على جميع المكونات السيتوبلازمية اللازمة لتركيب البروتينات، ماعدا ADN. بعد ذلك نضيف لهذا المستخلص كميتين من ARNm وأحماض أمينية، خلال فترتين مختلفتين.



يعطي المبيان أمامه، تطور كمية ARNm والأحماض الأمينية المدمجة في البروتينات بعد كل حقن لـ ARNm وأحماض أمينية. ماذا تستنتج من تحليل معطيات هذه التجربة؟

نلاحظ أنه بعد كل حقن لـ ARNm والأحماض الأمينية، ترتفع كمية الأحماض الأمينية المدمجة في البروتينات، مع انخفاض في كمية ARNm. نستنتج من هذه التجربة أن هناك علاقة مباشرة بين تركيب البروتين ووجود ARNm، أي أن ARNm هو فعلا الوسيط بين المادة الوراثية على مستوى النواة، وتركيب البروتينات على مستوى السيتوبلازم.

② بنية جزيئة ARN. أنظر الوثيقة 6 والوثيقة 7.

الوثيقة 6: مقارنة جزيئة ADN وجزيئة ARN.

تعطي الرسوم التخطيطية أسفله جزء المورثة المسؤولة عن تركيب الخضاب الدموي HbA و جزيئة ARNm المناسب له. انطلاقا من مقارنة الجزيئين وبالاعتماد على معطيات الوثيقة 7، استنتج بنية جزيئة ARN.

GUGCACCUUACUCCAGAGGAG

ARNm المناسب لـ ADN المسؤول عن
تركيب HbA

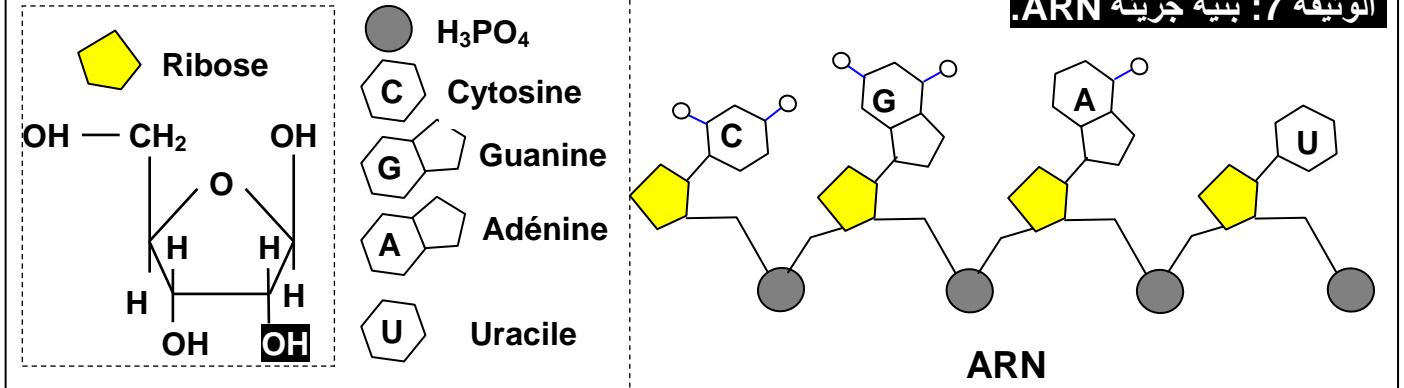
= قاعدة ازوتية هي الأوراسيل (Uracile)

GTGCACCTTACTCCAGAGGAG

CACGTGGAATGAGGTCTCCTC

جزء من ADN المسؤول عن تركيب HbA

الوثيقة 7: بنية جزيئة ARN.



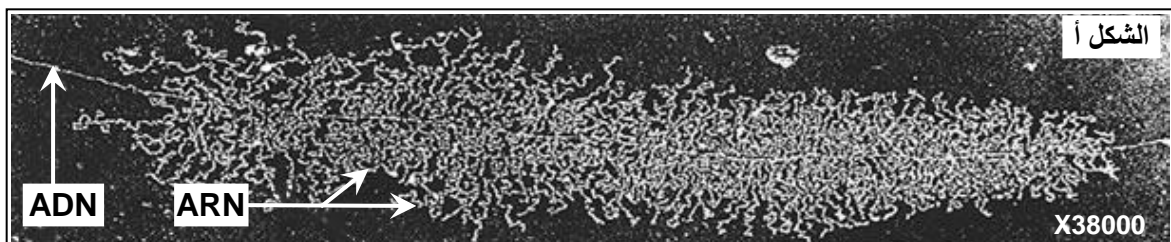
ARN هو الحمض النووي الريبوزي Acide ribonucléique، يتكون من سلسلة من النيكليوتيدات على شكل لولب واحد من النيكليوتيدات (شريط واحد)، وكل نيكليوتيد يتكون من حمض فوسفوري + سكر الريبوز + قاعدة ازوتية تكون إما الأدينين A، أو الغوانين G، أو السيتوزين C، أو الأوراسيل U.

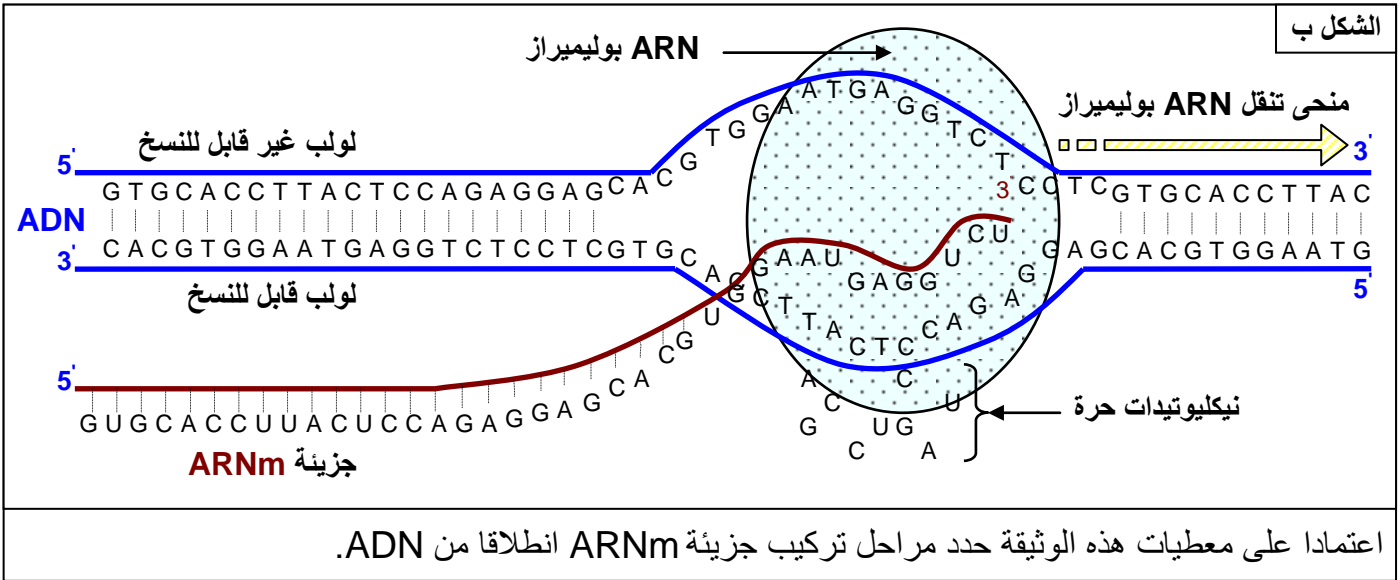
③ مراحل تعبير المورثة.

أ - مرحلة نسخ ARN: من المورثة إلى ARNm. أنظر الوثيقة 8

الوثيقة 8: بنية جزيئة ARN.

للـ ARNm والـ ADN بنية متشابهة نسبيا، حيث أنهما معا يتشكلان من متتالية نيكليوتيدات. وتلعب جزيئة ARNm دور الوسيط بين الـ ADN في النواة وتركيب البروتينات في السيتوبلازم، إذ يعمل على نقل الرسالة الوراثية من ADN بشكل متطابق. تسمى هذه العملية بالاستنساخ (النسخ الوراثي) La transcription. ★ يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة الكرونوغرافية لنواة خلية بيضية عند الضفدعة أثناء عملية النسخ. ★ يعطي الشكل ب رسما تخطيطيا توضيحيا لآلية نسخ جزيئة ARN الرسول (ARNm).





- إن تركيب ARNm يتم داخل النواة، ثم ينتقل إلى السيتوبلازم حاملا الخبر الوراثي، أو الشفرة الضرورية لتركيب البروتين. إن ARNm هو نسخة لأحد شريطي ADN، وتسمى عملية تركيب ARNm بالاستنساخ والتي تتم كما يلي:
- يتعرف أنزيم ARN polymérase على الإشارات الوراثية المسؤولة عن انطلاق تركيب ARNm ويلتصق بها.
 - يعمل ARN polymérase على تفريق لولبي جزيئة ADN على اثر انفصام الروابط الكيميائية التي تجمع القواعد الازوتية المتكاملة فيما بينها.
 - تعمل ARN polymérase على بلمرة النيكليوتيدات الخاصة بـ ARNm، وذلك حسب تكامل القواعد الازوتية لـ ARNm (G أمام C و U أمام A). ويبدأ تركيب ARNm من طرفه 5' ويتشكل حسب المنحى 3' ← 5' بالنسبة لشريط ADN المنسوخ.
 - تتعرف ARN polymérase على الوحدات الرمزية المسؤولة عن نهاية الاستنساخ، فتتوقف عن البلمرة، وتستعيد جزيئة ADN حالتها الأصلية.

هكذا يعمل ARNm على نقل الرسالة الوراثية المتواجدة على مستوى جزيئة ADN، من النواة باتجاه السيتوبلازم حاملة معها الخبر الوراثي، لتتم ترجمته إلى بروتينات.

ب - مرحلة الترجمة في السيتوبلازم: من ARNm إلى البروتين.

a - معطيات حول الطفرات: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: معطيات حول الطفرات:

كشفت دراسة الطفرات عن ما يلي:

- يؤدي تغيير نيكليوتيد واحد أو اثنان أو ثلاثة نيكليوتيدات متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النيكليوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير حمض أميني واحد في البروتين.
 - يؤدي تغيير أربعة أو خمسة أو ستة نيكليوتيدات متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النيكليوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير حمضين أميين في البروتين.
 - يؤدي تغيير سبعة أو ثمانية أو تسعة نيكليوتيدات متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النيكليوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير ثلاثة أحماض أمينية في البروتين.
- عن ماذا تكشف هذه المعطيات ؟

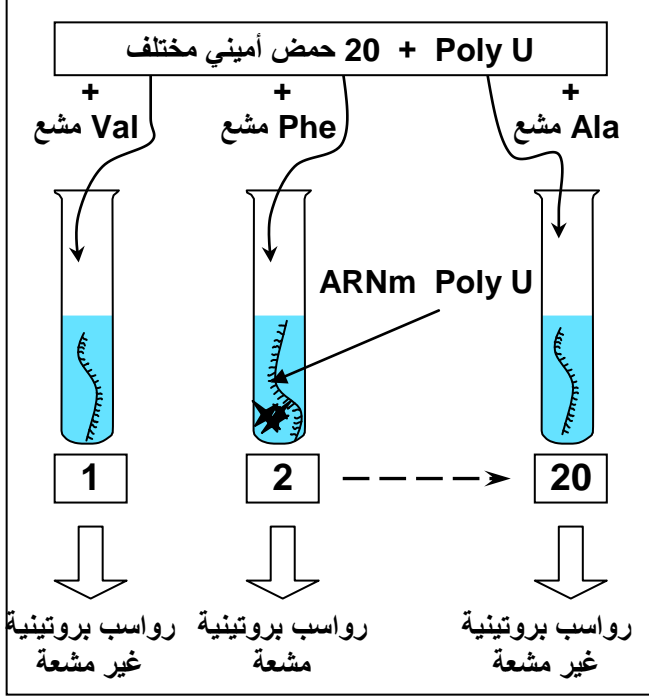
تبين هذه المعطيات ما يلي:

- هناك علاقة بين النيكليوتيدات المكونة لـ ARNm والأحماض الأمينية للبروتين.
- إن الإشارة لحمض أميني واحد في البروتين، يتم بواسطة ثلاثة نيكليوتيدات في ARNm.

b - تجارب Nirenberg و Matthaei أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: تجارب Nirenberg و Matthaei (1962):

في بداية الستينات تمكن الباحثون من عزل أنزيم قادر على بلمره النيكلوتيدات وتركيب جزيئة مشابهة لجزيئة ARNm (عديد نيكلوتيد اصطناعي)، الشيء الذي مكن Nirenberg و Matthaei من انجاز التجارب التالية: عزل مستخلص خلوي من بكتيريا E.coli يتوفر على كل العناصر السيتوبلازمية اللازمة لتكوين البروتينات (أنزيمات، ريبوزومات، ATP، GTP، و Mg^{2+}) لكن بدون ADN وبدون ARNm.



وضع المحتوى الخلوي تحت حرارة $37^{\circ}C$ في 20 أنبوب اختبار، ثم أضيف لكل أنبوب اختبار 20 حمض أميني. حيث أن كل أنبوب يتميز بكون حمض أميني واحد موسوم بالكربون المشع ^{14}C . بعد ذلك تضاف إلى كل وسط جزيئات ARNm اصطناعية، ذات متتالية نيكلوتيدية معروفة، مثلا متتالية مكونة من نيكلوتيدات لا تحتوي إلا على قاعدة ازوتية واحدة هي الأوراسيل -U- وبذلك يرمز له بـ ARNm Poly U.

في آخر التجربة وسط واحد من هذه الأوساط يظهر سلسلة عديد الببتيد مشعة، هذا الوسط يتميز بتوفره على الحمض الأميني الفينيلالانين.

(1) ماذا تستنتج من هذه المعطيات ؟

عندما نستعمل ARNm Poly C نحصل على متتالية من البرولين Pro.

عندما نستعمل ARNm Poly A نحصل على متتالية من الليزين Lys.

عندما نستعمل ARNm Poly GU نحصل على متتالية من حمضين أمينيين السيستين-الفالين Val-Cys.

(2) حدد الوحدة الرمزية التي تطابق كل حمض أميني من الأحماض الأمينية التي تكشف عنها هذه التجارب.

(1) يتبين من هذه المعطيات أن الطابع الوراثي الأساسي يوجد على شكل ثلاثي من النيكلوتيدات، حيث أن الثلاثي UUU يرمز للحمض الأميني الفينيلالانين.

(2) الوحدة الرمزية CCC ترمز للحمض الأميني البرولين. والوحدة الرمزية AAA ترمز للحمض الأميني الليزين. والوحدة الرمزية GUG ترمز للحمض الأميني الفالين، والوحدة الرمزية UGU ترمز للحمض الأميني السيستين.

نستخلص من هذه التجارب أن كل ثلاثي نيكلوتيدي يشكل وحدة رمزية Codon، ويرمز لأحد الأحماض الأمينية. وباستعمال نفس التقنية التجريبية السابقة، تمكن الباحثون من تحديد الوحدات الرمزية التي تشير إلى 20 نوعا من الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات، فتم تجميع النتائج المحصل عليها في جدول الرمز الوراثي الممثل على الوثيقة 11.

تبين من هذه المعطيات التجريبية أن الرمز الوراثي يتكون من 4^3 أي 64 وحدة رمزية تتكون من ثلاثيات من النيكلوتيدات، حيث أن عدة ثلاثيات ترمز لنفس الحمض الأميني، وبعض الثلاثيات لا ترمز لأي حمض أميني نقول أنها بدون معنى Non Sens أو قف Stop، لكونها تدل على نهاية أو توقف تركيب البروتين. وهذه الثلاثيات هي: (UAA, UAG, UGA).

الوثيقة 11: جدول الرمز الوراثي Code génétique:

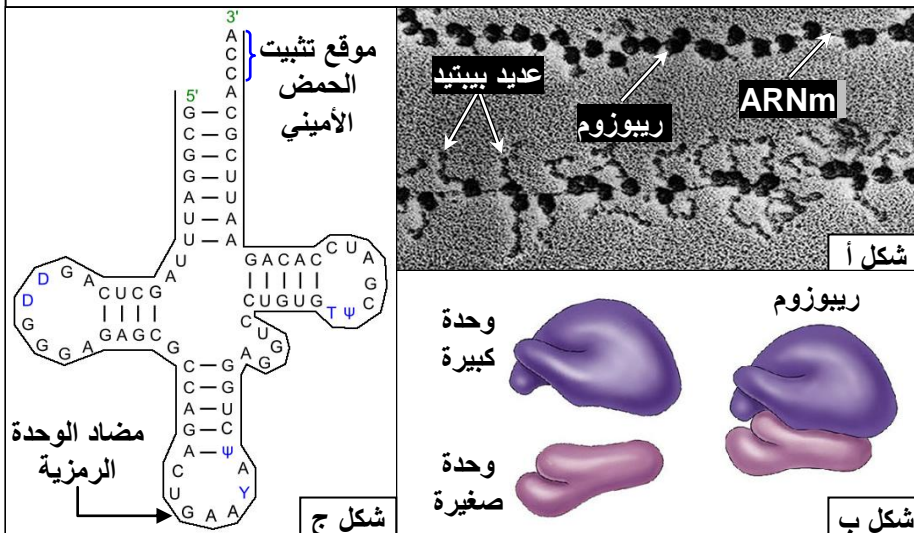
يسمى نظام التطابق بين الوحدات الرمزية التي يحملها ARNm، وبين الأحماض الأمينية التي ترمز لها، بالرمز الوراثي، ويلخص الجدول أسفله، الأحماض الأمينية المقابلة لكل وحدة رمزية.

		الحرف الثاني										
		U		C		A		G				
الرمز الأول	U	UUU	Phe الفينيلانين	UCU	Ser سيرين	UAU	Tyr تيروسين	UGU	Cys سيستين	U		
		UUC		UCC			UAC		UGC	C		
		UUA	Leu لوسين	UCA	Pro بروتين	UAA	STOP بدون معنى	UGA	STOP بدون معنى	A		
		UUG		UCG			UAG		UGG	Trp تريبتوفان	G	
	C	CUU	Leu لوسين	CCU	Pro بروتين	CAU	His هستدين	CGU	Arg أرجينين	U		
		CUC				CCC		CAC			CGC	C
		CUA				CCA		CAA		Gln غلوتامين	CGA	A
		CUG				CCG		CAG			CGG	G
	A	AUU	Ileu ازولوسين	ACU	Thr تريونين	AAU	Asn أسبارجين	AGU	Ser سيرين	U		
		AUC				ACC		AAC		AGC	C	
		AUA		ACA			AAA	Lys ليزين	AGA	Arg أرجينين	A	
		AUG	Met ميثيونين	ACG			AAG			AGG	G	
G	GUU	Val فالين	GCU	Ala ألانين	GAU	Asp حمض أسبارتيك	GGU	Gly غليسين	U			
	GUC				GCC		GAC			GGC	C	
	GUA				GCA		GAA		Glu حمض الغلوتاميك	GGA	A	
	GUG				GCG		GAG				GGG	G

c - مراحل الترجمة:

★ العناصر اللازمة للترجمة: أنظر الوثيقة 12.

الوثيقة 12: العناصر المتدخلة في تركيب البروتينات:



تتم عملية تركيب البروتينات بتواجد ARNm، لكن هناك عدة عناصر أخرى تتدخل خلال هذه العملية، لتحويل الرسالة المحمولة على ARNm، إلى سلسلة أحماض أمينية. توضح الوثائق أمامه أهم هذه العناصر:

- ★ الشكل أ: ملاحظة الكرونوغرافية تظهر ارتباط الريبوزومات ب ARNm.
- ★ الشكل ب: رسم تخطيطي يوضح بنية الريبوزوم.
- ★ الشكل ج: جزيئة ARNt

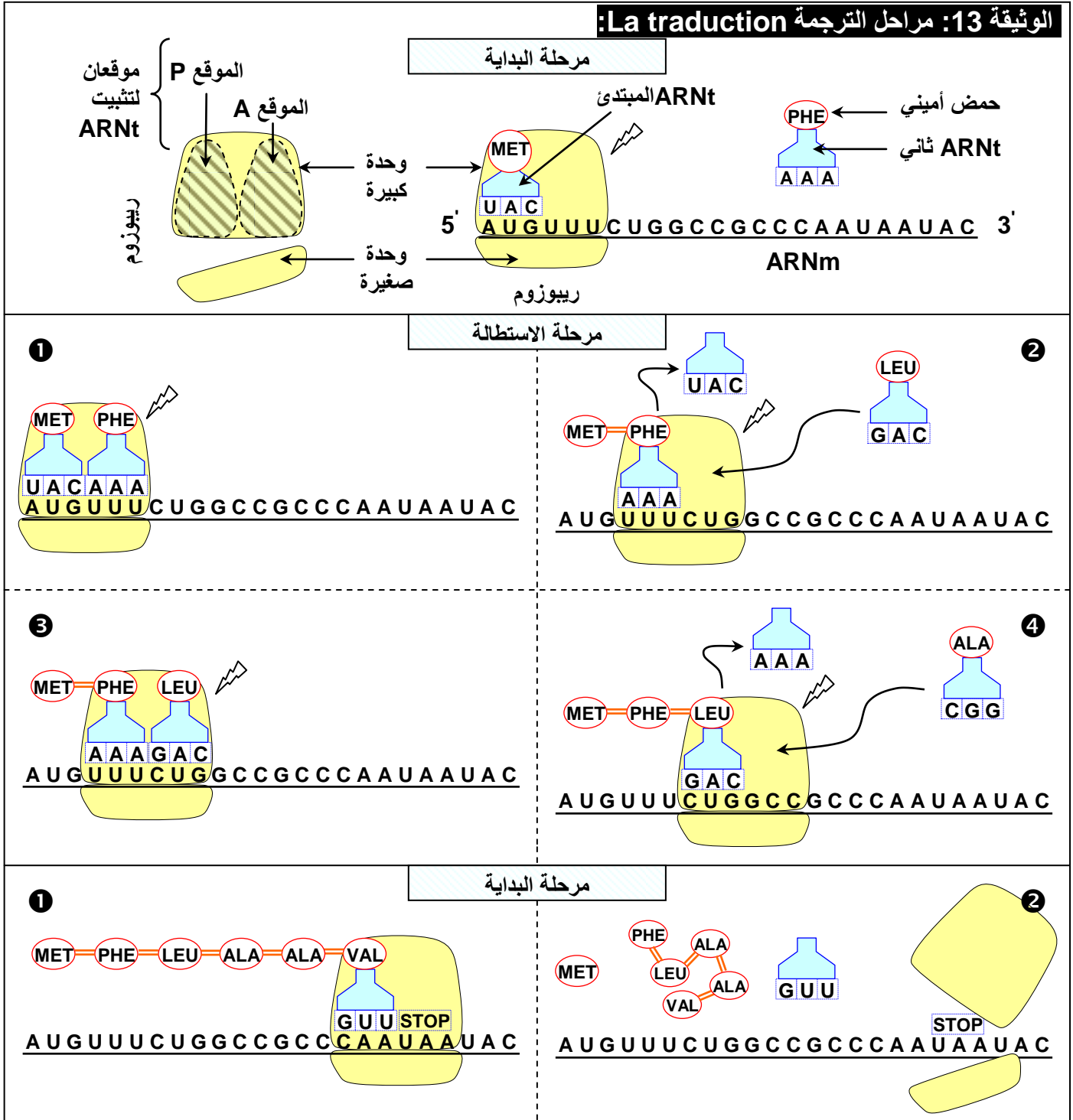
يحتاج تركيب البروتينات بالإضافة إلى ARNm والمورثة إلى:

- ↔ ريبوزومات (شكل أ)، وهي عضيات سيتوبلازمية صغيرة يتشكل كل واحد منها من وحدة صغيرة ووحدة كبيرة، (شكل ب)، وتتكون كل وحدة من ARN ريبوزومي (ARNr) ومن بروتينات. وتتشكل الريبوزومات داخل النوية.
- ↔ ARN ناقل (ARNt) الموجود بالسيتوبلازم (شكل ج)، ويختص بنقل الأحماض الأمينية الحرة المطابقة للوحدة الرمزية. وتتكون جزيئة ARNt من نيكليوتيدات وتتضمن موقعين:

- ✓ موقع يحتوي على ثلاث نيكليوتيدات مكملة للوحدة الرمزية المشيرة لحمض أميني معين، ويسمى هذا الثلاثي النيكليوتيدي مضاد الوحدة الرمزية Anticodon.
- ✓ موقع لتثبيت الحمض الأميني المناسب للوحدة الرمزية.

- ↪ أحماض أمينية وهي 20 حمض أميني طبيعي.
- ↪ طاقة لمختلف مراحل التركيب، مصدرها الاستقلاب الطاقوي.
- ↪ عوامل منشطة.

* مراحل الترجمة: أنظر الوثيقة 13.



يمكن تلخيص ظاهرة تركيب البروتينات في ثلاثة مراحل أساسية وهي:

← المرحلة الأولى: البداية L'initiation

خلال هذه المرحلة تلتصق وحدتي الريبوزومات بـARNm، على مستوى الوحدة الرمزية AUG، التي تمثل إشارة البدء، وترمز للحمض الأميني الميثيونين الذي يرتبط بـARNt خاص يسمى ARNt المبتدئ، والحامل لمضاد الوحدة الرمزية UAC.

← المرحلة الثانية: الاستطالة L'élongation

وصول ARNt آخر حاملا معه حمض أميني ثاني مطابق للوحدة الرمزية الموالية على ARNm . تتشكل رابطة بيبتيديّة بين الميثيونين (Met) والحمض الأميني الموالي، فتتفصل الرابطة بين Met وARNt المبتدئ الذي يغادر الريبوزوم. يتحرك الريبوزوم بوحدة رمزية واحدة (حسب المنحى 5' ← 3' لشريط الـARNm المقروء)، ليصل ARNt ثالث، وهكذا تتضاعف الأحماض الأمينية في السلسلة البيبتيديّة.

← المرحلة الثالثة: النهاية La terminaison

عندما يصل الريبوزوم إلى الوحدة الرمزية قف (UAA أو UAG أو UGA) لا يدمج أي حامض أميني، إذ لا يوجد أي ARNt متكامل مع هذه الوحدات الرمزية. فتفترق وحدتي الريبوزوم عن بعضهما البعض و عن ARNm و يتم تحرير السلسلة البيبتيديّة. كما ينفصل الحمض الأميني Met عن باقي السلسلة البيبتيديّة.

ملحوظة:

إن جزيئة واحدة من ARNm تتم ترجمتها في نفس الوقت بواسطة عدة جسيمات ريبية، تنتقل على طول خيط ARNm، مما يسمح بتكون عدة بروتينات في نفس الوقت. (أنظر الشكل أ الوثيقة 12).

الفصل الثالث:

الهندسة الوراثية: مبادئها وتقنياتها

تمهيد:

تمكن علماء الوراثة منذ السبعينات من نقل وتوظيف مورثات متنوعة ضمن خلايا أخرى أجنبية، الشيء الذي يعطي خلايا هجينة لم تكن موجودة من قبل في الطبيعة. بعد ذلك تم الانتقال من التجارب المخبرية إلى المجال الصناعي، حيث تأسست صناعة حقيقية تعتمد على التغيير الوراثي للخلايا الحية بواسطة نقل المورثات. تسمى التقنيات المعتمدة في هذا التغيير الوراثي بالهندسة الوراثية.

- ما المقصود بالهندسة الوراثية، وما هي مبادئها؟
- ما هي التقنيات التي تعتمد عليها الهندسة الوراثية؟
- ما هي مجالات تطبيق الهندسة الوراثية؟

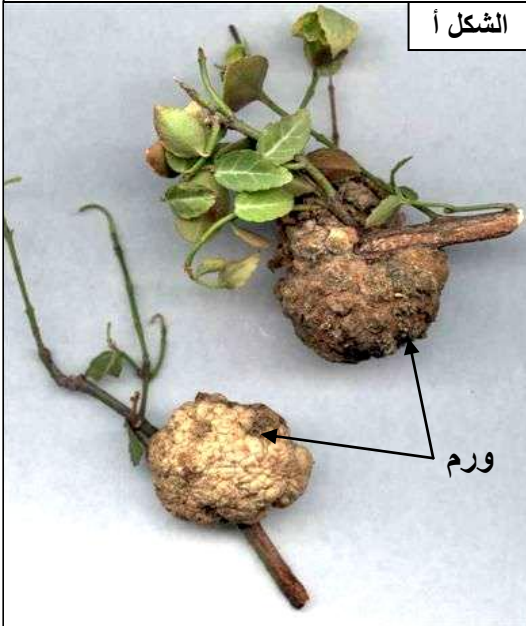
I - مفهوم التغيير الوراثي ؟

① الانتقال الطبيعي لمورثات البكتيريا *At* إلى نبات:

أ - معطيات تجريبية : أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: مفهوم التغيير الوراثي:

مرض جرب السنخ *La galle du collet*، هو عبارة عن ورم سرطاني ضخم يظهر عند بعض النباتات على مستوى السنخ، وهي منطقة التقاء الساق والجذر (الشكل أ)، ونظرا لأثره الحاسم على الاقتصاد فقد كان موضوع عدة أبحاث وتجارب.



★ التجربة الأولى: (E.Smith et C.Townsend en 1907)

عزل الباحثان من ورم سرطاني في جذر نبات بكتيريا تدعى *At = Agrobacterium tumefaciens* (الشكل ب). وبعد ذلك تم زرع هذه البكتيريا في فتحة حديثة (أقل من يومين) أنجزت على نبات سليم، فلاحظ ظهور الورم السرطاني في النبتة.

(1) ماذا يمكنك استنتاجه من معطيات هذه التجربة؟

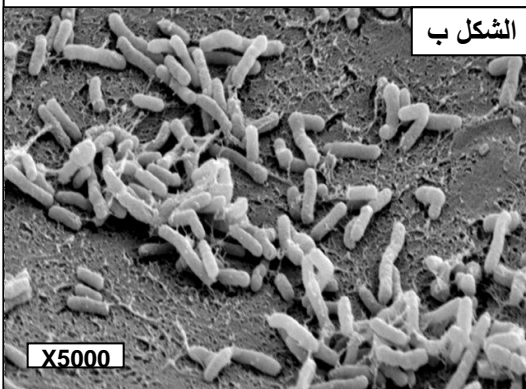
★ التجربة الثانية: (A.Braun 1972).

لقد استطاع هذا الباحث أن يزرع نسيج جرب السنخ لا يحتوي على بكتيريا في وسط معين بدقة، يتكون فقط من السكروز وأملاح معدنية. فلاحظ أن خلايا النسيج تتكاثر بصورة فوضوية عكس الخلايا العادية التي تتكاثر ببطء متطلب وجود الهرمونات النباتية.

(2) ما التغيير الذي حدث لخلايا السنخ بوجود البكتيريا *A.t*؟

(3) ما الفرضية التي يمكنك إعطاؤها حول التغيير الذي أصاب

سلوك الخلايا النباتية؟



★ اكتشفت مجموعة من الباحثين وجود نمطين من بكتيريا *At*: A) و B) وهذان النمطان يسببان المرض (يؤديان إلى تكون ورم). حيث يؤدي النمط A إلى تكون ورم تركيب خلاياه النوبالين *Nopaline* بينما يؤدي النمط B إلى تكون ورم تركيب خلاياه الأكتوبين *Octopine* (النوبالين والأكتوبين عبارة عن مشتقات من مستقبلات مشتركة تتكون في معظمها من أحماض أمينية وأحماض سيتونية مختلفة أو سكريات).

(4) ما مكمل الفرضية التي يمكنك إعطاؤها حول التغيير الذي

أصاب سلوك هذه الخلايا؟

الشكل ج

★ التجربة الثالثة:
 تمكن باحثون من عزل البكتيريا *At* وبعد دراسة مكوناتها وجدوا ADN حلقة تدعى البلاسميد *Ti*. نزرع في درجة حرارة 37°C أصل ذرية لبكتيريا *At* من النمط *A* حساسة للحرارة، فنحصل على أصل ذرية *A₁*. يبين الشكل ج بقية التجربة.

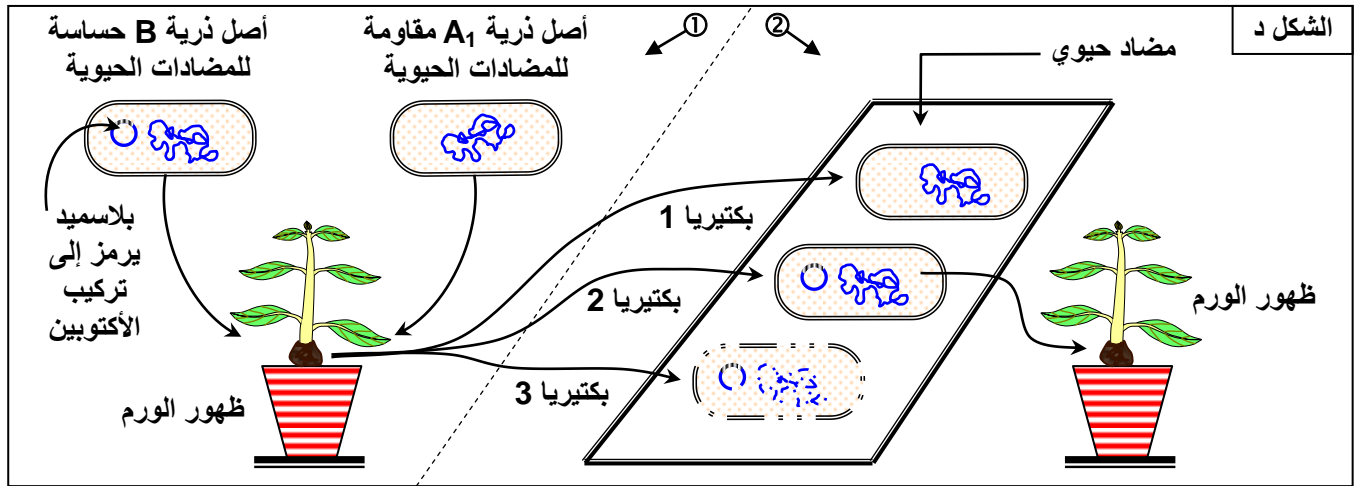
(5) فسر النتائج المحصل عليها.

★ التجربة الرابعة:
 لتوضيح دور البلاسميد (حلقة صغيرة من ADN تحمل مورثات إضافية)، ننجز التجربة التالية:
 ندخل في نبات سليم بكتيريات *A₁* لا تسبب المرض ومقاومة للمضادات الحيوية، وبكتيريات *B* مسببة للمرض وحساسة للمضادات الحيوية، فيتكون ورم (أنظر الجزء ① من الشكل د).

(6) ما التفسير الذي تقترحه بالنسبة لنتيجة هذه التجربة؟

أصل ذرية *A* حساسة للحرارة
 أصل ذرية *A₁*
 زراعة في 37°C
 بلاسميد يرمز إلى تركيب النوبالين
 ظهور الورم
 عدم ظهور الورم

نسحق الورم ونبسطه فوق وسط زرع يحتوي على مضادات حيوية. نتائج هذه التجربة ممثلة على الجزء ② من الشكل د.



(7) تعرف على البكتيريات 1 و 2 و 3 المحصل عليها.

(8) هل يمكنك تحديد دور البلاسميد؟

(9) انطلاقاً من نتائج التجارب السابقة وبعتمادك على الوثيقة 2، اشرح كيفية تكون الورم في مستوى السنخ عند النبات.

ب - تحليل المعطيات التجريبية :

(1) نستنتج من معطيات هذه التجربة أن البكتيريا *Agrobacterium tumefaciens* هي المسؤولة عن ظهور الورم السرطاني عند النباتات السليمة.

(2) التغيرات التي تطرأ على خلايا السنخ بواسطة البكتيريا *At* هي التكاثر العشوائي والسريع غير المنتظم لخلايا النبتة دونما حاجة إلى الهرمونات النباتية المسؤولة أصلاً عن نمو خلايا السنخ.

(3) الفرضية: نقلت البكتيريا *At* إلى الخلايا النباتية مادة ما أدت إلى تغيير على مستوى الخبر الوراثي وبالتالي اكتساب الخلايا النباتية صفة التكاثر العشوائي.

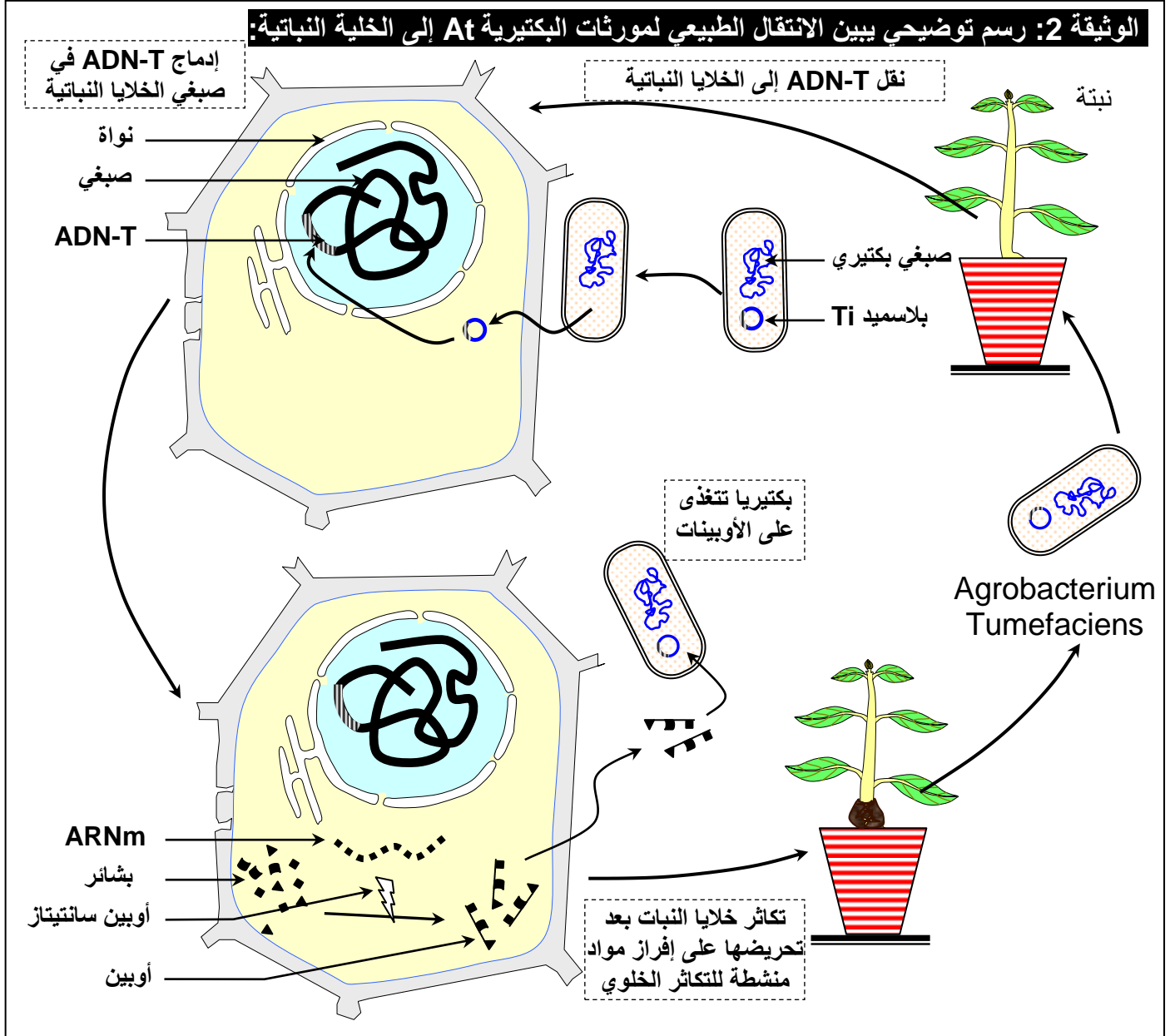
(4) ربما أن التغيير في جينوم الخلايا النباتية ناتج عن إدخال مورثات بكتيرية إلى الخلايا النباتية، هذه المورثات هي التي تتحكم في تركيب النوبالين والأكتوبين.

(5) نلاحظ أنه تحت تأثير الحرارة، يتم تفكيك البلاسميد المسؤول عن تركيب النوبالين، وينتج عن هذا التفكك عدم إصابة النبتة بالورم، فالبلاسميد اذن هو المسؤول عن القدرة الممرضة للبكتيريا.

(6) إن البكتيريا A1 فقدت قدرتها الممرضة لغياب البلاسميد. لذا يمكن تصور أن البكتيريا B المتوفرة على البلاسميد المسؤول عن تركيب الأكتوبين هي التي تؤدي إلى ظهور الورم عند النبتة.

(7) البكتيريا 1 غير ممرضة ومقاومة للمضادات الحيوية، اذن هي البكتيريا A1. البكتيريا 2 تحتوي على بلاسميد ومقاومة للمضادات، اذن هي نمط هجين يحمل صفات A1 و B. البكتيريا 3 هي حساسة للمضادات الحيوية، اذن هي بكتيريا B.

(8) لقد ظهرت بكتيريا جديدة تشبه A1 وتملك بلاسميد البكتيريا B، وتحدث المرض، نستنتج من هذا أن البلاسميد يستطيع الانتقال من خلية بكتيرية إلى أخرى محدثا تغيرا في الصفات، ومن هذا فان البلاسميد مسؤول عن تغيير الخبر الوراثي.



(9) يظهر جرب السنخ على مراحل هي:

✓ المرحلة الأولى: تنفذ البكتيريا في جرح يكون قريبا من سنخ النبات، فتقوم بحقن بلاسميدها Ti (نسبة إلى Tumor Inducing أي محرض للورم) في الخلية النباتية. هذا البلاسميد يحتوي على قطعة من ADN تدعى ADN-T (نسبة إلى Transferred ADN).

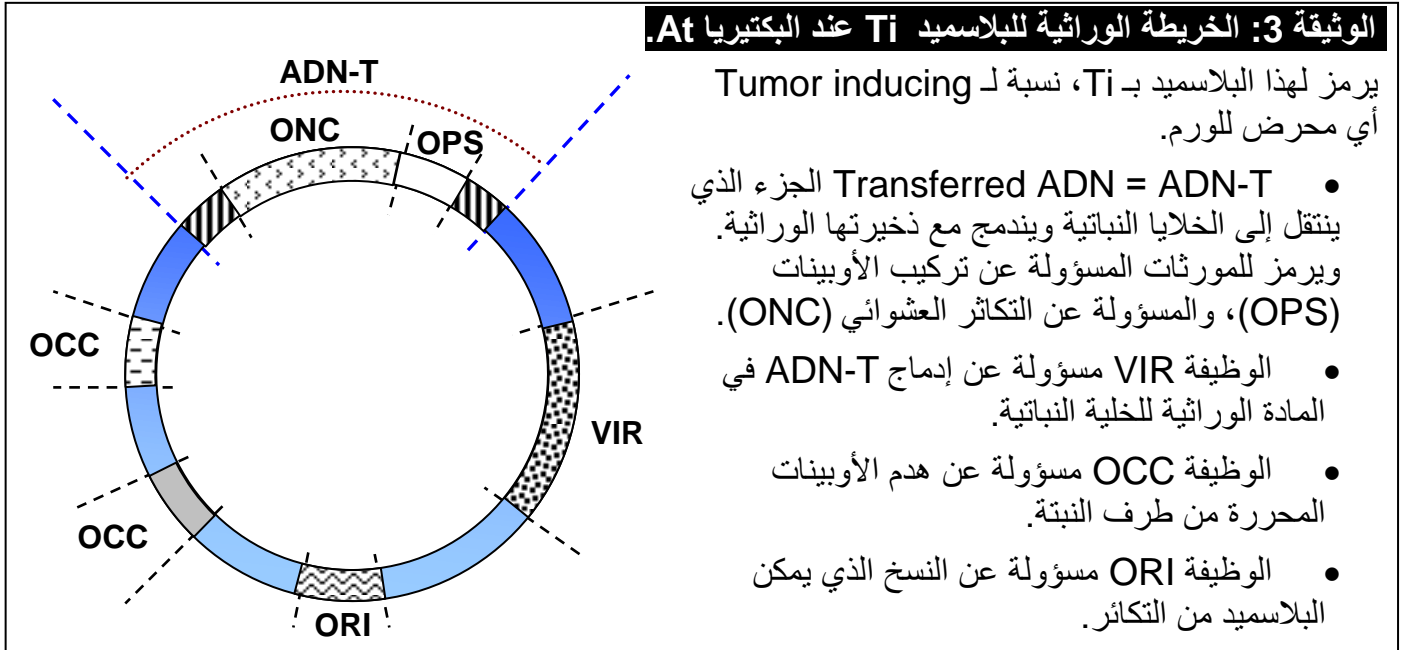
✓ المرحلة الثانية: تدمج المورثات ADN-T ضمن ADN الخلية النباتية العائلة، لتدخل تلك القطعة ضمن ذخيرتها الوراثية.

✓ المرحلة الثالثة: تستنسخ ARNm من مورثات ADN-T، وتترجم إلى بروتين في سيتوبلازم الخلية النباتية. هذا البروتين هو أنزيم أوبين سانتيتاز الذي يحفز تفاعل تركيب الأوبين من طرف الخلية.

✓ المرحلة الرابعة: يؤدي الأوبين المركب إلى تكاثر الخلايا النباتية بإيقاع مرتفع، مما ينتج عنه ورم. كما أن الأوبين المفرز خارج الخلية يؤدي إلى تكاثر البكتيريا At.

② خلاصة:

إن جرب السنخ ناتج عن تغير وراثي لخلايا النبتة. هاته الصفة أصبحت وراثية، ويعتبر بلاسميد البكتيريا عامل نقل المورثة من البكتيريا إلى الخلية النباتية. ولقد مكنت دراسة هذه الظاهرة من وضع الخريطة الوراثية للبلاسميد Ti عند البكتيريا At. أنظر الوثيقة 3.



II - آليات الهندسة الوراثية.

① الوسائل المستعملة في الهندسة الوراثية: أنظر الوثيقة 4

أ - بكتيريا, *Escherichia coli*.

الوثيقة 4: الوسائل المستعملة في الهندسة الوراثية:

★ أهمية اختيار بكتيريا *Escherichia coli* في الهندسة الوراثية:

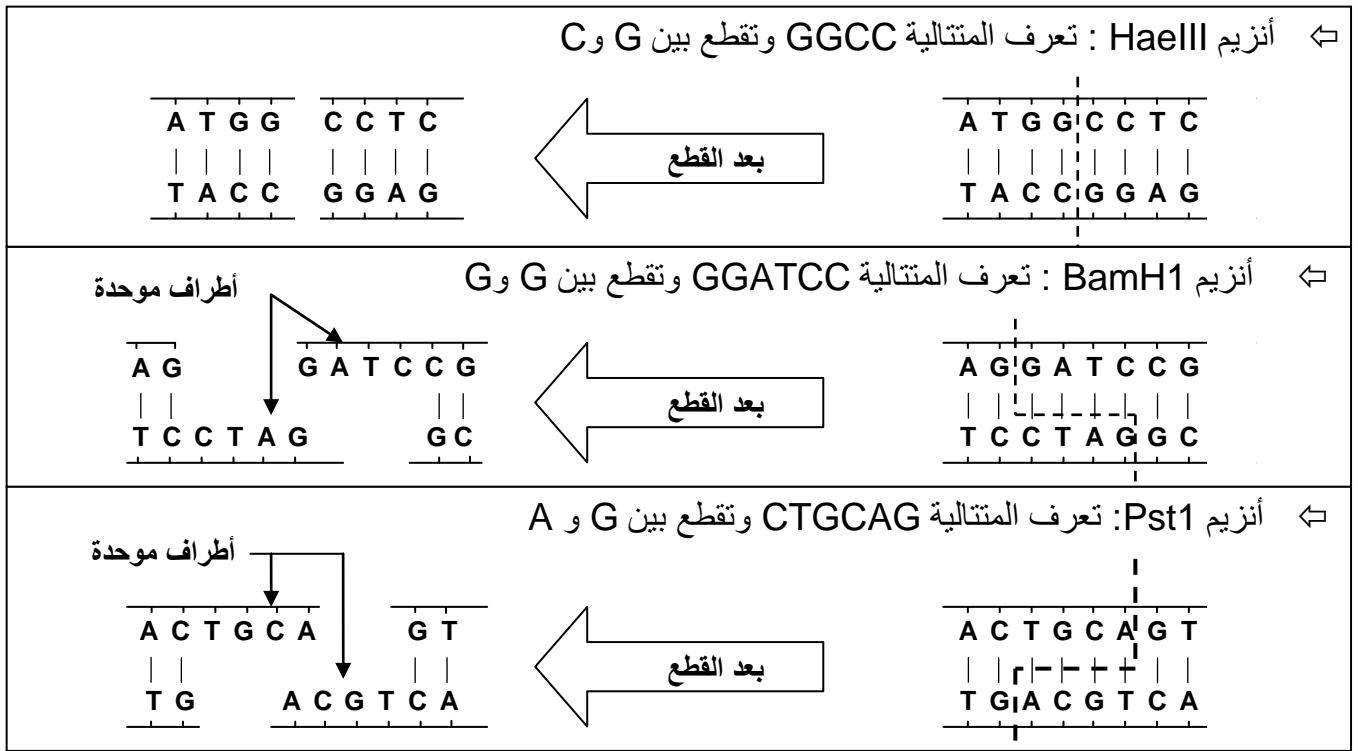
تعتبر العصية الكولونية *La Colibacille E.coli*، الكائن المفضل عند العلماء المهتمين بميدان الهندسة الوراثية وذلك لعدة اعتبارات، أهمها القدرة الكبيرة لهذا الكائن على التكاثر (تنقسم في الظروف المثلى كل 20 دقيقة)، وكذلك لتوفره بالإضافة للصبغي الأساسي على عدة بلاسميدات يمكن استغلالها كناقلات للمورثات، كما أن سيتوبلازم هذه البكتيريا غني بالجسيمات الريبية (الريبوزومات) والعناصر الضرورية لتركيب البروتينات.

ب - أنزيمات الفصل وأنزيمات الربط:

a - أنزيمات الفصل les enzymes de restriction

★ أنزيمات الفصل وأنزيمات الربط Les enzymes de restriction et les Ligases

في سنة 1965 اكتشف W.arber أن البكتيريا المعفنة بالحماة تستطيع مقاومة هذه الطفيليات بتقطيع ADN الحماة إلى أجزاء صغيرة بفضل أنزيمات نوعية تقطع ADN في مواقع محددة بدقة. بعد ذلك استخلصت مئات الأنواع من هذه الأنزيمات كل واحد يحمل اسم النوع البكتيري الذي استخلص منه متبوع بالرقم الترتيبي لاكتشافه.



أنزيمات الفصل هي أنزيمات نوعية قادرة على التعرف في مستوى جزيئة ADN على تسلسلات دقيقة من القواعد الازوتية، وقطع الجزيئة على مستواها. ويحمل كل أنزيم فصل اسم النوع البكتيري الذي استخلص منه.

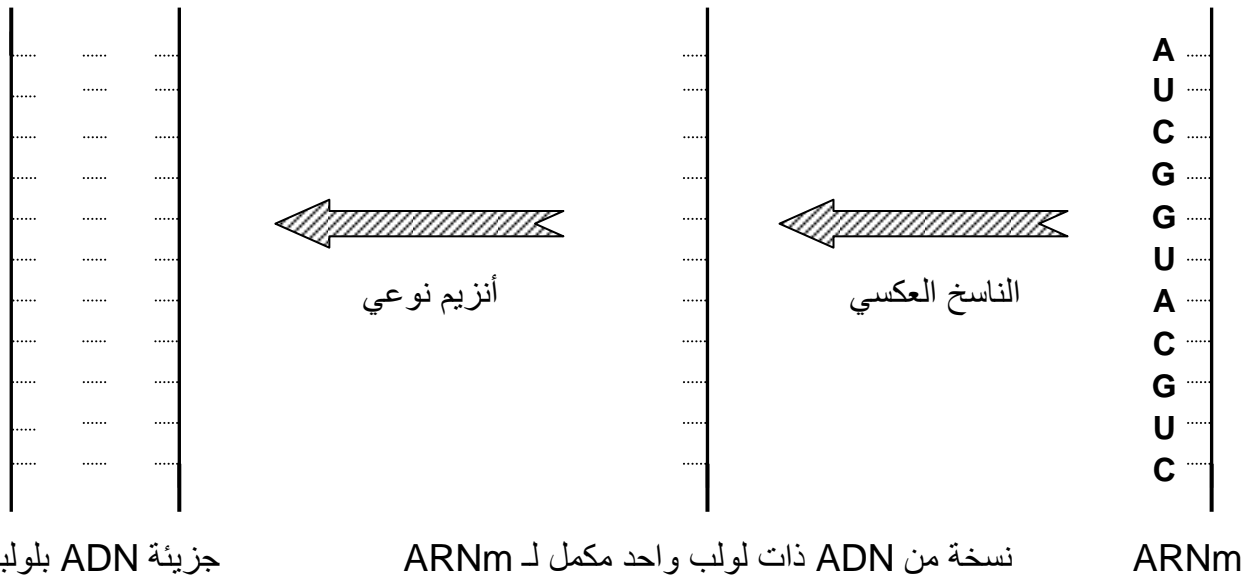
b - أنزيمات الربط Les ligases

هي أنزيمات نوعية قادرة على ربط أجزاء ADN مقطوعة (بواسطة أنزيمات الفصل)، وذلك بربط الأطراف الموحدة مع بعضها حسب مبدأ تكاملية القواعد الازوتية.

ج - الناسخ العكسي :

★ الناسخ العكسي Transcriptase inverse :

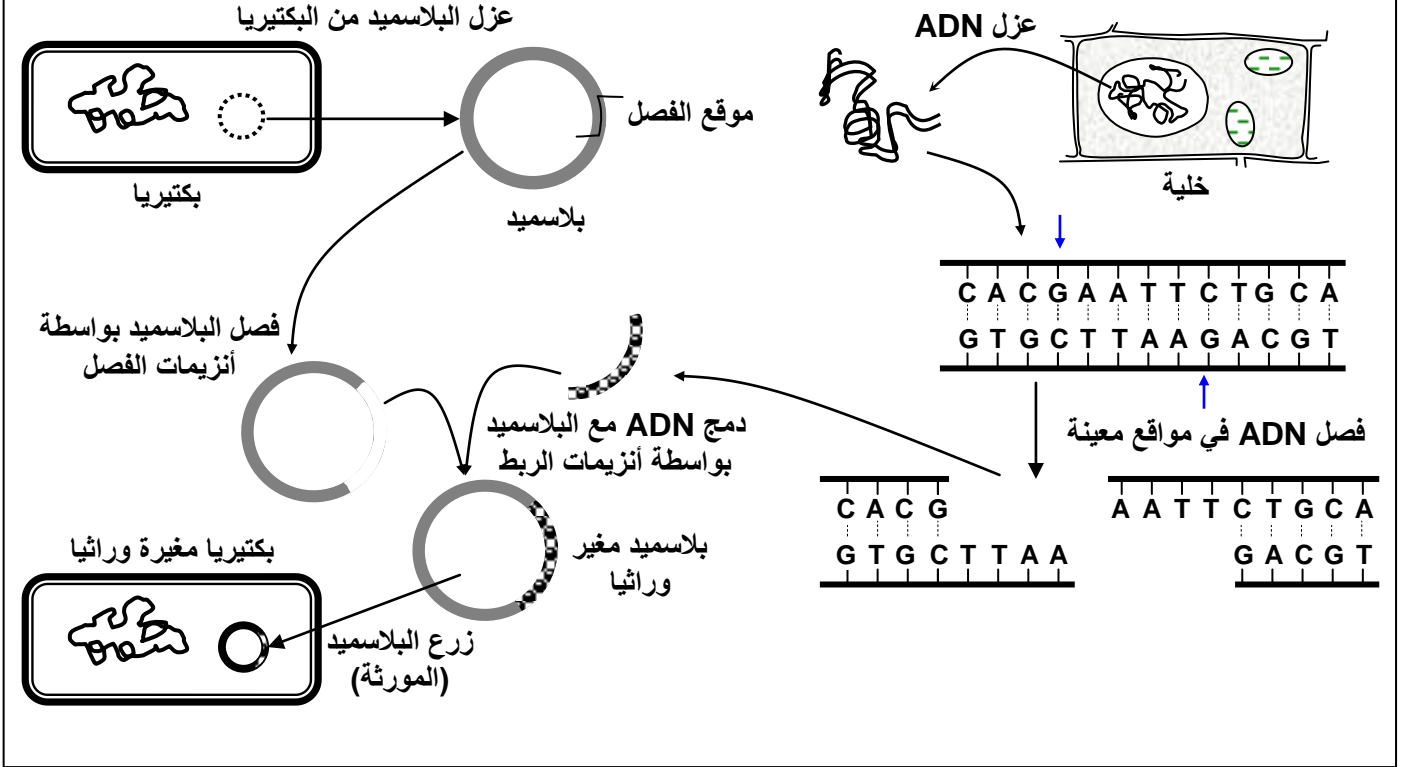
تمكن باحثون من عزل أنزيم عند الحمات قادرة على تركيب جزيئة ADN انطلاقا من جزيئة ARNm، وأطلقوا عليها اسم الناسخ العكسي. وهكذا أصبح بالإمكان تركيب المورثة التي ترمز لبروتين معين انطلاقا من ARNm الذي يرمز له. انطلاقا من جزيئة ARNm التالية، حدد خييط ADN المنفرد الناتج عن النسخ العكسي، ثم حدد جزيئة ADN المزدوجة والتي تمثل المورثة المرغوبة.



② مراحل عزل ونقل مورثة من خلية إلى بكتيريا : أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 5: مراحل عزل ونقل مورثة من خلية إلى بكتيريا *Echérichia-Coli*.

بعد عزل المورثة المراد استغلالها، يتم دمجها ضمن الذخيرة الوراثية لكائن حي آخر، سيعمل على ترجمة هذه المورثة إلى بروتينات مرغوبة. هناك طرق عديدة لدمج المورثة في الذخيرة الوراثية لكائن حي آخر (بكتيريا مثلا)، أهمها الدمج عن طريق بلاسميد يسمى البلاسميد الناقل. توضح الوثيقة التالية، مراحل دمج مورثة معينة في الذخيرة الوراثية لبكتيريا. صف كيفية عزل ودمج مورثة مرغوبة في الذخيرة الوراثية لبكتيريا.



يتطلب نقل مورثة إلى بكتيريا معينة المرور من المراحل التالية:

أ - عزل المورثة (جزء من ADN).

- بعد تحديد الصفة المرغوبة، يتم عزل المورثة التي ترمز لها، وذلك بطريقتين:
- عزل ADN الخلية التي تحتوي على المورثة المراد نقلها، ثم يتم تقطيع جزيئة ADN بواسطة أنزيمات الفصل.
- استخلاص ARNm من الخلية التي تحتوي على المورثة المراد نقلها، وبواسطة الناسخ العكسي يتم تركيب ADNc (Complémentaire) الذي يكون حاملا للمورثة المرغوبة، ثم تضاف لـ ADNc أطراف موحدة.

ب - إدماج المورثة داخل متعضي ناقل.

نستخرج من خلية *E.coli* ناقل معزول (= بلاسميد). يتم قطع البلاسميد بواسطة أنزيم الفصل. ثم يتم ربط ADN البلاسميد بالجزء من ADN المراد نقله بواسطة أنزيم الربط. فنحصل بذلك على بلاسميد مغير يتم إدخاله داخل متعضي ناقل (*E.coli*).

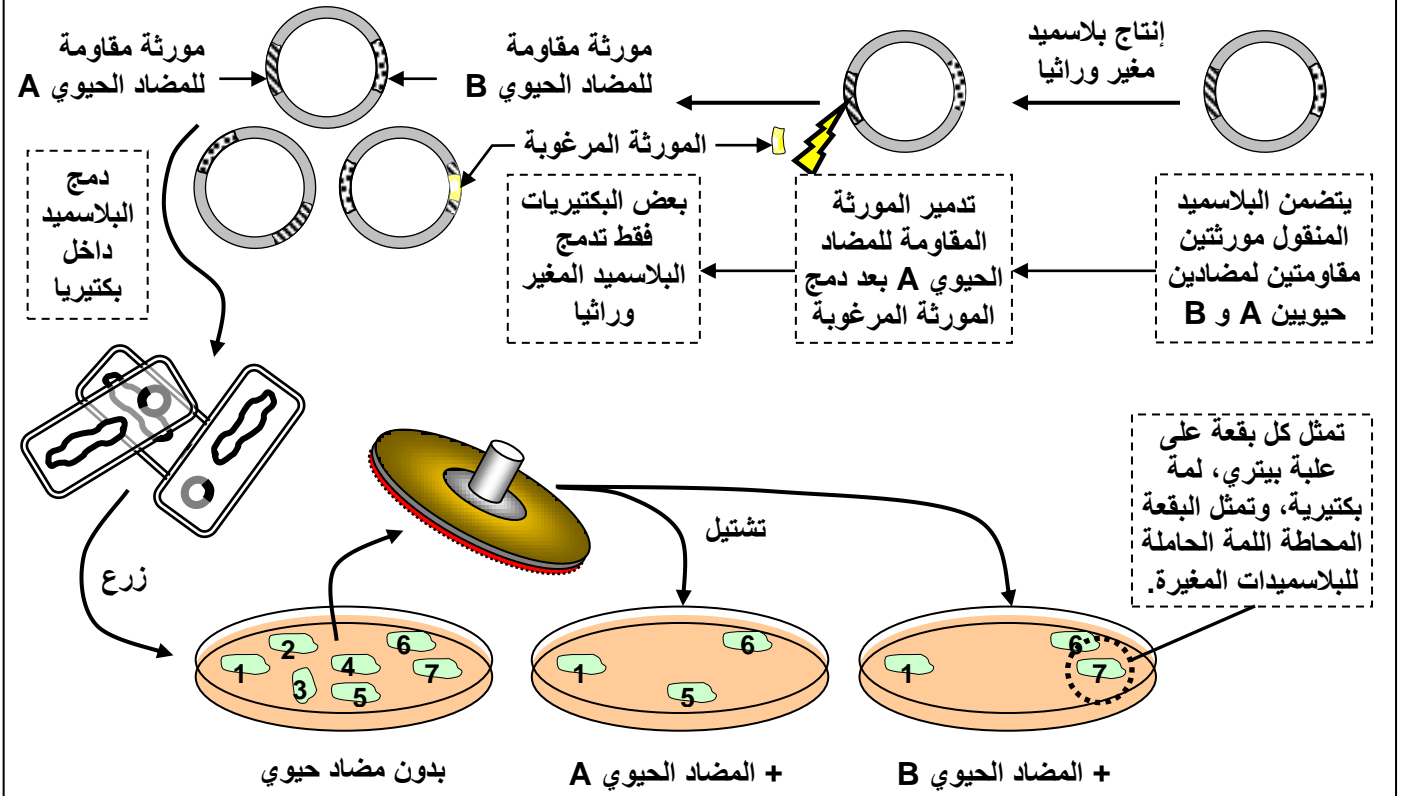
③ تلميم المورثة ورصد البكتيريا المغيرة وراثيا:

أ - رصد البكتيريات المغيرة وراثيا بواسطة مضادات الأجسام. أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: رصد البكتيريات المغيرة وراثيا من خلال استعمال مضادات الأجسام:

بعد دمج البلاسميد في البكتيريات العائلة، يتم زرعها داخل علبه بيتري في وسط ملائم، بحيث تتكاثر مكونة مستعمرات على شكل لمت. بعد ذلك يتم نقل هذه اللمت إلى علب جديدة، فنحصل بذلك على عدة لمت، فننكلم بذلك عن التلميم. بعض هذه اللمت يحتوي على البكتيريا المغيرة وراثيا، وبعضها لم تُدمج المورثة. قصد رصد البكتيريات المغيرة وراثيا، يُعتمد على عدة تقنيات، من بينها استغلال خاصية مقاومة المضادات الحيوية بفعل مورثات تتموضع على مستوى البلاسميد. ويتجلى مبدأ هذه التقنية في زرع البكتيريات في أوساط زرع تضم المضادات الحيوية، ثم تحليل النتائج المحصل عليها في كل وسط زرع لتحديد اللمت التي تحتوي على المورثة المرغوبة. توضح الوثيقة أسفله، ظروف و نتائج هذه التجارب.

ماذا تستخلص من معطيات هذه التجربة؟



نلاحظ أن البلاسميد المستعمل في هذه الحالة يتميز بوجود مورثتين: المورثة A (مقاومة المضاد الحيوي A) والمورثة B (مقاومة المضاد الحيوي B).

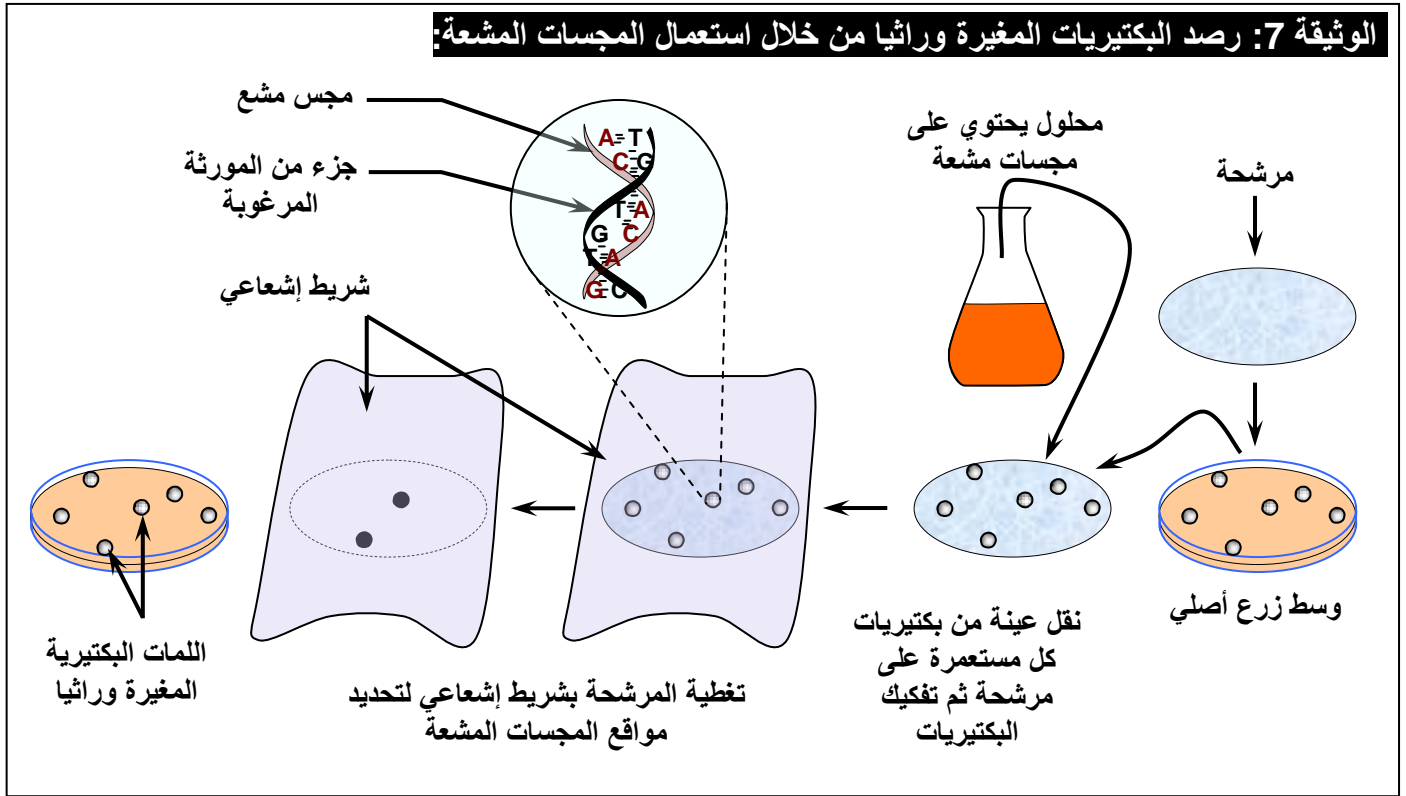
يُلاحظ على أن المورثة المُدمجة تتموضع وسط المورثة المسؤولة عن مقاومة المضاد الحيوي A، إذن بعد دمج المورثة الجديدة، فقد البلاسميد المورثة A دون أن يفقد المورثة B. إذن البكتيريا الحاملة للبلاسميد المغير ستكون حساسة للمضاد الحيوي A ومقاومة للمضاد الحيوي B. وهكذا يتم رصدها باستعمال هذه المضادات الحيوية كما يلي:

⇨ عند زرع البكتيريا في وسط زرع يضم المضاد الحيوي A، ستنمو فقط البكتيريات التي تتوفر على المورثة المقاومة لـ A، وتختفي التي لا تتوفر على مورثة المقاومة لـ A. هذه الأخيرة هي 2، 3، 4، 7.

⇨ عند زرع البكتيريا في وسط زرع يضم المضاد الحيوي B، تنمو فقط البكتيريات التي تتوفر على المورثة المقاومة لـ B، وهي 1، 6، 7، وتختفي التي لا تتوفر على مورثة المقاومة لـ B.

إذن البكتيريا المغيرة وراثيا ستكون في نفس الوقت مقاومة للمضاد الحيوي B، وحساسة للمضاد الحيوي A، وبالتالي فهي البكتيريا 7. التي يتم زرعها بعد ذلك حتى يتم تعبير البروتين المرغوب.

ب - رصد البكتيريات المغيرة وراثيا بواسطة المجسات المشعة. أنظر الوثيقة 7.



يمكن كذلك رصد البكتيريات المغيرة وراثيا من خلال تقنية أخرى وهي استعمال المجسات المشعة. تعتمد هذه التقنية على رصد المورثة المرغوبة، باستعمال مجسات مشعة، وهي عبارة عن قطع ADN أو ARNm مشعة ومكاملة لمتتالية الـ ADN لجزء مميز من المورثة المستهدفة. يتم بعد ذلك تموضع الإشعاع باستعمال شريط إشعاعي. يدل الإشعاع في الشريط، على موقع تواجد المجسات المشعة، وبالتالي موقع تواجد البكتيريات الحاملة للمورثة المرغوبة. تمثل الوثيقة أسفله أهم مراحل هذا التقنية.

④ تعبير المورثة.

بعد الحصول على اللات التي تحتوي على المورثة المطلوبة، يتم زرع هذه الخلايا المغيرة في مخمرات صناعية لتتكاثر وتنتج أكبر كمية من المادة الناتجة عن ترجمة المورثة المدمجة في البلاسميد. لكي تقوم البكتيريا بإنتاج بروتينات لا تحتاجها، تضاف إلى المورثة المرغوبة وحدات وظيفية منظمة.

خلاصة : تعريف الهندسة الوراثية

الهندسة الوراثية هي استخلاص جزء من ADN حامل لمورثة مطلوبة، وزرعها في خلايا أخرى (بكتيريا أو خلايا الخميرة ...). وهكذا يتم الحصول اصطناعيا على خلايا هجينة لم تكن موجودة من قبل في الطبيعة، قادرة على إنتاج بروتينات معينة مطلوبة.

III - أمثلة لتطبيقات الهندسة الوراثية.

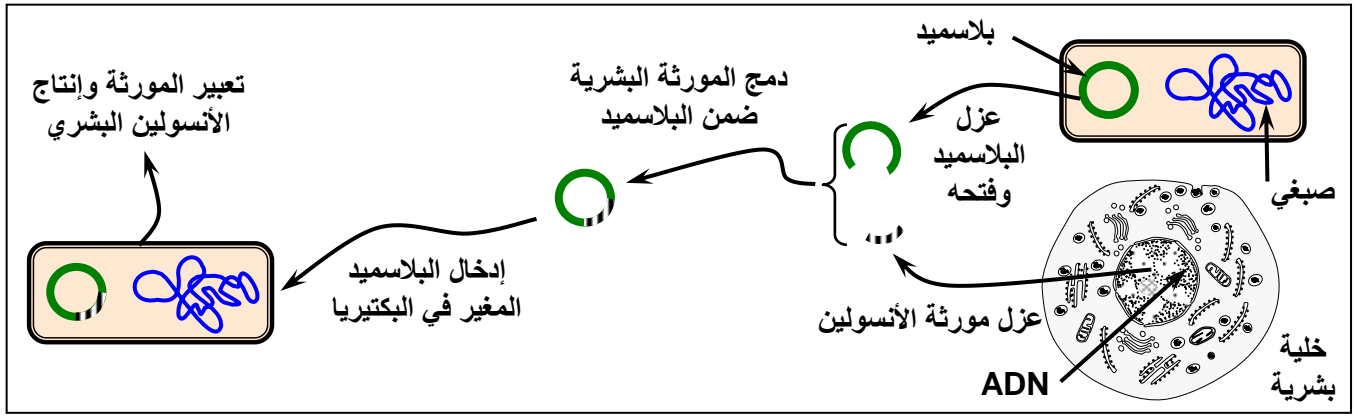
① الإنتاج الصناعي للأنسولين Insuline أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: الإنتاج الصناعي للأنسولين Insuline

الأنسولين هرمون مخفض لنسبة السكر في الدم، ويتم إنتاجه من طرف خلايا β لجزيئات Langerhans البنكرياسية. وكل نقص في هذا الهرمون يؤدي إلى مرض السكري. الذي يعالج في هذه الحالة بحقن الشخص بالأنسولين الحيواني، إلا أن استعماله في هذه الحالة يؤدي إلى ظهور حالات أرجية، بحكم اختلاف التركيب الكيميائي بين أنسولين الحيوانات والأنسولين البشري.

بفضل تقنيات الهندسة الوراثية تم إنتاج الأنسولين البشري بكميات صناعية إذ تم تركيب المورثة انطلاقا من ARNm المسؤول عن إفراز هذا الهرمون. ثم بعد ذلك نقلت هذه المورثة إلى متعضيات مجهرية كخميرة البيرة وبعض العصيات التي تقوم بعد ذلك بإنتاج هذا الهرمون وطرحه في الوسط الخارجي مباشرة.

يعطي الرسم التخطيطي أسفله مراحل نقل مورثة الأنسولين لبكتيريا.



انطلاقاً من معطيات هذه الوثيقة ومن معارفك حول آليات الهندسة الوراثية:

- (1) بين أهمية اللجوء إلى الهندسة الوراثية لإنتاج الأنسولين البشري.
- (2) أعط مراحل تطبيق الهندسة الوراثية لإنتاج الأنسولين البشري.

(1) للأنسولين نفس الدور عند مختلف الثدييات، إلا أنه يظهر بعض الاختلافات في التركيب الكيميائي. ولذلك فاستعمال الأنسولين الحيواني عند الإنسان، يؤدي إلى ظهور حالات أرجية. ومن هنا تظهر أهمية اللجوء إلى الهندسة الوراثية لإنتاج أنسولين مطابق للأنسولين البشري. كما أن هذا الأنسولين يكون بكميات وافرة، وبكلفة أقل.

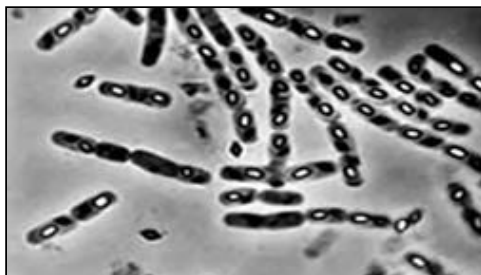
(2) مراحل تطبيق الهندسة الوراثية لإنتاج الأنسولين البشري :

- + عزل الصبغي المتضمن للمورثة المعنية.
- + قطع ADN المراد استعماله بواسطة أنزيم الفصل. (تظهر على ADN المقطوع أطرافاً موحدة).
- + استخراج البلاسميد (ناقل) من بكتيريا.
- + قطع ADN البلاسميد بواسطة أنزيم الفصل. (يملك ADN البلاسميد المقطوع أطرافاً موحدة، والتي تتكامل مع أطراف ADN البشري المعزول).
- + دمج المورثة على البلاسميد بواسطة أنزيم الربط.
- + نقل البلاسميد إلى داخل البكتيريا.
- + رصد البكتيريات المغيرة وراثياً.
- + تلميم البكتيريات للحصول على لمات تتوفر على المورثة المراد نقلها.
- + حث البكتيريات المغيرة وراثياً على إنتاج الأنسولين.

② نقل القدرة على محاربة الحشرات الضارة أنظر وثيقة 9 والوثيقة 10.

الوثيقة 9: الإنتاج الصناعي لبروتينات سامة ضد الحشرات الضارة.

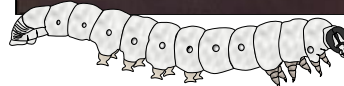
تعتبر الذرة من النباتات البالغة الأهمية، إذ تدخل في التغذية البشرية والحيوانية. إلا أن زراعة هذا النبات تعرف خسارات في الكمية والجودة بسبب تطفل أسروعات الفراشات النارية (La pyrale du maïs، *Ostrinia nubilalis*) (الشكل أ وب)، إذ بعد انفقاس البييضات، تتوغل الأسروعات داخل ساق النبتة لتتغذى على أنسجتها، كما تحدث أضراراً على مستوى السنابل والبدور، فيصبح النبات المصاب ضعيف النمو. لمقاومة هذه الأسروعات، اكتشف بعض العلماء نوعاً من البكتيريات تدعى *Bacillus thuringiensis* (الشكل ج) تستطيع تركيب بروتين سام بالنسبة للأسروعات، وغير ضار بالنسبة للفقريات. وقد استعملت هذه البكتيريا كوسيلة للمقاومة البيولوجية.



الشكل ج: *Bacillus thuringiensis*

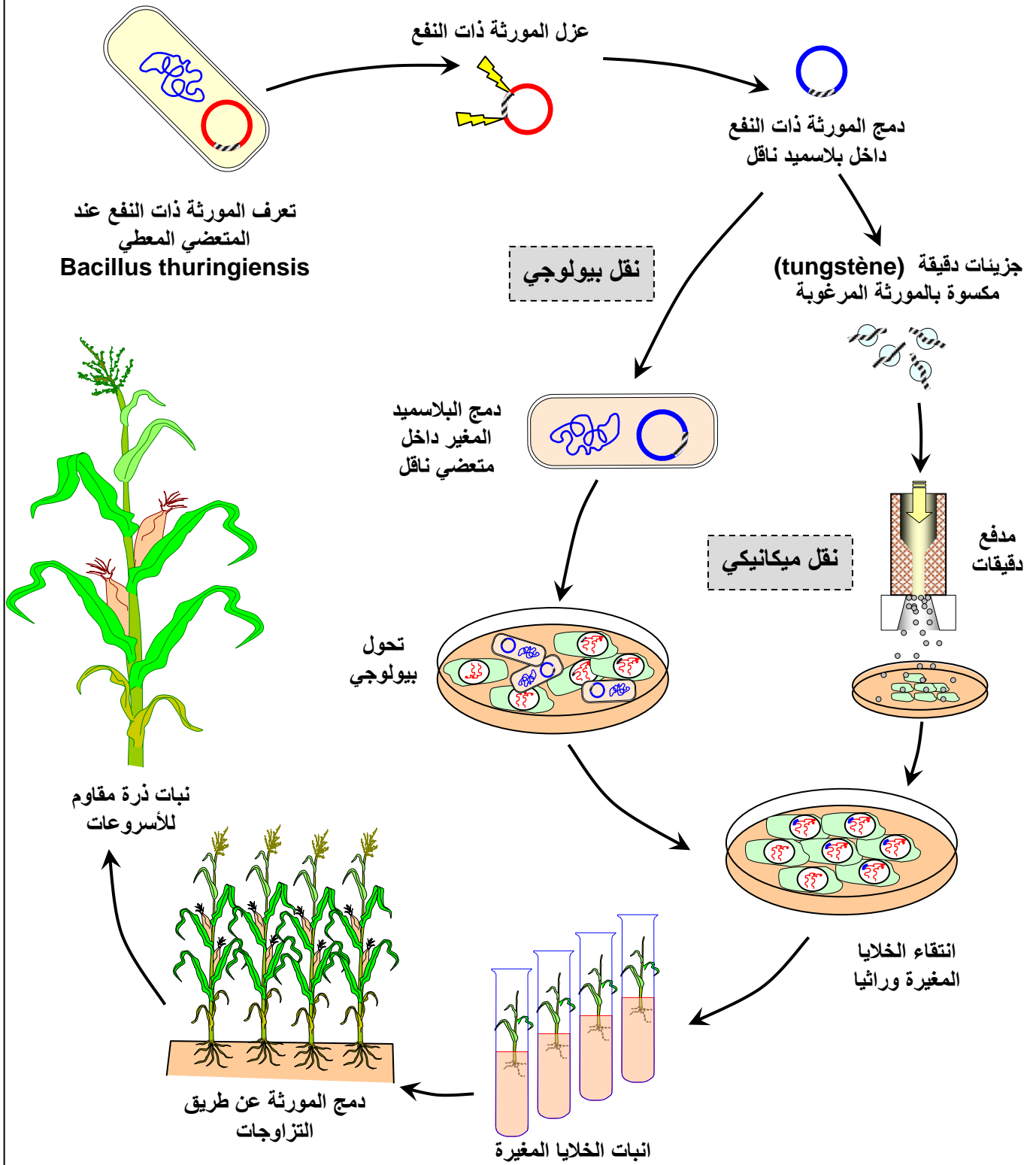


الشكل ب: أسروعة الفراشة النارية



الشكل أ: الفراشة النارية

الوثيقة 10: أشكال ومراحل نقل مورثة البروتين السام لنبات الذرة.



بالاعتماد على معطيات هذه الوثيقة ومعطيات الوثيقة 10، استخرج:

- 1) تأثير أسروعات الفراشة النارية على نبات الذرة.
- 2) مراحل التعديل الوراثي لنبات الذرة والهدف من هذا التعديل.

1) لمقاومة أسروعات الفراشات النارية، استعمل المزارعون المبيدات الحشرية، إلا أنها أعطت نتائج جد محدودة. لأنه بعد انفقاس البيض، تتوغل الأسروعات داخل ساق النبتة وبذلك فهي تحتمي من تأثير المبيد. إضافة إلى هذا، للمبيدات انعكاسات سلبية على صحة الإنسان.

(2) بفضل الهندسة الوراثية، أمكن الحصول على نباتات مقاومة للأسروعات وذلك عن طريق ادماج مورثة إنتاج البروتين السام المأخوذ من البكتيريا B.t ضمن الذخيرة الوراثية لخلية نباتية تتطور إلى نبات يستطيع أن ينتج البروتين السام الذي يقتل كل أسروع أكل من هذا النبات. ويتم هذا التعديل الوراثي عبر المراحل التالية:

- ✓ تعرف المورثة ذات النفع عند المتعضي المعطي (بكتيريا *Agrobacterium turingiensis*).
- ✓ عزل المورثة المسؤولة عن تركيب البروتين السام المقاوم للأسروعة من المادة الوراثية للبكتيريا.
- ✓ دمج المورثة المعنية داخل بلاسميد ناقل.
- ✓ نقل البلاسميد المغير وراثيا إلى خلايا نباتية، إما بشكل ميكانيكي أو بشكل بيولوجي.
- ✓ رصد وانتقاء الخلايا المغيرة وراثيا.
- ✓ إنبات نباتات مغيرة وراثيا في وسط ملائم، للحصول على شتلات جديدة مقاومة للأسروعة.

الوحدة الثالثة

نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية علم الوراثة البشرية

تتكاثر الكائنات الحية ضمانا لاستمرارية نوعها. ويتم هذا التكاثر عن طريق التوالد، الذي يمكن أن يكون جنسيا أو لا جنسيا. عندما يتعلق الأمر بالتوالد الجنسي فإنه توالد يستلزم تدخل خليتين جنسيتين، ذكرية وأنثوية. يمكن التوالد الجنسي من نقل الخبر الوراثي من جيل لآخر، ويتميز بحدثين هاميين:

- ✓ تشكل الأمشاج الذي يتجلى في إنتاج خلايا أحادية الصيغة الصبغية قادرة على الالتحام فيما بينها لاسترداد ثنائية الصيغة الصبغية.
- ✓ الإخصاب الذي يتجلى في التحام النواة الذكرية والنواة الأنثوية، فيؤدي إلى تشكل بيضة ثنائية الصيغة الصبغية.

- كيف ينقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي عند ثنائيات الصيغة الصبغية؟
- أين تتجلى أهمية الانقسام الاختزالي و الإخصاب عند الكائنات الحية؟
- ما الذي يُسبب تنوع الخبر الوراثي من جيل لآخر عند أفراد نفس النوع؟
- ما القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية؟ وما تأويلها الصبغي؟

الفصل الأول:

نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي

تمهيد: أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: دور التوالد الجنسي في ثبات عدد الصبغيات عند نفس النوع

★ خلال الانقسام غير المباشر، تنتشر الصبغيات و تنتقل من خلية إلى أخرى، مما يوحى بأنها تلعب دورا في انتقال البرنامج الوراثي عبر الخلايا. مكنت الأبحاث من تحديد عدد الصبغيات عند الكائنات الحية (أنظر الشكل أ).

الشكل أ		بعض الأنواع الثنائية الصيغة الصبغية		بعض الأنواع الأحادية الصيغة الصبغية	
		نباتات		حيوانات	
07	فطر نوروسبورا	16	البصل	08	ذبابة الخل
07	فطر صورداريا	18	الخميرة	26	الضفدعة
		20	الأسيتابولاريا	38	القط
04	فطر البينسيليوم	24	الأرز	40	الفأر
		22	الفاصوليا	46	الإنسان
01	البكتيريا	48	التبغ	64	الحصان
		48	البطاطس	78	الدجاجة

الشكل ب

الشكل 1					الشكل 2				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
16	17	18		19	16	17	18		19
20	21	22	X		20	21	22	X	Y

الشكل 3					الشكل 4				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
16	17	18		19	16	17	18		19
20	21	22	X		20	21	22	X	Y

★ لإنجاز خريطة صبغية نعتمد التقنيات التالية:

- ↪ نوقف الانقسام خلال الطور الاستوائي حيث تكون الصبغيات واضحة، وذلك بواسطة مادة السورنجين.
- ↪ نفجر الخلية بوضعها في وسط ناقص التوتر فتتحرر الصبغيات.
- ↪ نثبت الصبغيات بمواد خاصة مثل الكحول ثم نصورها، فنحصل على زينة صبغية.
- ↪ نرتب هذه الصبغيات بالاعتماد على المعايير التالية:

- ✓ قدها (من الأكبر إلى الأصغر).
- ✓ موقع الجزيء المركزي (وسط، طرف)
- ✓ الأشرطة الملونة الفاتحة والداكنة.
- ✓ في حالة الخلايا الثنائية الصيغة الصبغية نرتب الصبغيات بالأزواج، حيث يضم كل زوج صبغيين متماثلين.

يعطي الشكل ب خرائط صبغية لخلايا الإنسان:

- ① = خلية جسدية عند الرجل.
- ② = خلية جسدية عند المرأة.
- ③ = خلية جنسية ذكرية.
- ④ = خلية جنسية عند الرجل وعند المرأة.

انطلاقا من هذه الوثائق، ماذا يمكنك استخلاصه من حيث دور التوالد الجنسي في ثبات عدد الصبغيات عند الكائنات الحية؟

★ انطلاقا من تحليل معطيات الشكل أ من الوثيقة 1 يتبين أن:

- ↪ عدد الصبغيات يختلف من كائن حي لآخر، لكنه يبقى ثابتا بالنسبة لجميع أفراد نفس النوع، وبالتالي فعدد الصبغيات (الصيغة الصبغية) يُميز جميع أفراد نوع معين من الكائنات الحية.
- ↪ نعبر عن عدد الصبغيات في الخلية بالصيغة الصبغية = Formule chromosomique.
- ↪ تضم خلايا بعض الكائنات الحية عددا زوجيا من الصبغيات، حيث أن لكل صبغي صبغي آخر مماثل له، نقول أن هذه الخلايا ثنائية الصيغة الصبغية = diploïde، فنرمز إلى الصيغة الصبغية بـ $2n$ حيث يمثل n عدد الأزواج أي عدد الصبغيات المتماثلة. مثلا عند ذبابة الخل $2n = 8 \leftarrow n = 23$ ، يعني
- ↪ هناك كائنات أخرى أحادية الصيغة الصبغية = Haploïde مثلا البينييسيليوم: $n = 4$ يوجد 4 الصبغيات المختلفة.

★ انطلاقا من تحليل معطيات الشكل ب من الوثيقة 1 يتبين أن:

- ↪ الإنسان يتوفر على 46 صبغي، وأن هذه الصبغيات تتواجد على شكل أزواج ($2n = 46$)، فنقول أن الإنسان ثنائي الصيغة الصبغية diploïde. عن ترتيب وتصنيف هذه الصبغيات حسب البنية وحسب موضع الجزء المركزي ننجز وثيقة تعرف بالخريطة الصبغية.
- ↪ يلاحظ تشابه في أزواج الصبغيات من 1 إلى 22 عند كل من الرجل والمرأة، تسمى هذه الصبغيات، بالصبغيات الجسدية (اللا جنسية) les autosomes. (نرمز لها بالحرف A)، لكن في الزوج 23، هناك اختلاف حيث تتوفر المرأة على صبغيين متماثلين نرسم لهما بـ X، بينما الرجل يتوفر على صبغيين مختلفين (نرمز لهما بـ X و Y) تسمى هذه الصبغيات، بالصبغيات الجنسية (Les chromosomes sexuels) لكونها تحدد جنس الأفراد.

✓ الصيغة الصبغية عند المرأة: $2n = 44 A + XX$ نكتب كذلك $2n = 22 AA + XX$
 ✓ الصيغة الصبغية عند الرجل: $2n = 44 A + XY$ نكتب كذلك $2n = 22 AA + XY$

★ تحتوي خلايا الكائن الحي الثنائي الصيغة الصبغية على $2n$ صبغي، هذا الأخير ينتج أمشاجا أحادية الصيغة الصبغية n ، يلزم أن نسلم إذن أن الخلايا الأم للأمشاج والمتواجدة على مستوى المناسل، تخضع إلى اختزال صبغي. نسمي الظاهرة المسؤولة عن اختزال عدد الصبغيات إلى النصف بالانقسام الاختزالي la méiose،

- فما ميزات الانقسام الاختزالي؟
- ما هي أهمية الانقسام الاختزالي والإخصاب؟ وما علاقتهما بانتقال الصفات الوراثية؟

I - مراحل الانقسام الاختزالي La méiose

يمكن الانقسام الاختزالي من المرور من صيغة صبغية ثنائية إلى صيغة صبغية أحادية. نبحث من خلال الوثائق التالية عن آلية هذا الانقسام وعن علاقته بتطور كمية ADN، ثم دوره في تنوع الصفات الفردية.

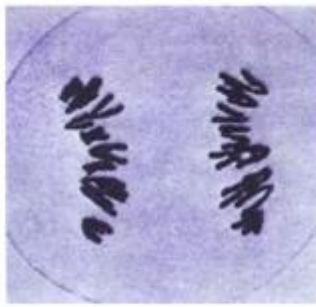
① ملاحظات مجهرية لمراحل الانقسام الاختزالي. أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: ملاحظات مجهرية لخلايا خلال الانقسام الاختزالي La méiose.

تعطي الصور أسفله ملاحظات مجهرية لخلية نبات أثناء الانقسام الاختزالي. صف مظهر هذه الخلايا ثم أعط عنوانا مناسباً لكل صورة بعد ترتيبها ترتيباً زمنياً.



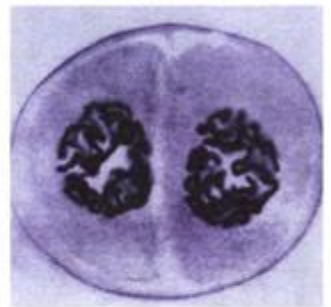
A



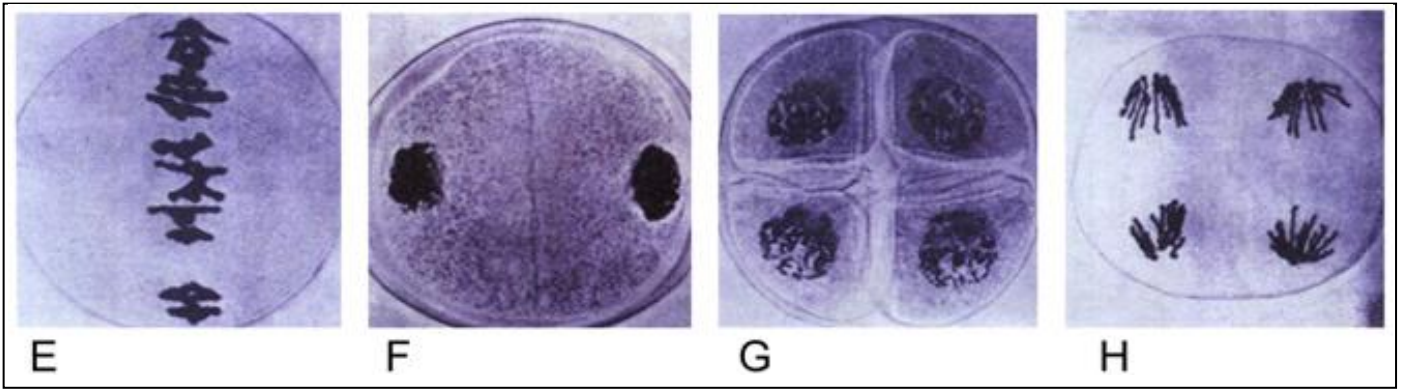
B



C



D



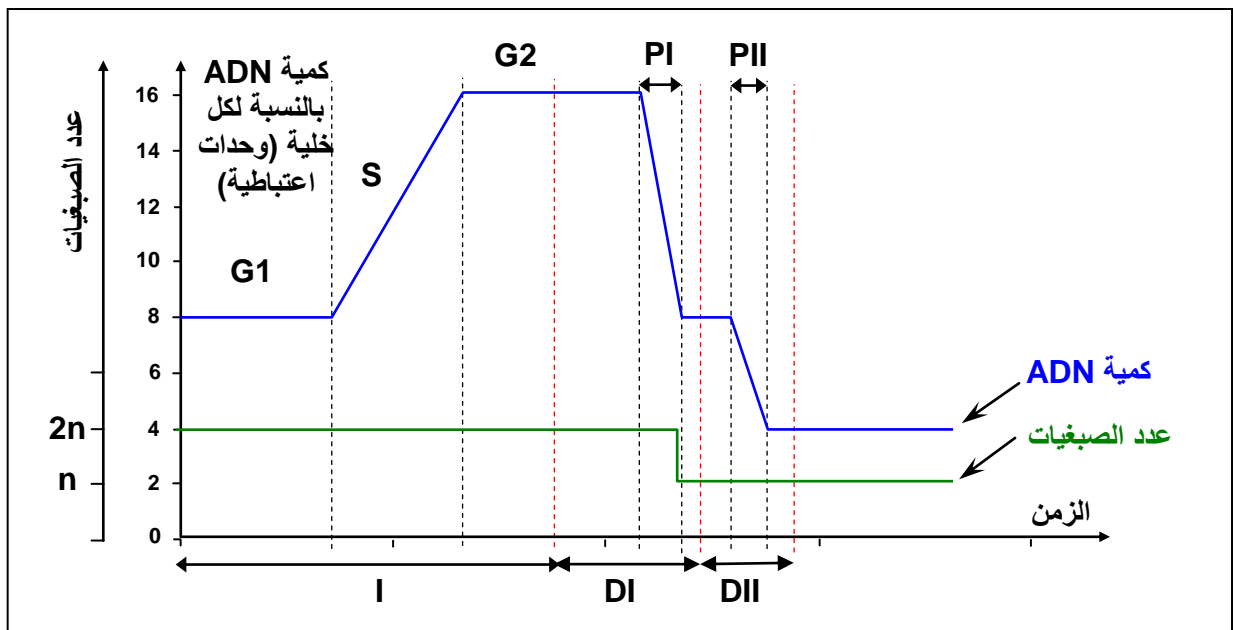
يتبين من هذه الملاحظة أن الانقسام الاختزالي يتم عبر انقسامين متتاليين، يتضمن كل واحد منهما المراحل المعتادة للانقسام غير المباشر.

الترتيب الزمني للصور: A = الطور التمهيدي I. B = الطور الانفصالي I. C = الطور الاستوائي II. D = الطور التمهيدي II. E = الطور الاستوائي I. F = الطور النهائي I. G = الطور النهائي II. H = الطور الانفصالي II.

② تطور كمية ADN خلال الانقسام الاختزالي. أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: تطور كمية ADN أثناء الانقسام الاختزالي.

لتأكيد التغيرات التي تتعرض لها الخلايا الأم للأمشاج خلال الانقسام الاختزالي، تم تتبع تغير كمية الـ ADN على مستوى إحدى هذه الخلايا، ويمثل المبيان أسفله، النتائج المحصل عليها. ماذا تستخلص من تحليل هذه الوثيقة؟



★ يسبق الانقسام الاختزالي مرحلة السكون (I) التي تعرف مضاعفة ADN في طور التركيب S من كمية q (8) إلى الكمية 2q (16).

★ خلال الانقسام المنصف (DI) تنفصل الصبغيات المتماثلة فتحصل كل خلية على كمية q من ADN. كما ينخفض عدد الصبغيات من 2n صبغي إلى n صبغي.

★ خلال الانقسام التعادلي (DII) تنفصل صبيغيات الصبغي الواحد فتحصل كل خلية على q/2 من كمية ADN. بينما يبقى عدد الصبغيات ثابت.

نستخلص من تحليل هذه الوثيقة أن الانقسام الاختزالي يمكننا من الحصول على خلايا أحادية الصيغة الصبغية انطلاقاً من خلايا ثنائية الصيغة الصبغية، وهذه الظاهرة مهمة خلال تشكل الخلايا الجنسية التي يجب أن تكون أحادية الصيغة الصبغية.

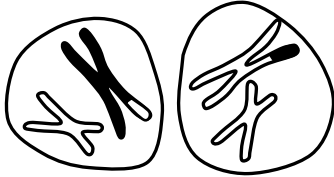
③ مراحل الانقسام الاختزالي. أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4 : رسوم تخطيطية تفسيرية لأطوار الانقسام الاختزالي.

حل هذه الرسوم محددًا مختلف أطوار الانقسام الاختزالي.

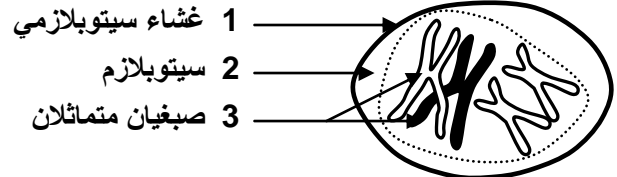
II = الانقسام الثاني = الانقسام التعادلي

I = الانقسام الأول = الانقسام المنصف



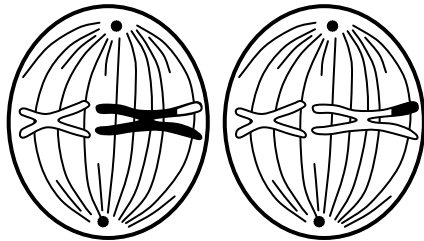
⑤ الطور التمهيدي II

تبتدئ مباشرة بعد الطور النهائي I في كل خلية، تبقى الصبغيات منشطرة طولياً، و يظهر المغزل اللالوني في كل خلية.



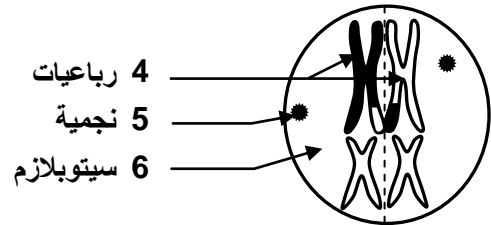
① الطور التمهيدي I

يتميز بتكثيف الصبغيات، وباقتران الصبغيات المتماثلة، مشكلة أزواجاً تسمى الرباعيات. اختفاء الغشاء النووي والنويات



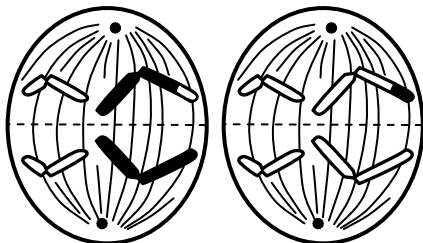
⑥ الطور الاستوائي II

بعد اكتمال تشكل المغزل اللالوني، تتموضع الصبغيات على مستوى وسط الخلية مشكلة صفيحة استوائية.



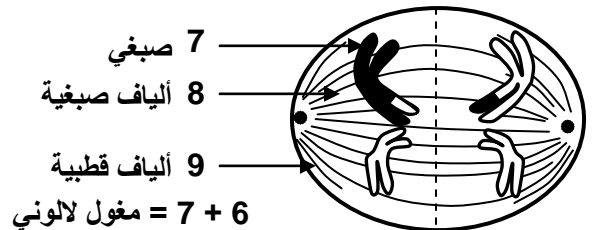
② الطور الاستوائي I

تتموضع الصبغيات المتماثلة في المستوى الاستوائي للخلية، تتكون النجميتين ويبدأ تشكل المغزل اللالوني.



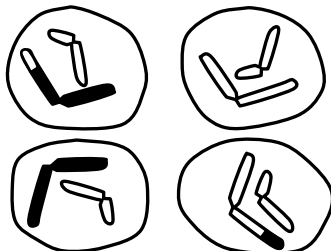
⑦ الطور الانفصالي II

انشطار الجزيء المركزي لكل صبغي بفعل تقلص خيوط المغزل اللالوني، فنحصل على صبغيات مُشكلة من صبغي واحد، تهاجر في اتجاه قطبي الخلية.



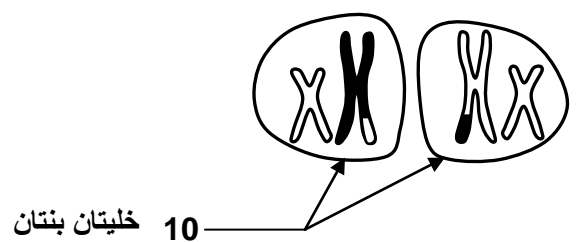
③ الطور الانفصالي I

انفصال الصبغيات المتماثلة بعضها عن بعض، وهجرتها نحو القطب الخلوي القريب منها، كل صبغي مكون من صبيغين.



⑧ الطور النهائي II

تنقسم كل خلية مُشكلة خليتين، وبذلك نحصل على أربع خلايا أحادية الصيغة الصبغية.



④ الطور النهائي I

تتجمع الصبغيات المكنة من صبيغين في كل قطب، ونحصل على خليتين بنتين أحاديتا الصيغة الصبغية.

أ - الانقسام المنصف :

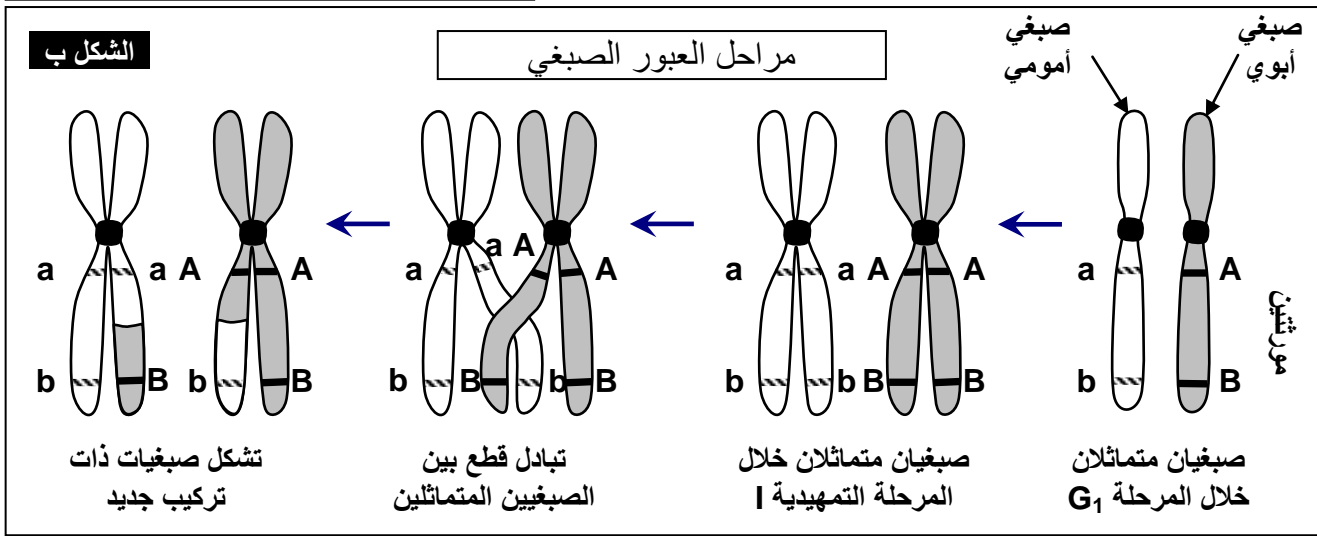
أ - المرحلة التمهيديّة I :

تتميز هذه المرحلة بتكثيف الصبغيات واقتتران الصبغيات المتماثلة لتشكل أزواجاً تسمى الرباعيات (تتشكل من صبغيين متماثلين كل صبغي مكون من صبيغيين)، اختفاء الغشاء النووي و النويات. خلال هذه المرحلة تتقاطع صبيغيات الصبغيين المتماثلين، فيتم تبادل أجزاء فيما بينها أثناء تباعدهما، وتسمى هذه الظاهرة العبور Crossing-over. أنظر الوثيقة 5.



الوثيقة 5 : دور ظاهرة العبور الصبغي Crossing over.

يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة بالمجهر الإلكتروني لصبغيات أثناء المرحلة التمهيديّة I، والشكل ب رسم تفسيري لظاهرة تحدث خلال هذه المرحلة. تعرف هذه الظاهرة وبين دورها في التأثير على الصفات الفردية.



تتجلى ظاهرة العبور الصبغي في تبادل قطع بين الصبغيات خلال الانقسام المنصف. وتلعب هذه الظاهرة دوراً هاماً في تنوع الأمشاج الناتجة عن الانقسام الاختزالي، حيث تساهم في تنوع التركيبات الوراثية بين مختلف الحليلات.

ب - المرحلة الاستوائية I :

تتموضع الصبغيات المتماثلة في المستوى الاستوائي للخلية، تتكون النجبتين ويظهر بينهما المغزل اللالوني.

ج - المرحلة الانفصالية I :

انفصال الصبغيات المتماثلة دون انقسام الجزيء المركزي، وهجرتها نحو القطب الخلوي القريب منها، وهكذا يتجمع في كل قطب من قطبي الخلية نصف الصيغة الصبغية، أي n صبغي كل واحد بصبيغيين.

د - المرحلة النهائية I :

يتجمع نصف عدد الصبغيات في كل قطب، يتلاشى المغزل اللالوني ويحدث انقسام السيتوبلازم للحصول على خليتين بنيتين أحاديتا الصيغة الصبغية (n).

ب - الانقسام التعادلي :

أ - المرحلة التمهيديّة II :

قصيرة جداً تبتدئ مباشرة بعد النهائية I، تبقى الصبغيات منشرة طولياً، ويظهر المغزل اللالوني في كل خلية.

ب - المرحلة الاستوائية II :

تتموضع الصبغيات لكل خلية في المستوى الاستوائي مشكلة الصفيحة الاستوائية.

ج - المرحلة الانفصالية II :

انشطار الجزيء المركزي لكل صبغي، وتنفصل صبيغيات كل صبغي فيمثل كل واحد منهما صبغي، يهاجر نحو أحد قطبي الخلية.

d - المرحلة النهائية II:

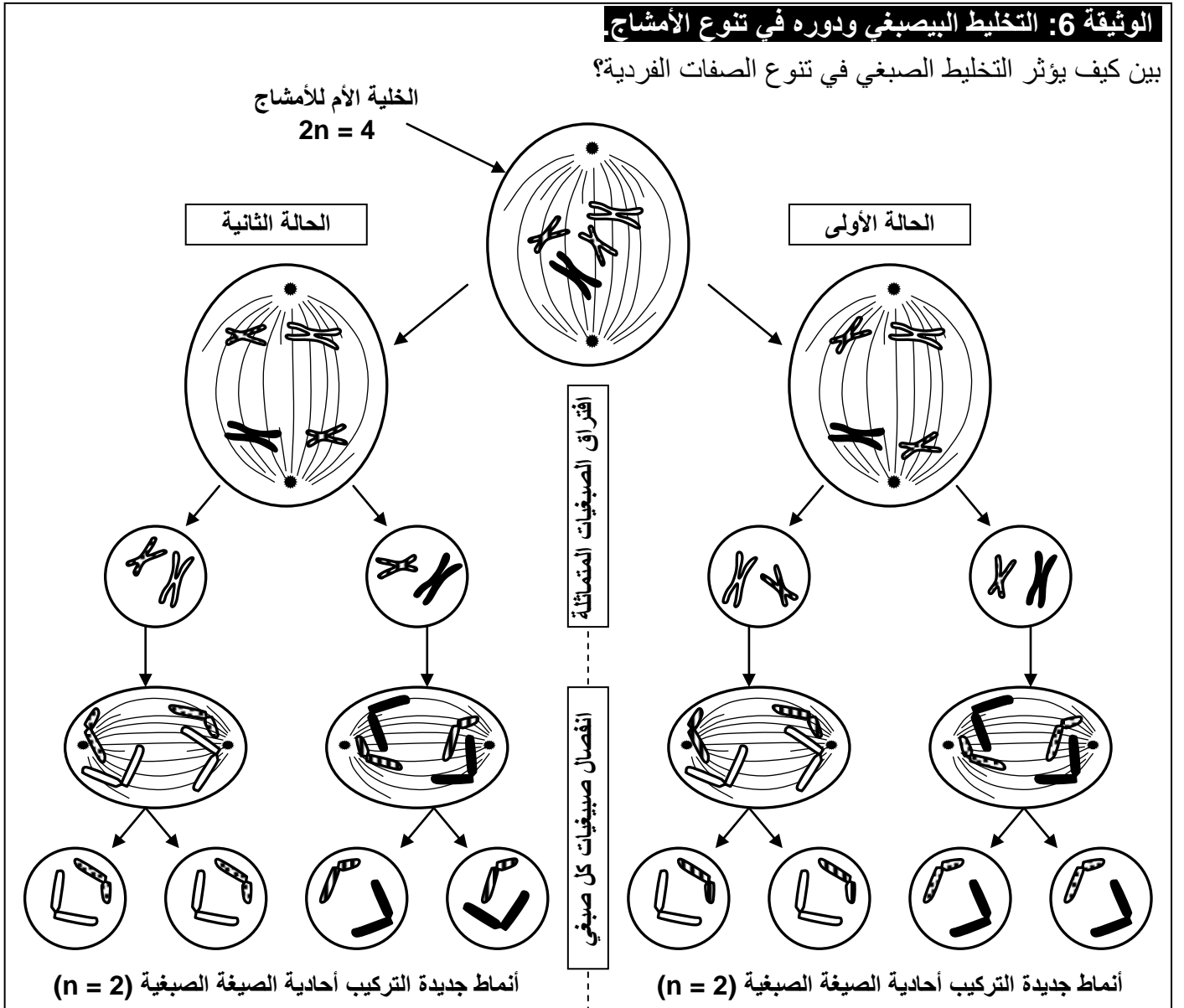
تتجمع الصبغيات في كل قطب و يزال تولوبها و يتشكل العشاء النووي وتظهر النويات، ويختفي مغزل الانقسام، وينقسم السيتوبلازم لتتكون في النهاية أربع خلايا أحادية الصيغة الصبغية (n)، كل صبغي مكون من صبغي واحد.

II - دور الانقسام الاختزالي والإخصاب في تخليط الحليلات.

① - دور الانقسام الاختزالي:

يضمن الانقسام الاختزالي إنتاج خلايا أحادية الصيغة الصبغية انطلاقا من خلايا ثنائية الصيغة الصبغية، كما يضمن تخليط الحليلات وانتقال الصفات الوراثية من جيل إلى آخر، وذلك من خلال ظاهرتين مهمتين، وهما التخليط البصبغي والتخليط الضمصبغي.

أ - التخليط البصبغي Brassage interchromosomique: أنظر الوثيقة 6.



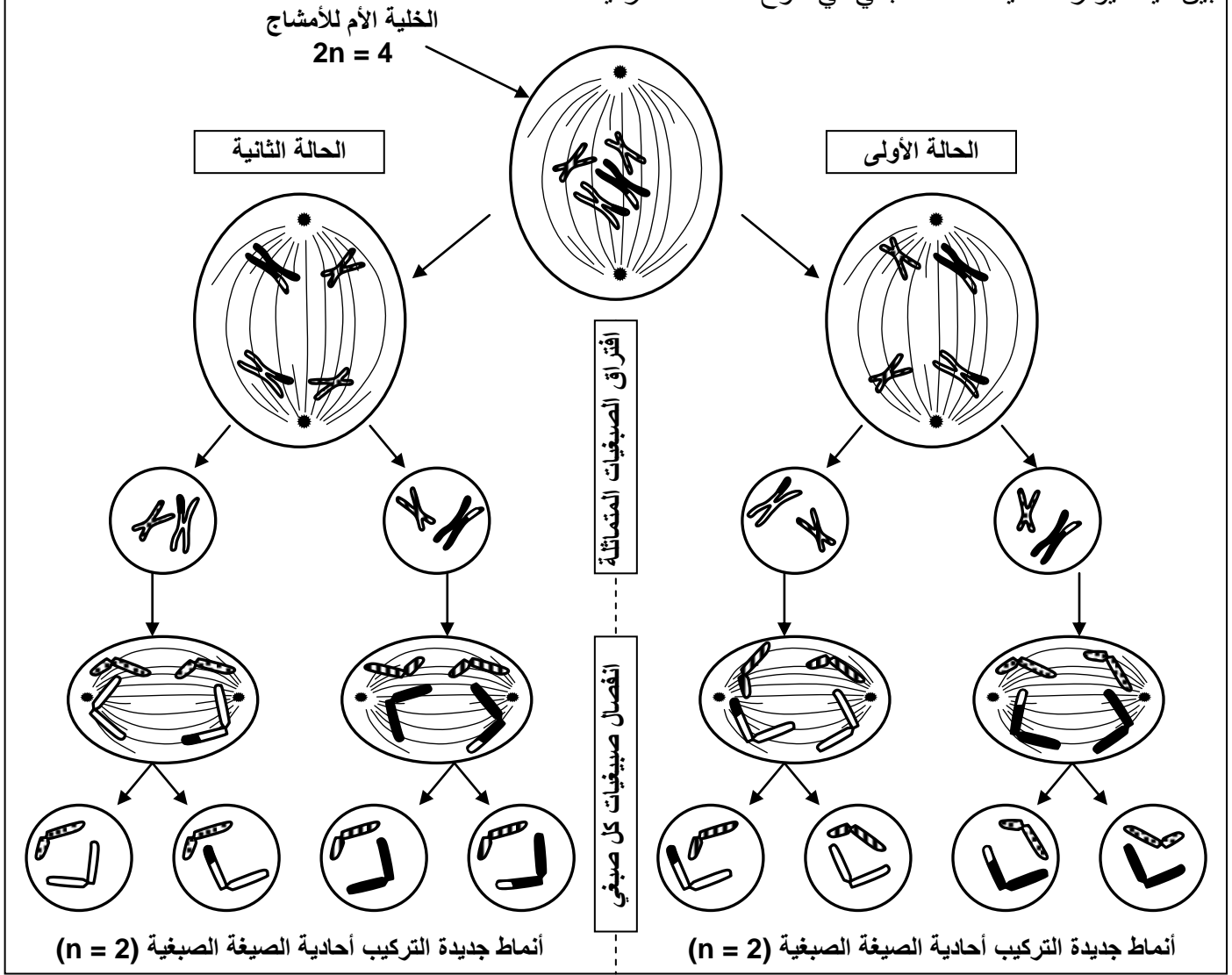
يتبين من معطيات الوثيقة أن مجموع التركيبات الجديدة المختلفة للأمشاج يساوي 4، وهذا راجع إلى الهجرة العشوائية للصبغيات أثناء الطور الانفصالي I، حيث أن هناك احتمالين لتموضع كل صبغي، مما يرفع عدد التركيبات التركيبات الجديدة الممكنة. باستعمال الصيغة 2^n ، وبما أن لدينا فقط زوجين من الصبغيات ($2n=4$)، فإن عدد التركيبات الجديدة هو: 2^2 يعني 4، وهو نفس العدد المحصل عليه في المثال أعلاه.

مثلا يتوفر الإنسان على 23 زوجا من الصبغيات، وبالتالي سيكون عدد التركيبات الجديدة المختلفة للأمشاج هو: 2^{23} أي 8388608 مشيخ مختلف، وهو عدد كبير جدا على الرغم من عدم الأخذ بعين الاعتبار ظاهرة التخليط الضمصبغي، والتي ترفع كثيرا من هذا العدد.

ب - التخليط الضمبجي ودوره في تنوع الأمشاج: Brassage intrachromosomique: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: التخليط الضمبجي ودوره في تنوع الأمشاج Le brassage intrachromosomique

بين كيف يؤثر التخليط الضمبجي في تنوع الصفات الفردية؟



في نهاية الطور التمهيدي | يمكن تبادل قطع من الصبغيات المتماثلة، إنها ظاهرة العبور الصبغي، التي تلعب دورا هاما في تنوع الأمشاج الناتجة عن الانقسام الاختزالي، حيث تساهم في تنوع التركيبات الوراثية بين مختلف الحليلات، نتكلم إذن عن التخليط الضمبجي.

② - دور الإخصاب:

بعد تشكل الأمشاج، وفي حالة حدوث تزاوج، تلتقي الأمشاج الذكرية بالأمشاج الأنثوية، مما يؤدي إلى تكون خلية تسمى البيضة، تدعى هذه الظاهرة بالإخصاب، وتلعب دورا هاما في تنوع الأفراد مثلها مثل ظاهرة الانقسام الاختزالي

تختلف معظم الحليلات المتواجدة في المشيج الذكري عن الحليلات المتواجدة في المشيج الأنثوي، مما يفسر التنوع الهائل في أصناف البيضات المحصل عليها بعد الإخصاب.

نأخذ مثلا خلية أم للأمشاج ذات صيغة صبغية $2n = 4$ ، أي أن المورثات عند هذه الخلية محمولة على زوجين من الصبغيات المتماثلة. يؤدي الانقسام الاختزالي إلى تشكل أمشاج مختلفة وراثيا، وعددها أربعة أمشاج ممكنة لدى كل أب، في حالة عدم حدوث التخليط الضمبجي (أنظر الوثيقة 6).

تعطي الوثيقة 8 مختلف البيضات الناتجة عن الإخصاب في هذه الحالة.

الوثيقة 8: دور الإخصاب في تخليط الحليلات (تخليط بصبغي).

يمثل الجدول أسفله احتمالات البيضات الممكن الحصول عليها بالنسبة لخلية أم للأمشاج ذات صيغة صبغية $2n=4$. انطلاقاً من هذه المعطيات أبرز دور الإخصاب في تخليط الحليلات.

				الأمشاج الذكورية

• عند الأب لدينا 4 احتمالات أمشاج مختلفة، وعند الأم لدينا كذلك 4 احتمالات أمشاج مختلفة، مما يجعل عدد البيضات المختلفة الممكنة يساوي (4×4) أي 16 بيضة.

• لحساب عدد البيضات الممكن تشكلها عند الإنسان، نحدد أولاً عدد الأمشاج المختلفة الممكن تشكلها عند الأبوين وهو 2^{23} بالنسبة لكل أب. وهكذا فعدد البيضات الممكنة هو: $(2^{23} \times 2^{23})$ أي 2^{46} أي (7.10^{13}) ، وهو عدد هائل، دون الأخذ بعين الاعتبار حدوث ظاهرة العبور الصبغي.

يتبين إذن أن الإخصاب يزيد من التنوع الوراثي للبيضات، بفعل الالتقاء العشوائي للأمشاج، الشيء الذي يعطي أفراداً بصفات مختلفة. وهكذا فإن الإخصاب يعمق التخليط البصبغي. كما أن الإخصاب يساهم في استرداد حالة ثنائية الصيغة الصبغية $(2n)$ أثناء تشكل البيضة، نتيجة اندماج مشيجين بـ (n) صبغي لكل واحد.

الفصل الثاني:

القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية

تمهيد:

تعتبر الكائنات الثنائية الصيغة الصبغية نتيجة إخصاب لخلايا جنسية أحادية الصيغة الصبغية، الشيء الذي يعطي بيضة ثنائية الصيغة الصبغية تحتوي على أزواج من الصبغيات المتماثلة وبذلك توجد كل مورثة على شكل زوج من حليلين. ولفهم الآليات التي تتحكم في انتقال هذه الحليلات عبر أجيال هذه الكائنات، قام العلماء بمجموعة من الأبحاث والتجارب. وشكلت أعمال العالم ماندل Gregor Mendel، الدراسات الأولية التي مكنت من وضع قوانين إحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية.

بعد العالم Mendel، ساهم علماء آخرون، من بينهم العالم Thomas Hunt Morgan، في فهم أكثر دقة للكيفية التي تنتقل خلالها الصفات الوراثية عبر الأجيال.

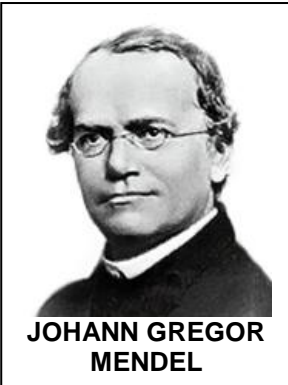
- ما هي نتائج أعمال ماندل Mendel؟ وما تأويلها الصبغي؟
- ما هي القوانين الإحصائية المتكيفة في انتقال الحليلات عبر الأجيال؟

I - دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة السيادة التامة: الهجونة الثنائية.

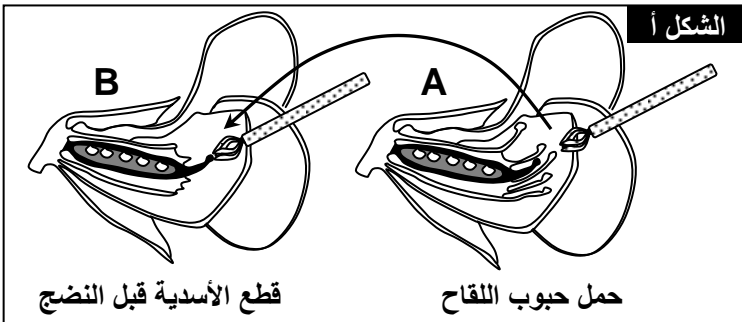
① تجارب Mendel وتأويلها الصبغي:

أ - تجارب Mendel. أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تجارب ماندل Mendel.



★ اختار Mendel لهذه الدراسة نبات الجلبانة الذي يظهر صفات متعارضة (بذور صفراء أو خضراء، أزهار بيضاء أو بنفسجية، بذور ملساء أو متجعدة) فقام بزرع سلالتين نقيتين من نبات الجلبانة، تتميز السلالة الأولى ببذور ملساء Graines lisses والسلالة الثانية ببذور متجعدة (Graines ridées). ولضمان الإخصاب المتبادل بين هاتين السلالتين منع Mendel الإخصاب الذاتي الذي يتم بصورة طبيعية قبل تفتح أزهار الجلبانة وذلك بقطع الأسدية Les étamines قبل نضجها في مستوى الأزهار المستقبلية لحبوب اللقاح من أزهار أخرى (أنظر الشكل أ).
نتج عن هذا التزاوج تشكل بذور كلها ملساء تكون الجيل الأول الذي سوف نرسم له ب-F₁.



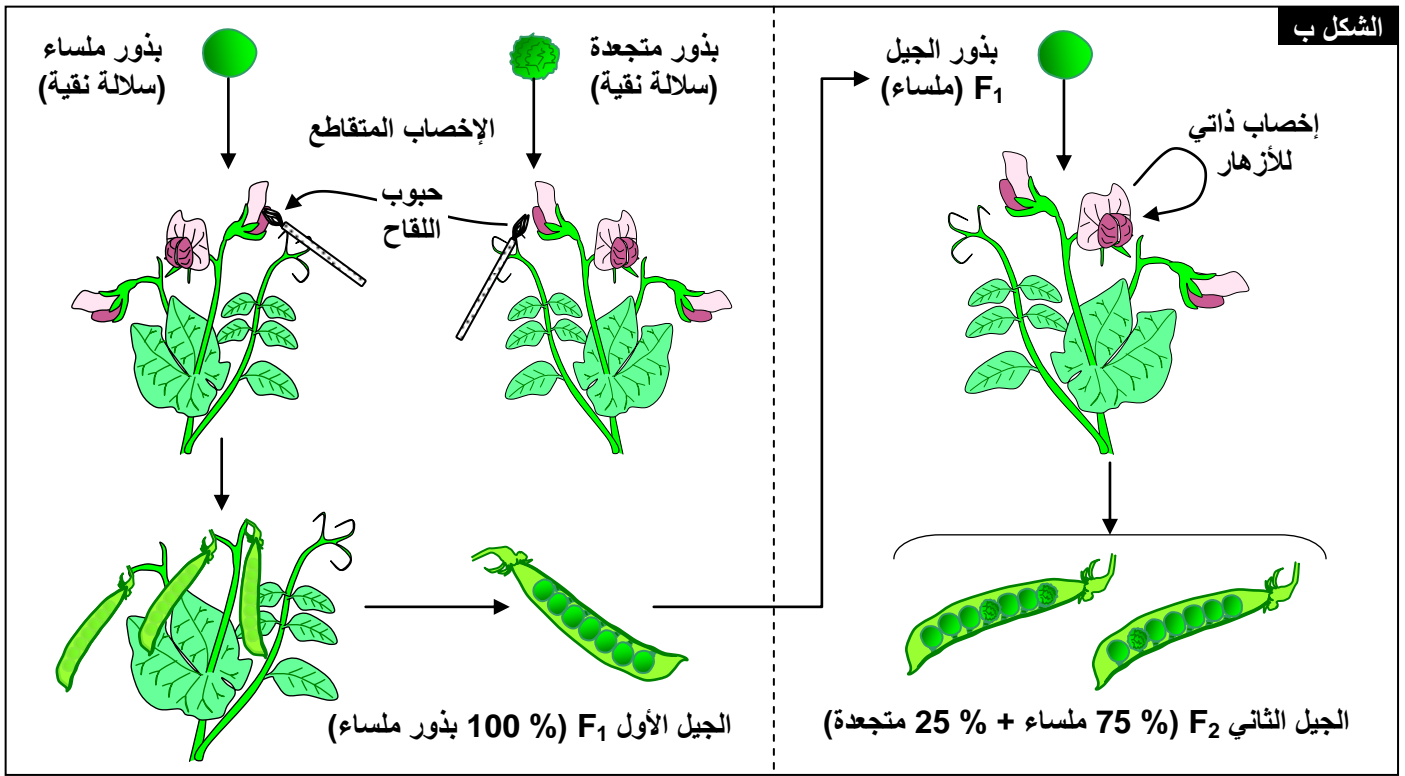
★ قام Mendel بإحداث تزاوج بين أفراد الجيل الأول (F₁XF₁) بنفس الطريقة السابقة فحصل على الجيل الثاني F₂ مكون من 75% من بذور ملساء، و25% من بذور متجعدة. (أنظر الشكل ب).
قام Mendel بعد ذلك بزرع بذور الجيل F₂ تاركاً أزهارها تلقح ذاتياً.

حصل ماندل على النتائج التالية:

- ✓ البذور المتجعدة F₂ تعطي 100% من البذور المتجعدة.
- ✓ 25% من البذور الملساء أفراد الجيل F₂ تعطي 100% من البذور الملساء.
- ✓ 50% من البذور الملساء أفراد الجيل F₂ يعطون 75% من البذور الملساء و25% من البذور المتجعدة.

(1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج تجربة ماندل؟

(2) أعط التأويل الصبغي لنتائج تجربة ماندل، أخذاً بعين الاعتبار معطيات جدول الوثيقة 2 حول الترميز.



الوثيقة 2: معطيات حول الترميز.

↔ نرسم للمظهر الخارجي لفرد ما بالحرف الأول اللاتيني من التسمية الفرنسية للصفة المدروسة. ويكتب هذا الحرف بين معقوفتين وبكتابة كبيرة Majuscule عندما تكون الصفة سائدة Dominante، وبكتابة صغيرة Minuscule عندما تكون الصفة متنحية Récessif.

مثال: بذور ملساء [L] ، بذور متجددة [r].

↔ نرسم للحليلات المسؤولة عن صفة ما كما هو الشأن بالنسبة للمظهر الخارجي بالحرف الأول اللاتيني من التسمية الفرنسية لهذه الصفة.

↔ نرسم للنمط الوراثي بالشكل التالي: L/L حيث يمثل الخطان الزوج الصبغي الذي يحمل الحليلين كما نرسم لكل حليل بحرفه.

مثال: النمط الوراثي للبذور المتجددة هو: r/r والنمط الوراثي للبذور الملساء هو إما L/L أو L/r.

↔ تعريف بعض المفاهيم:

- ✓ السلالة النقية: تكون السلالة نقية بالنسبة لصفة معينة، عندما تنتقل هذه الصفة من جيل إلى آخر دون تغيير.
- ✓ السلالة المتوحشة: السلالة ذات الصفة المرجعية الأكثر حضوراً في الطبيعة.
- ✓ التهجين: تزاوج طبيعي أو اصطناعي بين حيوانات أو نباتات من أنواع أو سلالات مختلفة، ينتج عنه أفراد هجاء.
- ✓ المظهر الخارجي: هو الشكل الظاهر أو المعبر عنه لصفة معينة.
- ✓ النمط الوراثي: حليلات المورثة المتحكمة في الصفة المدروسة، وعند ثنائيات الصيغة الصبغية تكون كل مورثة ممثلة بحليلين، حليل على كل صبغي من الصبغيات المتماثلة. وهكذا يكون الفرد إما متشابه الاقتران عندما يكون الحليلان متشابهان، أو مختلف الاقتران، عندما يكون الحليلان مختلفان.

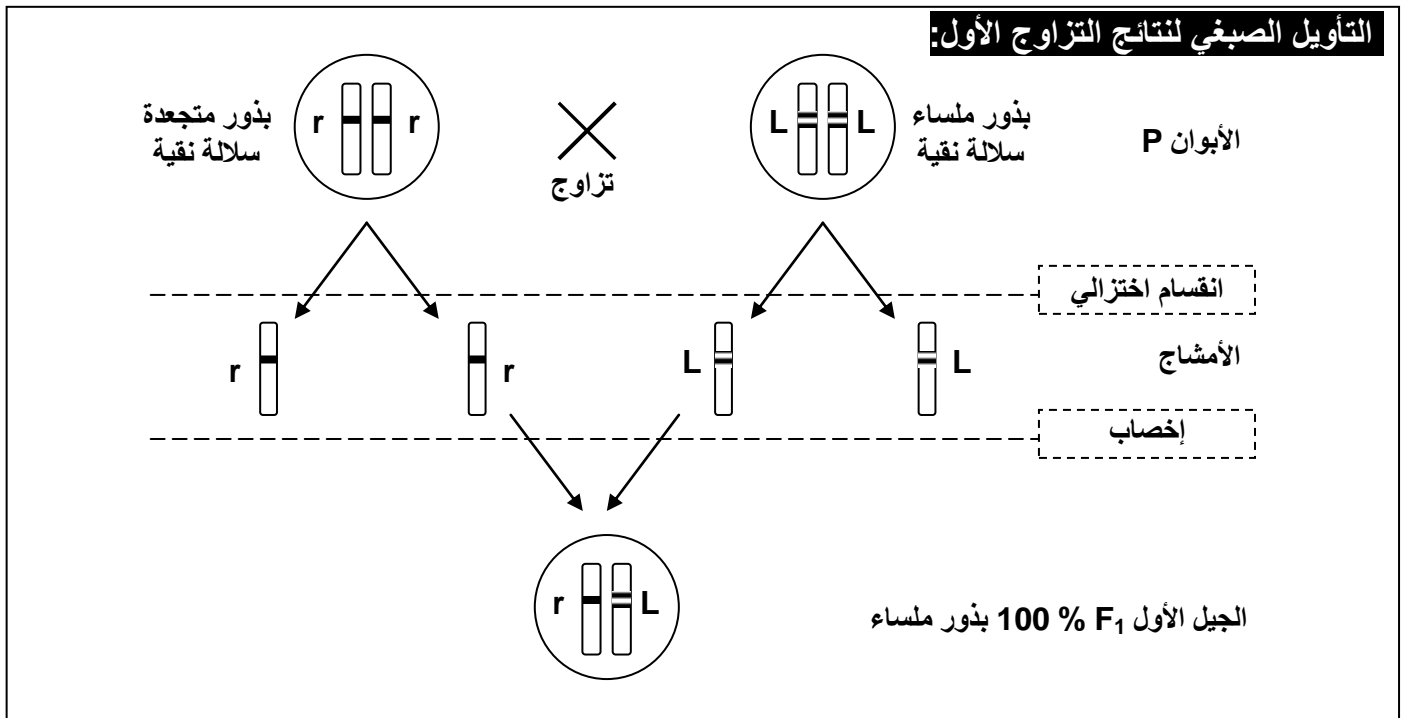
ب - تحليل نتائج تجارب Mendel.

1) نتج عن تزاوج نباتين من سلالة نقية، لإحدهما بذور ملساء والأخرى بذور متجددة (جيل الآباء P)، جيل أول F₁ يتكون من أفراد متجانسون ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي الشكل الأملس، مع غياب الشكل متجدد. نعلم أن الأبوين من سلالة نقية، إذن سيكونان متشابهين الاقتران، حيث ستكون النبتة ذات البذور الملساء، حاملة لحليلي الشكل الأملس، بينما النبتة ذات البذور المتجددة، ستكون حاملة لحليلي الشكل متجدد. أما النباتات الناتجة عن هذا

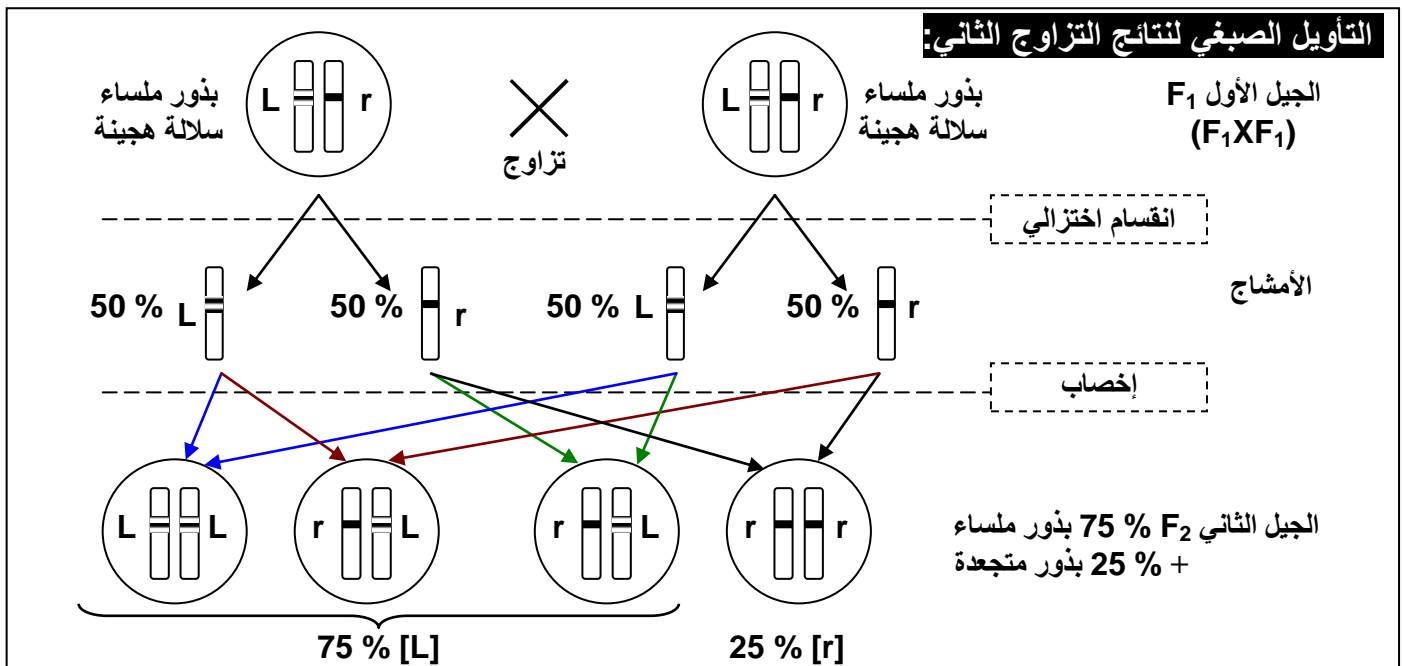
التزاوج، ورغم إبدائها للمظهر بذور ملساء، إلا أنها حاملة لحليل الشكل أملس وحليل الشكل متجدد، أي أنها مختلفة الاقتران بالنسبة لهذه الصفة، فنقول أنها هجينة. ورغم أن بذور نباتات الجلبانة للجيل F_1 تتوفر على حليل الشكل أملس وحليل الشكل متجدد، إلا أنها تبرز الشكل أملس فقط. نستنتج إذن، أنه يتم فقط تعبير أحد الحليلين إلى مظهر خارجي، نقول أن حليل الشكل أملس سائد على حليل الشكل متجدد **Dominant**، وبالتالي هذا الأخير هو حليل متتحي **Récessif**.

(2) لدينا حليل مسؤول عن الشكل أملس **Lisse** سائد، وحليل مسؤول عن الشكل متجدد **Ridé** متتحي، إذن سنرمز لأملس بالحرف **L**، وللمتجدد بالحرف **r**. وهكذا نفس التزاوجات كما يلي:

★ يعطي التزاوج الأول بين الآباء **P**، الجيل الأول F_1 مكون من أفراد متجانسون ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي الشكل الأملس، مع غياب الشكل متجدد.



★ عند التزاوج الثاني ($F_1 \times F_1$)، يظهر جيل ثاني F_2 ، مكون من أفراد غير متجانسين (25% متجددة + 75% ملساء). هذا يعني أن أفراد الجيل الأول F_1 كانت تحمل الشكل متجدد ولكنه لم يظهر إلا في الجيل الثاني F_2 . يعني أن الفرد الهجين F_1 يحمل العاملين الوراثيين المسؤولين عن المظهرين الخارجيين المتعارضين.



ج - استنتاجات.

★ إن الفرد الهجين F_1 يحمل العاملين الوراثيين المسؤولين عن المظهرين الخارجيين المتعارضين. وهكذا فالمظهر الخارجي لهجناء F_1 الذي يشبه أحد الأبوين هو سائد، وبالمقابل فالمظهر الثاني الذي بقي مستترا في هذا الجيل وظهر في الجيل الثاني F_2 ، هو مظهر متتحي. من كل ما سبق استنتج القانون الأول لماندل:

نسمي هذا القانون قانون تجانس الهجناء:

في حالة تزاوج سلالتين نقيتين تختلفان بصفة واحدة، نحصل في الجيل الأول F_1 على أفراد متجانسة ذات صفة الأب السائدة.

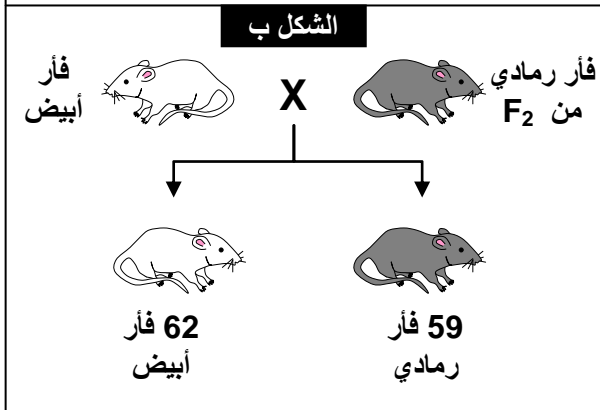
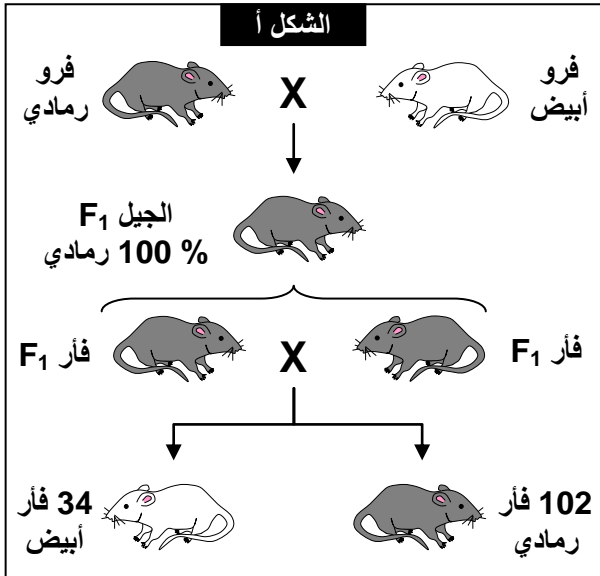
★ تفسر النتائج المحصل عليها في الجيل الثاني F_2 بافتراض أن العاملين الوراثيين المسؤولين عن المظهرين الخارجيين المتعارضين يفترقان أثناء تشكل أمشاج النبات الهجين (كل مشيج يحمل فقط أحد هذين العاملين) ويلتقيان بالصدفة أثناء الإخصاب. ومن ذلك استنتج القانون الثاني لماندل:

نسمي هذا القانون قانون نقاوة الأمشاج:

أثناء تشكل الأمشاج يفترق العاملان الوراثيان اللذان يحملان الصفتين المتعارضتين، فيحتوي كل مشيج على أحد حليلي المورثة، اذن هو نقي.

② انتقال صفة لون الفرو عند الفئران:

أ - معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 3.



الوثيقة 3: دراسة تجريبية لانتقال صفة لون الفرو عند الفئران:

عند ظهور نتائج Mendel (1866)، حاول هذا الباحث تطبيق مبادئه على الحيوانات، فدرس انتقال صفة لون الفرو عند الفئران. لدينا سلالتين نقيتين من الفئران تختلفان بلون الفرو، أحدهما ذو فرو أبيض والثاني ذو فرو رمادي. يعطي التزاوج بين فئران إحداهما رمادية والأخرى بيضاء (سلالة الآباء P)، خلفا متجانسا مكون فقط من فئران رمادية اللون (الجيل الأول F_1). نقوم بتزاوج أفراد F_1 مع بعضها فنحصل على الجيل الثاني F_2 يتكون من فئران رمادية وفئران بيضاء (أنظر الشكل أ).

- 1) حدد نمط التزاوج المنجز.
- 2) عرف السلالة النقية.
- 3) حلل النتائج المحصل عليها في F_1 وفي F_2 .
- 4) فسر صبغيا النتائج المحصل عليها في كل من F_1 و F_2 .

من أجل التأكد من نقاوة سلالة الفئران ذات اللون الرمادي في الجيل الثاني F_2 ، نقوم بإجراء تزاوج بين فرد رمادي من F_2 وفرد آخر أبيض، فنحصل على خلف يضم فئران رمادية وفئران بيضاء كما هو ممثل على الشكل ب.

- 5) ماذا نسمي هذا النوع من التزاوج؟ ماذا تستنتج من تحليل نتيجة هذا التزاوج؟

ب - تحليل نتائج التزاوجات.

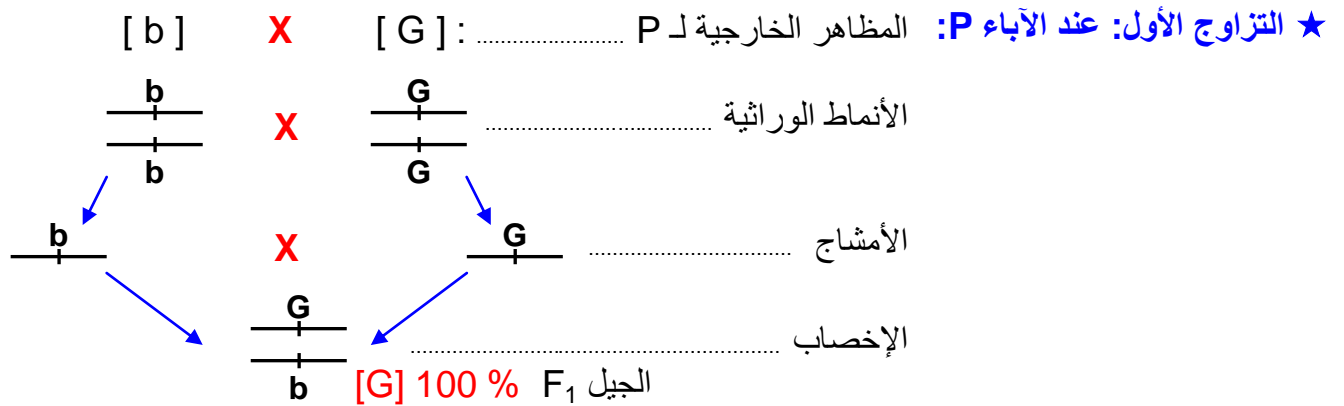
1) لقد تم التزاوج بين أفراد من نفس النوع، ينتمون لسلالتين نقيتين، تختلفان في صفة واحدة. اذن نمط التزاوج هو عبارة عن هجونة أحادية.

(2) تكون السلالة نقية بالنسبة لصفة معينة، عندما تنتقل هذه الصفة إلى الخلف بدون تغيير عبر أجيال متعددة. ونفسرها بوجود حليين متشابهين بالنسبة للمورثة المرتبطة بتلك الصفة.

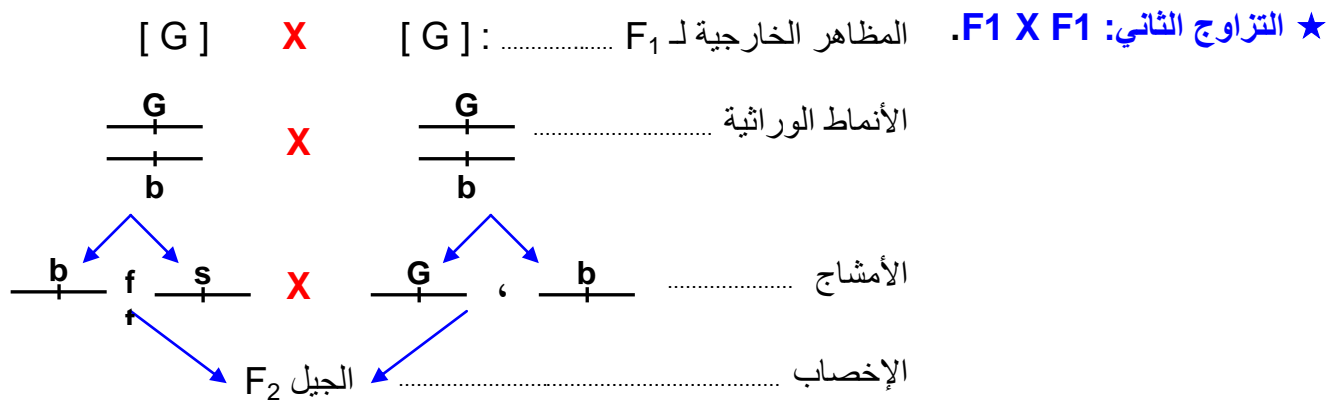
(3) إن جميع أفراد الجيل F_1 متجانسون فيما بينهم، ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي اللون الرمادي. اعتماداً على القانون الأول لـ Mendel نستنتج أن صفة اللون رمادي صفة سائدة، بينما الصفة لون أبيض صفة متنحية. نلاحظ كذلك أن الصفة أبيض ظهرت لدى أفراد الجيل F_2 ، ولم تكن تظهر عند الجيل F_1 ، نستنتج أن أفراد الجيل F_1 يحملون الحليل المسؤول عن الصفة أبيض، ولا يظهر عندهم لكونه حليل متنحي.

(4) التفسير الصبغي لنتائج التزاوج:

بما أن رمادي سائد سنرمز له بـ G، وأبيض متنحي سنرمز له بـ b.



كل أفراد الجيل الأول F_1 لهم النمط الوراثي G/b، وبما أن الحليل G سائد على الحليل b، فإن كل أفراد F_1 سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [G].



في F_2 يمكن تلخيص إمكانية الإخصاب، في جدول ذي مدخلين، يسمى شبكة التزاوج L'échiquier de croisement. حيث يكتب في المدخل العمودي، مختلف أصناف الأمشاج الأثوية ونسبها، وفي المدخل الأفقي، مختلف أصناف الأمشاج الذكرية ونسبها.

شبكة التزاوج

	♂	♀
50% $\frac{b}{b}$	50% $\frac{G}{G}$	$\frac{G}{b}$ 50%
25% $\frac{G}{b}$	25% $\frac{G}{G}$	$\frac{b}{b}$ 50%
25% $\frac{b}{b}$	25% $\frac{G}{b}$	

يتكون الجيل الثاني F_2 من:

★ المظاهر الخارجية: 75% [G] + 25% [b].

★ الأنماط الوراثية: 25% بنمط وراثي b/b.

50% بنمط وراثي G/b.

25% بنمط وراثي G/G.

5) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الاختباري Test Cross، وهو تزاوج يتم بين فرد ذي مظهر خارجي سائد ونمط وراثي غير معروف، وفرد ذي مظهر خارجي متنح أي متشابه الاقتران بالنسبة للصفة المدروسة.

في هذا التزاوج، يرتبط المظهر الخارجي للخلف بنمط الأمشاج التي ينتجها الأب ذو المظهر الخارجي السائد. وبذلك نجد حالتين:

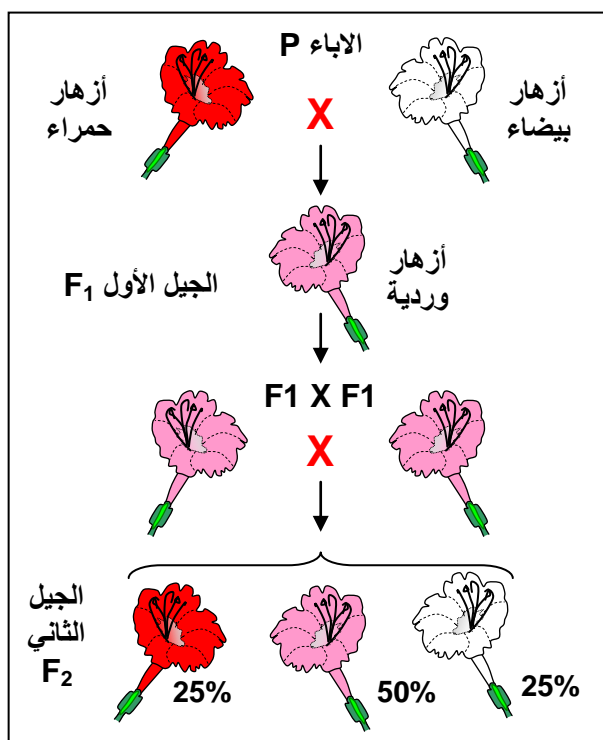
★ **الحالة الأولى:** إذا كان النمط الوراثي للأب ذو المظهر السائد هو G//G، فسوف ينتج نمطا واحدا من الأمشاج G/، وبالتالي نحصل عند الخلف على 100 % G//b. أي 100 % فئران رمادية.

★ **الحالة الثانية:** إذا كان النمط الوراثي للأب ذو المظهر السائد هو G//b، فسوف ينتج نمطين من الأمشاج G/ و b/، وبالتالي نحصل عند الخلف على 50 % G//b + 50 % b//b. أي 50 % فئران بيضاء + 50 % فئران رمادية.

نلاحظ أن نتيجة هذا التزاوج الاختباري هي 50 % فئران بيضاء + 50 % فئران رمادية. نستنتج ادن أن الفأر الرمادي المختبر هجين أي مختلف الاقتران G//b.

II - دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة تساوي السيادة La codominance.

① التهجين عند نبات شب الليل الوثيقة 4.



الوثيقة 4: التهجين عند نبات شب الليل:

قصد دراسة مظهر آخر لكيفية انتقال الصفات الوراثية وتعبيرها، تم إجراء تزاوج عند نبات شب الليل Mirabilis jalapa، حيث تم إنجازها بين سلالتين نقيتين من نبات شب الليل، الأولى ذات أوراق تويجية حمراء Rouge، والثانية ذات أوراق تويجية بيضاء Blanche، فتم الحصول نباتات هجينة ذات أوراق تويجية وردية Rose تمثل الجيل الأول F1 (أنظر الرسم أمامه). نشير إلى أنه تم اعتماد الإخصاب المتقاطع، لتجنب حدوث إخصاب ذاتي لنفس الأزهار.

(1) حل هذه النتائج، ثم استنتج.

يعطي تزاوج نباتات F1 فيما بينها جيل ثاني F2 غير متجانس ومكون من 25 % نباتات ذات أزهار بيضاء و 25 % نباتات ذات أزهار حمراء و 50 % نباتات ذات أزهار وردية.

(2) فسر صبغيا النتائج المحصل عليها في F1 و في F2.

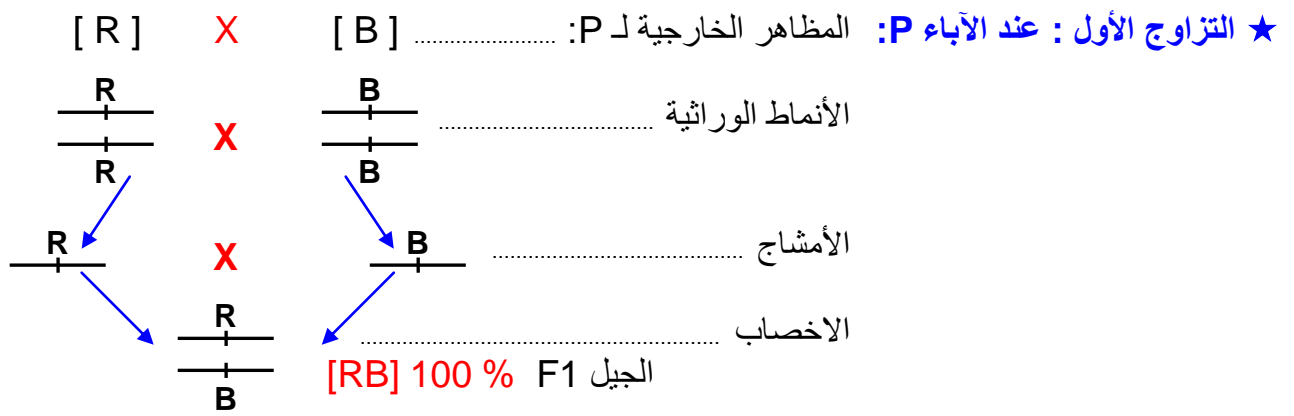
② تحليل نتائج التزاوج:

(1) إن تزاوج سلالتين نقيتين من شب الليل تختلفان بصفة لون الأوراق التويجية أعطى جيل أول F1 يتكون من أفراد متجانسون، إذن الجيل F1 سيكون هجينا (تحقق القانون الأول لماندل). إلا أن صفت أفراد الجيل F1 لا تشبه أي صفة من صفات الوالدين، بل هي صفة وسيطة بين صفتي الأبوين. نستنتج من هذا أن هناك غياب للسيادة أو نقول كذلك تساوي السيادة أو السيادة غير التامة.

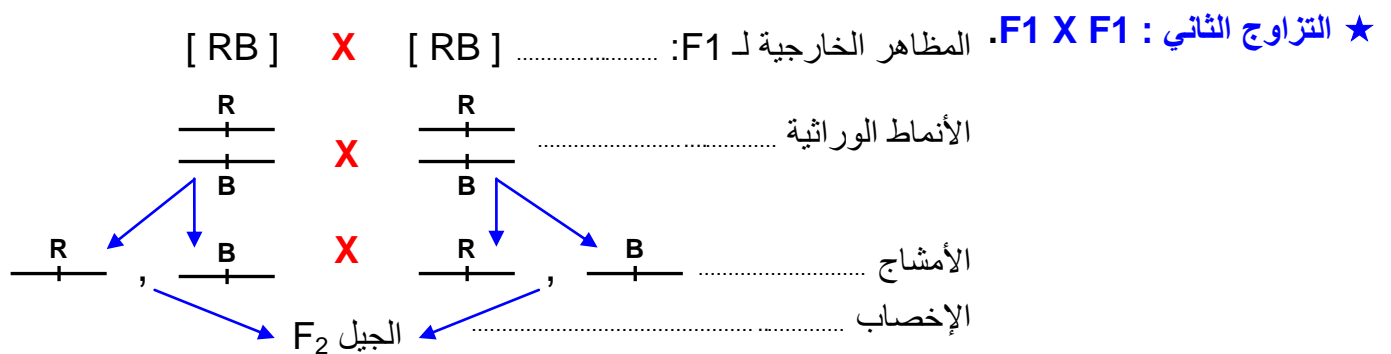
(2) التفسير الصبغي لنتائج التزاوجات:

بما أن الحليلان متساويا السيادة، سنرمز لهما معا بحروف كبيرة Majuscules، فنعطي للحليل المسؤول عن اللون الأحمر Rouge للأوراق التويجية الحرف R، والحليل المسؤول عن اللون الأبيض Blanc للأوراق التويجية الحرف B.

سيكون التفسير الصبغي إذن على الشكل التالي:



كل أفراد الجيل الأول F₁ لهم النمط الوراثي R//B، وبما أن هناك تساوي السيادة، فإن كل أفراد F₁ سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [RB].



في F₂ يمكن تلخيص إمكانية الإخصاب، في شبكة التزاوج التالية:

	♂	♀
50% $\frac{B}{+}$	50% $\frac{R}{+}$	
25% $\frac{R}{+}$ 25% $\frac{B}{+}$	25% $\frac{R}{+}$ 25% $\frac{R}{+}$	$\frac{R}{+}$ 50%
25% $\frac{B}{+}$ 25% $\frac{B}{+}$	25% $\frac{R}{+}$ 25% $\frac{B}{+}$	$\frac{B}{+}$ 50%

يتكون الجيل الثاني F₂ من:

★ المظاهر الخارجية: [B] 25% + [R] 25% + [RB] 50%

★ الأنماط الوراثية: 25% بنمط وراثي R//R + 50% بنمط وراثي R//B + 25% بنمط وراثي B//B

III - دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة المورثة المميّنة.

① انتقال صفة مرتبطة بمورثة مميّنة عند الفئران أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: دراسة صفة مرتبطة بمورثة مميّنة عند الفئران:

نقوم بتزاوج سلالتين من فئران صفراء Jaune، فنحصل على خلف غير متجانس يضم: 202 فأر أصفر و98 فأر رمادي Gris.

- (1) ماذا يمكنك استنتاجه من خلال نتائج هذا التزاوج؟ علل جوابك؟
- (2) أحسب نسبة الأنماط المحصل عليها. ماذا تلاحظ؟
- (3) فسر صبغياً هذه النتائج علماً أنه لوحظ في رحم الأم فئران صفراء مميّنة

② تحليل نتائج التزاوج:

(1) من خلال تحليل نتائج هذا التزاوج نستنتج:

★ لقد تم التزاوج بين فئران صفراء، فحصلنا في الخلف على فئران غير متجانسة (صفراء ورمادية)، إذن لم يتحقق القانون الأول لماندل، وبالتالي فالأبوين لا ينتميان لسلالة نقية.

★ إن ظهور فئران رمادية عند الخلف، يدل على أن الحليل المسؤول عن هذه الصفة كان عند الآباء ولم يظهر عندهم. يمكننا القول إذن أن صفة لون رمادي صفة متنحية وصفة لون أصفر صفة سائدة.

★ إن الحصول في الجيل الأول F_1 على أفراد بلون رمادي، يعني أن الأبوين معا يتوفران على الحليل المسؤول عن هذا اللون، لكنهما يبديان مظهرا خارجيا أصفر، نستنتج بالتالي أن الأبوين معا مختلفي الاقتران (هجاء).

(2) نسب الأنماط المحصل عليها:

$$\text{نسبة الفئران الصفراء هي: } (2/3) = 67.33\% = (202 / (202 + 98)) \times 100$$

$$\text{نسبة الفئران الرمادية هي: } (1/3) = 32.66\% = (98 / (202 + 98)) \times 100$$

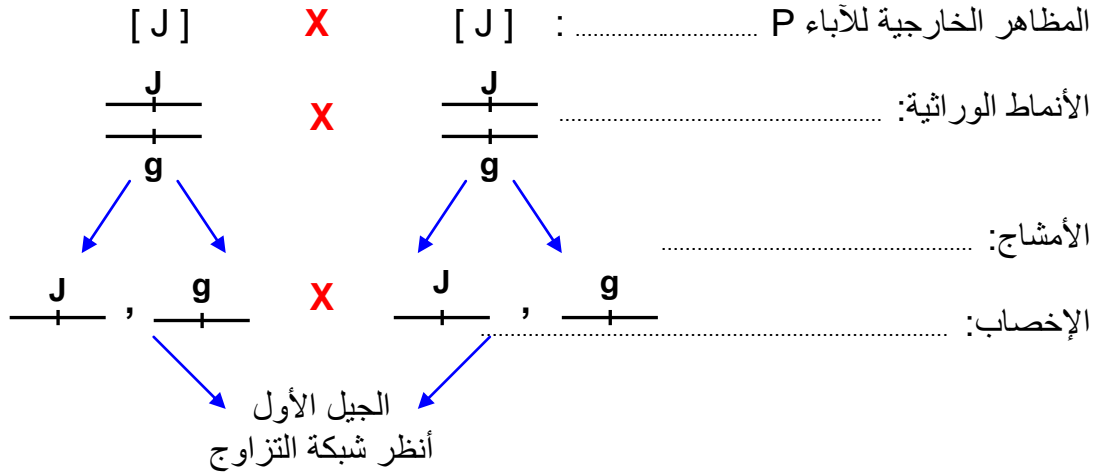
بما أننا في حالة سيادة تامة، فالنسب المتوقعة هي 25% (أي 1/4) للمظهر الخارجي المتنحي + 75% (أي 3/4) للمظهر الخارجي السائد.

نلاحظ أن النسب المحسوبة تخالف النسب المتوقعة F_2 في حالة السيادة التامة.

(3) التأويل الصبغي لنتائج التزاوج:

ننجز التفسير الصبغي باستعمال الرموز التالية: الحليل المسؤول عن اللون الأصفر Jaune سائد، سنرمز له بالحرف J، والحليل المسؤول عن اللون الرمادي Gris متنحي، سنرمز له بالحرف g.

التأويل الصبغي للتزاوج [J] X [J].



شبكة التزاوج

	$\frac{g}{+}$	$\frac{J}{+}$	$\frac{\text{♂}}{\text{♀}}$
$\frac{g}{+}$	50% $\frac{g}{+}$	50% $\frac{J}{+}$	
$\frac{J}{+}$	25% $\frac{J}{+}$	25% $\frac{g}{+}$	50% $\frac{J}{+}$
$\frac{g}{+}$	25% $\frac{g}{+}$	25% $\frac{J}{+}$	50% $\frac{g}{+}$

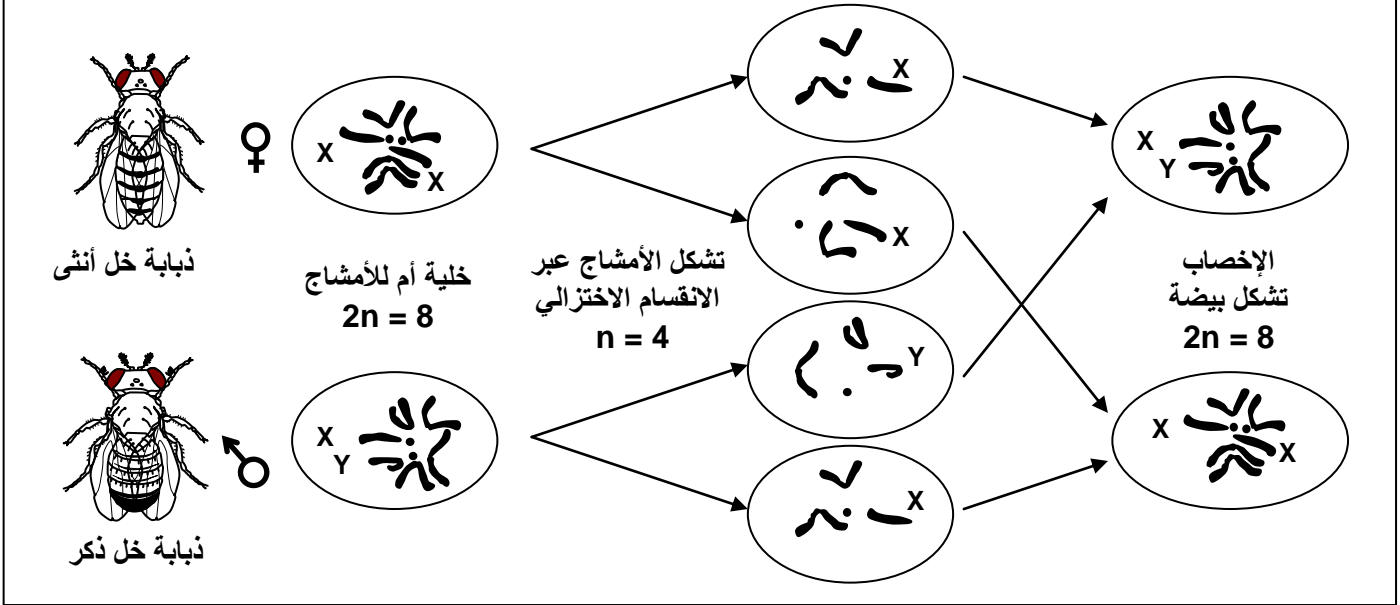
إن تشابه الاقتران بالنسبة للحليلين السائدين j//j يؤدي إلى موت هذه الفئران، وهذا ما يفسر وجود فئران ميتة في رحم الأم، ويفسر أن ثلث الفئران ذات لون رمادي، والثلث بلون أصفر. من خلال هذا التفسير الصبغي، يتضح أن النتائج النظرية تطابق النتائج التجريبية، وبالتالي، فنحن فعلا أمام حالة مورثة مميتة *Gène létale*.

IV - دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة مورثة مرتبطة بالجنس.

① دور الصبغيات الجنسية في تحديد الجنس. أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: دور الصبغيات الجنسية في تحديد الجنس:

استعمل Morgan في تجاربه حول انتقال الصفات الوراثية ذبابة الخل *Drosophile*، وذلك نظرا لخصوصياتها المتجلية في نموها في أوساط بسيطة وقصر دورة نموها وقلة عدد صبغياتها ($2n = 8$).
خلال تجارب التهجين عند ذبابة الخل، لاحظ العالم Morgan، اختلافا في النتائج المحصل عليها بمجرد تغيير جنس الأفراد المتزاوجين، فاستنتج على أنه ليست كل الصفات الوراثية محمولة على صبغيات لاجنسية، بل أن بعضها يكون محمولا على الصبغيات الجنسية.
تعطي الوثيقة أسفله رسما تخطيطيا توضيحيا لدور الصبغيات الجنسية في تحديد الجنس عند ذبابة الخل.
انطلاقا من تحليل معطيات هذه الوثيقة، صف سلوك الصبغيات الجنسية أثناء الانقسام الاختزالي والإخصاب.

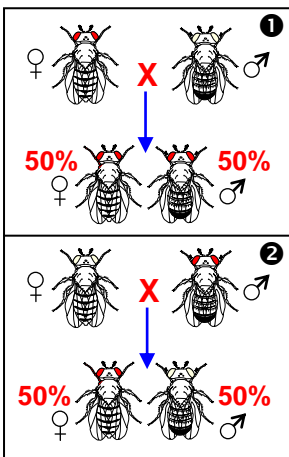


إن ملاحظة الخريطة الصبغية لكائن ثنائي الصيغة الصبغية يبين أن النواة تحتوي على أزواج من الصبغيات المتماثلة، تشكل الصبغيات اللاجنسية، بالإضافة إلى صبغيات جنسية. عند الذكر يكون الصبغيات الجنسية مختلفين فنقول أنه متغاير الأمشاج ونرمز له بـ XY. عند الأنثى يكون الصبغيات الجنسية متشابهين فنقول أنه متشابه الأمشاج ونرمز له بـ XX. لكن هناك حالات استثنائية، حيث يكون الذكر فيها متشابه الأمشاج، فنرمز لصبغياته الجنسية بـ Z. والنمط الوراثي في هذه الحالة هو ZZ، بينما تكون الأنثى متغايرة الأمشاج، ونرمز لصبغياتها الجنسية بـ Z و W، والنمط الوراثي في هذه الحالة هو ZW.

هناك حالات أخرى استثنائية، حيث يتوفر الذكر على صبغي جنسي واحد X النمط الوراثي في هذه الحالة هو XO بينما الأنثى تتوفر على صبغيتين جنسيين X، والنمط الوراثي في هذه الحالة هو XX، مثل حالة الجراد.

② انتقال صفة مرتبطة بالجنس عند ذبابة الخل.

أ - معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 7.



الوثيقة 7: دراسة انتقال صفة لون العيون عند ذبابة الخل:

ننجز تزاوجات بين سلالتين نقيتين من ذباب الخل تختلفان بلون العيون، الأولى متوحشة ذات عيون حمراء Rouge وسلالة طافرة ذات عيون بيضاء Blanche.

★ التزاوج الأول ①: تم بين أنثى ذات عيون حمراء وذكر ذو عيون بيضاء فحصلنا في الجيل الأول F_1 على أفراد كلهم بعيون حمراء.

(1) ماذا تستخلص من نتائج هذا التزاوج؟

★ التزاوج الثاني ②: تزاوج عكسي تم بين أنثى ذات عيون بيضاء وذكر ذو عيون حمراء. فحصلنا على جيل F_1 مكون من 50% إناث بعيون حمراء و50% ذكور بعيون بيضاء.

(2) حلل هذه النتائج؟ ماذا تستنتج؟

(3) أعط تفسيرا صبغيا للنتائج المحصل عليها.

ب - تحليل نتائج التزاوج.

(1) في التزاوج الأول نلاحظ أن كل أفراد الجيل الأول F_1 متجانسون ولهم الصفة عيون حمراء. طبقاً للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن التحليل المسؤول عن اللون الأحمر للعيون سائد، والتحليل المسؤول عن لون العيون البيضاء متنحي.

(2) يعطي التزاوج العكسي (تغيير الصفة بين الذكور والإناث)، جيل F_1 ، يتكون من أفراد غير متجانسين، رغم أن الأبوين من سلالة نقية (لم يتحقق القانون الأول لماندل)، كما نلاحظ خلال هذا التزاوج أن الذكور أخذوا صفة أمهاتهم، بينما الإناث أخذن صفة أبائهن، مما يدعو للاعتقاد بكون هذه المورثة محمولة على صبغي جنسي، وبالضبط الصبغي الجنسي X، لأن هذه الصفة تظهر عند الذكور و الإناث.

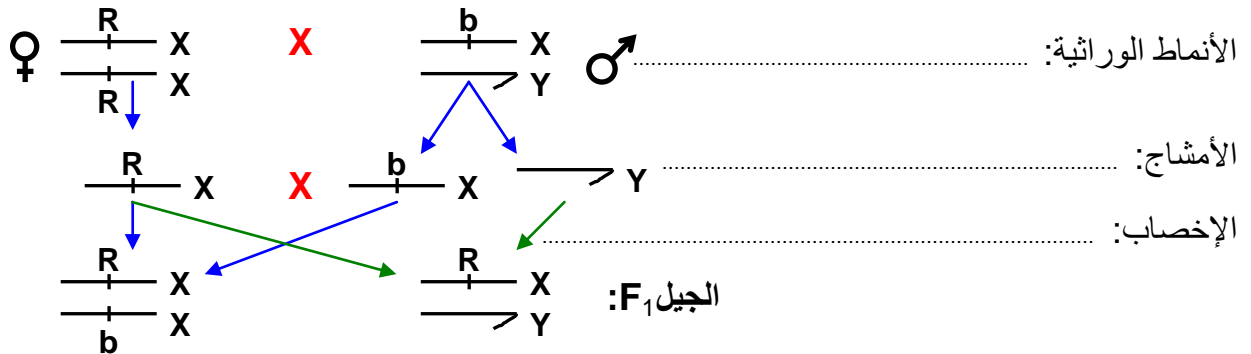
(3) التفسير الصبغي للنتائج المحصل عليها:

التحليل المسؤول عن لون العيون الحمراء Rouges سائد، نرسم له بالتحرف R، أما التحليل المسؤول عن لون العيون البيضاء Blanches متنحي، نرسم له بالتحرف b. عندما تكون المورثة محمولة على الصبغي الجنسي X، يجب الإشارة في الرموز المستعملة خلال التفسير الصبغي إلى كل من الصبغيين X عند الأنثى والصبغيين X و Y عند الذكر. أما بخصوص المظهر الخارجي، فتستعمل نفس الطريقة المعتمدة في حالة الصبغيات اللاجنسية.

خلال التزاوج الأول، سيكون النمط الوراثي للأنثى $X^R X^R$ ، بمظهر خارجي [R]، والذكر $X^b Y$ بمظهر خارجي [b]، وخلال التزاوج الثاني، سيكون النمط الوراثي للأنثى $X^b X^b$ ، بمظهر خارجي [b]، والذكر $X^R Y$ بمظهر خارجي [R]

★ التزاوج الأول:

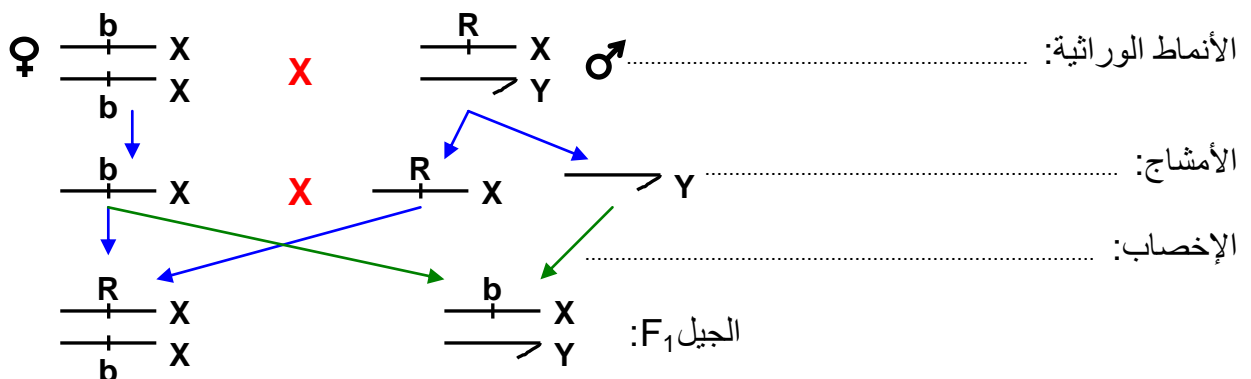
المظاهر الخارجية لـ P : ذكور بعيون بيضاء [b] X إناث بعيون حمراء [R]



الجيل F_1 100% [R]، 50% إناث $X^R X^b$ + 50% ذكور $X^R Y$

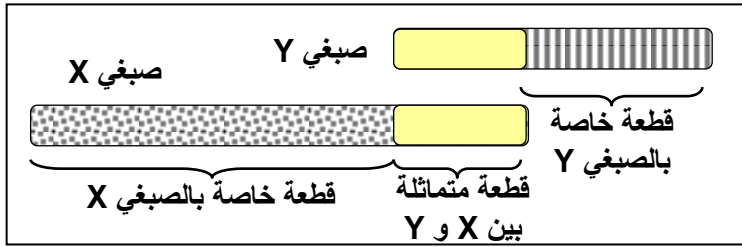
★ التزاوج الثاني = التزاوج العكسي:

المظاهر الخارجية لـ P : ذكور بعيون حمراء [R] X إناث بعيون بيضاء [b]



الجيل F_1 50% إناث [R] + 50% ذكور [b] : 50% إناث $X^R X^b$ + 50% ذكور $X^b Y$

ملاحظة:



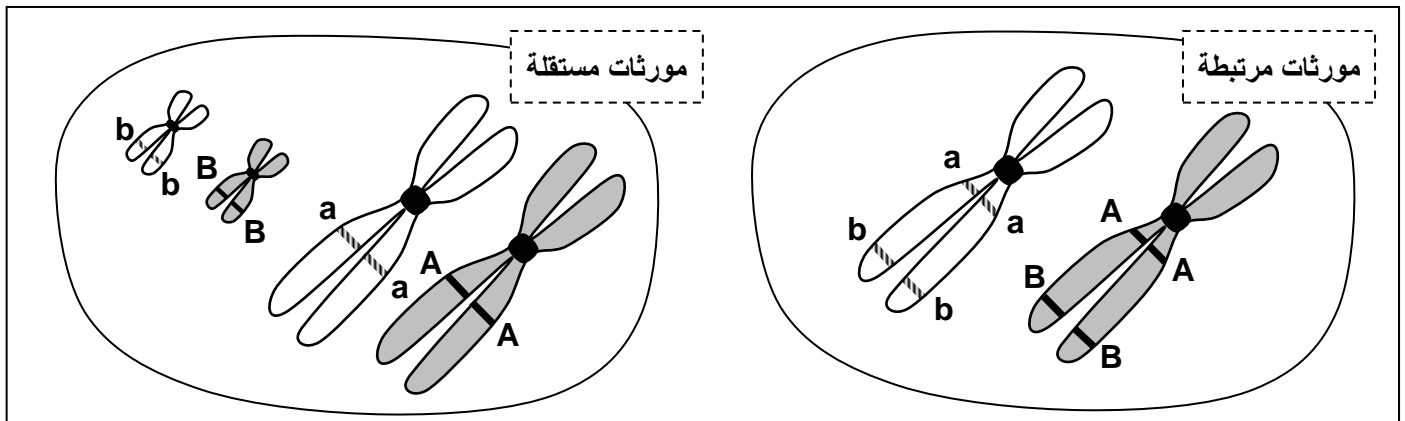
يمكن تفسير انتقال الصفات الوراثية المرتبطة بالجنس بكون المورثات المسؤولة عن هذه الصفات تتموضع على جزء الصبغي الجنسي X الذي ليس له مماثل على الصبغي Y. أو على جزء الصبغي Y الذي ليس له مقابل على X.

ادن التموضعات الممكنة للمورثة عند الصبغي الجنسي:

- ✓ على الجزء المميز للصبغي X : المورثة ممثلة بحليلين عند الأنثى وبحليل واحد عند الذكر.
- ✓ على الجزء X الذي له مماثل في الصبغي Y: المورثة ممثلة بحليلين عند الأنثى، و بحليلين عند الذكر. تخضع لنفس قوانين الصفة غير المرتبطة بالجنس.
- ✓ على الجزء المميز للصبغي Y: المورثة ممثلة بحليل واحد عند الذكر، وغير ممثلة بأي حليل عند الأنثى. اذن صفة خاصة بالذكور.

V - دراسة انتقال زوجين من الحيليات: الهجونة الثنائية.

نتكلم عن الهجونة الثنائية Le dihybridisme إذا كان التزاوج بين أفراد ينتمون لسلاطين نقيتين تختلفان في صفتين. وفي هذه الحالة فالمورثتين إما أن تكونان على نفس الصبغي فننتكلم عن مورثات مرتبطة Les gènes liés. وإما أن تكونان على صبغيين مختلفين فننتكلم عن مورثات مستقلة Les gènes indépendants.



① حالة المورثات المستقلة:

أ - الهجونة الثنائية عند نبات الجلبانة.

a - تمرين أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: دراسة انتقال صفتين متعارضتين عند نبات الجلبانة:

قام العالم Mendel بتزاوج سلالتين نقيتين من نبات الجلبانة تختلفان بصفتين، شكل ولون البذرة: الأولى ملساء Lisse وصفراء Jaune. والسلالة الثانية متجعدة Ridée وخضراء Verte. فحصل في الجيل الأول F_1 على بذور كلها ملساء و صفراء.

(1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذا التزاوج؟

قام Mendel بزرع بذور من F_1 و ترك الأزهار تتلقح ذاتيا، وبعد الإثمار جني بذور الجيل F_2 فحصل على 556 بذرة تتوزع كالتالي:

بذرة صفراء وملساء	★	315
بذرة خضراء وملساء	★	101
بذرة صفراء ومتجعدة	★	108
بذرة خضراء ومتجعدة	★	32

(3) أحسب النسب المئوية المحصل عليها في الجيل F_2 .

(4) فسر صبغيا نتائج F_1 و F_2 ، مستعملا الرموز: أخضر (V,v)، أصفر (J,j) ، أملس (L,l) ، متجعد (R,r) .

b - حل التمرين:

(1) تحليل واستنتاج:

★ تم التزاوج بين فردين من سلالتين نقيتين تختلفان بصفيتين اثنتين، يتعلق الأمر ادن بالهجنة الثنائية.

★ نلاحظ أن أفراد الجيل الأول F_1 متجانسون، ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو الشكل الأملس واللون الأصفر (تحقق القانون الأول لماندل بالنسبة للصفيتين). نستنتج ادن أن الصفة أملس سائدة على متجعد، وأصفر سائد على أخضر. وهكذا نكتب الحليلات كما يلي: أملس L، أصفر l، متجعد r، وأخضر v.

★ ليس في نتيجة هذا التزاوج ما يدل على أن المورثتان محمولتان على صبغيات جنسية، نعلم إذن أنهما محمولتان على صبغيات لاجنسية.

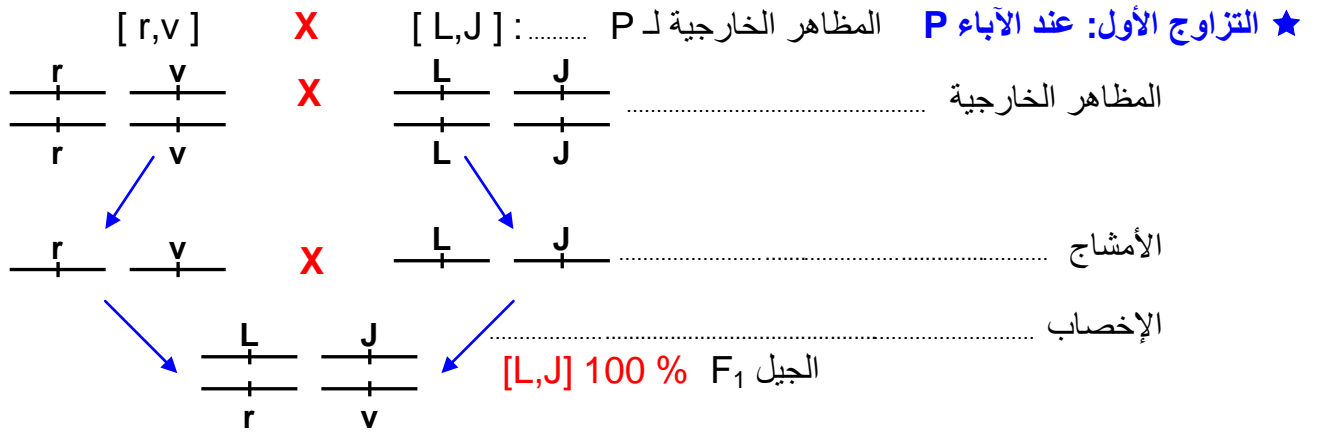
(2) حساب النسب المئوية عند F_2 :

- نسبة المظهر الخارجي [L,J] : $(315 / 556) \times 100 = 56.6 \%$
- نسبة المظهر الخارجي [r,v] : $(32 / 556) \times 100 = 5.75 \%$
- نسبة المظهر الخارجي [L,v] : $(101 / 556) \times 100 = 18.16 \%$
- نسبة المظهر الخارجي [r,J] : $(108 / 556) \times 100 = 19.4 \%$

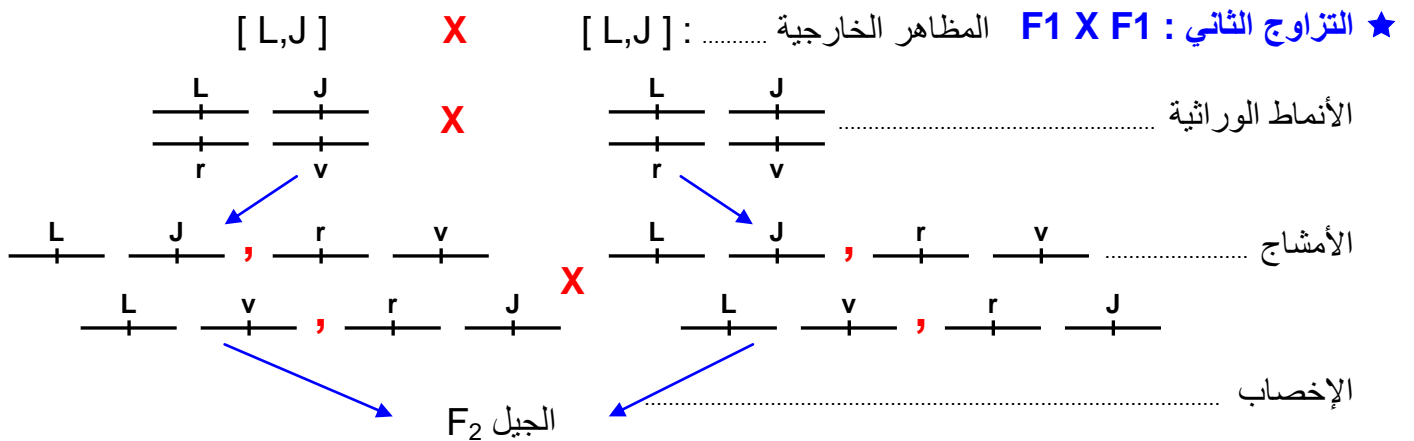
★ نلاحظ أن الجيل F_2 غير متجانس ويضم أربعة مظاهر خارجية. مظهران يشبهان المظاهر الخارجية للأباء: [L,J] و [r,v]، نسميها مظاهر أبوية. ومظهران خارجيان جديان: [L,v] و [r,J]، نسميها مظاهر جديدة التركيب.

★ عندما يتعلق الأمر بمورثتين محمولتين على صبغيتين مختلفين (مستقلتين)، فإن التخليط البيصبغي سيساهم في تنوع الأمشاج المحصل عليها في حالة اختلاف الاقتران، وبالتالي فلا يمكن تفسير ظهور صفات جديدة إلا بالافتراق المستقل للحليلات أثناء تشكل الأمشاج.

(3) التأويل الصبغي لنتائج التزاوج:

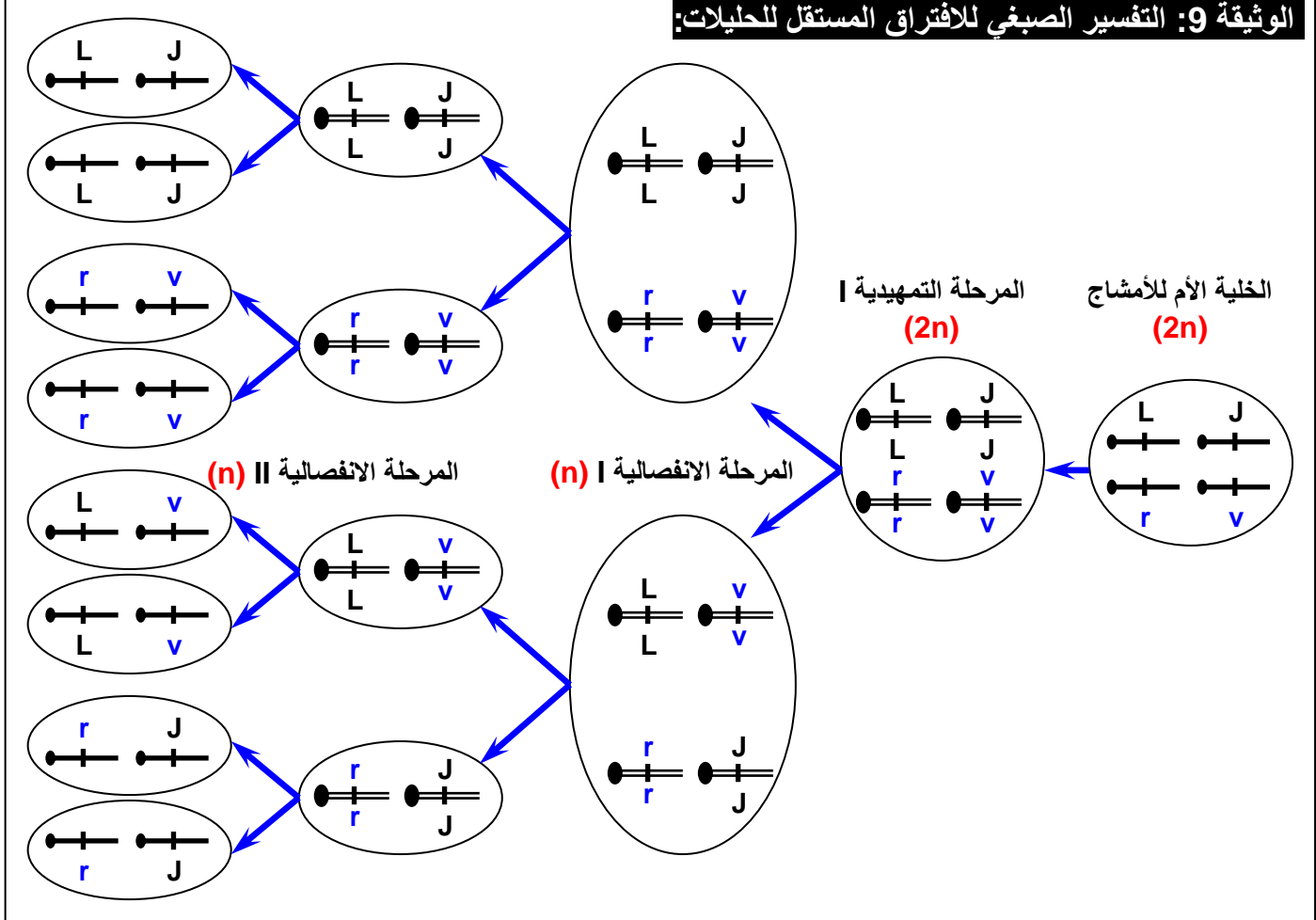


كل أفراد الجيل الأول F_1 لهم النمط الوراثي $L/r, J/v$ ، وبما أن L و J سائدين، فإن كل أفراد F_1 سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [L,J].



بفعل التخليط البيصغي ينتج كل فرد هجين من الجيل F_1 أربعة أنواع من الأمشاج بنسب متساوية: 1/4 لكل نوع، مشيجان أبويان بنسبة 50% ومشيجان جديدا التركيب بنسبة 50% (أنظر الوثيقة 9). بعد تحديد الأمشاج لدى الأبوين ننجز شبكة التزاوج كما هو ممثل على الوثيقة 10.

الوثيقة 9: التفسير الصبغي للافتراق المستقل للحيليات:



الوثيقة 10: شبكة التزاوج:

				♂	♀
$\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$	$\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$	$\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$	$\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$		
$\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ [L,J]	$\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ [L,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ [L,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ [L,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$	
$\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ [L,v]	$\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ [L,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ [L,v]	$\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ [L,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$	
$\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ [r,J]	$\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ [r,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ [L,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ [L,J]	$\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$	
$\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ [r,v]	$\frac{r}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ [r,J]	$\frac{L}{+} \quad \frac{v}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ [L,v]	$\frac{L}{+} \quad \frac{J}{+}$ $\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$ [L,J]	$\frac{r}{+} \quad \frac{v}{+}$	

في الجيل الثاني F2 نحصل على المظاهر الخارجية التالية:

- أفراد لهم المظهر الخارجي [L,J] ، يشكلون 9/16 من F₂ أي % 56.25.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [L,v] ، يشكلون 3/16 من F₂ أي % 18.75.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [r,J] ، يشكلون 3/16 من F₂ أي % 18.75.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [r,v] ، يشكلون 1/16 من F₂ أي % 6.25.

يتبين من خلال التفسيرين الصبغيين للتزاوجين الأول والثاني، أن النتائج المحصل عليها نظريا، تطابق النتائج المحصل عليها تجريبيا، وبالتالي فالمورثتان فعلا مستقلتان.

c - القانون الثالث لـ Mendel:

يسمى هذا القانون: قانون استقلالية أزواج الحليلات.

أثناء تشكل الأمشاج وأثناء المرحلة الانفصالية I، يمكن لكل فرد من زوج صبغي معين أن يجتمع بأحد فردي الزوج الصبغي الآخر. وينتج عن هذا أن كل عنصر من زوج حليلي معين، يمكنه أن يجتمع بأحد عنصري الزوج الحليلي الآخر، وهذا ما يسمى بالافتراق المستقل للحليلات.

ب - الهجونة الثنائية عند ذبابة الخل

a - تمرين أنظر الوثيقة 11.

التزاوج الأول			
جسم رمادي وأجنحة طويلة	جسم أسود وأجنحة أثرية		
X			
↓			
182 ذبابة بجسم رمادي وأجنحة طويلة			
F ₁			
التزاوج الثاني			
ذبابة خل من الجيل F ₁	جسم أسود وأجنحة أثرية		
X			
↓			
ذبابة 487 بجسم أسود وأجنحة أثرية	ذبابة 515 بجسم رمادي وأجنحة أثرية	ذبابة 509 بجسم أسود وأجنحة طويلة	ذبابة 492 بجسم رمادي وأجنحة طويلة

الوثيقة 11: دراسة الهجونة الثنائية عند ذبابة الخل:

نقوم بتزاوج أول عند سلالتين نقيتين من ذبابة الخل (أنظر الرسوم التخطيطية أمامه)، الأولى ذات جسم رمادي Gris وأجنحة طويلة Longues. والثانية ذات جسم أسود حالك Eben وأجنحة أثرية Véstigiales. نحصل في الجيل الأول F₁ على 182 ذبابة خل رمادية ذات أجنحة طويلة.

(1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذا التزاوج؟

نقوم بعد ذلك بتزاوج ثاني بين ذبابة خل من الجيل الأول F₁ وذبابة خل ذات جسم أسود حالك وأجنحة أثرية. فنحصل على النتائج الممثلة على الرسم أمامه.

(2) كيف نسمي هذا النوع من التزاوج؟ وما هي الغاية منه؟

(3) أحسب النسب المئوية لأنواع المحصل عليها في F₂. ماذا تستنتج؟

(4) فسر صبغيا نتائج التزاوجين، مستعملا الرموز: رمادي (G,g)، أسود (E,e)، طويلة (L,l)، أثرية (V,v).

b - حل التمرين:

- (1) بدراستنا لكل صفة على حدة، نلاحظ أن أفراد الجيل الأول F₁ متجانسون بالنسبة للصفاتين، ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو الجسم الرمادي والأجنحة الطويلة. ادن طبقا للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن:
- الحليل المسؤول عن صفة اللون رمادي سائد على الحليل أسود.
 - الحليل المسؤول عن صفة الأجنحة طويلة سائد على الحليل أثرية.
 - ليس هناك ما يدل أن المورثتان محمولتان على صبغي جنسي، إذن هما محمولتان على صبغي لاجنسي.

(2) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Back Cross، لأنه تم بين فرد هجين F_1 وأب P متنحي. الغاية منه هو التحقق من الانفصال المستقل لزوجي الحليلين.

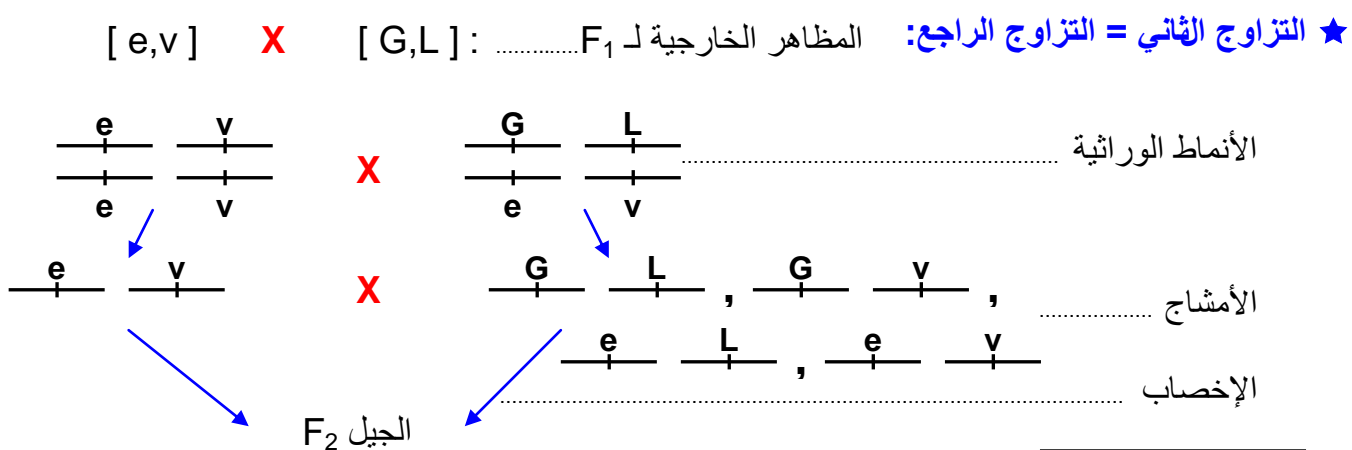
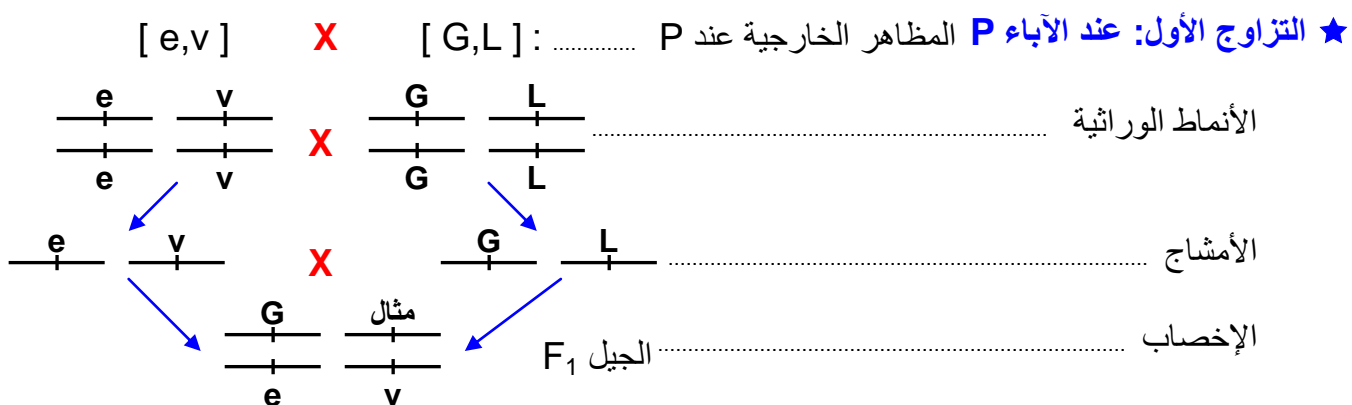
(3) حساب النسب المئوية المحصل عليها في F_2 :

- المظهر الخارجي (رمادية، أجنحة طويلة): $\% 24.56 = (492/(487+509+515+492)) \times 100$
- المظهر الخارجي (سوداء، أجنحة طويلة): $\% 25.41 = (509/(487+509+515+492)) \times 100$
- المظهر الخارجي (رمادية، أجنحة أثرية): $\% 25.71 = (515/(487+509+515+492)) \times 100$
- المظهر الخارجي (سوداء، أجنحة أثرية): $\% 24.31 = (487/(487+509+515+492)) \times 100$

★ إن الفرد الثنائي التنحي $[e,v]$ ، لا ينتج سوى نمط واحد من الأمشاج (e/v) ، وبالتالي فالمظهر الخارجي لأفراد الخلف F_2 سيعكس النمط الوراثي للأمشاج التي أنتجها الفرد الهجين. ومنه نستنتج هل المورثات مستقلة أم مرتبطة.

★ تدل النسب المحصل عليها في F_2 : $(25\% + 25\% + 25\% + 25\%)$ على أنه خلال تشكل الأمشاج عند الفرد الهجين، يجتمع كل حليل من زوج حليلي معين بلا تمييز مع أحد حليلي الزوج الحليلي الآخر (القانون الثالث لماندل). نستنتج من ذلك أن الحليلان (G,e) و (L,v) محمولان على زوجين مختلفين من الصبغيات. أي أن المورثات مستقلة.

(4) التأويل الصبغي لنتائج التزاوجين:



				شبكة التزاوج	
				♂	♀
$\frac{e}{e} \frac{v}{v}$ 1/4	$\frac{e}{e} \frac{L}{L}$ 1/4	$\frac{G}{G} \frac{v}{v}$ 1/4	$\frac{G}{G} \frac{L}{L}$ 1/4		
$\frac{e}{e} \frac{v}{v}$ 1/4	$\frac{e}{e} \frac{L}{L}$ 1/4	$\frac{G}{G} \frac{v}{v}$ 1/4	$\frac{G}{G} \frac{L}{L}$ 1/4		$\frac{e}{e} \frac{v}{v}$

نحصل في F_2 على $\% 25 [e,v] + \% 25 [e,L] + \% 25 [G,v] + \% 25 [G,L]$. نلاحظ أن النتائج النظرية تطابق النتائج التجريبية، إذن المورثات مستقلة.

② حالة المورثات المرتبطة:

أ - التهجين عند ذبابة الخل.

a - تمرين أنظر الوثيقة 12.

الوثيقة 12: دراسة الهجونة الثنائية عند ذبابة الخل:

نقوم بتزاوج سلالتين نقيتين من ذبابة الخل تختلفان بزوجين من الصفات. الأولى ذات أجنحة عادية Normal و عيون حمراء Rouge والأخرى ذات أجنحة مقورة Tronqué و عيون بنية Brun. نحصل في الجيل الأول F_1 على خلف متجانس ذو مظهر خارجي بأجنحة عادية و عيون حمراء.

(1) ماذا تستنتج من تحليل هذه النتائج؟

نقوم بتزاوج ثاني بين أنثى هجينة من F_1 وذكر ثنائي التنحي، فحصلنا في الجيل الثاني F_2 على:

★ 400 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة و عيون بنية . ★ 109 ذبابة خل ذات أجنحة عادية و عيون بنية
★ 111 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة و عيون حمراء. ★ 410 ذبابة خل ذات أجنحة عادية و عيون حمراء

(2) ماذا نسمي هذا النوع من التزاوج و ما هي الغاية منه ؟

(3) حدد نسب الأفراد المحصل عليها في F_2 . ماذا تستنتج؟

(4) أعط تفسيراً صبغياً لهذه النتائج.

نقوم بتزاوج ثالث بين أنثى ذات أجنحة مقورة و عيون بنية مع ذكر F_1 ذو أجنحة عادية و عيون حمراء. فحصلنا على الجيل F'_2 مكون من:

★ 170 ذبابة خل ذات أجنحة عادية و عيون حمراء ★ 175 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة و عيون بنية.

(5) حدد نسب الأفراد المحصل عليها في F'_2 . ماذا تلاحظ؟

(6) كيف تفسر هذه النتيجة؟

b - حل التمرين:

(1) ★ بدراستنا لكل صفة على حدة، نلاحظ أن الجيل الأول F_1 متجانس بالنسبة للصفاتين، ويشبه في مظهره الخارجي الأب ذو أجنحة عادية و عيون حمراء. طبقاً للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن تحليل الأجنحة العادية سائد على تحليل الأجنحة المقورة، وتحليل العيون الحمراء سائد على تحليل العيون البنية.
★ لقد تم هذا التزاوج بين ذكور وإناث، وأعطى نفس النتيجة، وليس هناك ما يدل أن المورثتان محمولتان على صبغي جنسي، إذن فالمورثتان محمولتان على صبغي لاجنسي.
★ سنرمز للمظهر أجنحة عادية و عيون حمراء بـ [N,R]، والمظهر أجنحة مقورة و عيون بنية بـ [t,b].

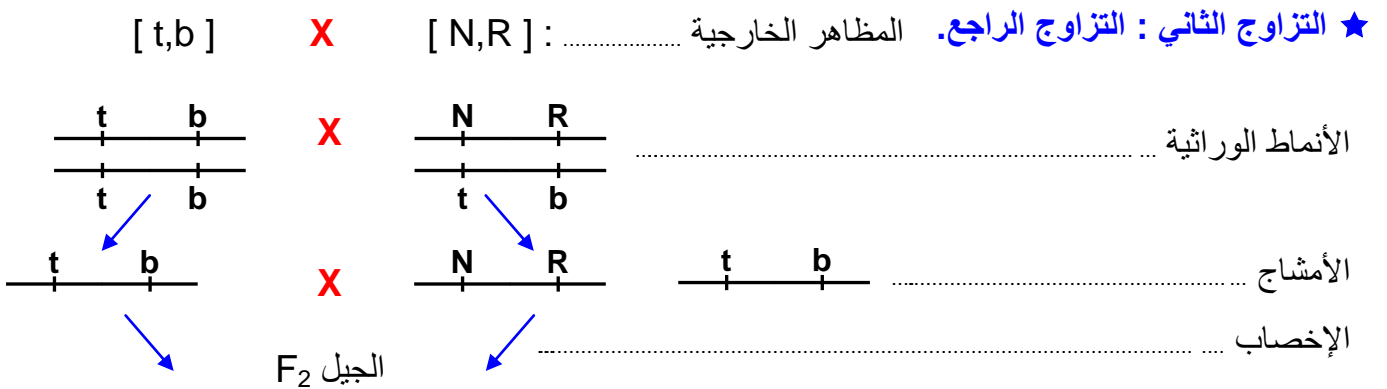
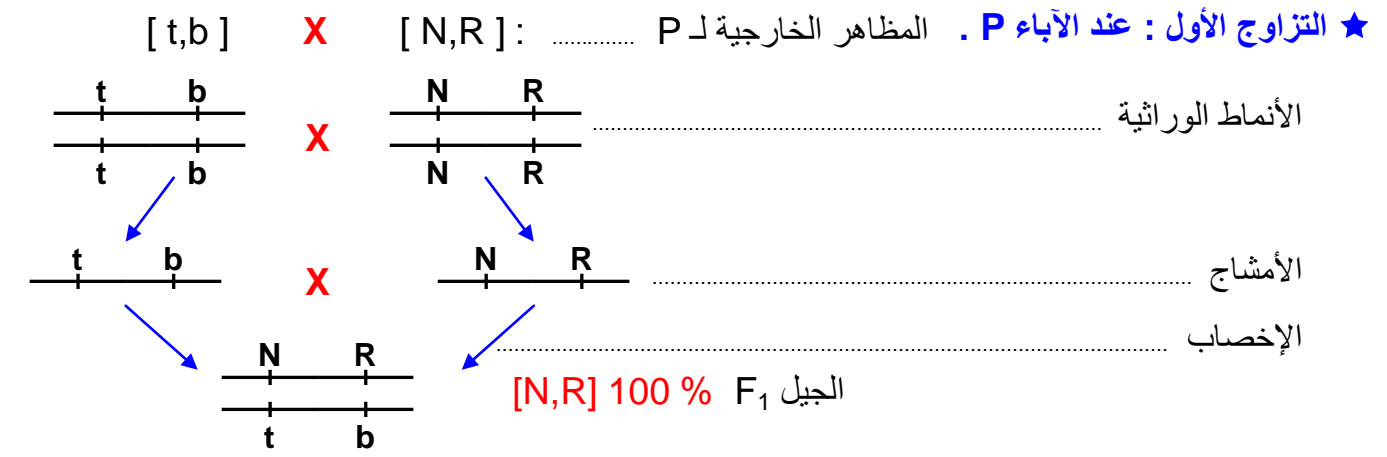
(2) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Back Cross، والغاية منه هو التحقق من الانفصال المستقل للحليلات.

(3) النسب المئوية للأنواع المحصل عليها في F_2 :

- نسبة المظهر الخارجي [N,R] هي: $39.81\% = (410/(410+400+111+109)) \times 100$
- نسبة المظهر الخارجي [t,b] هي: $38.83\% = (400/(410+400+111+109)) \times 100$
- نسبة المظهر الخارجي [N,b] هي: $10.58\% = (109/(410+400+111+109)) \times 100$
- نسبة المظهر الخارجي [t,R] هي: $10.78\% = (111/(410+400+111+109)) \times 100$

نلاحظ أن هذه النتائج تخالف القانون الثالث لـ Mendel (قانون الافتراق المستقل للحليلات)، إذ لا نحصل على أربعة مظاهر خارجية بنسب متساوية (50% مظاهر أبوية + 50% مظاهر جديدة التركيب)، بل نحصل على مظهرين خارجيين أبويين [N,R] و [t,b] بنسب كبيرة (78.64%)، ومظاهر خارجية جديدة التركيب [N,b] و [t,R] بنسب ضعيفة (21.36%).

تدل هذه النتائج على عدم الافتراق المستقل للحليلات، وهو ما يعني أن المورثتين مرتبطتين.

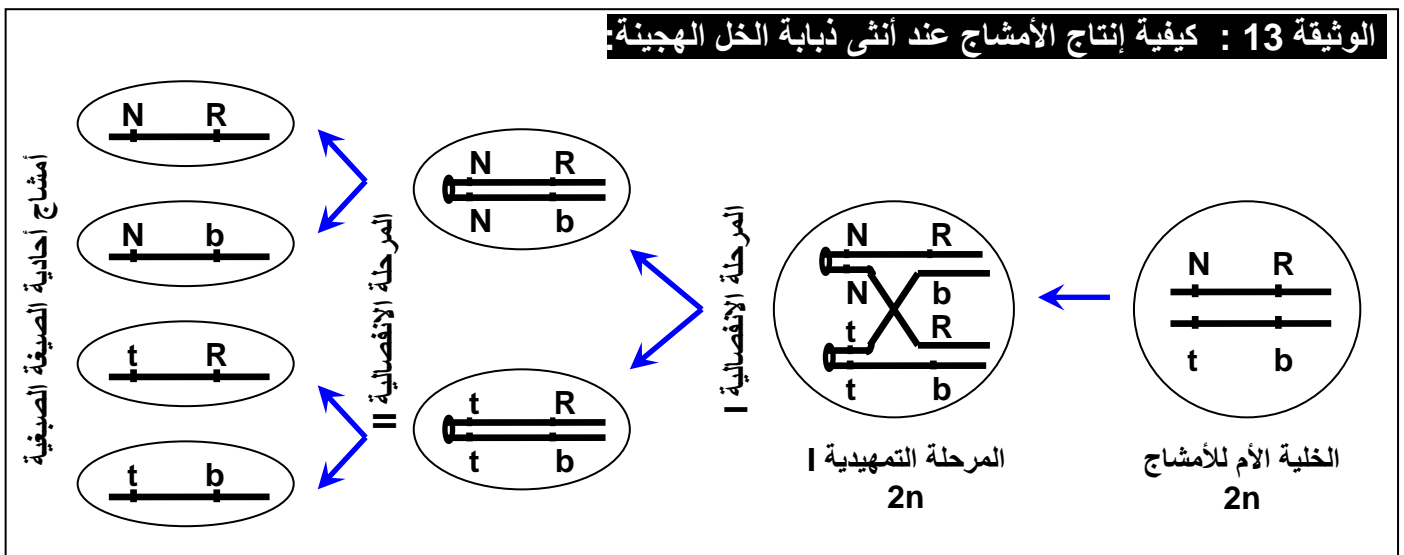


يعطي الإخصاب جيل F₂، أنظر شبكة التزاوج

$\frac{t}{t} \frac{b}{b}$ 50 %	$\frac{N}{N} \frac{R}{R}$ 50 %	♀ / ♂
$\frac{t}{t} \frac{b}{b}$ 50 %	$\frac{N}{N} \frac{R}{R}$ 50 %	$\frac{t}{t} \frac{b}{b}$ 100 %

نلاحظ أن النتائج النظرية تخالف النتائج التجريبية حيث نحصل في F₂ على مظاهر خارجية أبوية فقط، [N,R] بنسبة 50% و [t,b] بنسبة 50%.

إن ظهور مظاهر خارجية جديدة التركيب في F₂، يفسر بافتراض وجود تركيبات جديدة في أمشاج الأنثى الهجينة، وذلك لحدوث تبادل أجزاء صبغية بين الصبغيات المتماثلة خلال الانقسام الاختزالي. (أنظر الوثيقة 13).



وبالتالي تكون شبكة التزاوج على الشكل التالي:

$\frac{t}{t} \quad \frac{b}{b}$ 38.83 %	$\frac{t}{t} \quad \frac{R}{R}$ 10.78 %	$\frac{N}{N} \quad \frac{b}{b}$ 10.58 %	$\frac{N}{N} \quad \frac{R}{R}$ 39.81 %	♀ / ♂
$\frac{t}{t} \quad \frac{b}{b}$ 38.83 %	$\frac{t}{t} \quad \frac{R}{R}$ 10.78 %	$\frac{N}{N} \quad \frac{b}{b}$ 10.58 %	$\frac{N}{N} \quad \frac{R}{R}$ 39.81 %	
$\frac{t}{t} \quad \frac{b}{b}$ 38.83 %	$\frac{t}{t} \quad \frac{b}{b}$ 10.78 %	$\frac{t}{t} \quad \frac{b}{b}$ 10.58 %	$\frac{t}{t} \quad \frac{b}{b}$ 39.81 %	$\frac{t}{t} \quad \frac{b}{b}$ 100 %

(5) التزاوج الثالث هو تزاوج عكسي (تزاوج راجع)، لنحسب نسب المظاهر الخارجية في F_2' :

• نسبة مظهر الخارجي [N,R] هي: $(170/(170+175)) \times 100 = 49.27\%$

• نسبة مظهر الخارجي [t,b] هي: $(175/(170+175)) \times 100 = 50.73\%$

★ نلاحظ أن هذا التزاوج يعطي فقط مظاهر خارجية أبوية بنسبة $50\% + 50\%$.

★ نلاحظ اختلاف نتائج التزاوجين الراجعين الأول والثاني (= تزاوج عكسي)، لكن لا يمكننا في هذه الحالة أن نقول أن المورثتان محمولتان على صبغيات جنسية، وذلك لعدم اختلاف الصفات بين الذكور والإناث المحصلة، كما أن الفرق يتجلى فقط في ظهور صفات جديدة التركيب، بغض النظر عن جنس الأفراد. إذن المورثتان محمولتان على صبغي لاجنسي.

(6) تفسر هذه النتيجة بكون الذكر الهجين أنتج فقط أمشاجا أبوية، ولم ينتج الأمشاج الجديدة التركيب، وذلك لعدم حدوث العبور الصبغي خلال تشكل الأمشاج عند ذكر ذبابة الخل. نقول أن المورثات مرتبطة ارتباطا مطلقا.

ب - التهجين عند نبات الطماطم.

a - تمرين (تمرين منزلي) أنظر الوثيقة 14.

الوثيقة 14: دراسة الهجونة الثنائية عند نبات الطماطم:

نقوم بتزاوج سلالتين نقبتين من الطماطم، تختلفان بزوجين من الصفات. الأولى سهلة الجني وحساسة لطفيلي *stemphyllium* والأخرى صعبة الجني ومقاومة لهذا الطفيلي. نحصل في الجيل الأول F_1 على خلف متجانس يتكون من طماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي.

(1) ماذا تستنتج من تحليل هذه النتائج؟

نقوم بتزاوج ثاني بين طماطم ثنائية التنحي وطماطم هجينة من F_1 ، فحصلنا في الجيل الثاني F_2 على:

★ 39 % من الطماطم سهلة الجني وحساسة للطفيلي. ★ 11 % من الطماطم سهلة الجني ومقاومة للطفيلي.

★ 11 % من الطماطم صعبة الجني وحساسة للطفيلي. ★ 39 % من الطماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي.

(2) ماذا نسمي هذا النوع من التزاوج وما هي الغاية منه؟

(3) ماذا تستنتج من النسب المحصل عليها في هذا التزاوج؟

(4) أعط تفسيراً صبغياً لهذه النتائج.

b - حل التمرين:

(1) ★ بدراستنا لكل صفة على حدة، نلاحظ أن الجيل الأول F_1 متجانس بالنسبة للصفاتين، ويشبه في مظهره الخارجي الأب ذو طماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي. طبقاً للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن تحليل الطماطم صعبة الجني سائد على تحليل الطماطم سهلة الجني، وتحليل الطماطم المقاومة للطفيلي سائد على تحليل الطماطم الحساسة للطفيلي.

★ لقد تم هذا التزاوج بين ذكور وإناث، وأعطى نفس النتيجة، وليس هناك ما يدل أن المورثتان محمولتان على صبغي جنسي، إذن فالمورثتان محمولتان على صبغي لاجنسي.

★ سنرمز للمظهر طماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي بـ [D,R]، والمظهر الطماطم سهلة الجني وحساسة للطفيلي بـ [f,s].

(2) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Back Cross، والغاية منه هو التحقق من الانفصال المستقل للحليلات.

(3) النسب المئوية للأنواع المحصل عليها في F_2 :

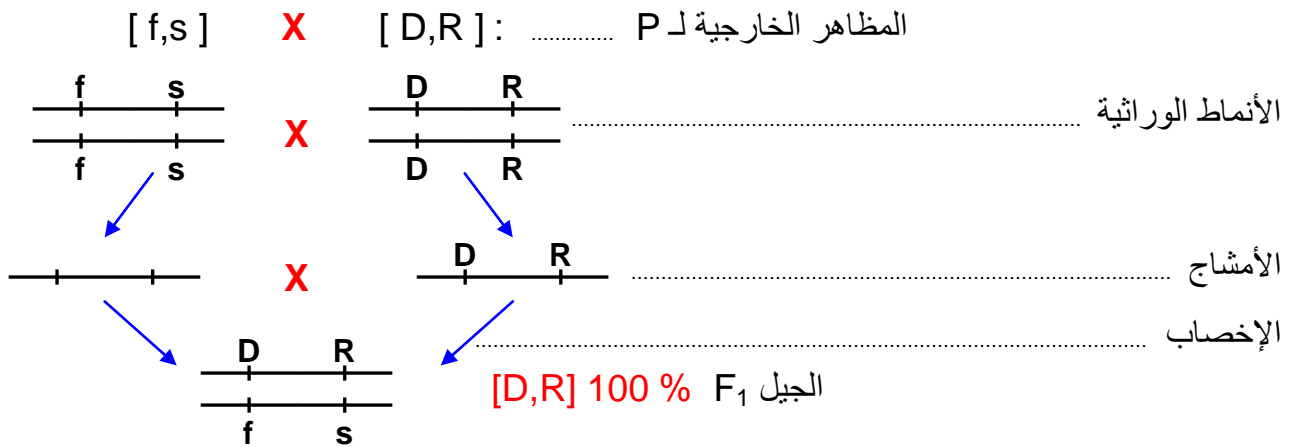
- نسبة المظهر الخارجي صعبة الجني ومقاومة للطفيلي [D,R] هي: 39 %
- نسبة المظهر الخارجي سهلة الجني وحساسة للطفيلي [f,s] هي: 39 %
- نسبة المظهر الخارجي صعبة الجني وحساسة للطفيلي [D,s] هي: 11 %
- نسبة المظهر الخارجي سهلة الجني ومقاومة للطفيلي [f,R] هي: 11 %

نلاحظ أن هذه النتائج تخالف القانون الثالث لـ Mendel (قانون الافتراق المستقل للحليلات)، إذ لا نحصل على أربعة مظاهر خارجية بنسب متساوية (50% مظاهر أبوية + 50% مظاهر جديدة التركيب)، بل نحصل على مظهرين خارجيين أبيضين [D,R] و [f,s] بنسب كبيرة (78%)، ومظاهر خارجية جديدة التركيب [D,s] و [f,R] بنسب ضعيفة (22%).

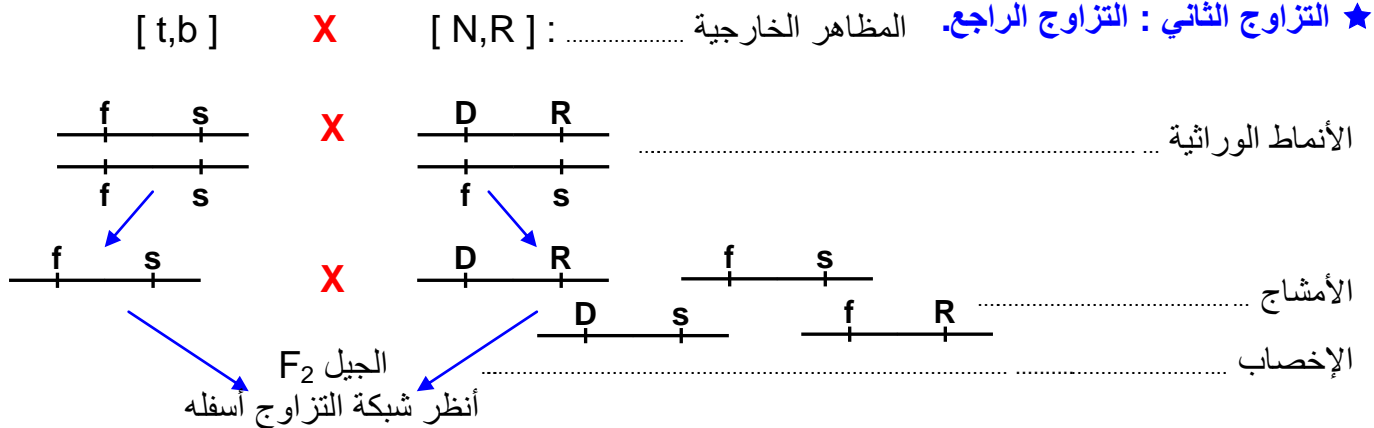
تدل هذه النتائج على عدم الافتراق المستقل للحليلات، وهو ما يعني أن المورثتين مرتبطتين.

(4) التأويل الصبغي لنتائج التزاوجات:

★ التزاوج الأول : عند الآباء P .



★ التزاوج الثاني : التزاوج الراجع.



$\frac{f}{f} \frac{s}{s}$ 39 %	$\frac{f}{f} \frac{R}{R}$ 11 %	$\frac{D}{D} \frac{s}{s}$ 11 %	$\frac{D}{D} \frac{R}{R}$ 39 %	♀ / ♂
$\frac{f}{f} \frac{s}{s}$ 39 %	$\frac{f}{f} \frac{R}{R}$ 11 %	$\frac{D}{D} \frac{s}{s}$ 10.58 %	$\frac{D}{D} \frac{R}{R}$ 39 %	$\frac{f}{f} \frac{s}{s}$ 100 %

ج - خلاصة:

★ عندما نحصل بعد تزاوج أفراد الجيل F_1 فيما بينهم ($F_1 \times F_1$) على مظاهر أبوية فقط، فإن المورثتان المدروستان، مرتببتان ارتباطاً مطلقاً (دون حدوث عبور صبغي)، أما إذا حصلنا على مظاهر خارجية جديدة التركيب بنسبة تقل بكثير عن 37,5% ($16/6$)، فإن المورثتان المدروستان مرتببتان ارتباطاً غير مطلق (حدوث عبور صبغي).

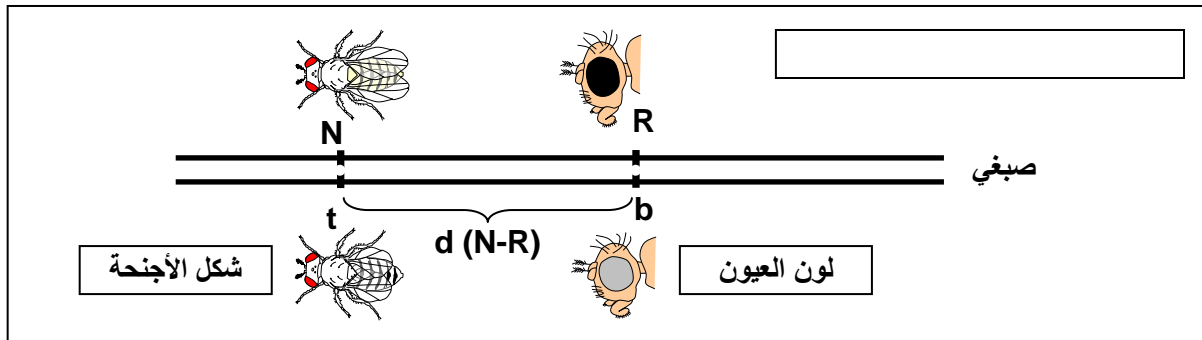
★ عندما نحصل بعد التزاوج الراجع على مظاهر أبوية فقط، فإن المورثتان المدروستان، مرتببتان ارتباطاً مطلقاً (دون حدوث عبور صبغي)، أما إذا حصلنا على مظاهر خارجية جديدة التركيب بنسبة تقل بكثير عن 50%، فإن المورثتان المدروستان مرتببتان ارتباطاً غير مطلق (حدوث عبور صبغي).

VI - قياس المسافة بين مورثتين.

① العلاقة بين نسبة التركيبات الجديدة والمسافة بين مورثتين: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: قياس المسافة بين مورثتين ووضع الخريطة العاملة (La carte factorielle).

لقد لاحظ العالم الأمريكي Thomas Hunt Morgan أنه في حالة تزاوج سلالتين تختلفان بصفتين في حالة مورثتين مرتببتين، فإن نسبة التركيبات الجديدة الناتجة عن هذا التزاوج تكون دائماً ثابتة. انطلاقاً من هذه الملاحظة افترض Morgan أن موقع المورثة فوق الصبغي يكون دائماً ثابتاً. فوضع علاقة بين نسبة التركيبات الجديدة ونسبة احتمال حدوث عبور صبغي. إذ كلما كبرت المسافة بين مورثتين إلا وارتفعت نسبة احتمال حدوث العبور وبالتالي ارتفعت نسبة التركيبات الجديدة. ومنه فإن نسبة التركيبات الجديدة تمكننا من تحديد المسافة الفاصلة بين مورثتين، وبالتالي انجاز الخريطة العاملة.



لقياس المسافة بين مورثتين، استعمل Morgan وحدة (Centimorgan = CMg)، بحيث أن $1\% = 1\text{CMg}$ من التركيبات الجديدة. وهكذا فالمسافة الفاصلة بين مورثتين a و b هي $d(a-b)$.

$$d(a-b) = \frac{\text{عدد الأفراد ذوي التركيبات الجديدة}}{\text{العدد الإجمالي للأفراد}} \times 100$$

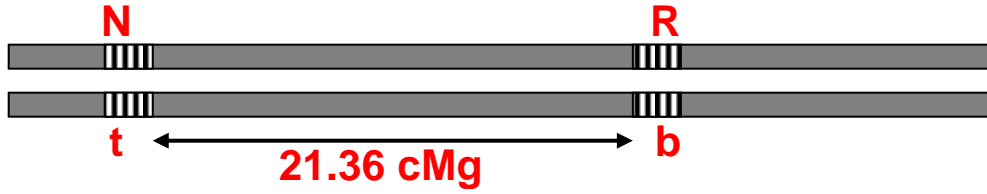
باستثمار هذه المعطيات ومعطيات تمرين الوثيقة 12:

- (1) أحسب المسافة بين المورثتين لون العيون وشكل الأجنحة $d(N - R)$.
- (2) أنجز الخريطة العاملة.

انطلاقاً من معطيات تمرين الوثيقة 12:

(1) نحسب المسافة بين المورثتين لون العيون وشكل الأجنحة $d(R,N)$:

$$d(R,N) = \frac{\text{عدد الأفراد ذوي التركيبات الجديدة}}{\text{العدد الإجمالي للأفراد}} \times 100 = \frac{109 + 111}{1030} \times 100 = 21.36 \text{ cMg}$$



② دراسة أمثلة:

أ - التهجين عند الطماطم.

a - تمرين أنظر الوثيقة 16.

الوثيقة 16: تحديد التموضع النسبي للمورثات لدى نبات الطماطم

تم التزاوج بين سلالتين نقيتين من الطماطم، سلالة (SM) ذات أوراق خضراء وقد عادي وثمار ملساء، مع سلالة (M) ذات أوراق مبقعة بالأصفر وقد قصير وثمار ناعمة. نحصل على جيل أول F_1 متجانس بأوراق خضراء وقد عادي وثمار ملساء. ويعطي التزاوج الراجع بين نبتة هجينة F_1 ونبتة من السلالة (M) النتائج التالية:

✓	417	نبتة ذات أوراق خضراء وقد عادي وثمار ملساء.
✓	425	نبتة ذات أوراق مبقعة وقد قصير وثمار ناعمة.
✓	16	نبتة ذات أوراق خضراء وقد عادي وثمار ناعمة.
✓	3	نبتة ذات أوراق خضراء وقد قصير وثمار ملساء.
✓	55	نبتة ذات أوراق خضراء وقد قصير وثمار ناعمة.
✓	59	نبتة ذات أوراق مبقعة وقد عادي وثمار ملساء.
✓	5	نبتة ذات أوراق مبقعة وقد عادي وثمار ناعمة.
✓	20	نبتة ذات أوراق مبقعة وقد قصير وثمار ملساء.

- 1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج التزاوج الأول؟
- 2) باستعمال الرموز التالية: قد عادي (N,n)، أوراق خضراء (V,v)، ثمار ملساء (L,l)، قد قصير (C,c)، أوراق مبقعة (T,t)، ثمار ناعمة (R,r). حدد المظاهر الخارجية المحصل عليها في الجيل الثاني F_2 ، مع حساب نسبة كل مظهر.
- 3) ماذا تستنتج من نتيجة التزاوج الراجع؟ وكيف تفسر ظهور التركيبات الجديدة عند نبات الطماطم؟
- 4) احسب المسافة بين المورثات المدروسة.
- 5) أنجز الخريطة العاملية La carte factorielle بالنسبة للمورثات الثلاث.

b - حل التمرين:

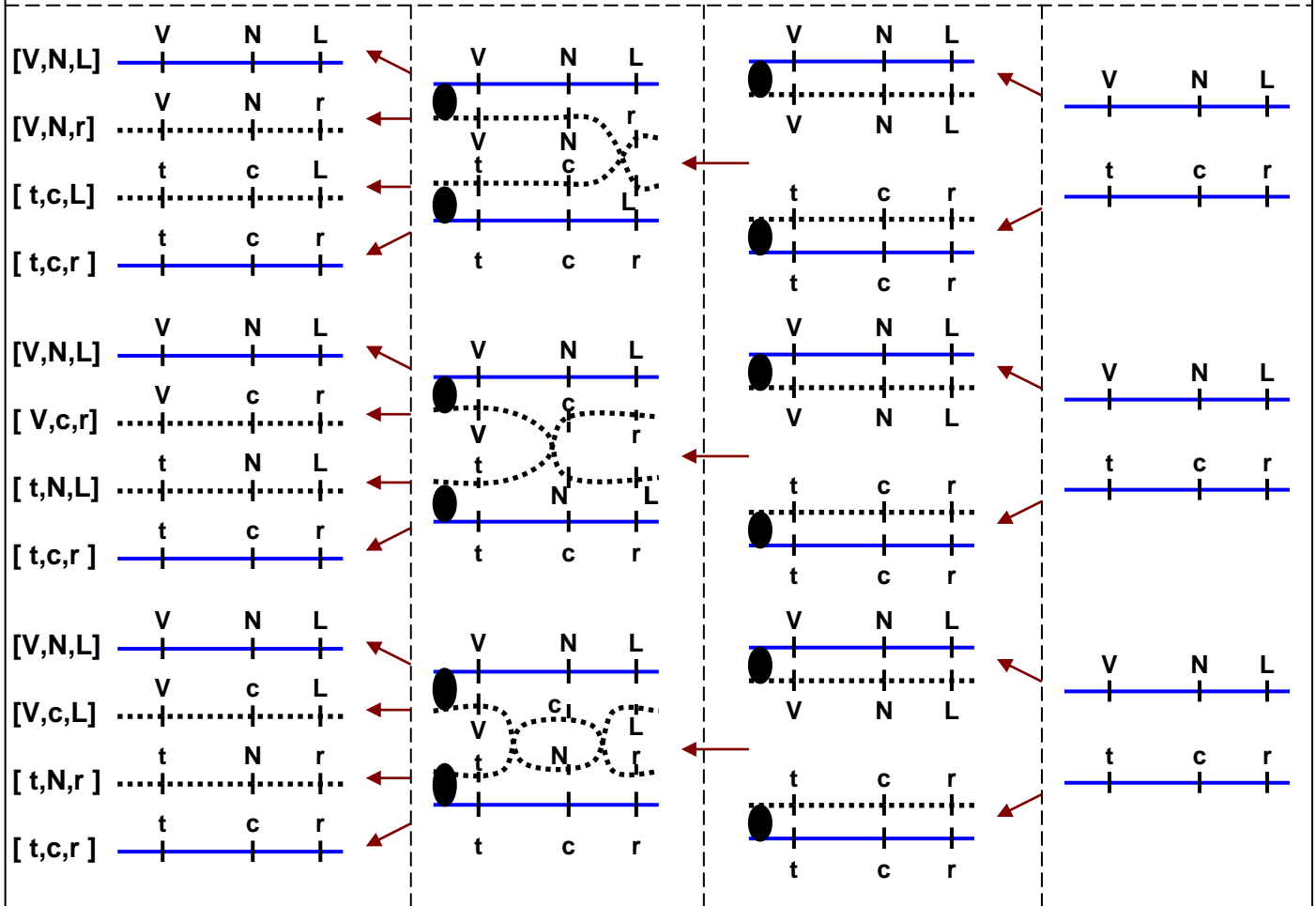
1) لقد تم التزاوج بين سلالتين نقيتين تختلفان بثلاث صفات وراثية، نتكلم ادن عن الهجونة الثلاثية. نلاحظ أن كل أفراد الجيل الأول F_1 متجانسون ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو قد عادي، أوراق خضراء، وثمار ملساء. واعتمادا على القانون الأول لماندل فإن الصفات قد عادي، أوراق خضراء، وثمار ملساء سائدة على الصفات قد قصير، أوراق مبقعة، وثمار ناعمة.

2) المظاهر الخارجية المحصل عليها في الجيل الثاني F_2 هي:

<p>مظاهر أبوية بنسبة 84.2 %</p> <p>مظاهر جديدة التركيب بنسبة 15.8 %</p>	}	• [V,N,L] بنسبة (417/1000). 41.7 %
		• [t , c , r] بنسبة (425/1000). 42.5 %
		• [V,N ,r] بنسبة (16/1000). 1.6 %
		• [V,c,L] بنسبة (3/1000). 0.3 %
		• [V,c,r] بنسبة (55/1000). 5.5 %
		• [t,N,L] بنسبة (59/1000). 5.9 %
		• [t,N,r] بنسبة (5/1000). 0.5 %
		• [t,c,L] بنسبة (20/1000). 2 %

3) نلاحظ أن نسبة المظاهر الخارجية الأبوية كبيرة جدا بالمقارنة مع المظاهر الخارجية الجديدة التركيب. نستنتج من هذا أن المورثات مرتبطة. ويفسر ظهور تركيبات جديدة لدى النبتة بحدوث ظاهرة العبور الصبغي عند تشكل الأمشاج لدى الأب الهجين F_1 (أنظر الوثيقة 16).

الوثيقة 17: حالات العبور الصبغي وتفسير التركيبات الجديدة



4) حساب المسافة بين المورثات:

$$d(V-N) = \frac{5+59+55+3}{1000} \times 100 = 12.2 \text{ cMg}$$

❖ المسافة بين القد ولون الأوراق هي:

$$d(N-L) = \frac{16+3+5+20}{1000} \times 100 = 4.4 \text{ cMg}$$

❖ المسافة بين القد وشكل الثمار هي:

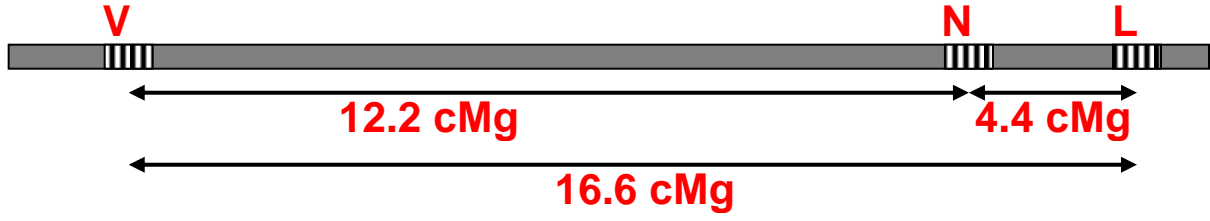
$$d(V-L) = \frac{+55+59+20}{1000} \times 100 = 15 \text{ cMg}$$

❖ المسافة بين اللون وشكل الثمار هي:

نلاحظ أن: $d(V-L) = d(V-N) + d(N-L)$ نستنتج من هذا أن المورثة (N,c) تتموضع بين المورثتين (V,t) و (L,r). نلاحظ كذلك حدوث عبور مزدوج بين V و L، ولم يحتسب خلال تحديد المسافة بين المورثتين، لذلك فإن $d(V-L) < d(V-N) + d(N-L)$. ادن يجب الأخذ بعين الاعتبار وقوع عبورين في نفس الوقت وبذلك فالمسافة $d(V-L)$ هي:

$$d(V-L) = \frac{16+55+59+20 + (2 \times (5+3))}{1000} \times 100 = 16.6 \text{ cMg}$$

5) الخريطة العاملة هي تمثيل لصبغي على شكل خط طولي، ترتب عليه المورثات حسب تموضعها النسبي فوق الصبغيات.



الخريطة العاملة

ب - التهجين عند ذبابة الخل.

a - تمرين أنظر الوثيقة 18.

الوثيقة 18: التهجين لدى ذبابة الخل.

تم تزاوج أول بين أنثى من ذباب الخل من سلالة نقية ذات جسم رمادي Gris و عيون ملساء Lisse وأجنحة كاملة Complètes مع ذكر من سلالة نقية ذو جسم أصفر Jaune و عيون حرشاء Rugueuses وأجنحة مبتورة Tronquées. فصلنا في الجيل F_1 على خلف متجانس ذو جسم رمادي، عيون ملساء، وأجنحة كاملة. تم تزاوج ثاني بين أنثى من الجيل الأول F_1 مع ذكر من سلالة نقية ذو جسم أصفر، عيون حرشاء، وأجنحة مبتورة. فصلنا في الجيل F_2 على 2880 ذبابة خل موزعة على 8 مظاهر خارجية:

- ◀ 1080 ذبابة خل ذات جسم رمادي، عيون ملساء، وأجنحة كاملة.
- ◀ 78 ذبابة خل ذات جسم أصفر، عيون ملساء، وأجنحة كاملة.
- ◀ 1071 ذبابة خل ذات جسم أصفر، عيون حر شاء، وأجنحة مبتورة.
- ◀ 66 ذبابة خل ذات جسم رمادي، عيون حرشاء، وأجنحة مبتورة.
- ◀ 293 ذبابة خل ذات جسم رمادي، عيون ملساء، وأجنحة مبتورة.
- ◀ 6 ذبابة خل ذات جسم رمادي، عيون حرشاء، وأجنحة كاملة.
- ◀ 282 ذبابة خل ذات جسم أصفر، عيون حرشاء، وأجنحة كاملة.
- ◀ 4 ذبابة خل ذات جسم أصفر، عيون ملساء، وأجنحة مبتورة.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذه التزاوجات؟

2) عن ماذا يعبر تركيب الجيل F_2 ؟

باستعمال الرموز التالية: جسم رمادي (G,g)، عيون ملساء (L,l)، أجنحة كاملة (C,c)، جسم أصفر (J,j)، عيون حرشاء (R,r)، أجنحة مبتورة (T,t). أعط تفسيرا صبغيا لنتائج التزاوج الأول والتزاوج الثاني.

3) أعط تفسيرا صبغيا لهذه التزاوجات.

4) أحسب المسافة بين المورثة j و r. و بين المورثة r و t. و بين المورثة j و t.

5) استنتج التموضع النسبي للمورثات الثلاث، ثم أنجز الخريطة العاملة بالنسبة لهذه المورثات.

b - حل التمرين:

1) تحليل واستنتاج:

- ★ لقد تم التزاوج بين سلالتين نقيتين تختلفان بثلاث صفات وراثية يتعلق الأمر إذن بللهجونة الثلاثية Trihybridisme.
- ★ كل أفراد الجيل F_1 متجانسون ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو جسم رمادي، عيون ملساء وأجنحة كاملة. وتطبيقا للقانون الأول لـ Mendel فإن الصفات جسم رمادي، عيون ملساء وأجنحة كاملة سائدة على الصفات جسم أصفر، عيون حرشاء، وأجنحة مبتورة.
- لقد تم التزاوج الثاني بين فرد من F_1 غير متشابه الاقتران، نمطه الوراثي معروف، مع فرد من النمط الأبوي ثلاثي التنحي نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Backcross، الغاية من هو التحقق من الانفصال المستقل للتحليلات.

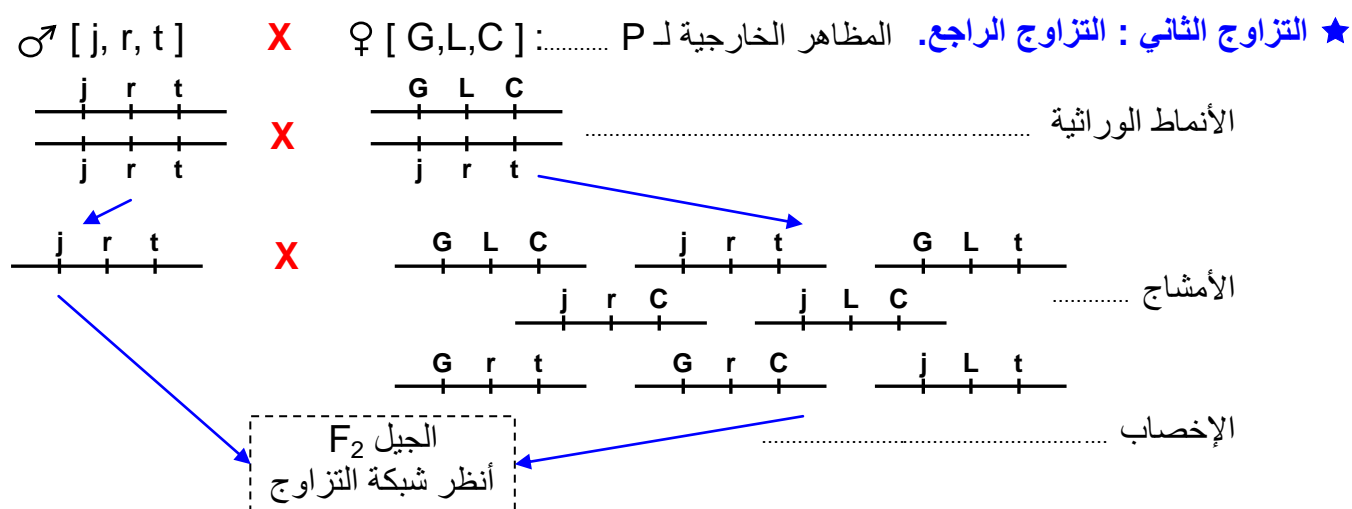
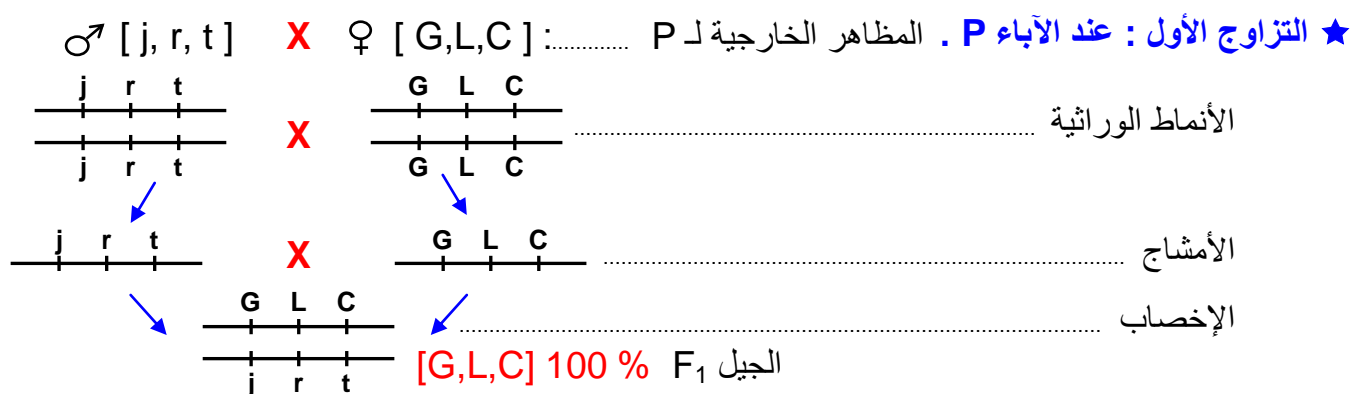
★ يعطي التزاوج الثاني جيل F₂ يتكون من 8 مظاهر خارجية بالنسب التالية:

أنماط أبوية 74.69 %	{	النسبة المئوية: $37.50 \% = (1080/2880) \times 100$ الأفراد [G,L,C]	•
		النسبة المئوية: $37.19 \% = (1071/2880) \times 100$ الأفراد [j, r, t]	•
أنماط جديدة التركيب 25.31 %	{	النسبة المئوية: $10.17 \% = (293/2880) \times 100$ الأفراد [G,L, t]	•
		النسبة المئوية: $9.79 \% = (282/2880) \times 100$ الأفراد [j, r, C]	•
		النسبة المئوية: $2.71 \% = (78/2880) \times 100$ الأفراد [j, L, C]	•
		النسبة المئوية: $2.29 \% = (66/2880) \times 100$ الأفراد [G, r, t]	•
		النسبة المئوية: $0.21 \% = (6/2880) \times 100$ الأفراد [G,r,C]	•
		النسبة المئوية: $0.14 \% = (4/2880) \times 100$ الأفراد [j, L, t]	•

نلاحظ أن الأنماط الجديدة التركيب تظهر بنسب ضعيفة مقارنة بالأنماط الأبوية، نستنتج من هذا أن المورثات مرتبطة.

(2) إن تركيب الجيل F₂ يعبر عن تركيب أنماط الأمشاج الأنتوية، لأن الذكر هو من سلالة نقية وثلاثي التنحي، فإنه لن ينتج سوى نمط واحد من الأمشاج. أنظر الوثيقة.

(3) التفسير الصبغي لنتائج التزاوج:



شبكة التزاوج

$\frac{j L t}{+++}$	$\frac{G r C}{+++}$	$\frac{G r t}{+++}$	$\frac{j L C}{+++}$	$\frac{j r C}{+++}$	$\frac{G L t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{G L C}{+++}$	♀
$\frac{j L t}{+++}$	$\frac{G r C}{+++}$	$\frac{G r t}{+++}$	$\frac{j L C}{+++}$	$\frac{j r C}{+++}$	$\frac{G L t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{G L C}{+++}$	♂
$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	$\frac{j r t}{+++}$	
[j,L,t]	[G,r,C]	[G,r,t]	[j,L,C]	[j,r,C]	[G,L,t]	[j,r,t]	[G,L,C]	المظاهر الخارجية

(4) حساب المسافة بين المورثة j و r: $d(j-r)$

$$d(j-r) = ((4+6+66+78)/2880) \times 100 = 5.35 \text{ cMg}$$

حساب المسافة بين المورثة r و t: $d(r-t)$

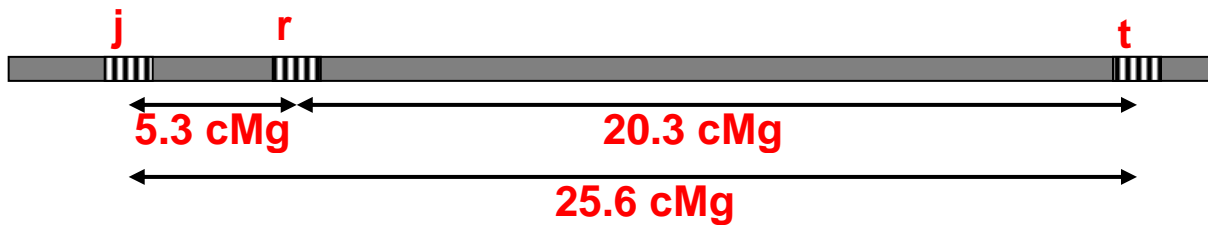
$$d(r-t) = ((4+6+282+293)/2880) \times 100 = 20.31 \text{ cMg}$$

حساب المسافة بين المورثة j و t: $d(t-j)$

$$d(t-j) = ((2 \times (4+6) + 66 + 78 + 282 + 293) / 2880) \times 100 = 25.66 \text{ cMg}$$

(5) يتبين من النتائج المحصل عليها في السؤال السابق أن: $d(j-t) \approx d(r-j) + d(r-t)$

نستنتج من هذا أن المورثة r تتواجد بين المورثة j والمورثة t، وبالتالي فللخريطة العاملة بالنسبة للمورثات الثلاث ستكون على الشكل التالي:



الخريطة العاملة

ملاحظات:

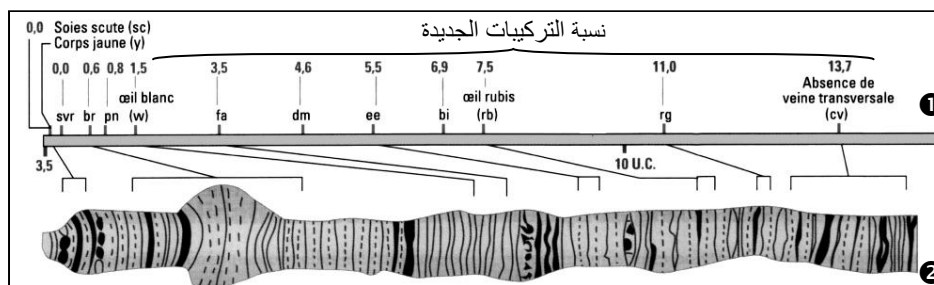
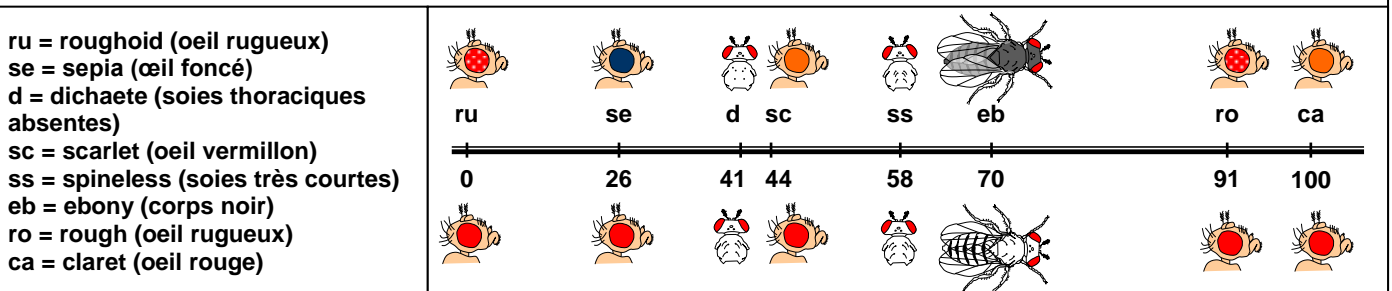
★ يمكن إجراء عدة تزاوجات ودراسة مورثات مختلفة، من تحديد تموضع نسبي لعدة مورثات عند مجموعة من الكائنات الحية، ويوضح الشكل أ من الوثيقة 19 جزءاً من الخريطة العاملة للصبغي 3 عند ذبابة الخل.

★ لقد مكنت الملاحظة المجهرية لصبغيات عملاقة في مستوى الغدد اللعابية ليرقات ذبابة الخل من الكشف عن وجود أسطرة متعاقبة تختلف حسب تلوينها، وسمكها، ولها ترتيب ثابت بالنسبة للصبغي معين. وقد تبين أن كل خلل في تعاقب هذه الأسطرة يؤدي إلى خلل في ظهور الصفات المتوحشة وظهور صفات جديدة.

انطلاقاً من هذه الملاحظات تمكن الباحثون من وضع خرائط صبغية (carte chromosomique, Cytologique ou physique)، توضح التوضع المضبوط وليس النسبي للمورثات على الصبغيات أنظر الشكل ب من الوثيقة 19.

الوثيقة 19: الخريطة العاملة والخريطة الصبغية.

الشكل أ: الخريطة العاملة للصبغي 3 عند ذبابة الخل (المسافة بالسنتيمتر – d'après E. Altenburg)



الشكل ب: الخريطة الصبغية للصبغي 3 عند ذبابة الخل.

- ① = خريطة عاملية.
② = خريطة صبغية.

الوثيقة 20: حصيلة القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية.

حالة خاصة	النسب الإحصائية				
	الجيل الثاني F ₂	الجيل الأول F ₁			
في حالة مورثة مرتبطة بالجنس، لا يعطي تزاوج ذكر من سلالة A بأنثى من سلالة B نفس نتيجة التزاوج العكسي، أي أنثى من سلالة A بذكر من سلالة B.	3/4 ، 1/4	100 % صفة الأب ذي الحليل السائد	سيادة تامة	الهجونة الأحادية (أبوان من سلالة نقية)	
	1/4 ، 1/4 ، 1/2	100 % صفة وسيطة	تساوي السيادة		
	1/16 ، 3/16 ، 3/16 ، 9/16	100 % صفة الأب ذي الحليل السائد	سيادة تامة بالنسبة للحليلين	مورثتان مستقلتان	الهجونة الثنائية (أبوان من سلالة نقية)
	1/16 ، 1/16 ، 2/16 ، 3/16 ، 6/16	جيل متجانس له الصفة السائدة بالنسبة للزوج الحليلي الأول، وصفة وسيطة بالنسبة للزوج الحليلي الثاني	سيادة تامة بالنسبة لزوج حليلي وتساوي السيادة بالنسبة للآخر		
	1/16 ، 1/16 ، 1/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 4/16	جيل متجانس له صفتين وسيطتين بالنسبة للزوجين الحليلين.	تساوي السيادة بالنسبة للزوجين الحليلين		
	3/4 ، 1/4	100 % صفة الأب ذي الحليلين السائدين.	أحد الأبوين سائد والآخر متنحي	مورثتان مرتبطتان	

الفصل الثالث: علم الوراثة البشرية

تمهيد:

يمكن علم الوراثة البشرية من دراسة آليات انتقال الصفات الوراثية من جيل لآخر عند الإنسان. وتهدف هذه الدراسة إلى محاولة فهم كيفية انتقال بعض العاهات الوراثية، من أجل التنبؤ بإمكانية ظهورها من جديد واتخاذ الإجراءات الضرورية. إذن الهدف وقائي بالدرجة الأولى. إلا أن هذه الدراسة تواجه عدة صعوبات رغم أنها تخضع لنفس قوانين انتقال الصفات عند باقي الحيوانات. ومن بين هذه الصعوبات نذكر:

- ✓ أن الإنسان لا يشكل مادة تجريبية يمكن إخضاعها لتزاوجات موجهة.
- ✓ يصعب تتبع انتقال صفة وراثية معينة عبر الأجيال وذلك لطول عمر الإنسان.
- ✓ لا يمكن تطبيق القوانين الإحصائية نظرا لقلّة أفراد كل جيل.
- ✓ العدد الكبير للصبغيات 46 يمكن أن يعطي 2^{23} نوعا ممكنا من الأمشاج لدى كل من الرجل والمرأة، وبالتالي 2^{46} نوعا ممكنا من البويضات الملقحة ($2^{23} \times 2^{23}$) وهذا يطرح صعوبات في البحث بحكم أن التوليفات الممكنة بين الصبغيات مرتفعة جدا.

تتمحور إذن أغلب الدراسات حول انتقال الأمراض الوراثية، والدراسات السريرية لحالات وراثية عند سلالة الأسر العريقة التي غالبا تكون معروفة لهذا تؤخذ كمثال لدراسة انتقال صفة وراثية داخل السلالة البشرية.

- كيف تنتقل الأمراض الوراثية عند الإنسان؟
- ما هي الشذوذات الصبغية التي يتعرض لها الإنسان، وكيف يتم تشخيصها؟

I - وسائل دراسة الوراثة عند الإنسان.

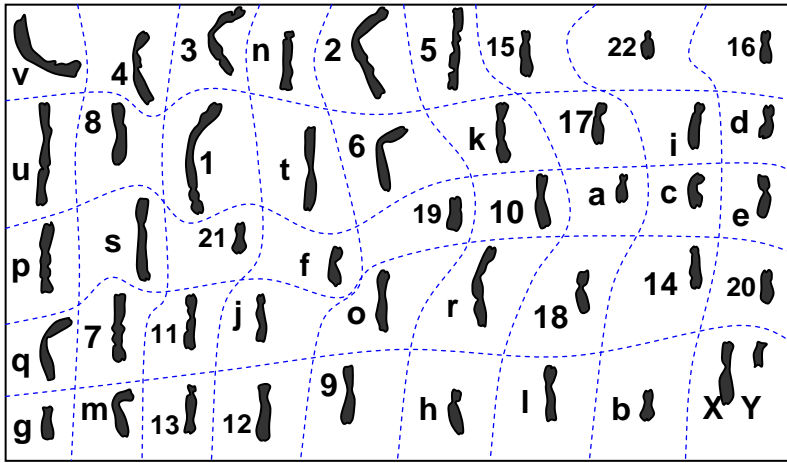
نظرا لصعوبة دراسة الوراثة عند الإنسان، فأهم الوسائل التي اعتمدت لهذا الغرض هي تتبع بعض الأمراض الوراثية من خلال شجرات النسب ورصد المورثات واعتماد الخرائط الصبغية.

① شجرات النسب Les arbres généalogiques أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: شجرات النسب Les arbres généalogiques		
<p>يمكن تتبع نقل بعض الصفات والأمراض عبر أجيال سلالة عائلة وكذلك احتمال انتقال هذه الصفات للأجيال الموالية وذلك بإنجاز ما يسمى شجرة النسب، وهي رسم بياني يبين جميع الأحداث العائلية من زواج وإنجاب وظهور أو عدم ظهور الصفة الوراثية المدروسة عند السلف والخلف (الأباء والأبناء). حيث نرسم للإناث بدائرة والذكور بمربع ونلون هذه الرموز بالأسود إذا كان الفرد يحمل الصفة المدروسة، ونتركه فارغا إذا كان الفرد لا يحمل هذه الصفة، ونضع نقطة صغيرة سوداء إذا كان الفرد ناقلا للمرض دون أن يظهر عليه، كما نضع أفراد الجيل الواحد على نفس الخط من الأكبر على اليسار إلى الأصغر على اليمين بالنسبة لكل زواج.</p>		
<p>رجل □ امرأة ○</p> <p>أفراد مصابون بالمرض بالمدرس ●</p> <p>زواج صلب □—○</p>	<p>أرقام الأجيال = I, II, III</p> <p>أرقام الأفراد = 1, 2, 3</p> <p>أفراد ناقلة للمرض ○● □●</p> <p>توأم حقيقي (مربعين أو دائرتين) توأم غير حقيقي (مربعين أو دائرتين)</p> <p>زواج □—○ حميل ◇</p>	<p>شجرة نسب عائلة</p>

تتميز شجرات النسب من طرف أطباء اختصاصيين، بعد استرداد كل الأحداث العائلية العامة لعدة أجيال، مع رصد الصفة الملاحظة عند السلف وعند الخلف.

② الخرائط الصبغية Les cartes chromosomiques أنظر الوثيقة 2.

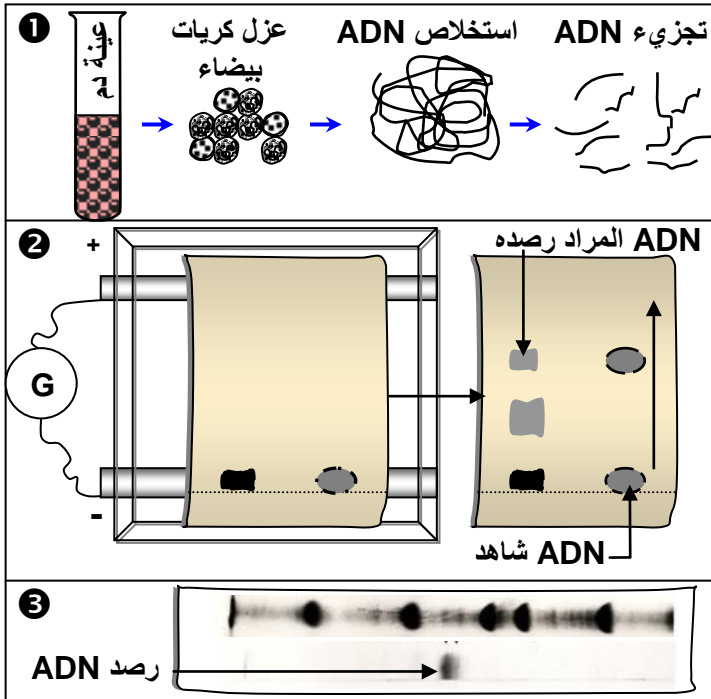


الوثيقة 2: الخرائط الصبغية:

تعتمد تقنية انجاز الخريطة الصبغية على تصوير صبغيات إحدى خلايا الشخص الخاضع للفحص وترتيبها حسب القد والشكل وموقع الجزيء المركزي... ويمكن تحليل الخريطة الصبغية من الكشف عن حالات الشذوذ الصبغي، ومن تشخيص التشوهات المرتبطة بتغيير عدد أو شكل الصبغيات. قطع صبغيات الخريطة الصبغية أمامه، ثم رتبها على شكل أزواج.

الخريطة الصبغية هي عبارة عن وثيقة تبين مجموع الصبغيات التي توجد في خلية كائن معين، مرتبة على شكل أزواج حسب جملة من المعايير كالقد وموقع الجزيء المركزي... يمكن تحليل الخرائط الصبغية من الكشف عن حالات الشذوذ الصبغي ومن تشخيص التشوهات المرتبطة بتغيير في عدد أو بنية الصبغيات.

③ تحليل الـ ADN أنظر الوثيقة 3.



الوثيقة 3: تحليل الـ ADN:

① نزل ADN من خلايا الشخص المختبر ونعالجها بأنزيمات فصل نوعية، ونضع خليط القطع المحصلة في حفر أنجزت في غراء يسمى Agarose. ② نخضع الغراء لمجال كهربائي: بما أن قطع ADN ذات شحنة سالبة فإنها تهجر نحو القطب الموجب بسرعة تتناسب وقدها، فننتشر منفصلة بعضها عن بعض، لنحصل على قطع يمكن تحديد قدها بمقارنتها بمواقع قطع أخرى معروفة القد (قطع عيار). ③ نرصد متتالية معينة تنتمي للمورثة ب: • معالجة قطع ADN لفصل لولبيها. • إضافة قطع ADN مشعة ومتكاملة مع متتالية ADN التي نبحث عنها، حيث تشكل معها ADN هجين يسهل رصده بالتصوير الإشعاعي الذاتي.

- تعتبر تقنية رصد المورثات، من التقنيات الحديثة المعتمدة في دراسة الوراثة عند الإنسان، وتتم حسب المراحل التالية:
- ✓ بعد أخذ خلايا من الشخص المراد دراسته، يتم عزل الـ ADN، وتقطيعه بواسطة أنزيمات الفصل، يتم إخضاع قطع ADN للهجرة الكهربائية، بجوار ADN شخص سليم (ADN شاهد).
 - ✓ تتم معالجة الـ ADN على مستوى الغراء، حتى يفصل اللولبان المشكلان له.
 - ✓ تُضاف إلى الغراء مجسات مشعة، وهي عبارة عن قطع ADN مشعة، ومتكاملة مع متتالية الـ ADN المراد دراستها.
 - ✓ بعد انجاز التصوير الإشعاعي، يتم تحديد تموضع المورثات على الأشرطة الظاهرة في الغراء (الأشرطة المشعة)، ومقارنة هذا التموضع عند الشخصين المدروس والشخص السليم (الشاهد).
- يمكن التحليل الدقيق لـ ADN من الكشف عن وجود أو غياب بعض المورثات.

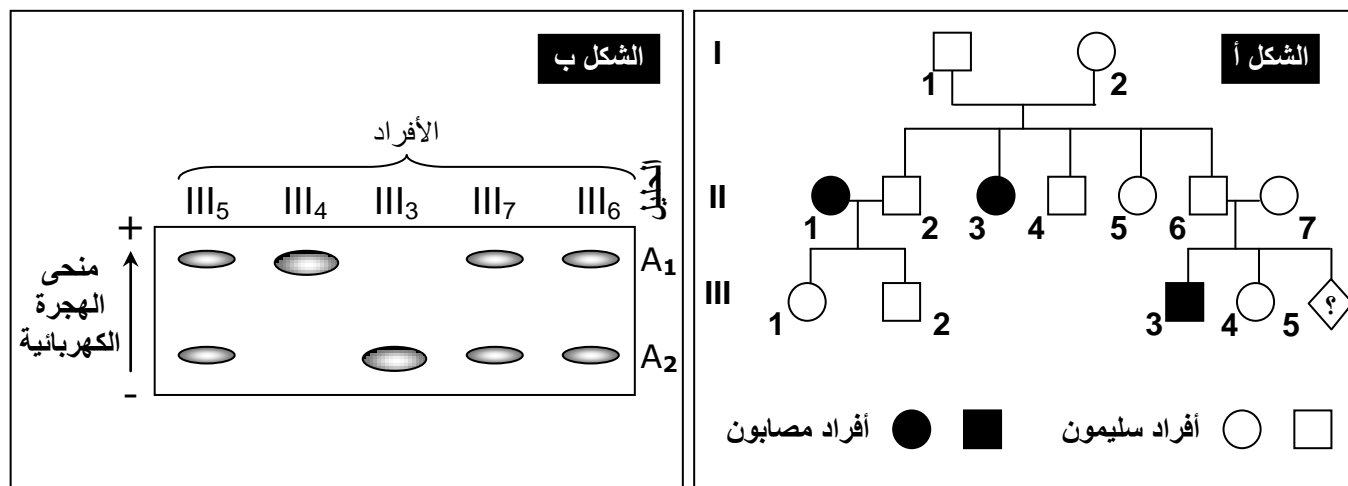
II - دراسة انتقال أمراض وراثية غير مرتبطة بالجنس.

① انتقال مرض Mucoviscidose

أ - تمرين: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: مرض Mucoviscidose.

مرض التليف الكيسي Mucoviscidose مرض وراثي يتميز باضطرابات هضمية وتنفسية، تسببها إفرازات لزجة للغدد المخاطية، الشيء الذي يؤدي إلى انسداد في القنوات الناقلة للعصارة البنكرياسية، وبالتالي اضطرابات في الوظيفة الهضمية للبنكرياس. كما يؤدي إلى انسداد الشعبات الرئوية، فيسبب ذلك عسر تنفسي والإصابة بالتعفنات. يعطي الشكل أ من الوثيقة، شجرة نسب عائلة بعض أفرادها مصابون بهذا المرض. (أرمز للتحليل العادي Normal بـ N أو n، وللحليل الممرض Mucoviscidose بـ M أو m)



- حل هذه الشجرة ثم استنتج نوع السيادة بين التحليل العادي والتحليل المسؤول عن المرض.
- حدد هل التحليل المسؤول عن المرض محمول على صبغي جنسي أم صبغي لاجنسي؟ علل إجابتك.
- انطلاقاً من التأويل الصبغي فسر كيف ينتقل هذا المرض من جيل لآخر.
- حدد معللاً إجابتك، النمط الوراثي للأفراد: III3 و III6 و III7 و III4، ثم حدد احتمال إصابة الحميل III5.

سبب إنجاب مولود مصاب بمرض التليف الكيسي (الابن III3)، تخوفاً لأبويه من احتمال إصابة مولودهم المنتظر (III5) بنفس المرض، مما جعلهم يقومون بتحليل الـ ADN عند مجموعة من أفراد هذه العائلة وعند مولودهم المنتظر، وذلك باعتماد تقنية رصد المورثات Southern Blot. يمثّل الشكل ب من الوثيقة نتائج هذا التحليل.

(5) هل تعتبر نتائج تحليل الـ ADN، مُطمئنة للأبوين؟ علل إجابتك.

ب - حل التمرين:

(1) لتحديد ما إذا كان التحليل المسؤول عن المرض، سائد أم متنحي نحلل نتائج بعض التزاوجات في شجرة النسب: تبين شجرة النسب في هذه الحالة أن البنت III3 مصابة بالمرض، بينما أبواها I1 و I2 سليمين. إذن الشخص III3 ورث من أبويه التحليل الممرض، لكن هذا التحليل لم يكن يظهر عندهما، نستنتج من هذا أن المرض المعني متنحي.

(2) لتحديد ما إذا كان تحليل المرض محمولاً على صبغي جنسي أم على صبغي لاجنسي، نعطي الافتراضات التالية ونتحقق منها في شجرة النسب (نرمز للتحليل العادي Normal بـ N لأنه سائد، والتحليل الممرض Mucoviscidose بـ m، لأنه متنحي):

⇐ نفترض أن التحليل الممرض محمول على الصبغي الجنسي Y: لدينا في شجرة النسب إناث مصابات رغم أنهن لا يتوفرن على الصبغي Y، إذن فالافتراض خاطئ، والتحليل غير محمول على الصبغي الجنسي Y.

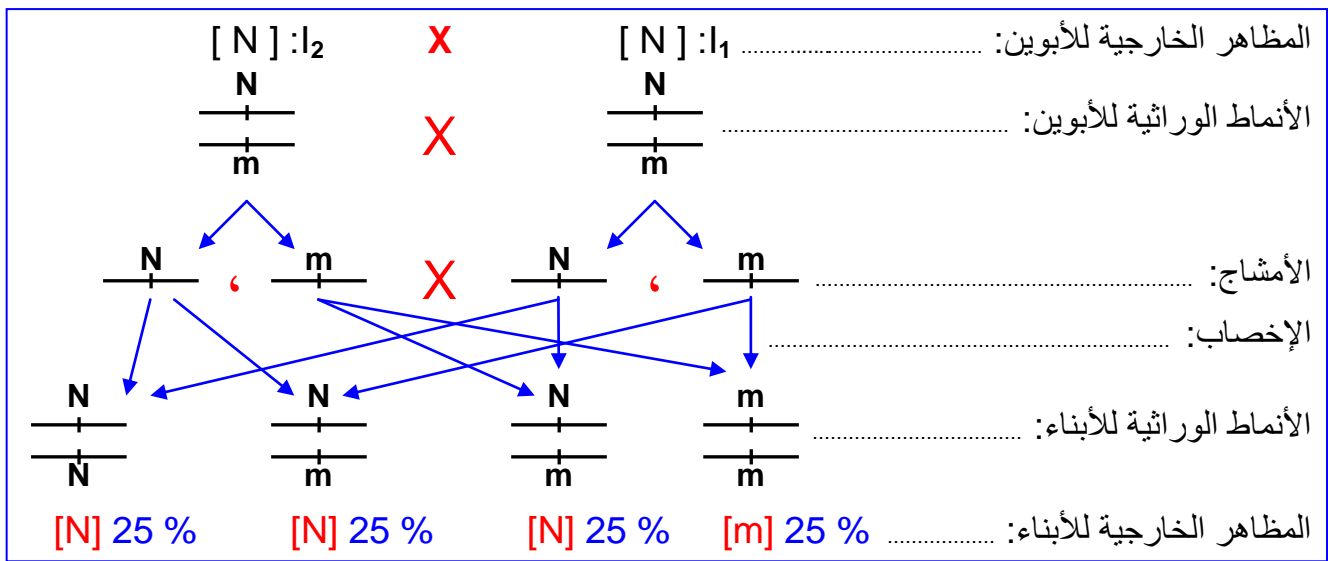
⇐ نفترض أن التحليل محمول على الصبغي الجنسي X:

✓ **طريقة أولى:** لدينا المرأة II_3 مصابة، وبما أن تحليل المرض متنحي فإنها ستكون متشابهة الاقتران ونمطها الوراثي $X_m//X_m$ ، أي أنها ورثت أحد الحليلين المتنحيين من والدها I_1 ، الذي يُفترض أن يكون نمطه الوراثي $Y//X_m$ ، أي أنه مصاب كذلك. هذا الأمر غير صحيح لكون الأب سليم، إذن فالافتراض خاطئ، والتحليل غير محمول على الصبغي الجنسي X .

✓ **طريقة ثانية:** لدينا الأم II_1 مصابة، فلو كان التحليل محمولا على الصبغي X ، لكان نمطها الوراثي $X_m//X_m$ ، ويفترض أن يكون كل أبنائها الذكور مصابون، لأنها ستعطيهم الحليل X_m الممرض المتنحي والذي سيلتقي مع الصبغي Y للأب ليصبح نمطهم الوراثي $X_m//Y$ المسبب للمرض، لكن من خلال شجرة النسب، يتضح أن أحد أبنائها الذكور (III_2) سليم، مما ينفي هذه الفرضية.

بما أن التحليل غير محمول على الصبغي الجنسي Y ، ولا على الصبغي الجنسي X ، فلن يكون إلا محمولا على صبغي لاجنسي.

(3) نلاحظ أن الأبوين I_1 و I_2 أنجبا البنات II_3 ، لا يمكن ادن تفسير هذه الحالة إلا بكون الأبوين مختلفي الاقتران $N//m$. وهكذا فكل أب يعطي نمطين من الأمشاج: $N/$ و $m/$ ، وبالتالي فالأنماط الوراثية للأبناء ستكون كما يلي:



إذن انطلاقا من التفسير الصبغي فالأنماط الوراثية للأبناء هي:

$N//N$ بنسبة 25% + $m//m$ بنسبة 25% + $N//m$ بنسبة 50% .

والمظاهر الخارجية للأبناء هي:

$[N]$ (سليمين) بنسبة 75% + $[m]$ (مصابين) بنسبة 25% .

(4) نحدد النمط الوراثي للأفراد:

الفردان III_3 و III_3 مصابان، وبما أن تحليل المرض متنحي، سيكونان متشابهي الاقتران أي أن نمطهما الوراثي هو $m//m$ ، الفردان II_6 و II_7 سليمين، لكنهما أنجبا ابنا مصابا (III_3)، هذا الابن يتوفر على الحليلين المتنحيين اللذان ورثهما من أبويه، هذين الأخيرين، سيكونان إجباريا مختلفي الاقتران و نمطهما الوراثي $N//m$. الفرد III_4 سليم، إذن فيمكن أن يكون نمطه الوراثي $N//N$ أو $N//m$.

(5) لتحديد احتمال إصابة الحميل III_5 بالمرض، ننجز شبكة التزاوج الخاصة بأبويه II_6 و II_7 ، وبما أن هؤلاء الآباء مختلفي الاقتران، فشبكة التزاوج هي نفسها المنجزة في السؤال 3. وبالتالي فاحتمال إصابة الحميل III_5 بمرض التليف الكيسي هو $1/4$ أي 25% .

(6) بينت تقنية Southern Blot أن الحميل III_5 هو مختلف الاقتران، إذ يتوفر على حليلين مختلفين A_1 و A_2 ، (أي N و m)، وبما أن تحليل المرض متنحي فهذا الطفل سيكون سليما ونمطه الوراثي $N//m$. إذن فنتائج تحليل الـ ADN تعتبر مطمئنة للأبوين.

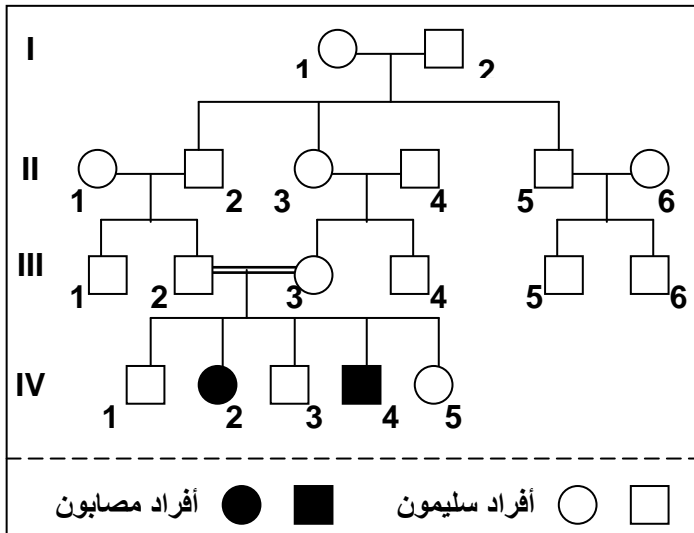
ج - حصيلة:

- عندما نجد في شجرة نسب معينة، أحد أفرادها مصاب، و أبواه معا سليمين، نقول أن الحليل المسؤول عن المرض متنحي.
- إذا وجدنا في شجرة النسب إناث مصابات، لا يمكن أن يكون الحليل محمولا على الصبغي الجنسي Y، لعدم توفر الإناث على هذا الصبغي.
- إذا كان حليل المرض متنحي، ووجدت في شجرة النسب أنثى مصابة وأبوها سليم، لا يمكن أن يكون الحليل محمولا على الصبغي الجنسي X، لأنه في هذه الحالة، يفترض أن يكون أبوها كذلك مصاب.
- إذا كان حليل المرض متنحي، ووجدت في شجرة النسب أنثى مصابة وأحد أبنائها سليم، لا يمكن أن يكون الحليل محمولا على الصبغي الجنسي X، لأنه في هذه الحالة، يفترض أن يكون جميع أبنائها الذكور مصابون.

② انتقال مرض Thalassémie

أ - تمرين : أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: مرض فقر الدم المتوسطي الثلاسيميا (Thalassémie).

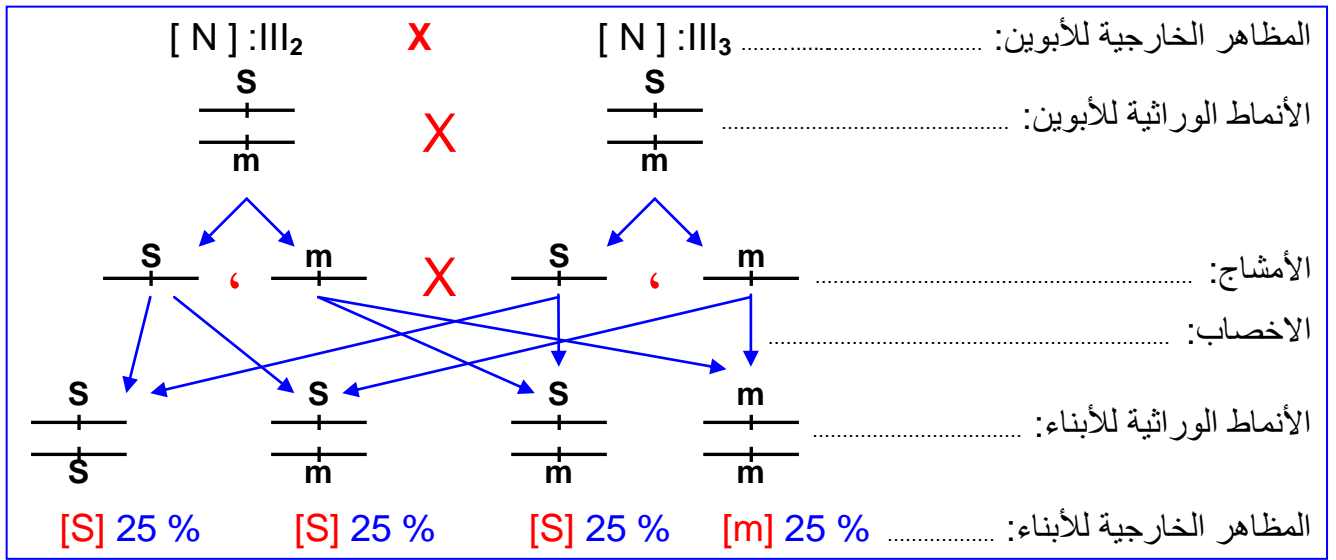


فقر الدم المتوسطي الثلاسيميا مرض وراثي منتشر على الخصوص في بعض الدول المطلة على البحر الأبيض المتوسط. يتميز هذا المرض بفقر دم حاد ناتج عن تدمير تدريجي للكريات الحمراء الدموية، ويرجع سببه إلى خلل في تركيب جزيئات الخضاب الدموي الذي يلعب دورا أساسيا في نقل الغازات التنفسية. يولد المصاب بالثلاسيميا نتيجة الزواج بين ناقلين للمرض (عندما يكون الزوج والزوجة كلاهما حاملين للمرض). الشخص الناقل للمرض لا تظهر عليه أي أعراض ظاهرة، ولكن يمكن تشخيصه بالتحاليل الطبية. تعطي الوثيقة أمامه شجرة نسب عائلة تظهر المرض.

- (1) حلل هذه الشجرة ثم استنتج نوع السيادة بين الحليل العادي والحليل المسؤول عن المرض.
- (2) استخرج العامل الذي ساعد على ظهور المرض في الجيل الرابع، وأعط تفسيراً صغياً لذلك. (نستعمل الرموز التالية: S أو s بالنسبة للحليل العادي، M أو m للمرض).

ب - حل التمرين :

- (1) نلاحظ أن الحليل المسؤول عن المرض المدروس غائب ظاهرياً عند السلف وموجود عند الخلف (IV₂ و IV₄)، نستنتج من هذا أن الحليل المسؤول عن المرض متنحي. الحليل المسؤول عن المرض غير مرتبط بالصبغي الجنسي Y لأن هناك إناث مصابات بالمرض، بالإضافة إلى وجود ذكور سليمين. وغير مرتبط بالصبغي الجنسي X لأن البنت IV₂ مصابة وأبها سليم. إذن الحليل محمول على صبغي لاجنسي.
- (2) إن العامل الذي ساعد على ظهور المرض في الجيل الرابع هو زواج الأقارب. نلاحظ أن الأبوين III₂ و III₃ سليمين أنجبا أبناء مصابين بالمرض IV₂ و IV₄، وبما أن الحليل المسؤول عن المرض متنحي فلا يمكن تفسير هذه الحالة إلا بكون الأبوين مختلفي الاقتران S//m. وهكذا فكل أب يعطي نمطين من الأمشاج: S/ و m/، وبالتالي فالأنماط الوراثية للأبناء ستكون S//S أو S//m بالنسبة للأفراد السليمين، و m//m بالنسبة للأفراد المصابين.



إذن انطلاقاً من التفسير الصبغي فالأنماط الوراثية للأبناء هي:

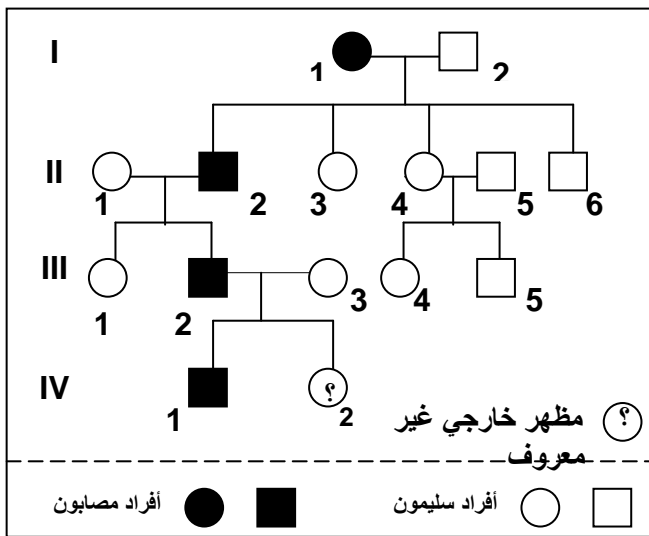
S//S بنسبة 25 % m//m بنسبة 25 % S//m بنسبة 50 %
والمظاهر الخارجية للأبناء هي:

[S] (سليمين) بنسبة 75 % + [m] (مصابين) بنسبة 25 %.

③ انتقال مرض Huntington

أ - تمرين : أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: مرض هنتنغتون Huntington.



مرض هنتنغتون Huntington هو مرض عقلي وراثي يؤثر في وظيفة الدماغ، يظهر عموماً ما بين 30 و 45 سنة. تتجلى أهم أعراض هذا المرض في اضطرابات حركية ونفسية، حيث يصاب مريض داء هنتنغتون بالخرف وفقد الذاكرة. وصف المرض لأول مرة سنة 1872 على يد الطبيب الأمريكي George Huntington، ومن هنا اكتسب المرض هذا الاسم.

يرتبط ظهور هذا المرض بمورثة سائدة محمولة على صبغي لا جنسي. وتبين الوثيقة أمامه شجرة نسب عائلة بعض أفرادها مصابون بهذا المرض.

(1) بين أن مرض Huntington مرتبط بحليل سائد.

(2) بين أن هذا المرض محمول على صبغي لا جنسي.

(نرمز للحليل العادي Normal بـ N أو n والحليل الممرض Huntington بـ H أو h).

(3) أعط النمط الوراثي للأفراد السليمين والأفراد المصابين I₁ و II₂ و III₂، ثم حدد بعد ذلك احتمال إصابة الحميل VI₂ بهذا المرض.

ب - حل التمرين :

(1) لتحديد ما إذا كان الحليل المسؤول عن المرض سائد أم متنحي، نحلل نتائج بعض التزاوجات في شجرة النسب:

نلاحظ من خلال شجرة النسب، أن المرض يظهر في جميع الأجيال، كما أن الآباء السليمين (II₄ و II₅)، ليس لديهم أبناء مصابون. نستنتج من هذه المعطيات أن الحليل الممرض سائد.

(2) لتحديد ما إذا كان حليل المرض محمولاً على صبغي جنسي أو على صبغي لا جنسي، نعطي الافتراضات التالية ونتحقق منها في شجرة النسب (نرمز للحليل العادي بـ n، لأنه متنحي، والحليل الممرض بـ H، لأنه سائد)

⇨ نفترض أن الحليل المُمرض محمول على الصبغي الجنسي Y:

لدينا في شجرة النسب إناث مصابات رغم أنهم لا يتوفرن على الصبغي Y، إذن فالافتراض خاطئ، والحليل غير محمول على الصبغي الجنسي Y.

⇨ نفترض أن الحليل محمول على الصبغي الجنسي X:

✓ **طريقة أولى:** لدينا الذكر IV_1 مصاب، وبما أن حليل المرض سائد، فإن نمطه الوراثي سيكون X_H/Y ، أي أنه ورث الحليل X_H من أمه III_3 ، التي يُفترض أنها تتوفر على الحليل الممرض X_H ، أي أنها مصابة كذلك. هذا الأمر غير صحيح لكون هذه الأم سليمة، إذن فالافتراض خاطئ، وبالتالي الحليل غير محمول على الصبغي الجنسي X.

✓ **طريقة ثانية:** لدينا الأب II_2 مصاب، فلو كان الحليل محمولا على الصبغي X، لكان نمطه الوراثي X_H/Y ، ويفترض أن تكون كل بناته مصابات (لأنه سيعطيهن الحليل X_H الممرض والسائد)، لكن من خلال شجرة النسب، يتضح أن بنته (III_1) سليمة، مما ينفي هذه الفرضية.

بما أن الحليل غير محمول على الصبغي الجنسي Y، ولا على الصبغي الجنسي X، فهو إذن محمول على صبغي لاجنسي.

(3) نحدد النمط الوراثي للأفراد:

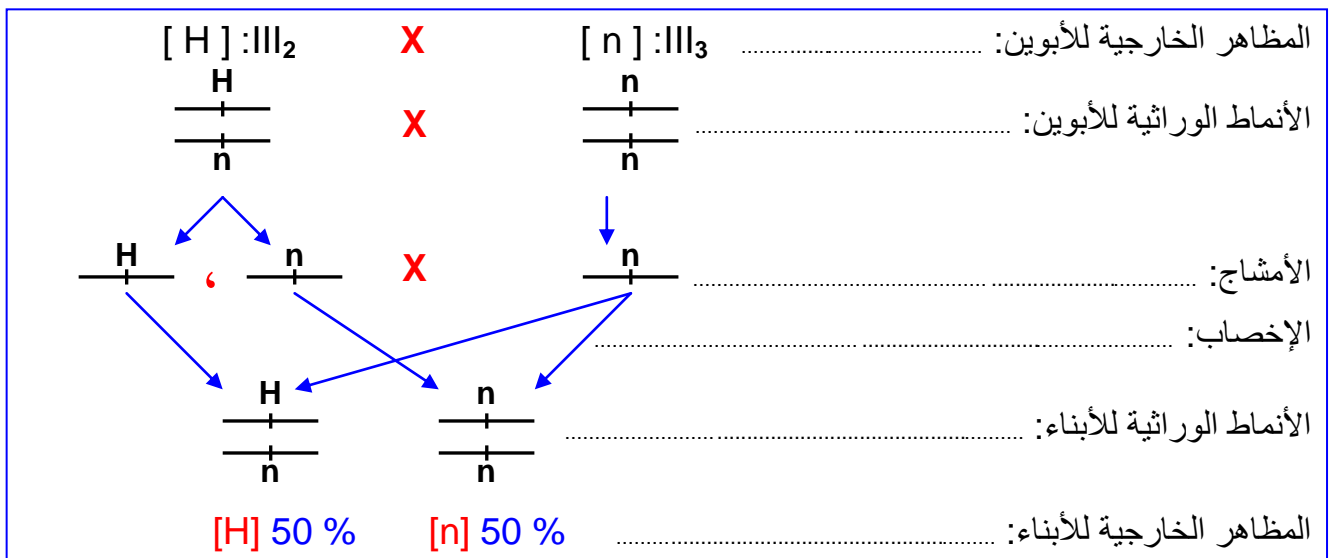
★ الأفراد السليمون: بما أنهم يحملون المظهر الخارجي المتنحي، سيكونون متشابهي الاقتران، أي أن نمطهم الوراثي هو n/n .

★ الأفراد المصابون I_1 و II_2 هؤلاء الأفراد مصابون بالمرض، لكنهم أنجبوا بعض الأبناء السليمين ذوي النمط الوراثي n/n ، هؤلاء الأبناء السليمين يتوفرون على الحليلين المتنحيين اللذان ورثوهما من آبائهم، وبالتالي فالأباء، سيكونان إجباريا مختلفي الاقتران ونمطهما الوراثي هو H/n .

★ الفرد III_2 مصاب بالمرض، إذن فهو يتوفر على الحليل الممرض السائد. من جهة أخرى، أبوه II_1 سليم ونمطه الوراثي هو n/n ، فلق يعطي لابنه إلا الحليل السليم المتنحي n ، فهو بذلك مختلف الاقتران، ونمطه الوراثي هو H/n .

★ احتمال إصابة الحميل IV_2 بالمرض: لتحديد احتمال إصابة هذا الحميل بالمرض، ننجز شبكة التزاوج الخاصة بأبويه III_2 و III_3 بعد تحديد نمطهما الوراثي:

الأنماط الوراثية للأبوين III_2 و III_3 : بما أن الأم III_3 سليمة فنمطها الوراثي لا يمكن أن يكون سوى n/n ، أما الأب III_2 المصاب فنمطه الوراثي هو H/n ، بما أنه منحدر من أم سليمة (n/n). وهكذا فالتزاوج سيكون على الشكل التالي:



انطلاقا من هذا التحليل يتبين أن احتمال ظهور المرض عند الابن IV_2 هو $1/2$ أي 50 %.

ج - حصيلة:

- إذا وجدنا في شجرة النسب، ابن سليم من أبوين مصابين، نكون متأكدين على أن حليل المرض سائد، والحليل السليم متنحي.
- إذا كان حليل المرض سائد، ووجد في شجرة النسب ذكر مصاب وأمه سليمة، لا يمكن أن يكون الحليل محمولا على الصبغي الجنسي X، لأنه في هذه الحالة، يفترض أن تكون الأم كذلك مصابة.
- إذا كان حليل المرض سائد، ووجد في شجرة النسب ذكر مصاب وإحدى بناته سليمة، لا يمكن أن يكون الحليل محمولا على الصبغي الجنسي X، لأنه في هذه الحالة، يفترض أن تكون جميع بناته مصابات.

III - دراسة انتقال أمراض وراثية مرتبطة بالجنس.

① انتقال مرض الدلتونية Le daltonisme

أ - تمرين : أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: دراسة انتقال شذوذ الدلتونية Le daltonisme

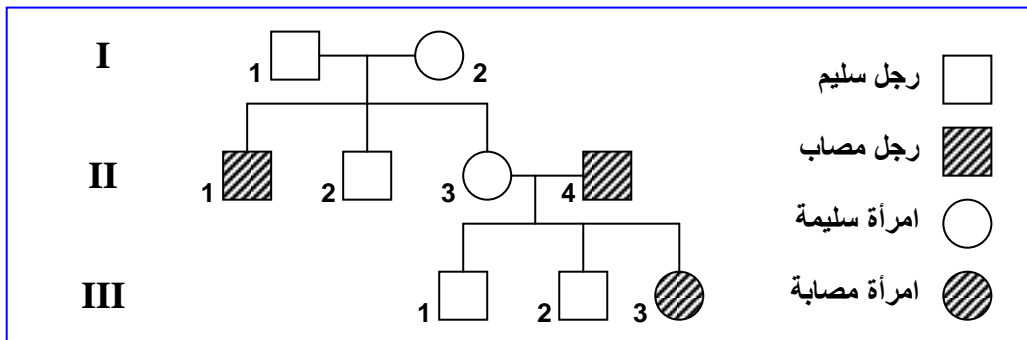
الدلتونية شذوذ ليس له خطر صحي، وإنما يمثل عيبا في إِبصار الألوان، إذ أن الشخص المصاب لا يميز بين الأحمر والأخضر. يصيب هذا الشذوذ % 8 من الذكور مقابل % 0.4 من الإناث. نفترض تتبع انتقال هذا المرض عند عائلة معينة.

تزوج رجل سليم من الدلتونية (I_1) بامرأة سليمة من هذا العيب (I_2)، فأنجبا ولدين وبنات: (ولد II_1 مصاب بالدلتونية، وولد II_2 سليم من الدلتونية، وبنات II_3 سليمة من الدلتونية).
تزوجت البنت II_3 برجل II_4 مصاب بالدلتونية، فأنجبا: ولدين سليمين من الدلتونية III_1 و III_2 ، وبنات مصابة بالدلتونية III_3 .

- (1) أنجز شجرة نسب هذه العائلة.
- (2) استخراج من معطيات هذه الشجرة دليلا على كون الحليل المسؤول عن المرض متنحيا.
- (3) علما أن الحليل المسؤول عن الدلتونية محمول على الصبغي الجنسي X، ومستعملا D للتعبير عن الحليل السائد، وd للتعبير عن الحليل المتنحي: أعط الأنماط الوراثية للأفراد I_1 ، I_2 ، II_1 ، II_3 ، III_3 .

ب - حل التمرين :

(1) انجاز شجرة النسب:



(2) نلاحظ أن الأبوين I_1 و I_2 سليمين وأنجبا ابنا مصابا بالمرض (II_1)، هذا يعني أن الأبوين يحملان الحليل المسؤول عن المرض دون أن يظهر عندهما، وبالتالي فالحليل المسؤول عن المرض هو حليل متنحي.

(3) الأنماط الوراثية للأفراد:

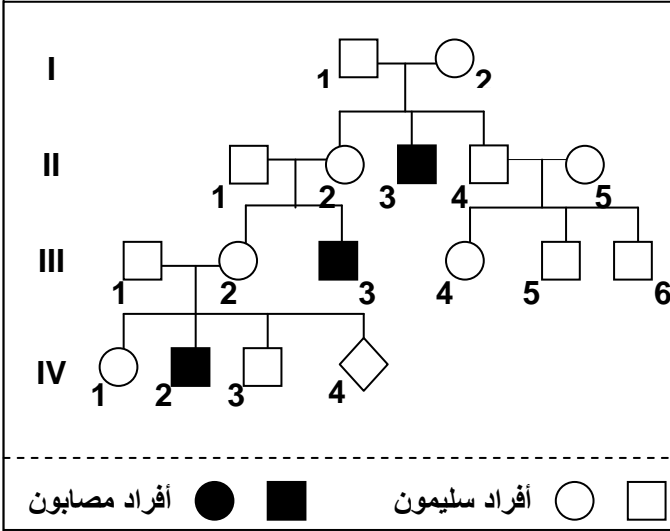
- I_1 : ذكر سليم فلن يكون سوى X_D/Y .
- I_2 : أنثى سليمة فنمطها الوراثي سيكون إما X_D/X_D أو X_D/X_d ، وبما أن هذه المرأة لها ابن مصاب ورث منها الحليل المسؤول عن المرض X_d ، فنمطها الوراثي لن يكون سوى X_D/X_d .
- II_1 : ذكر مصاب فنمطه الوراثي لن يكون سوى X_d/Y .

- II_3 : هي أنثى سليمة فمطها الوراثي سيكون إما $X_D//X_D$ أو $X_D//X_d$ ، لكنها أنجبت بنت مصابة (III_3) ورثت منها الحليل الممرض X_d ، وبالتالي فالمرأة II_3 ناقلة ونمطها الوراثي هو $X_D//X_d$.

② انتقال مرض الهزال العضلي لـ Duchenne

أ - تمرين : أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: انتقال مرض الهزال العضلي لـ Duchenne



الهزال العضلي لـ Duchenne مرض يصيب بعض الأطفال، حيث يلاحظ ضمور وانحلال تدريجي لعضلاتهم التي تصبح غير قادرة على تأمين الحركة والتنفس. تعطي الوثيقة أمامه شجرة نسب عائلة أصيب بعض أفرادها بمرض الهزال العضلي لـ Duchenne.

- (1) اعتمادا على تحليل شجرة النسب بين أن المرض مرتبط بالجنس ومحمول من طرف الصبغي الجنسي X.
- (2) هل الحليل المسؤول عن المرض سائد أم متنح.
- (3) أعط الأنماط الوراثية للأبوين I_1 و I_2 ولأبنائهما، مستعينا بالرموز التالية:
 - ✓ S أو s بالنسبة للحليل المسؤول عن الحالة العادية.
 - ✓ M أو m بالنسبة للحليل المسؤول عن المرض.
- (4) حدد احتمال إصابة الحميل IV_4 بالمرض.

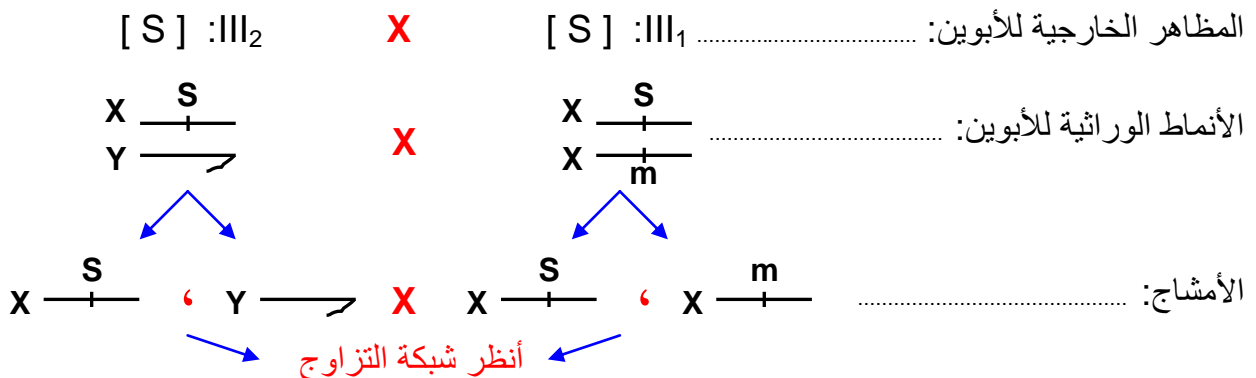
ب - حل التمرين :

- (1) يظهر من خلال شجرة النسب أن المرض يصيب الذكور دون الإناث، هذا يعني أن المورثة المسؤولة عن المرض مرتبطة بالجنس. يتضح من شجرة النسب أن الأب II_1 سليم، وأنجب ذكرا مصابا (III_3) مما يدل على أن المورثة المسؤولة عن المرض غير محمولة على الصبغي الجنسي Y، اذن هي محمولة على الصبغي الجنسي X. (الأب II_1 أعطى للأبن III_3 الصبغي Y وأخذ من الأم II_2 الصبغي X الممرض).

- (2) الأبوان II_1 و II_2 سليمان وأنجبا طفلا مصابا (III_3) مما يدل على أن الحليل المسؤول عن المرض متنحي.
- (3) الأنماط الوراثية:

- الأب I_1 : $X_S Y$ لأنه ذكر سليم.
- الأم I_2 : $X_S X_m$ لأنها أنثى سليمة وأنجبت ابن مصاب III_3 أعطته الحليل X_m .
- البنت II_2 : $X_S X_m$ لأنها أنثى سليمة وأنجبت ابن مصاب III_3 أعطته الحليل X_m .
- الابن II_3 : $X_m Y$ لأنه ذكر مصاب .
- الابن II_4 : $X_S Y$ لأنه ذكر سليم.

- (4) حساب احتمال إصابة الحميل IV_4 بالمرض:



شبكة التزاوج

انطلاقاً من شبكة التزاوج:

المظاهر الخارجية للأبناء:

[m] ♂ 25 % -

[S] ♂ 25 % -

[S] ♀ 50 % -

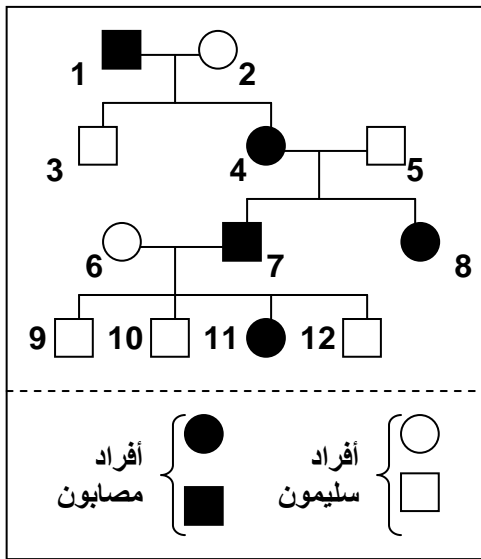
يتبين من هذا التحليل الصبغي أن احتمال إصابة الحميل IV_4 بالمرض هو $1/4$ أي 25 %.

50% Y →	50% X — S	♂ / ♀
25% X — S Y →	25% X — S X — S	X — S 50%
25% X — m Y →	25% X — S X — m	X — m 50%

③ انتقال مرض الكساح المقاوم للفيتامين Le Rachitisme Vitamino-résistant

أ - تمرين : أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: انتقال مرض الكساح المقاوم للفيتامين Le Rachitisme Vitamino-résistant



مرض الكساح المقاوم للفيتامين مرض وراثي يؤدي إلى تشوه عظام الأطراف السفلية، نتيجة تكلس رديء للعظام. وهذا المرض لا يمكن علاجه بواسطة الحقن العادية من فيتامين D فهو مرض مقاوم للفيتامين. وتبين الوثيقة أسفله شجرة نسب عائلة، بعض أفرادها مصابون بالكساح المقاوم للفيتامين .

(1) هل المورثة المسؤولة عن الكساح المقاوم للفيتامين مرتبطة بالصبغيات الجنسية أم بالصبغيات اللاجنسية؟ علل جوابك.
(2) انطلاقاً من تحليلك لشجرة النسب حدد التحليل السائد والتحليل المتنحي.

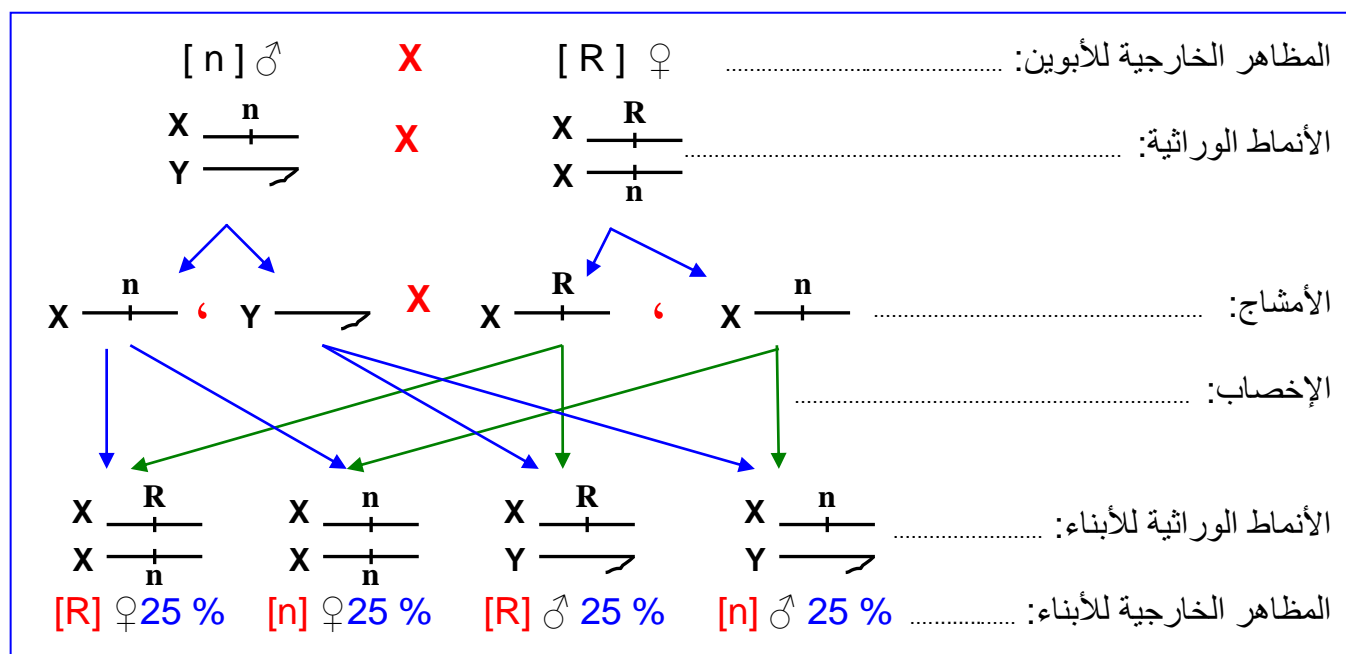
(3) حدد الأنماط الوراثية للأفراد 2، 4، 3، 6، 11، و9. (نرمز للتحليل المسؤول عن المرض بـ R أو r، وللعادي بـ N أو n).
(4) حدد الإناث الناقلات للمرض داخل هذه العائلة . علل جوابك.
(5) إذا علمت أن البنت 8 قد تزوجت برجل سليم، حدد الأنماط الوراثية الممكن الحصول عليها عند أبنائها.

ب - حل التمرين :

- انطلاقاً من شجرة النسب نلاحظ أن الآباء الذكور المصابون يكون أبنائهم الذكور سليمون بينما الإناث مصابات، وهذا يدل على أن المورثة المسؤولة عن هذا المرض محمولة على الصبغي الجنسي X، وهذا يعني أن المورثة مرتبطة بالصبغيات الجنسية.
- لقد ورثت البنت 8 من الأب 5 الصبغي X الحامل للتحليل العادي، ومن الأم 4 الصبغي X الحامل للتحليل الممرض، وكانت مصابة. هذا يعني أن التحليل المسؤول عن الكساح سائد.
- الأنماط الوراثية للأفراد:
 - الفرد 2: X_n/X_n لأنها أنثى سليمة وتحمل صفة متنحية، يجب ادن أن تكون متشابهة الاقتران.
 - الفرد 4: X_R/X_n لأنها ورثت من الأب التحليل X_R ومن الأم التحليل X_n .
 - الفرد 3: X_n/Y لأنه ذكر سليم.
 - الفرد 6: X_n/X_n لأنها أنثى سليمة يجب أن تكون ثنائية التنحي بالنسبة للتحليل العادي.
 - الفرد 11: X_R/X_n لأنها أنثى مصابة ورثت من الأب التحليل الممرض X_R ومن الأم التحليل X_n .
 - الفرد 9: X_n/Y لأنه ذكر سليم.

4) إن المقصود بالإناث الناقلات للمرض هو أنها إناث تحمل الحليل المسؤول عن ظهور المرض إلا أنها غير مصابة به (مظهر خارجي سليم).
 إن في هذه الحالة لا توجد إناث ناقلات للمرض لأن الحليل R المسؤول عن المرض حليل سائد، وبالتالي فكل أنثى مختلفة الاقتران $X_R X_n$ تكون مصابة.

5) الأنماط الوراثية الممكن الحصول عليها عند أبناء البنت 8 بعد زواجها من رجل سليم:



حصيلة عامة:

↔ عند انتقال أمراض غير مرتبطة بالجنس:

• في حالة مرض مرتبط بحليل متنح:

- الشخص المصاب يكون متشابه الاقتران بالنسبة للحليل المسؤول عن المرض.
- الشخص السليم يكون مختلف الاقتران أو متشابه الاقتران بالنسبة للحليل العادي.
- في حالة تزواج فردين مختلفي الاقتران فاحتمال إنجاب طفل مصاب هو 1/4 وإنجاب طفل سليم هو 3/4.

• في حالة مرض مرتبط بحليل سائد:

- الشخص المصاب يكون مختلف الاقتران أو متشابه الاقتران بالنسبة للحليل الممرض.
- الشخص السليم يكون متشابه الاقتران بالنسبة للحليل المتنحي.
- في حالة تزواج أبوين أحدهما مصاب، فاحتمال إنجاب طفل مصاب هو 50%.

↔ عند انتقال أمراض مرتبطة بالجنس:

• في حالة مرض مرتبط بحليل متنح:

- تكون الأمهات مختلفات الاقتران لهذا الحليل الممرض بواسطة أحد صبغياتها الجنسيين X.
- عندما يرث الأبناء الذكور من الأم الصبغية الجنسي X الحامل للحليل الممرض، يكون حتما مصابا بالمرض.
- لا تصاب الأنثى إلا في حالة الحصول على الصبغية الجنسي X الحامل للحليل الممرض من الأم والأب معا.

• في حالة مرض مرتبط بحليل سائد:

- ينتج عن قران أم مصابة مختلفة الاقتران بأب سليم، إنجاب ذكور وإناث مصابين بالمرض، بنسبة 50%.
- ينتج عن قران رجل مصاب بأب سليمة (متشابهة الاقتران)، إنجاب ذكور سليمون وإناث مصابة بالمرض.

IV - الشذوذات الصبغية عند الإنسان وعواقبها. Les anomalies chromosomiques

رغم أن عدد الصبغيات ثابت عند جميع أفراد النوع، حيث يتوفر الإنسان مثلاً على 46 صبغياً، إلا أنه في بعض الحالات، تحدث اختلالات خلال تشكل الأمشاج عند أحد الأبوين، مما يُغيّر عدد الصبغيات في البيضة الناتجة عن الإخصاب، الشيء الذي يعطي حالة من الشذوذ الصبغي، تتسبب في أمراض تؤثر في النمو الجسمي والعقلي للشخص المصاب. وترتبط هذه الشذوذات بتغير في عدد أو بنية الصبغيات.

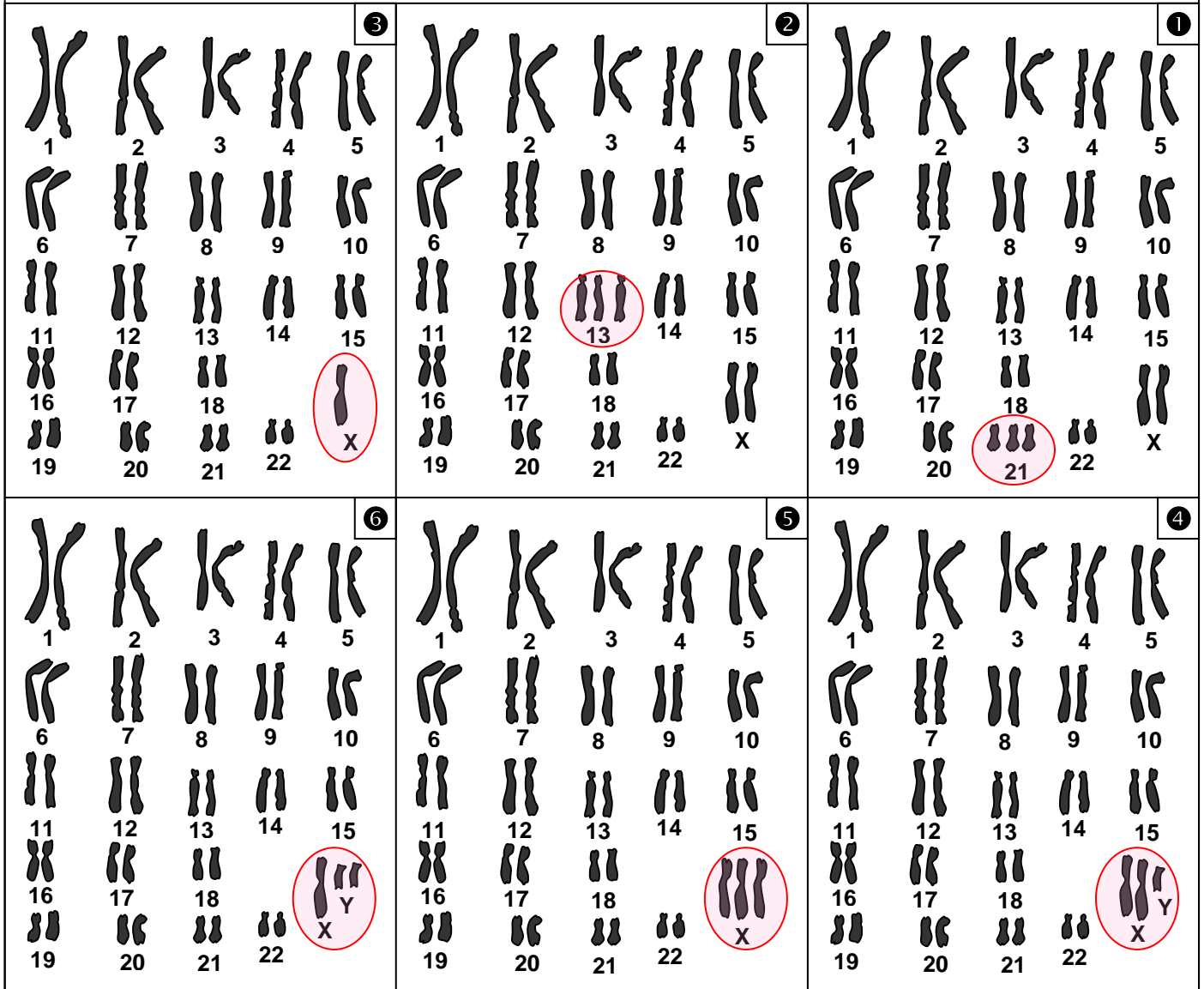
① الشذوذ المرتبط بتغير في عدد الصبغيات. أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: الشذوذات الصبغية المرتبطة بتغير في عدد الصبغيات

تعطي الوثائق ①، ②، ③، ④، ⑤، ⑥. خرائط صبغية لحالات مختلفة من الشذوذات الصبغية.

(1) بعد ملاحظتك لهذه الخرائط، تعرف على هذه الحالات وعلى خصائص كل منها.

(2) بواسطة رسوم تخطيطية أعط التأويل الصبغي لحالة الشذوذ الممثلة على هذه الخرائط الصبغية.



أ - تغير في عدد الصبغيات اللاجنسية:

• الخريطة الصبغية ①:

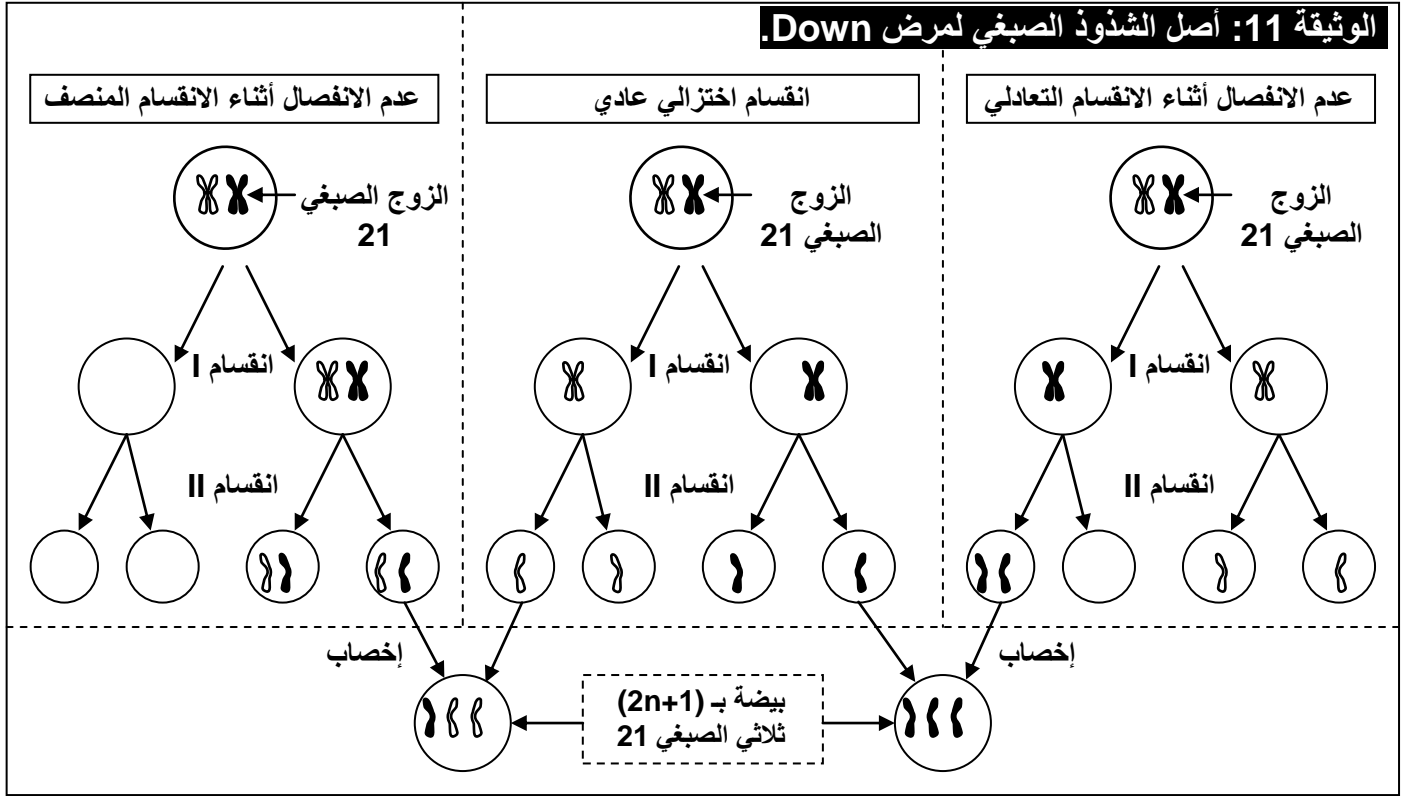
نلاحظ على هذه الخريطة أن كل الصبغيات عادية باستثناء الصبغي 21 فهو ممثل بثلاثة نماذج وبالتالي هناك زيادة صبغية واحد في هذه الخريطة الصبغية لذلك يسمى الشذوذ بثلاثي الصبغي 21 Trisomie 21، أو المنغولية Mongolisme أو متلازمة Down (Longdon Down) طبيب بريطاني أول من شخص الحالة (1866).

إذن هناك زيادة في العدد الإجمالي لصبغيات الشخص المصاب، وستكون صيغته الصبغية على الشكل التالي:

$$2n+1=45A+XY=47$$

يعاني المصابون بهذا المرض من شذوذ جسدي وعقلي (تأخر عقلي، تشوهات داخلية على مستوى القلب والأوعية الدموية والأمعاء، قامة قصيرة، يدين بأصابع قصيرة مع وجود طية وحيدة عرضية، وجه ذو تقاسيم مميزة).
تتمكن ممارسة الأنشطة التي تنبه الحواس منذ الطفولة، والتمارين على اللغة وعلى الحركات من تحسين ظروف عيش هؤلاء الأشخاص.

التفسير الصبغي لمرض Down: أنظر الوثيقة 11.



يفسر حدوث هذا الشذوذ بعدم انفصال صبغية الزوج الصبغي 21 أثناء مراحل الانقسام الاختزالي عند تشكل الأمشاج لدى أحد الأبوين، إذ يؤدي التقاء مشيج غير عادي (بصبغي 21 إضافي) بمشيج آخر عادي إلى تكون بيضة تحتوي على ثلاثة صبغيات 21، ينتج عنها فرد مصاب بالمرض.

• الخريطة الصبغية ②:

ثلاثي الصبغي 13، يعاني المصابون بهذا الشذوذ من تشوهات جسدية وعقلية، غياب الفاصل البيمنخري، شفة علوية مفتوحة، سداسي الأصابع.

ب - تغير في عدد الصبغيات الجنسية:

من بين الشذوذات الناتجة عن تغير في عدد الصبغيات الجنسية نجد:

• مرض Turner: (الخريطة الصبغية ③)

يرتبط هذا المرض بوجود صبغية جنسية X واحد و44 صبغيا لاجنسيا. اذن يصيب الإناث فقط، ومن أهم أعراضه قصر القامة، وضعف تطور الصفات الجنسية الثانوية، والعقم.

• مرض Klinefelter: (الخريطة الصبغية ④)

يرتبط هذا المرض بوجود صبغية X زائد عند الرجال المصابين، حيث يملكون 47 صبغيا، منها 44 صبغيا لاجنسيا، وثلاثة صبغيات جنسية XXY. ومن أهم أعراضه اجتماع الصفات الجنسية الثانوية الذكورية والأنثوية، صغر الخصيتين، والعقم.

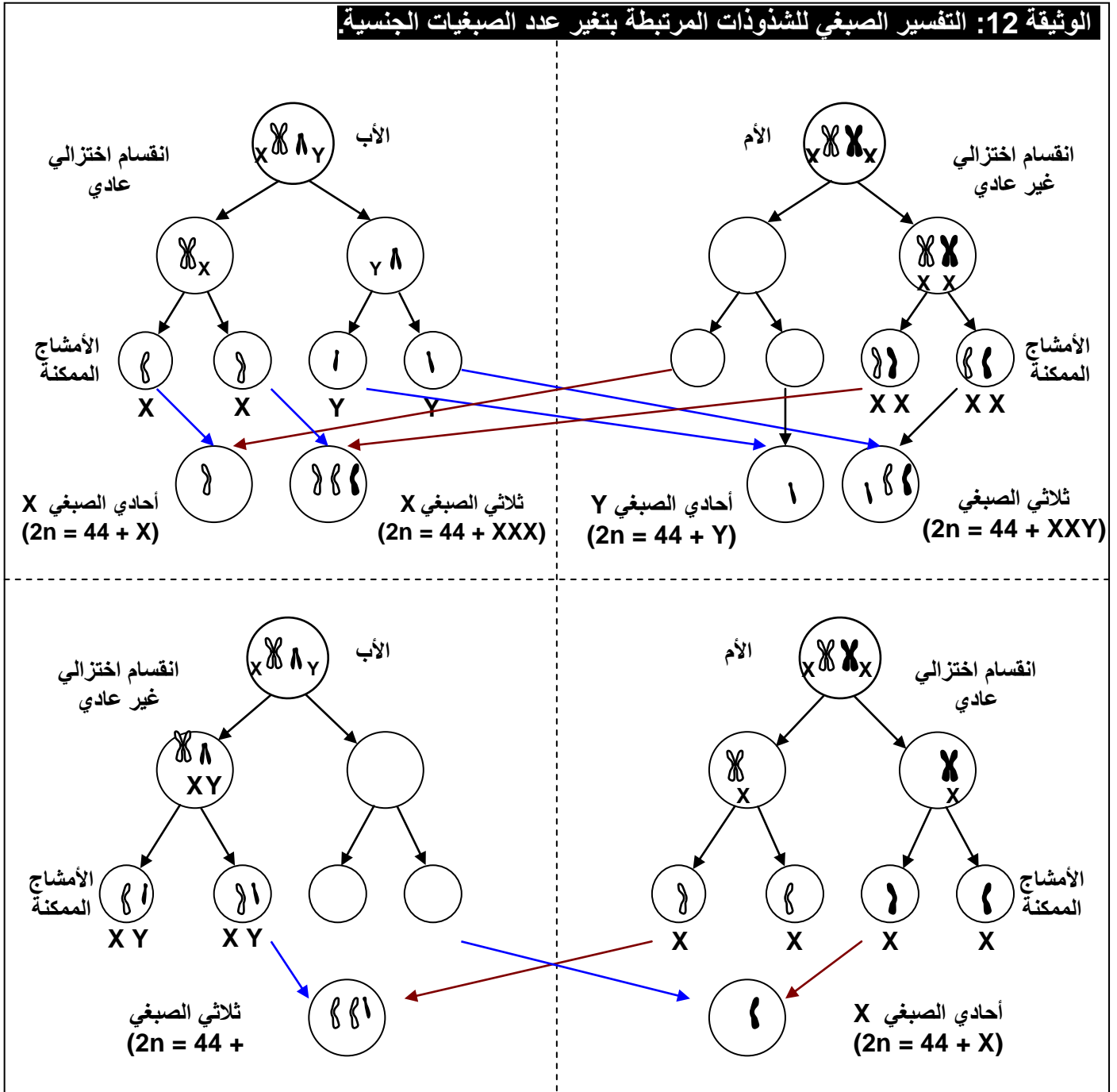
• مرض ثلاثي الصبغي X: (الخريطة الصبغية 5)

يرتبط هذا المرض بوجود صبغي X زائد عند النساء، حيث يملكون 47 صبغياً، منها 44 صبغياً لاجنسياً، وثلاثة صبغيات جنسية XXX. عادة يتميز الشخص المصاب بمظهر أنثوي عادي، قامة شيئاً ما طويلة، قدرات ذهنية متوسطة إلى عادية، خصوبة محدودة.

• مرض ثلاثي الصبغي XYY: (الخريطة الصبغية 6)

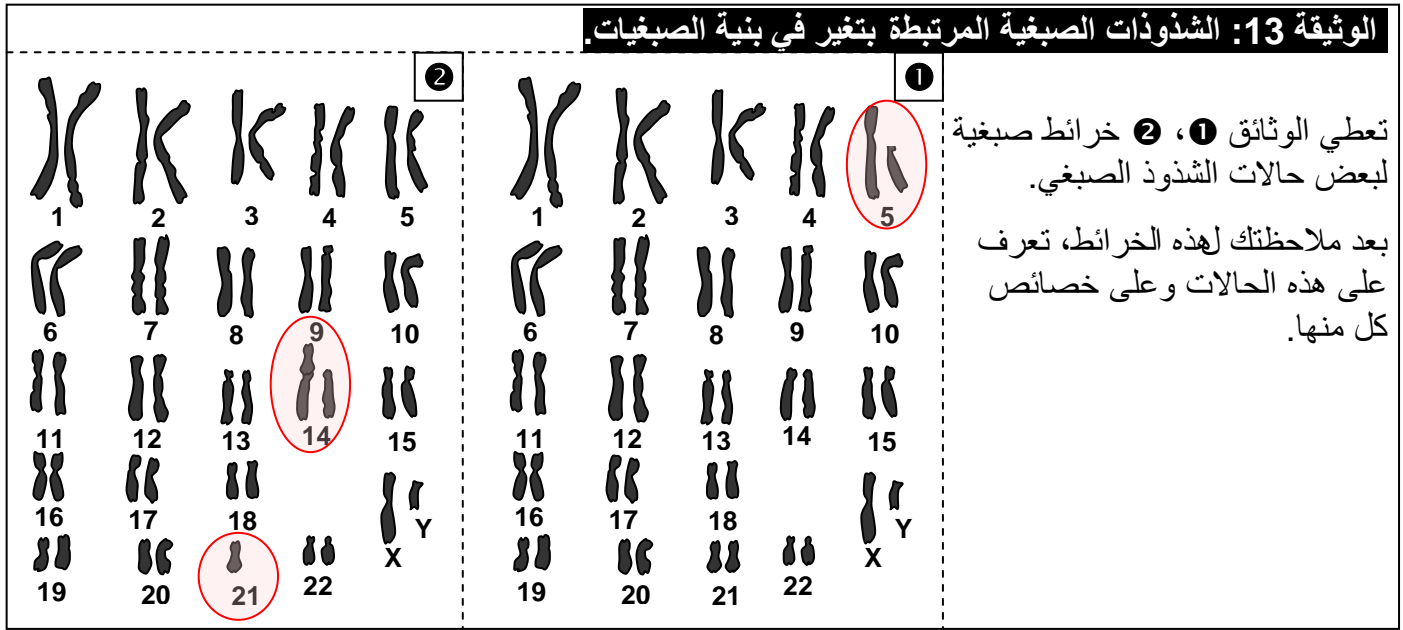
يرتبط هذا المرض بوجود صبغي Y زائد عند الرجال المصابين، حيث يملكون 47 صبغياً، منها 44 صبغياً لاجنسياً، وثلاثة صبغيات جنسية XYY. عادة يتميز الشخص المصاب بمظهر عادي، وقدرات ذهنية عادية، وخصوبة عادية. وأحياناً يلاحظ عند الأطفال صعوبة في التعلم.

التفسير الصبغي للشذوذات المرتبطة بتغير عدد الصبغيات الجنسية: أنظر الوثيقة 12.



يرجع ظهور هذه الشذوذات إلى الافتراق غير السليم لأزواج الصبغيات الجنسية أثناء الانقسام الاختزالي عند تشكل الأمشاج لدى أحد الأبوين.

② الشذوذ المرتبط بتغير في بنية الصبغيات. أنظر الوثيقة 10.



أ - ضياع قطع صبغية La délétion chromosomique : (الخريطة الصبغية ①)

تنتج هذه الشذوذات عن فقدان جزء من أحد الصبغيات، وأهم هذه الحالات هو ضياع الذراع القصير للصبغي 5. يعاني المصابون بهذا الشذوذ من تأخر عقلي حاد، ومن تشوهات جسمية خاصة على مستوى الحنجرة، حيث يصدر الطفل المصاب صوتاً يشبه مواء القطّة، لهذا يسمى هذا المرض بـ "صياح القطّة".

ب - الانتقال الصبغي La translocation : (الخريطة الصبغية ②)

تتمثل هذه الشذوذات في انتقال صبغيات أو قطع منها ولحمها بصبغيات أخرى. مثلاً في هذه الحالة نتكلم عن الانتقال الصبغي المتوازن، إذ نجد نموذج واحد من الصبغي 21، أما النموذج الثاني فهو محمول على الصبغي 14. يتميز الأشخاص المصابون بهذا الشذوذ بمظهر عادي لأن خريطتهم الصبغية كاملة، رغم أنها تتضمن صبغياً هجيناً (14-21). إلا أن هؤلاء الأشخاص قد ينتجون أمشاجاً غير عادية، تتسبب في إنجاب أبناء مصابين بشذوذات كالمغولية (ثلاثي الصبغي 21 المقنع).

V - تشخيص الشذوذ الصبغي قبل الولادة:

① دواعي إجراء التشخيص قبل الولادي:

يتم اللجوء إلى اختبارات التشخيص قبل الولادي، عندما يرغب الوالدان في الاطمئنان على سلامة و صحة الحميل، لكنها في بعض الأحيان تكون ضرورية، و ذلك لعدة أسباب، نذكر من بينها:

- إذا كان للأبوين، أو لأحد أفراد عائلتهما، طفل مصاب بشذوذ صبغي، أو تشوه خلقي.
- إذا سبق للأبوين إنجاب طفل مصاب بتشوه خلقي أو شذوذ صبغي.
- إذا كان أحد الأبوين يعاني من شذوذ صبغي، رغم سلامة جسمه من الأعراض حالة الانتقال الصبغي المتوازن.
- إذا تجاوز عمر الأم الحامل 40 سنة لوجود احتمال كبير لإنجاب خلف ثلاثي صبغي.
- إذا ظهرت مؤشرات غير عادية عند الفحص بالصدى.

يُعتمد في تشخيص الشذوذات الصبغية قبل الولادة، على عدة تقنيات، تلخص الوثيقة أسفله أهمها.

② أهم الوسائل المعتمدة في هذا التشخيص:

أ - التصوير بالصدى L'échographie :

بواسطة مسبار يوضع على الجلد، تسلط موجات فوق صوتية على الجنين وتنعكس عليه، ثم يتم التقاطها بواسطة نفس المسبار. ونظرا لاختلاف خصائص كل نسيج، تنعكس الموجات بشكل مختلف فتعطي صورة للجنين، يمكن تحليلها ومقارنتها بالحالات العادية. (أنظر الوثيقة 14).

الوثيقة 14: الكشف عن الإصابة بمرض Down بواسطة التصوير بالصدى الصوتي.

يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة بالصدى لحميل مصاب بمرض Down (علامات مميزة عند الحمل المصاب: وجه مسطح وانتفاخ في مستوى القفا وعنق عريض...)، هذه العلامات لا تلاحظ عادة عند الحمل العادي، الملاحظ على الشكل ب من الوثيقة).



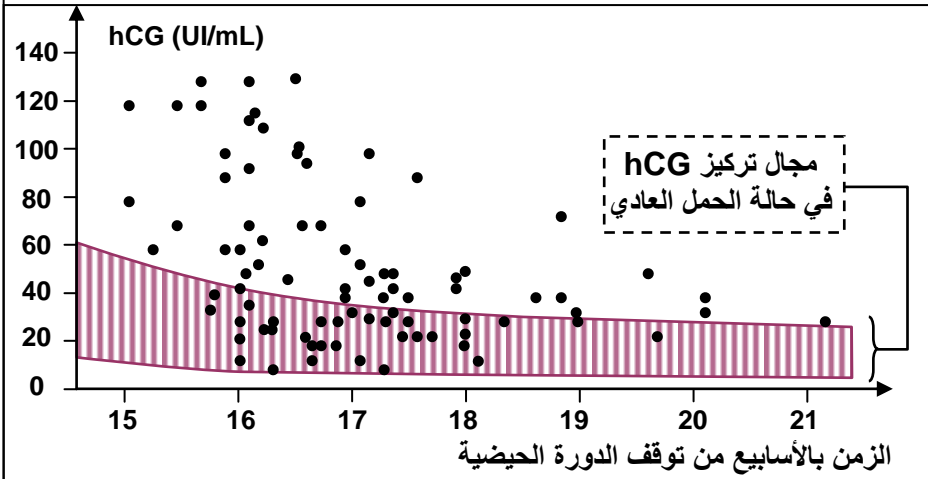
ملاحظة: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: الكشف عن مرض Down بتحليل الدم.

بينت تحاليل الدم عند الأمهات الحوامل بأجنة مصابة بمرض Down، وجود تركيز كبير من هرمون hCG (human Chorionic Gonadotropin)، وبروتين يرمز له بـ AFP (alpha-fœtoprotéine). تسمى هذه المواد الموجودة بالمصل بالواسمات المصلية Marqueurs sériques.

تبين الوثيقة أمامه التركيز البلازمي لهرمون hCG حسب مدة الحمل عند 86 حالة أصيب فيها الجنين بمرض Down.

بين كيف تمكن تقنية تحليل دم المرأة الحامل من تدعيم نتائج تقنية الفحص بالصدى.



★ بالإضافة إلى فحص التصوير بالصدى، تمكن معايرة كمية هرمون hCG وبروتين AFP في دم المرأة الحامل من تشخيص حالة ثلاثي الصبغي 21، وذلك لارتفاع تركيز هذه المواد في دم المرأة الحامل بجنين مصاب بمرض Down.

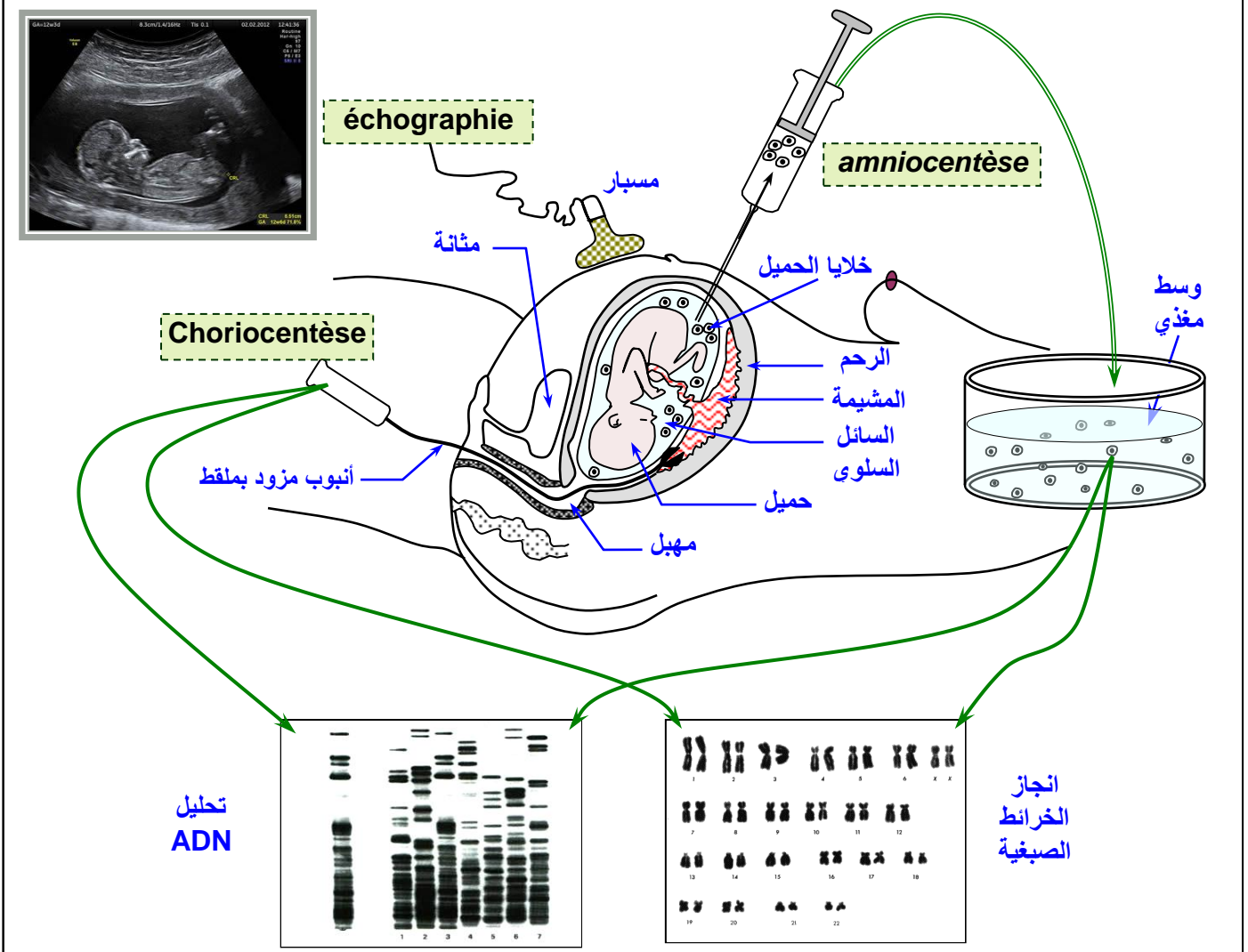
★ إن احتمال إنجاب أطفال مصابين بمرض Down يزداد كلما زاد سن الأم.

45	42	37	35	30	25	20	سن الأم
1/60	1/100	1/300	1/500	1/1000	1/1600	1/2300	احتمال إنجاب طفل مصاب

الوثيقة 16: فحص السائل السلوي والزغابات الجنينية و Amniocentèse و Choriocentèse

يمكن الكشف عن الشذوذات الصبغية عند الجنين أثناء الحمل إما:

- باختبار السائل السلوي بعد 15 إلى 17 أسبوع من توقف الدورة الحيضية.
- باختبار دم الحبل السري بعد الأسبوع 20 من توقف الدورة الحيضية.
- باقتلاع زغابات جنينية وتحليلها، انطلاقا من الأسبوع التاسع للحمل.

**a - تقنية Amniocentèse**

هو اختبار يجري في الأسبوع 17 من الحمل، حيث يخذ قليل من السائل السلوي الذي يطفو داخله الحميل، وانطلاقا من الخلايا العالقة بهذا السائل تنجز الخريطة الصبغية للجنين التي تمكن من الكشف عن الشذوذات الصبغية المحتملة.

b - تقنية Choriocentèse

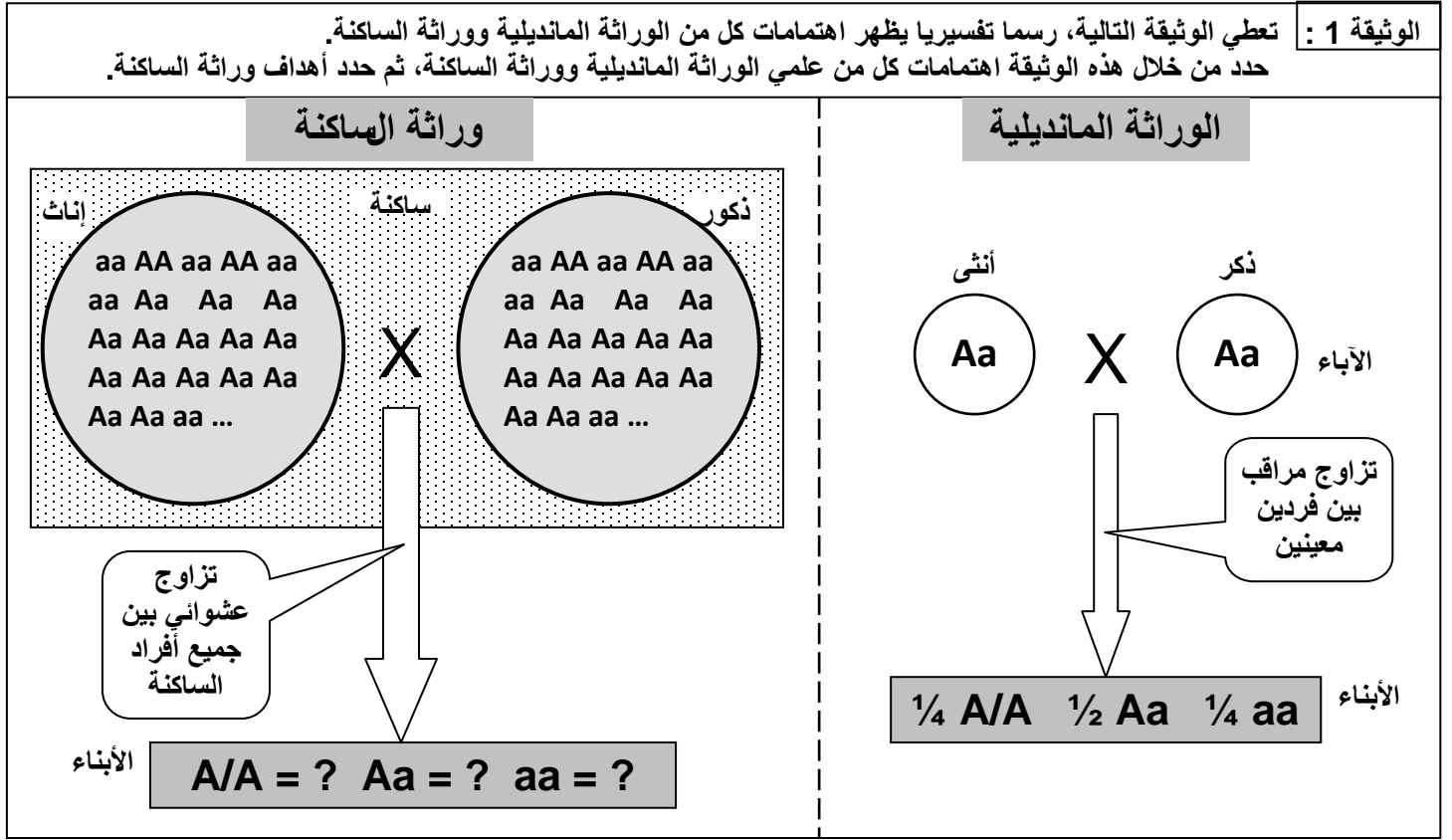
بواسطة لمقاط يتم اقتطاع عينات من الأنسجة الحميلية (أخذ خلايا من غدد الغشاء الخارجي للحميل) قصد إنجاز خريطة صبغية و تحليلها للتأكد من خلوها من أي شذوذ صبغي. (هذه الخلايا تنحدر من البويضة وبالتالي فهي تملك نفس الزينة الصبغية للحميل).

c - تقنية الرصد الجنيني Embryoscopie

بواسطة نظام عدسي يدخل عبر عنق الرحم، يمكن أخذ صور واضحة للجنين، الشيء الذي يمكن من التشخيص المبكر للتشوهات العضوية المرافقة لبعض الشذوذات الصبغية.

علم وراثة الساكنة

مقدمة: أنظر الوثيقة 1.



وراثة الساكنة هي جزء من علم الوراثة ، تهتم بدراسة قوانين توزيع المورثات و الأنماط الوراثية و كذا الآليات المحددة للتغير الوراثي داخل ساكنة معينة ، و لها ثلاثة أهداف رئيسية:

- قياس التغير الوراثي انطلاقاً من تردد حليلات نفس المورثة.
- فهم كيفية انتقال التغير الوراثي من جيل لآخر .
- فهم آليات تطور هذا التغير الوراثي حسب الأجيال.

إذا كانت الوراثة المانديلية تعتمد على التزاوجات الموجهة عن طريق التجربة فان وراثتة الساكنة تدرس نسب الأنماط الوراثية عند مجموعة من الأفراد ينحدرون من تزاوجات غير موجهة لعدة آباء. فهي تطبيق للوراثة المانديلية على مستوى الساكنة.

- 1) فما هي الساكنة وما مميزات الوراثةية ؟
- 2) ما القوانين الإحصائية المعتمدة في دراسة انتقال الصفات الوراثية عند الساكنة؟
- 3) ما هي العوامل المتدخلة في تغير الساكنة ؟
- 4) كيف ينقل هذا التغير عبر الأجيال؟
- 5) ما هي العوامل المتدخلة في التنوع الوراثي للساكنات؟ وما آليات تدخلها؟

1 - مفهوم الساكنة والمحتوى الجيني

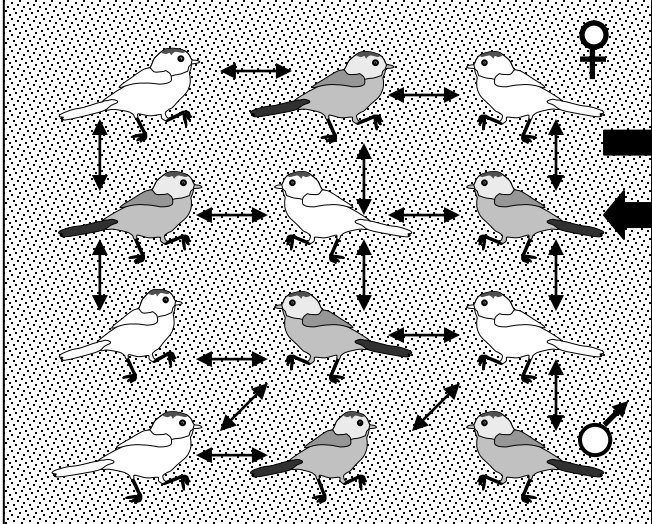
① ملاحظة بعض أنواع الساكنات المستوطنة بالمغرب: أنظر الوثيقة 2 والوثيقة 3.

يقتضي تحديد الساكنة اعتبار معايير فضائية، وزمانية، ووراثية. بين ذلك انطلاقا من الوثائق التالية.

الوثيقة 3	الوثيقة 2
<p>Macaca sylvanus المعروف بالقرود زعطوط هو نوع من القرود التي تستوطن المغرب، ويشكل ساكنة يبلغ عددها حاليا زهاء 10000 بين المغرب والجزائر.</p> <p>تنتشر هذه الساكنة على الخصوص في غابات شجر الأرز بجبال الأطلس المتوسط، على ارتفاع يتراوح بين 1200 و2000 متر، يتميز بقدرته على تحمل التغيرات المناخية (صيف حار وجاف وشتاء بارد جدا). وهو قرود بدون ذيل، يصل وزنه إلى 20 كلف عند الذكور و15 كلف عند الإناث، وطوله زهاء 60 سم.</p>	<p>يوجد شجر أركان أساسا في الأطلس الكبير وفي سهل سوس والأطلس الصغير، ويغطي مساحة تقدر ما بين 700.000 و 850.000 هكتار. وهو نوع لا مبالي بنوعية التربة (ينمو فوق تربة سيليسية ، شيبستية ، كلسية) ويتحمل الحرارة (+50°) ويقاوم الجفاف ينتمي للطبقة الحيمناخية شبه القاحلة والقاحلة، لا يتجاوز علوه 10 أمتار، من كاسيات البذور يزهر في فصل الربيع ينكأثر عن طريق التوالد الجنسي بحيث تحرر المأبر بعد نضجها حبوب اللقاح لتنتقل إلى ميسم الزهرة فتلتصق به لتثبت أنبوب اللقاح الذي ينمو في اتجاه البيضة. ولن تتم عملية الإنبات إلا إذا كان هناك تلاؤم بين حبوب اللقاح والميسم (أي ينتميان لنفس النوع) و هو أمر يتحكم فيه البرنامج الوراثي لكل من حبوب اللقاح والميسم . وتشكل كل الحليلات المتواجدة عند كل أفراد الساكنة ما يسمى بالمحتوى الجيني .</p>
	

- ساكنة شجر أركان: تحتل المناطق الجبلية لجبال الأطلس الكبير وفي سهل سوس.
- القرود *Macaca sylvanus* المعروف بقرود زعطوط، الذي يحتل خاصة غابات شجر الأرز بجبال الأطلس (ارتفاع بين 1200 و2000 متر).

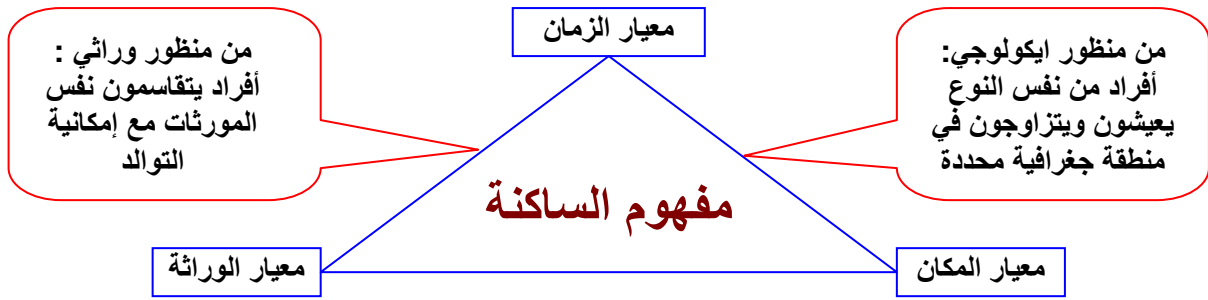
② مفهوم الساكنة: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4 : نموذج تفسيري لمفهوم الساكنة.	
	<p>استخرج انطلاقا من هذه الوثيقة والوثائق السابقة تعريفا مبسطا لمفهوم الساكنة، مع تحديد خاصيات الساكنة الطبيعية.</p> <p>فقدان الأفراد</p> <p>ولوج الأفراد</p> <p>تزاوج بالصدفة، لكل فرد نفس الاحتمال بان يتزاوج ويعطي خلفا.</p> <p>أفراد تنتمي لنفس النوع</p> <p>مجال توزيع الساكنة</p>

الساكنة *La population* هي مجموعة من الأفراد المنتمية لنفس النوع. وهي مجموعة تعيش في مجال جغرافي معين، يتمكن فيه كل فرد من أفرادها من التزاوج والتوالد مع أي فرد آخر من أفراد المجموعة.

- والساكنة ليست كيانا جامدا بل هي على العكس من ذلك بنية دينامية يتخللها تدفق للأفراد من خلال:
- ولوج أفراد جدد ناتج عن الولادات وهجرة أفراد النوع نحو هذه الساكنة.
 - فقدان أفراد ناجم عن الوفيات وهجرة أفراد النوع خارج مجال توزيع الساكنة.

ويمكن توضيح الساكنة من خلال الرسم التالي:



③ المحتوى الجيني للساكنة:

أ – تعريف المحتوى الجيني للساكنة:

تتميز الساكنة بجينوم جماعي يسمى المحتوى الجيني للساكنة، وهو مجموع الحليلات التي توجد في مواضع المورثات على الصبغيات عند كل أفراد الساكنة. ويتميز بالاستمرارية عبر الأجيال، ويكون قابلا للتغير عبر الزمن. أنظر الوثيقة 2، لوحة 2.

ب – حساب الترددات باستخدام طريقة الاحتمالات:

لتكن ساكنة P بها الأنماط الوراثية AA , Aa , aa : أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5:

المحتوى الجيني لساكنة P

يقدم الرسم أمامه المحتوى الجيني عند ساكنة P مكونة من 13 فردا. سنعتبر أن المورثة غير مرتبطة بالجنس، وتملك حليلين: A حليل سائد، و a حليل متنحي. باستخدام طريقة الاحتمالات، أحسب تردد كل من المظاهر الخارجية، الأنماط الوراثية، والحليلات. علما أن:

$$\frac{\text{عدد الأفراد الحاملين للمظهر [A]}}{\text{مجموع أفراد الساكنة N}} = [A]$$

$$\frac{\text{عدد الأفراد الحاملين للنمط AA}}{\text{مجموع أفراد الساكنة N}} = \text{تردد نمط وراثي AA}$$

تردد الحليلات: $f(AA) = D$, $f(Aa) = H$, $f(aa) = R$

يمكن حساب تردد الحليل A بحساب احتمال سحب **tirage** هذا الحليل بالصدفة من الساكنة، الشيء الذي يتطلب في الأول سحب فرد معين من هذه الساكنة ثم سحب أحد حليليه:

← يمكن أن يكون الفرد المسحوب AA باحتمال D، في هذه الحالة، احتمال سحب الحليل A بالصدفة من هذا الفرد يساوي 1 (لأن هذا الفرد يحمل الحليل A فقط).

← أو أن يكون الفرد المسحوب Aa باحتمال H، في هذه الحالة، احتمال سحب الحليل A بالصدفة من هذا الفرد يساوي 1/2 (لأن هذا الفرد يحمل كذلك الحليل a).

← أو أن يكون الفرد المسحوب aa باحتمال R، في هذه الحالة، احتمال سحب الحليل A بالصدفة من هذا الفرد يساوي 0 (لأن هذا الفرد لا يحمل الحليل A).

إذن تردد الحليل (A) هو $f(A)$: $f(A) = (D \times 1) + (H \times 1/2) + (R \times 0)$

$\Rightarrow f(A) = D + H/2$

$$f(a) = (D \times 0) + (H \times 1/2) + (R \times 1) \quad : f(a) \text{ هو } (a) \text{ تردد الحليل}$$

$$\Rightarrow f(a) = R + H/2$$

وهكذا يمكن حساب تردد حليل داخل ساكنة باستعمال الصيغة التالية:

$$\text{تردد حليل داخل عينة} = \frac{\text{عدد المورثة المتشابهة الاقتران بالنسبة للحليل}}{\text{مجموع أفراد الساكنة } N} + \left[\frac{\text{عدد المورثة المختلفة الاقتران}}{\text{مجموع أفراد الساكنة } N} \times \frac{1}{2} \right]$$

$$\text{تردد حليل داخل عينة} = \frac{2 \times \text{عدد المورثة المتشابهة الاقتران بالنسبة لحليل} + \text{عدد المورثة المختلفة الاقتران}}{2 \times \text{مجموع أفراد الساكنة } N \text{ (عدد الحليلات)}}$$

• تردد المظاهر الخارجية:

$$f[a] = 3/13 \quad f[A] = 10/13$$

• تردد الأنماط الوراثية:

$$f(AA) = D = 6/13, \quad f(Aa) = H = 4/13, \quad f(aa) = R = 3/13$$

• تردد الحليلات:

$$f(A) = \frac{(2 \times 6) + 4}{2 \times 13} = 0.62$$

$$f(a) = \frac{(2 \times 3) + 4}{2 \times 13} = 0.38$$

II – قانون Hardy - Weinberg:

① الساكنة النظرية المثالية:

نظرا لصعوبة دراسة التغيرات الوراثية للساكنة عبر الأجيال (الطفرات، هجرة الأفراد، الانتقاء الطبيعي...)، نتتبع انتقال الخاصيات الوراثية بالنسبة لساكنة نظرية مثالية وذلك بتطبيق قانون H - W. ما هذا القانون وما خاصيات الساكنة النظرية المثالية؟ تعطي الوثيقة 6، خاصيات الساكنة النظرية المثالية.

الوثيقة 6 : خاصيات الساكنة النظرية المثالية

- ساكنة لمتعضيات ثنائية الصيغة الصبغية ذات توالد جنسي وأجيالها غير مترابطة (ليس هناك أي تزاوج بين أفراد الأجيال المختلفة).
- ساكنة ذات عدد لا منته حيث تتسم التزاوجات بشكل عشوائي.
- ساكنة مغلقة وراثيا (ليس هناك تدفقات ناتجة عن الهجرة).
- لجميع أفراد الساكنة، مهما كان نمطهم الوراثي، القدرة نفسها على التوالد والقدرة على إعطاء خلف قادر على العيش = غياب الانتقاء
- غياب الطفرات والتغيرات الوراثية أثناء افتراق الصبغيات اثر الانقسام الاختزالي (يعطي الفرد من النمط Aa دائما 50 % من الأمشاج A و 50 % من الأمشاج a.
- التزاوج العشوائي بين الأفراد : الأفراد يتزاوجون بالصدفة Panmixie (لا يتم اختيار الشريك الجنسي بناء على خاصيات نمطه الوراثي أو مظهره الخارجي، والتقاء الأمشاج يحصل كذلك بالصدفة Pangamie).

② قانون Hardy و Weinberg:

أ – نص القانون:

يعتبر قانون H.W أن ترددات الحليلات وترددات الأنماط الوراثية تبقى مستقرة من جيل لآخر داخل ساكنة نظرية مثالية، فتوصف الساكنة بأنها في حالة توازن. (Hardy = رياضي انجليزي و Weinberg = طبيب ألماني).

- الوثيقة 7 : إنشاء قانون Hardy - Weinberg
و G_1 ، وذلك من خلال تتبع تطور كل من الأنماط الوراثية وتردد الحليلات بالنسبة لمورثة غير مرتبطة بالجنس ذات حليلين A و a .
 (1) حدد تردد كل من الأنماط الوراثية والحليلات في الجيل الأصلي G_0 .
 (2) حدد تردد الأنماط الوراثية في الجيل G_1 .
 (3) حدد تردد الحليلات في الجيل G_1 من خلال تردد أنماطه الوراثية.
 (4) ماذا تستنتج ؟

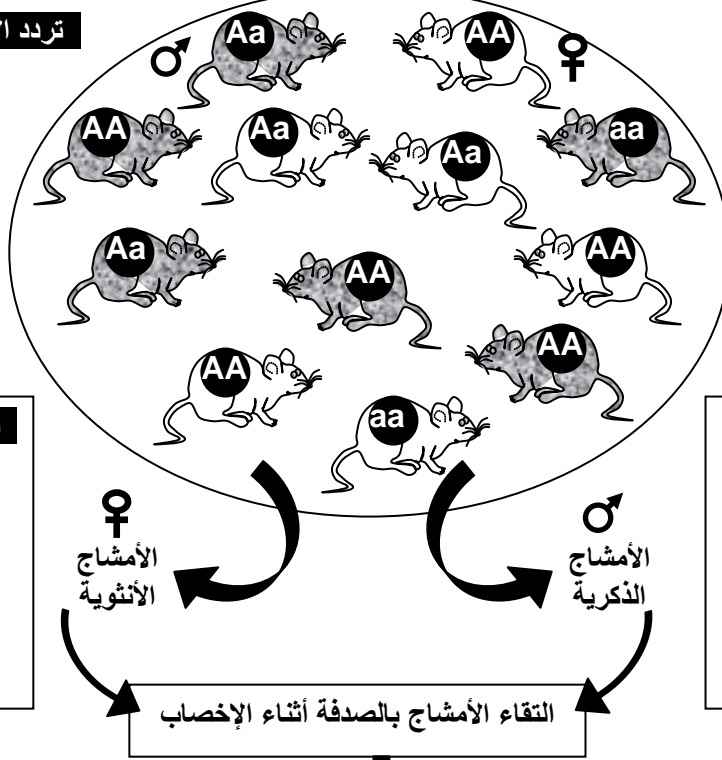
ساكنة نظرية مثالية (الجيل G_0)تردد الأنماط الوراثية في الجيل G_0 :

$$f(AA) = \dots\dots\dots$$

$$f(Aa) = \dots\dots\dots$$

$$f(aa) = \dots\dots\dots$$

$$f(AA) + f(Aa) + f(aa) = \dots\dots\dots$$

تردد الحليلات في الجيل G_0 :

$$f(A) = p = \dots\dots\dots$$

$$f(a) = q = \dots\dots\dots$$

$$p + q = \dots\dots\dots$$

تردد حليلات الأمشاج الذكورية:

$$f(A) = \dots\dots\dots$$

$$f(a) = \dots\dots\dots$$

$$f(A) + f(a) = \dots\dots\dots$$

تردد حليلات الأمشاج الأنثوية:

$$f(A) = \dots\dots\dots$$

$$f(a) = \dots\dots\dots$$

$$f(A) + f(a) = \dots\dots\dots$$

تردد الأنماط الوراثية في الجيل G_1 :

$$f(AA) = \dots\dots\dots$$

$$f(Aa) = \dots\dots\dots$$

$$f(aa) = \dots\dots\dots$$

$$f(AA) + f(Aa) + f(aa) = \dots\dots\dots$$

		شبكة التزاوج ← الجيل G_1	
		♂	♀
♀	A	p	q
	a	p	q

تردد الحليلات في الجيل G_1 :

$$f(A) = \dots\dots\dots$$

$$f(a) = \dots\dots\dots$$

$$f(A) + f(a) = \dots\dots\dots$$

(1) تردد الأنماط الوراثية والحليلات في الجيل G_0 :
 ★ الأنماط الوراثية : $f(AA) = D$ ، $f(Aa) = H$ ، $f(aa) = R$

تردد الأنماط الوراثية متساو عند الجنسين مع $D + H + R = 1$

★ الحليلات : $f(A) = p = D + H/2$ ، $f(a) = q = R + H/2$

$$p + q = D + H + R = 1$$

(2) تردد الأنماط الوراثية في الجيل G_1 :
انطلاقاً من شبكة التزاوج:

$$\begin{aligned} f(AA) &= p \times p = p^2 = D \\ f(Aa) &= (p \times q) + (p \times q) = 2pq = H \\ f(aa) &= q \times q = q^2 = R \\ D + H + R &= p^2 + 2pq + q^2 \\ &= (p + q)^2 = 1 \end{aligned}$$

(3) تردد الحليلات في الجيل G_1 :

$$\begin{aligned} f(A) &= f(AA) + f(Aa)/2 = D + H/2 \\ &= p^2 + (2pq)/2 \\ &= p^2 + pq \\ &= p(p + q) \\ f(A) &= p \quad \text{وبما أن } (p + q) = 1 \text{ فإن} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(a) &= f(aa) + f(Aa)/2 = R + H/2 \\ &= q^2 + (2pq)/2 \\ &= q^2 + pq \\ &= q(p + q) \\ f(a) &= q \quad \text{وبما أن } (p + q) = 1 \text{ فإن} \end{aligned}$$

(4) استنتاج:

نلاحظ أن هناك استقراراً في تردد الحليلات وتردد الأنماط الوراثية مع توالي الأجيال، وهذا ما يعرف بتوازن Hardy-Weinberg. ففي الساكنة النظرية المثالية، تظل ترددات الأنماط الوراثية وترددات الحليلات مستقرة من جيل لآخر، فنقول أن الساكنة في حالة توازن.

يتم تحديد ترددات الأنماط الوراثية انطلاقاً من تردد الحليلات باعتماد علاقة بسيطة تقابل نشر الحدانية $(p+q)^2$. ففي حالة مورثة ذات حليلين، بحيث p هو تردد الحليل A و q هو تردد الحليل a ، فإن تردد الأنماط الوراثية ستحسب كالآتي:

$$\begin{aligned} f(AA) + f(Aa) + f(aa) &= (p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 \\ f(AA) = p^2 \quad , \quad f(Aa) = 2pq \quad , \quad f(aa) = q^2 &\quad \Leftrightarrow \end{aligned}$$

ملاحظة: يطبق قانون Hardy-Weinberg أيضاً على المورثات متعددة الحليلات، بحيث إذا كانت ترددات مختلف الحليلات على التوالي $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ فإن ترددات مختلف الأنماط الوراثية هي نشر الحدانية $(p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n)^2$.

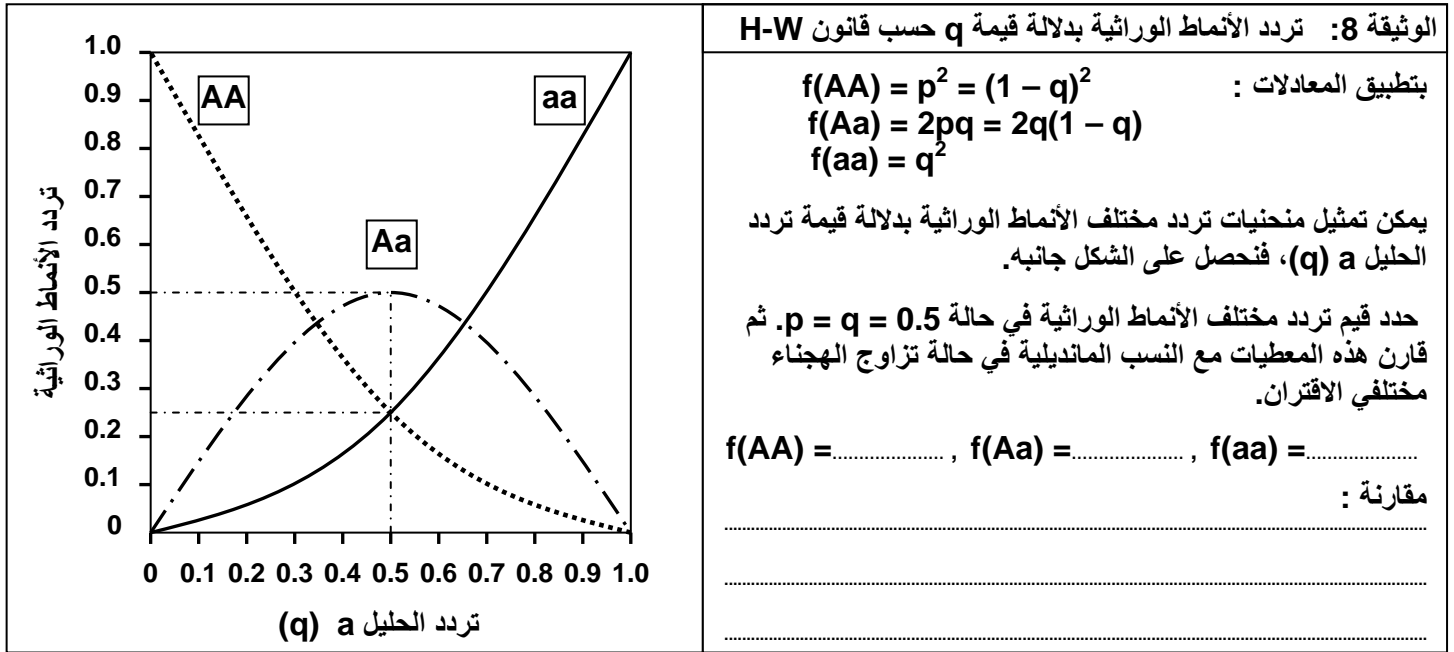
مثلاً نظام الفصائل الدموية ABO عند الإنسان يحدد عن طريق ثلاثة حليلات هي A و B و O بترددات على التوالي p و q و r . اذن $(p + q + r)^2 = p^2 + q^2 + r^2 + 2pq + 2pr + 2qr$

$$\begin{aligned} f(AA) = p^2 \quad , \quad f(BB) = q^2 \quad , \quad f(OO) = r^2 \quad \text{وهكذا فتردد الأنماط الوراثية هو} \\ f(AB) = 2pq \quad , \quad f(AO) = 2pr \quad , \quad f(BO) = 2qr \end{aligned}$$

③ العلاقة بين تردد الحليلات وتردد الأنماط الوراثية حسب قانون H-W:

★ سؤال :

تمثل منحنيات الوثيقة 8 تردد مختلف الأنماط الوراثية بدلالة قيمة تردد الحليل a (q). حدد قيم تردد مختلف الأنماط الوراثية في حالة $p = q = 0.5$. ثم قارن هذه المعطيات مع النسب المانديلية في حالة تزاوج الهجناء مختلفي الاقتران.



★ جواب :

تردد الأنماط الوراثية : $f(AA) = 1/4$, $f(Aa) = 1/2$, $f(aa) = 1/4$ هي نفس ترددات الأنماط الوراثية في الوراثة المانديلية المحصلة خلال تزاوج الهجناء مختلفي الاقتران، وهي حالة خاصة من قانون Hardy-Weinberg.

III - تطبيق قانون Hardy - Weinberg على ساكنة نظرية مثالية:

① اختبار التوازن χ^2 (Khi deux):

للتأكد ومعرفة هل الساكنة في حالة توازن أم لا، نقوم بانجاز اختبار التوافقية χ^2 ، والذي يمكن تلخيصه في ثلاث مراحل هي:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{عدد الأفراد النظري} - \text{عدد الأفراد الملاحظ})^2}{\text{عدد الأفراد النظري}}$$

• حساب χ^2 :

• نحدد قيمة تدعى درجة الحرية (ddl) Degré de liberté : هي فارق عدد الأنماط الوراثية وعدد الحليلات المدروسة:

$$ddl = \text{عدد الحليلات} - \text{عدد الأنماط الوراثية}$$

• نقارن قيمة χ^2 المحسوبة مع قيمة عتبة تقرأ على جدول خاص (أنظر الوثيقة 9) بدلالة معيارين:

- ← احتمال الخطأ α ويتم اختياره من طرف المختبر وهو عادة 0.05 أي 5 %.
- ← درجة الحرية ddl.

الوثيقة 9: اختبار التوازن χ^2 :

α	0,90	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
ddl									
1	0,0158	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
2	0,211	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	0,584	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	16,266
4	1,064	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
5	1,610	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	20,515
6	2,204	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
7	2,833	6,346	8,383	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	3,490	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
9	4,168	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	4,865	9,342	11,781	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
.
30	20,599	29,336	33,530	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892	59,703

وهكذا إذا كانت قيمة χ^2 المحسوبة أصغر من القيمة العتبة χ^2 في الجدول، نقول أن الساكنة تخضع لقانون Hardy - weinberg أي أنها في توازن. وإذا كانت قيمة χ^2 المحسوبة أكبر من القيمة العتبة χ^2 في الجدول، نقول أن الساكنة لا تخضع لقانون Hardy - weinberg أي أنها ليست في حالة توازن.

② تطبيق قانون Hardy - Weinberg على ساكنة نظرية مثالية: (أنظر الوثيقة 10)

الوثيقة 10 : تطبيق قانون Hardy-Weinberg على ساكنة نظرية مثالية في حالة السيادة التامة.

داخل ساكنة نظرية تتألف من 500 نبتة زهرية، تم إحصاء عدد الأفراد بأزهار حمراء، وعدد الأفراد بأزهار بيضاء، فحصلنا على النتائج الممثلة على الجدول جانبه. للإشارة فالمورثة المسؤولة عن لون الأزهار محمولة على صبغي لا جنسي مع سيادة الحليل المسؤول عن اللون الأحمر (R) على الحليل المسؤول عن اللون الأبيض (b).

باعتبار هذه الساكنة في حالة توازن، وبتطبيق معادلة Hardy-Weinberg

$$p^2(RR) + 2pq(Rb) + q^2(bb) = 1$$

مع p = تردد الحليل R ،
و q = تردد الحليل b و $p + q = 1$.

أحسب ترددات الأنماط الوراثية وترددات الحليلات عند الساكنة الأم والساكنة البنت، ثم استنتج العدد النظري للأنماط الوراثية RR و Rb في هذه الساكنة.

المظهر الخارجي	مظهر خارجي متحي [b]	مظهر خارجي سائد [R]
النمط الوراثي	bb	RR + Rb
عدد الأفراد	20	480

(1) حساب الترددات عند الساكنة الأم :

★ تردد النمط الوراثي bb: يسهل حساب تردد حاملي الصفة المتتحية، لأن عدد مظاهرها الخارجية يكون

$$f(bb) = f[b] = 20/500 = 0.04$$

★ تردد الحليلين R و b :

إذا اعتبرنا أن هذه الساكنة في حالة توازن، فيمكن حساب تردد الحليلات من خلال تردد الأنماط الوراثية، والتي

$$p^2(RR) + 2pq(Rb) + q^2(bb) = 1 \text{ أي } (p + q)^2$$

$$f(b) = q \text{ و } f(R) = p \text{ مع } f(RR) = p^2 , f(Rb) = 2pq , f(bb) = q^2$$

نبدأ بقيمة q لأننا نعرف مسبقاً قيمة $q^2 = 0.04$) $f(bb) = f[b] = q^2 = 0.04$)

$$f(b) = q = \sqrt{0.04} = 0.2 \quad \text{إذن :}$$

$$q = 0.2$$

نحسب قيمة p : نعلم أن $p + q = 1$ إذن $p = 1 - q = 1 - 0.2 = 0.8$

$$p = 0.8$$

وهكذا فتردد الحليين R و b هو : $f(R) = 0.8$, $f(b) = 0.2$

★ تردد النمط الوراثي RR :
بناءً على قيم p و q يمكن حساب :

$$\text{تردد النمط الوراثي لمتشابهي الاقتران } RR : f(RR) = p^2 = (0.8)^2 = 0.64$$

$$\text{تردد النمط الوراثي لمختلفي الاقتران } Rb : f(Rb) = 2pq = (2 \times 0.8 \times 0.2) = 0.32$$

★ العدد النظري للأنماط الوراثية RR و Rb :

$$f(RR) = \frac{\text{عدد الأفراد}}{\text{عدد أفراد الساكنة}} \Leftrightarrow f(RR) = \text{عدد الأفراد } RR \text{ (عدد أفراد الساكنة } N \text{)} \times f(RR)$$

$$\text{إذن عدد الأفراد الحاملين لـ } RR \text{ هو } 320 = 0.64 \times 500 = f(RR) \times N$$

$$\text{وعدد الأفراد الحاملين لـ } Rb \text{ هو } 160 = 0.32 \times 500 = f(Rb) \times N$$

$$\text{وعدد الأفراد الحاملين لـ } bb \text{ هو } 20 = 0.04 \times 500 = f(bb) \times N$$

(2) حساب الترددات عند الساكنة البنت :

ينتج أفراد الساكنة الأم أمشاجاً تتضمن الحليين R و b بنفس التردد الذي توجد عليه في هذه الساكنة. لننجز شبكة التزاوج:

	♀	♂	
		R $p = 0.8$	b $q = 0.2$
R $p = 0.8$	RR $p^2 = 0.64$	Rb $Pq = 0.16$	
b $q = 0.2$	Rb $Pq = 0.16$	bb $q^2 = 0.04$	

$$\text{ترددات الأنماط الوراثية عند الساكنة البنت هي : } f(RR) = p^2 = 0.64$$

$$f(Rb) = 2pq = 2 \times 0.16 = 0.32$$

$$f(bb) = q^2 = 0.04$$

نلاحظ أن تردد الحليلات والأنماط الوراثية للساكنة البنت مماثلاً للساكنة الأم (ساكنة خاضعة لقانون H-W).

IV – تطبيق قانون Hardy – Weinberg على انتقال بعض الصفات الوراثية:

① حالة مورثات مرتبطة بالصبغيات اللاجنسية:

أ – حالة السيادة.

a – مثال أول: الفصيلة الدموية ريزوس (أنظر الوثيقة 11)

الوثيقة 11: يرمز للفصيلة الدموية ريزوس Rhésus (Rh) بواسطة الحليلين d و D. الحليل D ساند يعطي الفصيلة [Rh⁺]، والحليل d متنحي بحيث النمط الوراثي dd يعطي الفصيلة [Rh⁻]. في سنة 1976 أظهرت دراسة خصت 400 فرد من منطقة الباسك باسبانيا أن 230 منهم من الفصيلة [Rh⁺]. بتطبيق قانون Hardy -Weinberg، أتمم الجدول التالي.

$f(d) = q = \sqrt{(400-230)/400}$ اذن	$f(dd) = q^2$ و $f(d) = q$	الحليل d	تردد الحليلات
$f(D) = p = 1 - q = 0.35$		الحليل D	
$f(DD) = p^2 = (0.35)^2 = 0.122$		DD	تردد الأنماط الوراثية
$f(Dd) = 2pq = 2 \times 0.65 \times 0.35 = 0.455$		Dd	
$f(dd) = q^2 = (0.65)^2 = 0.423$		dd	
$(f(Dd)/(f(Dd) + f(DD))) \times 100 = (0.455/(0.455+0.122)) \times 100 = 78.86$			نسبة [Rh ⁺] الذين هم مختلفوا الاقتران :

b – مثال ثاني: مرض Mucoviscidose (أنظر الوثيقة 12)

الوثيقة 12: انتقال مرض Mucoviscidose عند ساكنة متوازنة، يصاب طفل من بين 3000 بمرض وراثي يدعى La mucoviscidose بسببه حليل متنحي m غير مرتبط بالجنس. (أستعمل الرمز m⁺ بالنسبة للحليل الساند)

- 1) أعط النمط الوراثي أو الأنماط الوراثية الممكنة للأفراد العاديين. علل إجابتك.
- 2) أحسب تردد الأفراد المصابين في هذه الساكنة.
- 3) أحسب تردد الأفراد مختلفي الاقتران في هذه الساكنة.

(1) النمطين الوراثيين الممكنين بالنسبة للأفراد العاديين هما m⁺m⁺ و m⁺m، لأن الأفراد الساندين ينتمون لسلاطين: سلالة نقية متشابهة الاقتران وسلالة هجينة مختلفة الاقتران.

(2) تردد الأفراد المصابين في هذه الساكنة هو f(mm): $f(mm) = \frac{1}{3000} = 3.3 \cdot 10^{-4}$

لنعبر q تردد الحليل m و p تردد الحليل m⁺.
نعلم أن p + q = 1 وأن $f(mm) = f(m) = q^2$

لنحسب اذن q: (q تساوي جدر تردد الأفراد المصابين في الساكنة أي f(mm))

$$q = \sqrt{3.3 \cdot 10^{-4}} = 0.018$$

$$P = 1 - q = 1 - 0.018 = 0.982$$

(3) نعلم أن تردد الأفراد مختلفي الاقتران f(m⁺m) هو 2pq، ومنه:

$$f(m^+m) = 2 \times (0.982 \times 0.018) = 0.035$$

ب - حالة تساوي السيادة. (أنظر الوثيقة 13، 1)

الوثيقة 13: النظام الدموي MN عند الإنسان

- 1 عند الإنسان تخضع الفصيلة الدموية في النظام MN لتعبير حليلين متساويي السيادة M و N. أعطت دراسة أجريت على 730 شخص بريطاني النتائج الإحصائية التالية: $[N] 492 + [M] 22 + [MN] 216$.
- (1) أحسب تردد الأنماط الوراثية في هذه الساكنة.
- (2) أحسب تردد الحليلين M و N.
- إذا اعتبرنا أن هذه الساكنة في حالة توازن Hardy – Weinberg،
- (3) أحسب التردد المنتظر لكل من الأنماط الوراثية.
- (4) أحسب عدد كل من الأنماط الوراثية المنتظر حسب قانون Hardy – Weinberg.
- (5) هل تعتبر هذه الساكنة في حالة توازن (تأكد من ذلك باستعمال اختبار التطابقية χ^2).

- 2 عند سلالة من الماعز، نجد ثلاثة مظاهر خارجية فيما يخص لون الفرو. فهناك اللون الأسود [NN]، واللون الأبيض [BB]، واللون الرمادي [NB]، الذي يدل على تساوي السيادة بين الحليل المسؤول عن اللون الأبيض (B)، والحليل المسؤول عن الأسود (N). داخل ساكنة تتكون من 10000 فرد، تم احصاء 3000 فرد [NN]، و 1000 فرد [NB]، و 6000 فرد [BB]. بتطبيقك نفس المراحل المعتمدة في الجزء 1 من هذا التمرين، بين هل هذه الساكنة هي في حالة توازن ؟ .

(1) تردد مختلف الأنماط الوراثية في هذه الساكنة:

$$D = f(NN) = \frac{\text{عدد الأفراد NN}}{\text{مجموع الأفراد}} = \frac{492}{730} = 0.67 \Rightarrow f(MM) = 0.67$$

$$R = f(MM) = \frac{\text{عدد الأفراد MM}}{\text{مجموع الأفراد}} = \frac{22}{730} = 0.03 \Rightarrow f(NN) = 0.03$$

$$H = f(MN) = \frac{\text{عدد الأفراد MN}}{\text{مجموع الأفراد}} = \frac{216}{730} = 0.30 \Rightarrow f(MN) = 0.30$$

(2) تردد الحليلين M و N :

$$f(N) = D + \frac{H}{2} = 0.03 + \frac{0.30}{2} = 0.18 \Rightarrow f(N) = p = 0.18$$

$$f(M) = R + \frac{H}{2} = 0.67 + \frac{0.30}{2} = 0.82 \Rightarrow f(M) = q = 0.82$$

$$p + q = 0.18 + 0.82 = 1$$

(3) باعتبار أن هذه الساكنة في حالة توازن، نقوم بحساب تردد الأنماط الوراثية النظري (المتوقع، المنتظر) باستعمال معادلة Hardy - Weinberg $(p^2 + 2pq + q^2)$.

★ تردد NN المنتظر يساوي p^2 ويتمثل في $(0.18)^2$ أي 0.032 $\Leftrightarrow f(NN) = 0.032$

★ تردد MM المنتظر يساوي q^2 ويتمثل في $(0.82)^2$ أي 0.673 $\Leftrightarrow f(MM) = 0.673$

★ تردد MN المنتظر يساوي $2pq$ ويتمثل في $(2 \times 0.18 \times 0.82)$ أي 0.295 $\Leftrightarrow f(MN) = 0.295$

(4) عدد الأنماط الوراثية النظري :

عدد الأفراد الحاملين لنمط وراثي يساوي تردد هذا النمط مضروب في عدد أفراد الساكنة:

$$\begin{aligned} \star & \text{ عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي NN هو } p^2 \times N = 0.032 \times 730 = 24 \\ \star & \text{ عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي MN هو } 2pq \times N = 0.295 \times 730 = 215 \\ \star & \text{ عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي MM هو } q^2 \times N = 0.673 \times 730 = 491 \end{aligned}$$

(5) اختبار التوازن :

★ حساب قيمة χ^2 :

في حالة 3 أنماط وراثية NN و MN و MM يحسب χ^2 على الشكل التالي:

$$\chi^2 = (E_{NNO} - E_{Nnt})^2 / E_{Nnt} + (E_{MMO} - E_{MMt})^2 / E_{MMt} + (E_{MNO} - E_{Mnt})^2 / E_{Mnt}$$

E_o = الأعداد الملاحظة E_t والأعداد النظرية

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \frac{(22 - 24)^2}{24} + \frac{(492 - 491)^2}{491} + \frac{(216 - 215)^2}{215} \\ &= 0.023 + 0.166 + 0.0046 = 0.173 \end{aligned}$$

★ حساب قيمة درجة الحرية ddl :

$$\begin{aligned} \text{ddl} &= \text{عدد الحلقات} - \text{عدد الأنماط الوراثية} \\ &= 3 - 2 \\ &= 1 \end{aligned}$$

★ احتمال الخطأ α يساوي 0.05 أي 5 %

★ قيمة χ^2 العتبة المقروءة في جدول الوثيقة 2 لوحة 4 هي 3.84

$$\chi^2_{\text{العتبة المحسوبة}} < \chi^2_{\text{العتبة المقروءة}} \left\{ \begin{array}{l} \text{قيمة } \chi^2_{\text{العتبة المقروءة}} = 3.84 \\ \text{قيمة } \chi^2_{\text{العتبة المحسوبة}} = 0.05 \end{array} \right.$$

نلاحظ أن القيمة المحسوبة لـ χ^2 اصغر بكثير من العتبة إذن ليس هناك فرق بين النتائج الملاحظة والنتائج النظرية، فنقول بذلك أن هذه الساكنة تخضع لتوازن Hardy-Weinberg.

خلاصة :

في أغلب الحالات يمكن نموذج Hardy-Weinberg من إعطاء فكرة مهمة عن البنية الوراثية للساكنات الطبيعية لأن فرضية التزاوجات بالصدفة غالباً ما تحترم و تأثيرات الطفرات و الهجرة والانتقاء ليست بالدرجة التي يمكنها إحداث اختلاف بين ترددات الأنماط الوراثية و نموذج Hardy-Weinberg و من تم يمكن استعمال هذا القانون لوضع توقعات في عدة مجالات نذكر من بينها المجال الطبي.

المثال الثاني : اختبار توازن ساكنة (أنظر الوثيقة 13 ، 2)

- $f(B) = p ((6000 + 1000)/2)/10000 = 0.65$
- $f(N) = q ((3000 + 1000)/2)/10000 = 0.35$

• لنحسب تردد الأنماط الوراثية الثلاثة بتطبيق الصيغة الرياضية لقانون Hardy-Weinberg:

- $F(BB) = p^2 = (0.65)^2 = 0.4225$
- $F(NB) = 2pq = 2 \times 0.35 \times 0.65 = 0.455$
- $F(NN) = q^2 = (0.35)^2 = 0.1225$

• لنحسب عدد الأفراد النظري بالنسبة للمظاهر الخارجية الثلاثة، وذلك بحساب جداء التردد بعدد أفراد الساكنة:

$$\begin{aligned} [NN] &= 0.4225 \times 10000 = 4225 && : \text{ عدد } [NN] \checkmark \\ [NB] &= 0.4550 \times 10000 = 4550 && : \text{ عدد } [NB] \checkmark \\ [BB] &= 0.1225 \times 10000 = 1225 && : \text{ عدد } [BB] \checkmark \end{aligned}$$

• لنحسب χ^2 بتطبيق المعادلة $\chi^2 = \sum((Ho - Et)^2 / Et)$

$$\begin{aligned} \text{عدد الأفراد الملاحظ بالنسبة لمظهر خارجي معين} &= Eo \checkmark \\ \text{عدد الأفراد النظري بالنسبة لمظهر خارجي معين} &= Et \checkmark \end{aligned}$$

[BB]	[NB]	[NN]	المظهر الخارجي
6000	1000	3000	عدد الأفراد الملاحظ
1225	4550	4225	عدد الأفراد النظري (المنتظر)

$$\chi^2 = ((3000 - 4225)^2/4225) + ((1000 - 4550)^2/4550) + ((6000 - 1225)^2/1225)$$

$$\chi^2 = 6087.42$$

تساوي درجة الحرية ddl عدد الأنماط الوراثية ناقص عدد الحليلات أي (3-2=1).

من خلال جدول χ^2 النظري وبدلالة $\alpha = 0.05$ ، يتبين أن χ^2 النظري (3.84) يقل بكثير عن χ^2 الذي تم حسابه (6087.42). ما يعني أن هناك فرقا شاسعا بين أعداد الأفراد بالنسبة للمظاهر الخارجية الملاحظة والمنتظرة. وبالتالي نستنتج أن الساكنة غير متوازنة، أي لاتخضع لقانون Hardy-Weinberg. وبعبارة أخرى تردد الحليلات غير مستقر عبر الأجيال.

تمرين تطبيقي:

داخل ساكنة من نباتات شب الليل، تم انجاز دراسة احصائية تهتم لون التويجات في الأزهار. ويبين الجدول التالي نتائج الدراسة:

المظهر الخارجي	تويجات حمراء	تويجات وردية	تويجات بيضاء	العدد الاجمالي للساكنة
عدد النباتات	3	44	55	102

نشير الى أن صفة لون التويجات تخضع لمورثة محمولة على صبغي لاجنسي، وذات حليلين متساويي السيادة: الحليل المسؤول عن اللون الأبيض (B)، والحليل المسؤول عن اللون الأحمر (R). ويجسد اللون الوردي المظهر الخارجي الوسيط.
السؤال: استعمل اختبار χ^2 لتحديد هل الساكنة متوازنة أم لا.

حل التمرين:

- حساب تردد المظاهر الخارجية: $f(B) = p = (55 + (44/2)) / 102 = 0.755$
- $f(R) = q = (3 + (44/2)) / 102 = 0.245$
- حساب تردد المظاهر الخارجية / الأنماط الوراثية المنتظرة، وذلك بتطبيق صيغة الرياضية لـ H-W
- $f(BB) = p^2 = (0.755)^2 = 0.57 = 58/102$
- $f(RB) = 2pq = (2 \times 0.245 \times 0.755) = 0.37 = 38/102$
- $f(RR) = q^2 = (0.245)^2 = 0.06 = 6/102$
- وضع جدول المقارنة بين أعداد المظاهر الخارجية الملاحظة والمنتظرة (النظرية):

المظهر الخارجي	[BB]	[RB]	[RR]
عدد الأفراد الملاحظ	55	44	3
عدد الأفراد النظري	58	38	6

- حساب χ^2 : $\chi^2 = ((55-58)^2/58) + ((44-38)^2/38) + ((3-6)^2/6)$
- $\chi^2 = 2.6$
- درجة الحرية $ddl = 3 - 2 = 1$ ، وبالنسبة ل $\alpha = 0.05$ فقيمة χ^2 النظري هي 3.84.

- نلاحظ أن قيمة χ^2 النظري تفوق قيمة χ^2 التي تم حسابها. إذن فأعداد الأفراد الملاحظة تتطابق مع أعداد الأفراد المنتظرة. ويدل هذا التطابق على أن الساكنة متوازنة.

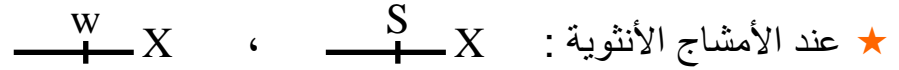
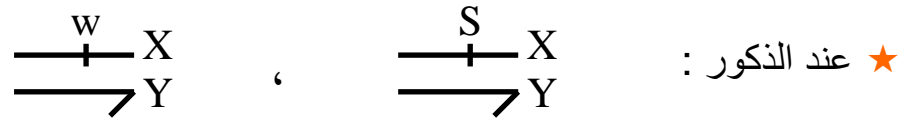
② حالة مورثات مرتبطة بالصبغيات الجنسية:

أ – مثال أول : عند ذبابة الخل. (أنظر الوثيقة 14)

الوثيقة 14 : انتقال مورثة مرتبطة بالصبغي الجنسي X

- ترتبط صفة لون العيون عند ذبابة الخل بمورثة محمولة على الصبغي الجنسي X تتضمن حليلين: الحليل w متح مسؤول عن العيون البيضاء. والحليل S ساند مسؤول عن العيون الحمراء.
- نضع داخل قفص الساكنة (قفص يمكن من تتبع تطور تردد الأنماط الوراثية وتردد الحليلات) عددا متساويا من ذكور وإناث ذبابات الخل. نعتبر أن هذه الساكنة تتوالد وفق النظام البنمكتي Panmixie (تزاوج بالصدفة)، وأنها في حالة توازن لا تعرف الطفرات ولا الانتقاء الطبيعي، وأنها كبيرة جدا لتطبيق قوانين الاحتمالات، وأن ترددات الحليلين S و w هي على التوالي p و q في الجيل الأول G_0 .
- (1) أعط الأنماط الوراثية الممكنة عند أفراد هذه الساكنة.
 - (2) أحسب تردد الأنماط الوراثية في الجيل الثاني G_1 . ثم قارن نتائج تطبيق قانون Hardy – Weinberg عند كل من الذكور والإناث.
 - (3) ماذا تستنتج من تطبيق قانون H – W في حالة مورثة مرتبطة بالجنس.
 - (4) يساعده تطبيق قانون Hardy – Weinberg على توقع انتشار بعض الأمراض عند الإنسان. وضح ذلك.

(1) الأنماط الوراثية الممكنة داخل هذه الساكنة :



(2) تردد الأنماط الوراثية في الجيل الثاني G_1 :

★ تردد الحليلات عند الذكور وعند الإناث متساو (الساكنة في حالة توازن)

$$f(w) = q \quad , \quad f(S) = p \quad , \quad p + q = 1$$

★ شبكة التزاوج في هذه الساكنة :

♀ \ ♂	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \end{array} p$	$\begin{array}{c} \text{w} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \end{array} q$	$\text{---} \text{Y}$
$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \end{array} p$	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \\ \text{---} \\ \\ \text{S} \end{array} p^2$	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \\ \text{---} \\ \\ \text{w} \end{array} pq$	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \text{Y} p$
$\begin{array}{c} \text{w} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \end{array} q$	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \\ \text{---} \\ \\ \text{w} \end{array} pq$	$\begin{array}{c} \text{w} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \\ \text{---} \\ \\ \text{w} \end{array} q^2$	$\begin{array}{c} \text{w} \\ \\ \text{---} \\ \\ \text{X} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \text{Y} q$

★ تردد الأنماط الوراثية عند الجيل الثاني G_1 :

$$\begin{array}{l} \text{عند الإناث :} \\ f(X_w X_w) = q^2 \quad , \quad f(X_s X_w) = 2pq \quad , \quad f(X_s X_s) = p^2 \\ \text{عند الذكور :} \\ f(X_w Y) = q \quad , \quad f(X_s Y) = p \end{array}$$

(3) عند الإناث تردد الأنماط الوراثية خاضع لقانون Hardy – Weinberg ، أما عند الذكور فإن تردد الأنماط الوراثية يساوي تردد الحليلات.

4) إذا كانت المورثة مرتبطة بالجنس، فتتردد الأنماط الوراثية عند الإناث يبقى خاضعا لقانون H-W، حيث
 $f(X_A X_A) = p^2$, $f(X_A X_a) = 2pq$, $f(X_a X_a) = q^2$ (A حليل سائد و a حليل متنح). أما عند
 الذكور فتتردد الأنماط الوراثية يساوي تردد الحليلات.

5) عند الذكور يمكن تقدير تردد المرض بشكل مباشر لأن تردد المظاهر الخارجية يعبر عن تردد الحليلات.
 أما عند الإناث فنستعمل شبكة التزاوج. (أنظر الجدول التالي)

الحصيلة	أنثى		ذكر		
	غير مصابة	مصابة	غير مصاب	مصاب	
$q > q^2$ الإناث اقل إصابة من الذكور	$p^2 + 2pq$	q^2	p	q	حالة حليل متنح
$p^2 + 2pq > p$ الإناث أكثر إصابة من الذكور	q^2	$p^2 + 2pq$	q	p	حالة حليل سائد

ب - تمرين تطبيقي. (أنظر الوثيقة 15)

الوثيقة 15 : تمرين تطبيقي
<p>الدلتونية عيب في إحصار الألوان، ويتعلق الأمر بشذوذ مرتبط بمورثة محمولة على الصبغي الجنسي X. ينتج هذا العيب عن حليل d متنحي. بينت دراسة تردد الدلتونية عند ساكنة مكونة من أطفال، أن تردد الحليل المسؤول عن المرض هو $q = 0.1$.</p> <p>1) أحسب نسبة ظهور المرض عند كل من الإناث والذكور في هذه الساكنة. ماذا تستنتج ؟</p> <p>داء Alport (الكلية) مرض وراثي سائد مرتبط بالصبغي الجنسي X. تردد الحليل المسؤول عن المرض عند ساكنة هو $p = 0.087$.</p> <p>2) أحسب نسبة ظهور المرض عند كل من الإناث والذكور في هذه الساكنة. ماذا تستنتج ؟</p>

1) نحسب نسبة ظهور المرض:

★ تكون الأنثى مصابة إذا كانت ثنائية التنحي: $f(X_d, X_d) = q^2 = (0.1)^2 = 0.01$

★ بالنسبة للذكور سيكون تردد المرض مساو لتردد الحليل: $f(X_d, Y) = q = 0.1$
 وهكذا فنسبة ظهور المرض عند الإناث هي 1 %، ونسبة ظهور المرض عند الذكور هي 10 %، نستنتج من هذا أنه في حالة مرض مرتبط بحليل متنحي تكون نسبة احتمال ظهور المرض عند الذكور مرتفعة جدا بالمقارنة مع نسبتها عند الإناث.

2) نحسب نسبة ظهور المرض :

★ تردد المرض عند الإناث : بما أن الحليل المسؤول عن المرض سائد، ومحمول على الصبغي X فان الأنثى ستكون مصابة في حالة تشابه الاقتران ($X_A X_A$) و في حالة اختلاف الاقتران ($X_A X_n$) :

$$\text{ادن } f(X_A X_A) = p^2 \quad \text{و} \quad f(X_A X_n) = 2pq$$

ومنه فان تردد المرض عند الإناث يساوي $p^2 + 2pq$

$$p + q = 1 \Leftrightarrow q = 1 - p = 1 - 0.087 = 0.913$$

تردد المرض عند الإناث يساوي: $(0.087)^2 + 2(0.087 \times 0.913) = 0.166$
 أي بنسبة 16.6 %

★ تردد المرض عند الذكور : سيكون الذكر مصابا في حالة حملة الصبغي X_A .

$$f(X_A Y) = p = 1 / 104 = 0.087 \quad \text{ادن}$$

أي بنسبة 8.70 %

وهكذا فنسبة ظهور المرض عند الإناث هي 16.6 %، ونسبة ظهور المرض عند الذكور هي 8.7 %، نستنتج من هذا أنه في حالة مرض مرتبط بحليل سائد تكون نسبة احتمال ظهور المرض عند الإناث مرتفعة بالمقارنة مع نسبتها عند الذكور.

ج - تمرين منزلي : لون الفرو عند القطط. (أنظر الوثيقة 16)

الوثيقة 16 : انتقال صفة لون الفرو عند القطط																			
<p>تتحكم في لون الفرو عند القطط مورثة مرتبطة بالصبغي الجنسي X. لهذه المورثة حليلين :</p> <ul style="list-style-type: none"> • حليل C_n يمكن من تركيب الميلانين، مما يعطي لونا أسودا للفرو. • حليل C_j يكبح تركيب الميلانين، مما يعطي لونا أصفرا للفرو. <p>عند عينة من القطط حصلنا على النتائج المبينة على الجدول أمامه :</p>																			
<p>1) أعط النمط الوراثي المناسب لكل مظهر خارجي.</p> <p>2) فسر غياب المظهر الخارجي المبقع بالأصفر والأسود عند الذكور.</p> <p>3) أحسب تردد الحليل C_n وتردد الحليل C_j عند هذه العينة.</p> <p>4) هل تردد الحليل C_n متطابق عند الجنسين ؟ علل إجابتك.</p> <p>5) أحسب تردد القطات بفرو أسود في الجيل الموالي في حالة ما إذا تمت التزاوجات بشكل عشوائي على مستوى العينة المدروسة.</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">المظهر الخارجي للقطط</th> <th></th> </tr> <tr> <th>فرو أسود</th> <th>فرو مبقع بالأصفر والأسود</th> <th>فرو أصفر</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>300</td> <td>0</td> <td>50</td> <td>ذكور</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>50</td> <td>10</td> <td>إناث</td> </tr> </tbody> </table>				المظهر الخارجي للقطط				فرو أسود	فرو مبقع بالأصفر والأسود	فرو أصفر		300	0	50	ذكور	300	50	10	إناث
المظهر الخارجي للقطط																			
فرو أسود	فرو مبقع بالأصفر والأسود	فرو أصفر																	
300	0	50	ذكور																
300	50	10	إناث																

1) النمط الوراثي المناسب لكل مظهر خارجي هو :

المظهر الخارجي	فرو أسود ♂	فرو أسود ♀	فرو مبقع ♀	فرو أصفر ♂	فرو أصفر ♀
النمط الوراثي	$\frac{C_n}{C_n} X \rightarrow Y$	$\frac{C_n}{C_n} X$	$\frac{C_n}{C_j} X$	$\frac{C_j}{C_j} X$	$\frac{C_j}{C_j} X$

2) يرجع غياب المظهر الخارجي المبقع إلى كون هذا المظهر يتطلب وجود حليلان C_n و C_j ، بينما الذكور لا يتوفرون إلا على صبغي X واحد، وبالتالي لا يمكن أن نجد الحليلان معا عند الذكور.

3) اعتمادا على الإجابة عن السؤال 1 يمكن القيام بالحساب التالي:

$$q = ((300 \times 2) + 50 + 300) / ((360 \times 2) + 350) = 0.887 \quad \text{تردد الحليل } (C_n) \text{ يساوي } q$$

$$p = 1 - q = 1 - 0.887 = 0.113 \quad \text{ومنه تردد الحليل } (C_j) \text{ يساوي } p$$

4) لا لأن الحليل C_n موجود في نسختين عند الأنثى $[C_n]$ ، وفي نسخة واحدة عند الأنثى $[C_n, C_j]$ ، أما الذكور $[C_n]$ فيتوفرون على نسخة واحدة من الحليل C_n .

$$\text{ومنه فان تردد الحليل } C_n \text{ عند الإناث هو : } ((300 \times 2) + 50) / (360 \times 2) = 0.90$$

$$\text{وتردد الحليل } C_n \text{ عند الذكور هو : } 300 / 350 = 0.86$$

5) يرجع الحصول على قطرات بفرود أسود في الجيل الموالي إلى حدوث إخصاب بين مشيج أنثوي حامل للحليل Cn وآخر ذكر حامل لنفس الحليل.

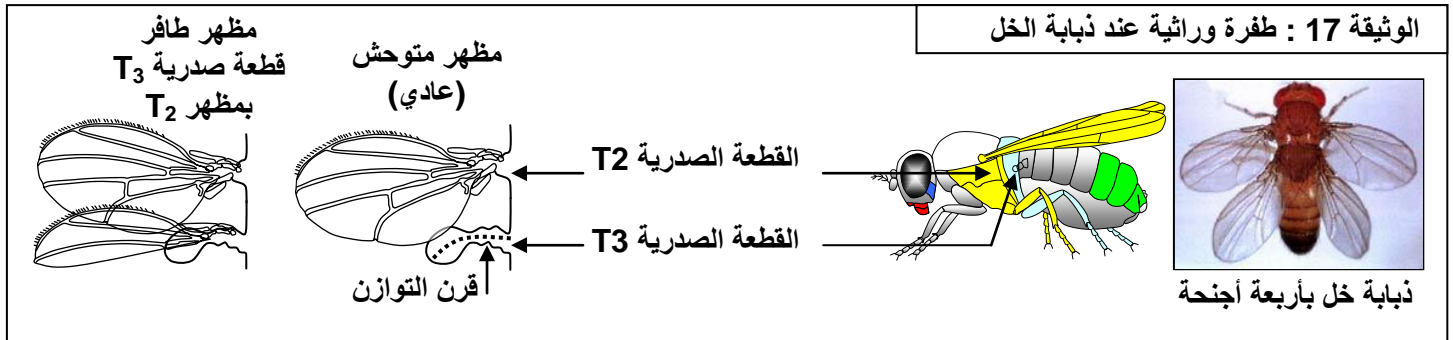
نعلم أن تردد الحليل Cn عند الإناث هو 0.9، بينما تردد نفس الحليل عند الذكور هو 0.86، ومنه فإن النسبة المطلوبة هي $0.90 \times 0.86 \times 100 = 77.4\%$

V - عوامل تغير الساكنة :

① الطفرات وتأثيراتها في المظهر الخارجي:

أ - أمثلة لبعض الطفرات.

★ يرتبط تشكل القطع الصدرية عند ذبابة الخل بتدخل آلاف المورثات (أنظر الوثيقة 17). في بعض الحالات تتخذ القطعة الصدرية T3 مظهر القطعة الصدرية T2، فتعطي ذبابة خل بأربعة أجنحة.



★ يصاب الجلد عند الإنسان بأورام بفعل تأثيرات الأشعة البنفسجية للشمس على مورثات خلايا البشرة، ولا تنتقل هذه الطفرات إلى الخلف: إنها طفرات جسدية.

★ يرجع غياب اللون للفرود عند النمر الأبيض إلى طفرة وراثية تسمى Leucisme.

يتبين من هذه الأمثلة أن الطفرات هي مصدر للتغير الوراثي، فهي تمكن من ظهور حليلات جديدة تسمى بالحليلات الطافرة، تكون مسؤولة عن ظهور مظاهر خارجية جديدة داخل الساكنة.

ب - تعريف الطفرة :

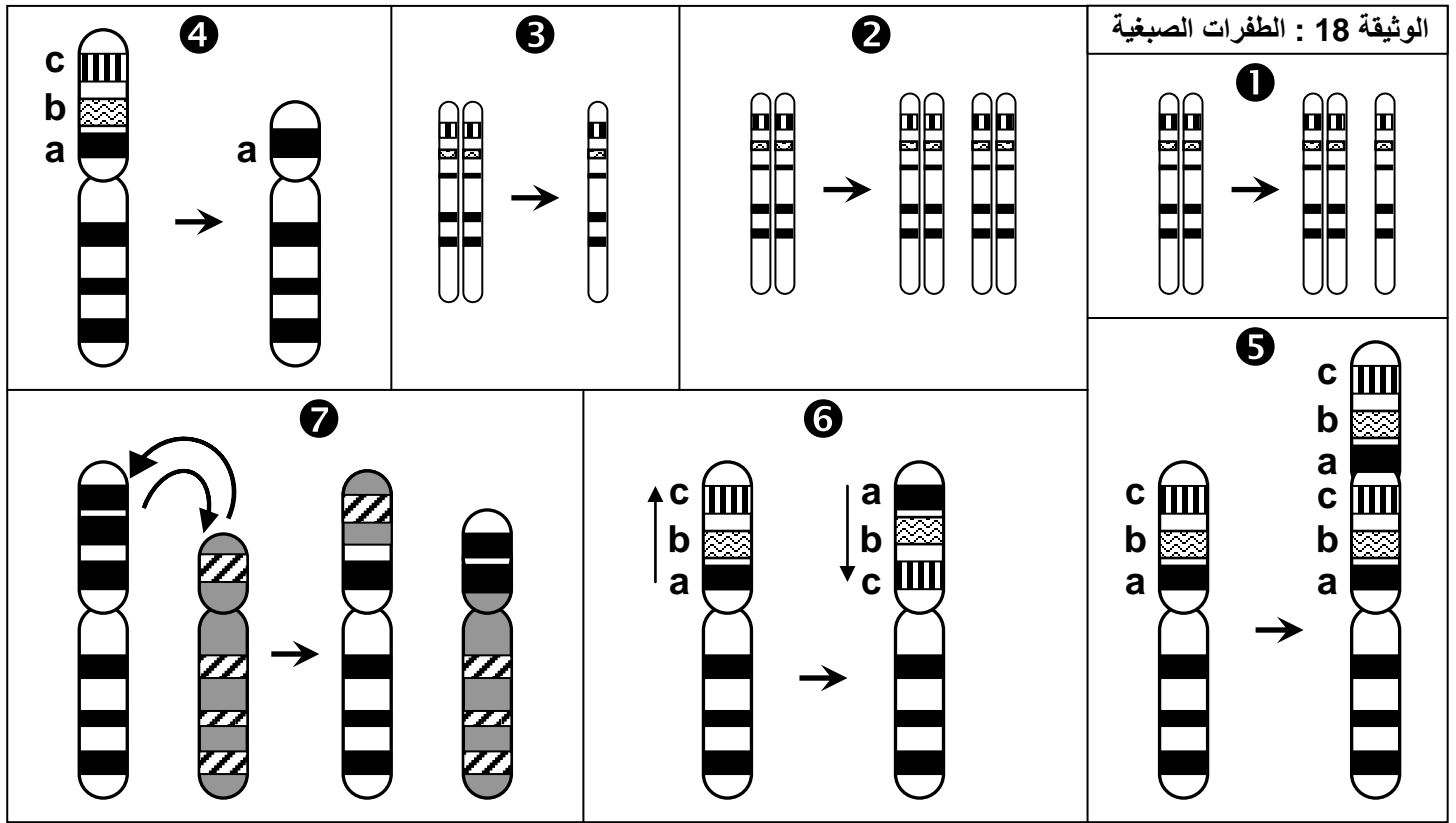
الطفرة هي تغير وراثي تلقائي يصيب المادة الوراثية على مستوى المتتالية النيكلوتيدية لجزيئة ADN، فتؤدي إلى تغير البرنامج الوراثي وبالتالي تغير البروتينات ثم تعدد الأشكال الخارجية لأفراد الساكنة. يمكن أن تصيب الطفرات مختلف خلايا الجسم، لكنها حينما تصيب الخلايا الجنسية، تنتقل الطفرة إلى الخلف، فننكلم عن طفرة وراثية (Mutation génétique).

ج - أنواع الطفرات .

نجد نوعين من الطفرات الوراثية:

a - الطفرات الصبغية :

هي تغيرات وراثية في بنية أو عدد الصبغيات، ويمكن أن تصيب قطعة من مورثة أو مورثة بكاملها أو عدة مورثات. تعرف على مختلف أنواع الطفرات الصبغية الممثلة على الوثيقة 18.



★ تغيير عدد الصبغيات :

- ① إضافة صبغي Aneuploïdie.
- ② مضاعفة عدد الصبغيات Polyploïdie.
- ③ ضياع صبغي Monoploïdie.

★ تغيير بنية الصبغي :

- ④ ضياع قطعة من الصبغي، عموماً يكون لها تأثير مميت (ضياع مورثات).
- ⑤ مضاعفة قطعة من الصبغي، الشيء الذي يزيد عدد نسخ مورثة معينة.
- ⑥ انقلاب قطعة من الصبغي، يؤدي إلى تغيير في ترتيب المورثات.
- ⑦ تبادل قطع من الصبغي بين صبغيين غير متماثلين.

b – الطفرات الموضعية : (Ponctuelle) (أنظر الوثيقة 19)

الوثيقة 19 : الطفرات الموضعية

ينتج الخضاب الدموي العادي (β - globuline) عند الإنسان بواسطة الحليل HbA. غير أنه توجد مجموعة من الحليلات الطافرة المسببة لأمراض مرتبطة بفقر الدم عند الإنسان. تمثل المتتاليات النوكلويدية أسفله حليلات مختلفة (السلسلة غير المنسوخة) لمورثة β - globuline، ومنتالية الأحماض الأمينية التي ترمز إليها.

- (1) قارن بين أنواع الطفرات التي تصيب مورثة β - globuline وفسر تأثيرها في بنية البروتين.
- (2) تعرف مختلف أصناف الطفرات الموضعية من خلال ملأ الجدول أسفله بما يناسب.
- (3) أبرز أهمية الطفرات الموضعية في تعدد الحليلات وتعدد المظاهر الخارجية.

CAC	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TGG	GGC	AAG	GTG	HbA	المورثة العادية
His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu	Thp	Gly	Lys	Val	HbA	البروتين العادي

CA T	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TGG	GGC	AAG	GTG	Hba ₁	الحليل الطافر
His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu	Thp	Gly	Lys	Val	HbA	البروتين

CAC	CTG	ACT	CCT	G T G	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TGG	GGC	AAG	GTG	HbS	الحليل الطافر
His	Leu	Thr	Pro	Val	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu	Thp	Gly	Lys	Val	HbS	البروتين

CAC	CTG	ACT	CCT	AAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TGG	GGC	AAG	GTG	HbC	الحليل الطافر
His	Leu	Thr	Pro	Lys	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu	Thp	Gly	Lys	Val	HbC	البروتين

CA T	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TAG	GGC	AAG	GTG	Tha ₂	الحليل الطافر
His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu					Tha ₂	البروتين

- A

CAC	CTG	ACT	CCT	GGG	AGA	AGT	CTG	CCG	TTA	CTG	CCC	TGT	GGG	GCA	AGG	TGA	Tha ₃	الحليل الطافر
His	Leu	Thr	Pro	Glu	Arg	Ser	Leu	Pro	Leu	Leu	Pro	Cys	Gly	Ala	Arg		Tha ₃	البروتين

+ C

CAC	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	C T C	TGC	CGT	TAC	TGC	CCT	GTG	GGG	CAA	GGT	Tha ₄	الحليل الطافر
His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Lru	Cys	Arg	Tyr	Cys	Pro	Val	Gly	Gln	Gly	Tha ₄	البروتين

1) تتجلى الطفرات التي تصيب مورثة β - globuline في استبدال أو إضافة أو حذف قاعدة ازوتية، الشيء الذي يؤدي إلى تغيير قراءة المتتالية الوراثية. ويؤدي إلى توقف تركيب البروتين، أو تركيب بروتين مخالف. فينتج عن ذلك أمراضا مختلفة.

2) ملأ الجدول :

الحليل	نوع التغير على مستوى الحليل	النتائج على مستوى البروتين	صنف الطفرة
Hba ₁	استبدال قاعدة بأخرى (استبدال C ب T)	لا شيء	طفرة صامتة Silencieuse
HbS	استبدال القاعدة الأزوتية 14 : T ب A	استبدال حمض أميني بآخر	المعنى الخاطئ Faux sens
HbC	استبدال القاعدة الأزوتية 13 : A ب G	استبدال حمض أميني بآخر	المعنى الخاطئ Faux sens
Tha ₂	استبدال القاعدة الأزوتية 41 : A ب G	توقف القراءة في موقع الاستبدال	بدون معنى Non sens
Tha ₃	ضياح القاعدة الأزوتية 14 (A)	تغير طور القراءة : استبدال كافة الأحماض الأمينية بعد موقع الاستبدال	ضياح Frame - shift
Tha ₄	إضافة القاعدة الأزوتية 22 (C)	تغير طور القراءة	إضافة Frame - shift

3) الطفرة هي ظاهرة يمكن من ظهور حليلات جديدة، وبذلك تعد مصدر التغير الوراثي داخل الساكنة الطبيعية لكونها مسؤولة عن ظهور أنماط وراثية جديدة.

د - العلاقة بين نسبة الطفرات وتردد الحليلات داخل الساكنة. أنظر الوثيقة 20.

$f(A) = p = \dots\dots\dots$
 $f(a) = q = \dots\dots\dots$

$f(A) = p = \dots\dots\dots$
 $f(a) = q = \dots\dots\dots$

الوثيقة 20 : تأثير الطفرات في المحتوى الجيني للساكنة.	
يعطي الجدول أسفله نسبة الطفرات المقاسة بالنسبة لمورثة معينة عند أربعة متعضيات مختلفة. ماذا تلاحظ ؟	
يعطي الرسم أمامه نموذج تفسيري لتأثير الطفرات على المحتوى الجيني للساكنة. أتمم هذا الشكل ثم استنتج.	
المتعضي	نسبة الطفرة في الجيل
حماة العائية	$2.5 \cdot 10^{-9}$
بكتيريا <i>Escherichia Coli</i>	$2 \cdot 10^{-8}$
الذرة	$2.9 \cdot 10^{-4}$
ذبابة الخل	$2.6 \cdot 10^{-5}$

★ نلاحظ أن نسبة الطفرات ضعيفة جداً، لأن تغير تردد الحليلات داخل الساكنة بواسطة الطفرات المتكررة يكون ضعيفاً جداً خلال الفترة التي تتضمن أجيالاً محدودة، غير أنها تصبح مهمة مع تعدد الأجيال.

★ تكون الطفرات تبادلية، وعياله تحدد نسبة الطفرة من خلال نسبة الطفرة من A نحو a ناقص نسبة الطفرة العكسية من a نحو A. (نسبة الطفرة هي نسبة الطفرة من A نحو a ناقص الطفرة من a نحو A).

★ نستنتج أن الطفرة هي ظاهرة تمكن من ظهور حليلات جديدة، وتعد بذلك مصدراً للتغير الوراثي داخل الساكنة.

② الانتقاء الطبيعي La sélection naturelle.

أ - مفهوم الانتقاء الطبيعي. أنظر الوثيقة 21

الوثيقة 21 : بعض مظاهر الانتقاء الطبيعي	
<p>أ - ليس لمختلف الكائنات المؤهلات نفسها على البقاء قيد الحياة</p>	<p>ب - اختيار الشريك الجنسي يتم بناء على مجموعة من الخصائص التي ترتبط بالنمط الوراثي للفرد. (استعراض زاهي مميز للريش عند ذكر الطاووس)</p>

استخرج من خلال شكلي هذه الوثيقة أبرز العوامل المتدخل في الانتقاء

تعد خصائص الساكنة المثالية المقترحة من طرف Hardy - weinberg بعيدة عن واقع الساكنة الطبيعية، فليس لجميع أفراد هذه الساكنة القدرة نفسها على إعطاء خلف قادر على العيش.

★ مثال 1 : داخل حميلة بيئية تقوم الحيوانات المفترسة باقتراض حيوانات وبالتالي ليس لمختلف الكائنات المؤهلات نفسها للبقاء على قيد الحياة. (القدرة التفاضلية على العيش)

★ مثال 2 : اختيار الشريك الجنسي يرتبط بخصائص مرتبطة بالنمط الوراثي للفرد. (الاختيار التفاضلي للأزواج)

★ استنتاج : يتبين من المعطيات السابقة أن أقدر الأفراد على العيش وعلى التوالد بشكل أفضل هو الذي يساهم في انتقال المحتوى الجيني بشكل تفاضلي للأجيال الموالية، الشيء الذي سيترتب عنه تغيير في البنية الوراثية للسكان. يسمى تغير تردد الحليلات عبر الأجيال بالانتقاء الطبيعي.

ب - دراسة مثال للانتقاء الطبيعي. أنظر الوثيقة 22

الوثيقة 22 : تغير تردد أرفية السندر حسب اللون

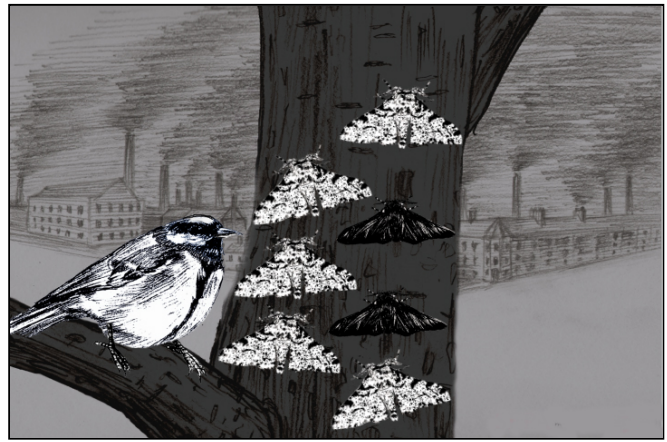
أرفية السندر *Biston betularia* فراشة ليلية تستريح في النهار على أغصان السندر. في إنجلترا وإلى منتصف القرن التاسع عشر، كانت الغالبية الكبرى لهذه الفراشات ذات لون فاتح. لكن بعد ذلك أصبحت الفراشات ذات اللون الداكن أكثر ترددا قرب المناطق الصناعية، بينما ظلت الفراشات ذات اللون الفاتح أكثر انتشارا في الأرياف.

في سنة 1955 قام الباحث *Kettlewell* بإيسام مجموعة من فراشات الأرفية السوداء والبيضاء وأطلقها في منطقتين مختلفتين: منطقة برمنغام *Birmingham* التي تحتوي على أشجار ذات أغصان داكنة بفعل التلوث (الميلانيزم الصناعي *Mélanisme industrielle*)، ومنطقة دورسي *Dorset* التي تحتوي على أشجار غير ملوثة. بعد ذلك عمل على اصطيادها من جديد مع حساب نسب ترددها. يلخص الجدول أسفله نتائج هذه الدراسة:

(1) ماذا تلاحظ فيما يخص توزيع شكلي هذه الفراشة ؟

(2) أوجد تفسيرا لتردد الفراشتين في كل من المنطقتين المدروستين إذا علمت أن هذه الفراشات تستهلك من طرف بعض الطيور.

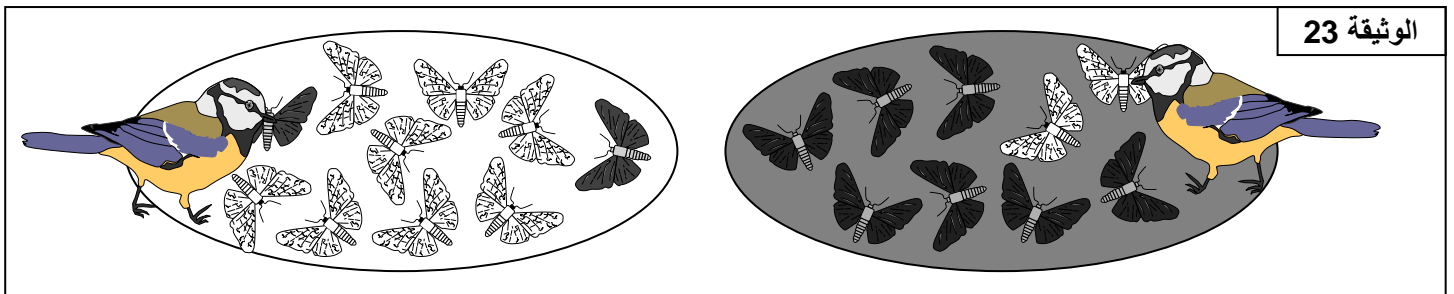
في برمنغام		في دورسي		عدد الفراشات الموسومة والمحرة
فاتحة	داكنة	فاتحة	داكنة	
64	154	496	474	عدد الفراشات الموسومة والمصطادة
16	82	62	30	نسبة الفراشات الموسومة والمصطادة
%	%	%	%	
25	53.2	12.5	6.3	



(1) نلاحظ في منطقة دورسي غير الملوثة يكون تردد الفراشات الفاتحة أكبر من تردد الفراشات الداكنة. بينما في منطقة برمنغام الصناعية يكون تردد الفراشات الداكنة أكبر من تردد الفراشات الفاتحة.

(2) يفسر اختلاف تردد المظاهر الخارجية بين المنطقتين بتأثير الطيور المفترسة:

أنظر الوثيقة 23

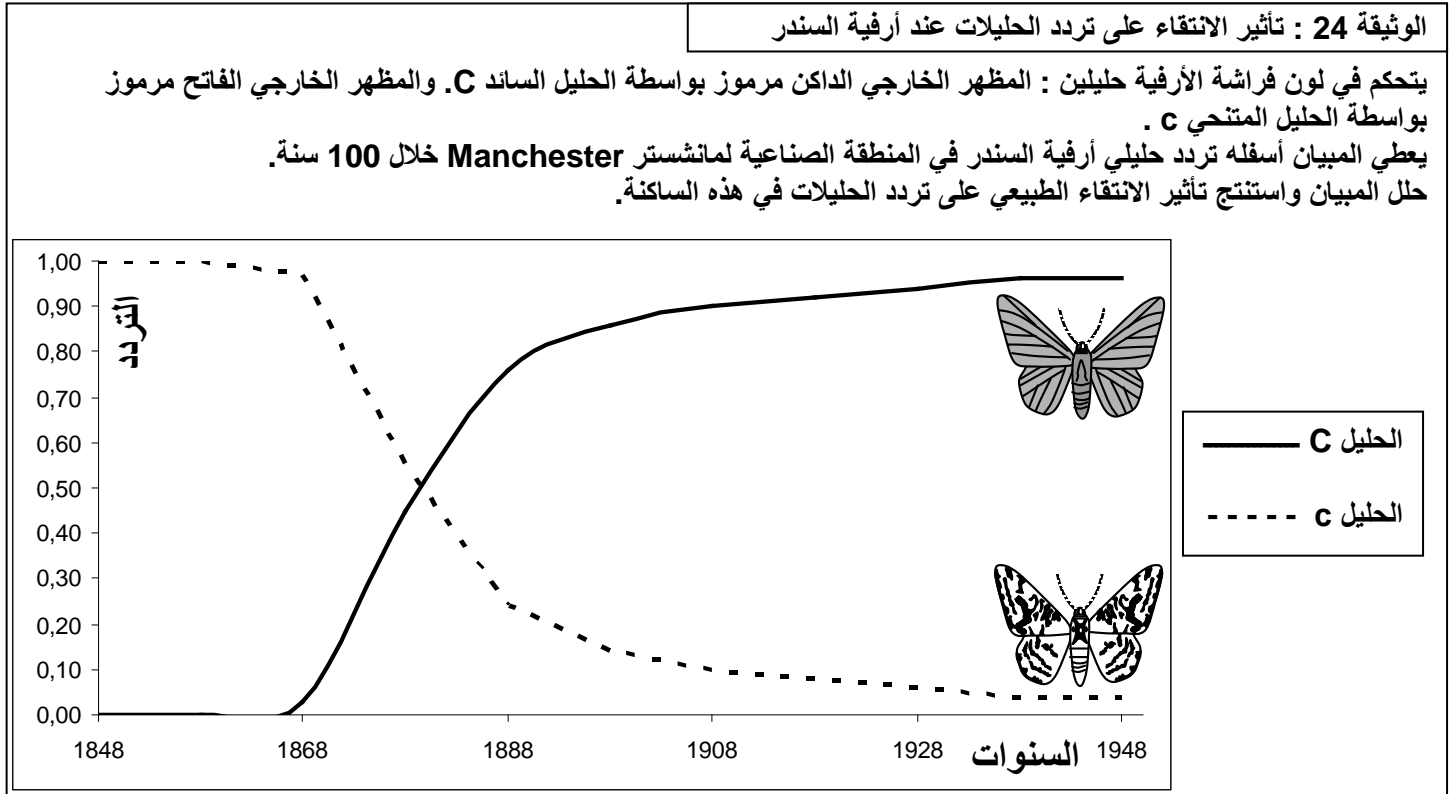


★ في المنطقة الصناعية أصبحت جذوع الأشجار داكنة، مما يجعل من السهل رؤية الفراشات الفاتحة اللون من طرف الطيور المفترسة، فتعرض للاقتراض بنسبة كبيرة.

★ في المنطقة غير الصناعية بقيت جذوع الأشجار فاتحة، فيكون من السهل على الطيور المفترسة رؤية الفراشات الداكنة، وهذا ما يعرض هذه الفئة للاقتراض بنسبة أكبر.

يعود إذن توزيع الفراشات في هذه المناطق إلى اختلاف مؤهلات البقاء عند هذه الفراشات، وهو عامل من عوامل الانتقاء الطبيعي. حيث أن أفراداً بمظهر وراثي معين يكون لديهم احتمال أكبر على البقاء وبالتالي نقل مورثاتهم بشكل تفاضلي للأجيال الموالية.

ج - تأثير الانتقاء الطبيعي على تردد الحليلات. أنظر الوثيقة 24



في ساكنة المنطقة الصناعية انخفض تدريجياً تردد الحليل المتنحي C الذي يرمز للمظهر الفاتح، إلى أن انعدم في سنة 1948. بالمقابل يعوض هذا النقصان في تردد الحليل المتنحي بزيادة تردد الحليل السائد C الذي يوجه المظهر الخارجي الداكن، إلى أن بلغ القيمة 1 (p = 1).

نستنتج من هذه الملاحظات أن ظاهرة الانتقاء الطبيعي تؤثر على تردد الحليلات مع توالي الأجيال، وبذلك تنتشر وتشيع بعض الحليلات فتعطي للأفراد الحاملة لها انتقاء تفاضلياً، في حين تتقلص أخرى وتقرض. وينتج عن كل هذا تغيير في البنية الوراثية للساكنة.

د - القيمة الانتقائية. أنظر الوثيقة 25

الوثيقة 25 : القيمة الانتقائية

القيمة الانتقائية (Valeur sélective) تعبر عن قدرة فرد معين على نقل حليلاته إلى الجيل الموالي. ونميز بين:

- القيمة الانتقائية المطلقة لنمط وراثي معين : هي عدد الأفراد الذين يجنبهم في المعدل كل فرد حامل لهذا النمط الوراثي، والقادرين على العيش وعلى نقل حليلاتهم إلى الجيل الموالي. ويمكن التعبير عنها بالصيغة أمامه :

$$\text{القيمة الانتقائية المطلقة} = \frac{\text{نسبة النمط الوراثي عند الجيل } G_1}{\text{نسبة النمط الوراثي عند الجيل } G_0}$$

- القيمة الانتقائية النسبية: تعطي القيمة 1 للنمط الوراثي ذو أعلى قيمة انتقائية مطلقة. أما بالنسبة لأنماط الوراثة الأخرى، فتساوي القيمة الانتقائية المطلقة للنمط الوراثي المعني مقسومة على القيمة الانتقائية المطلقة للنمط الوراثي الأكثر ارتفاعاً.

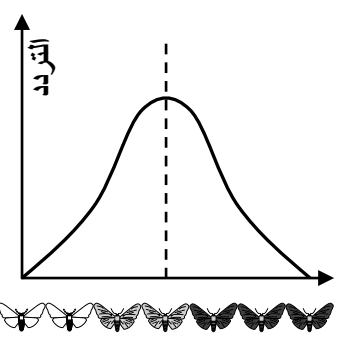
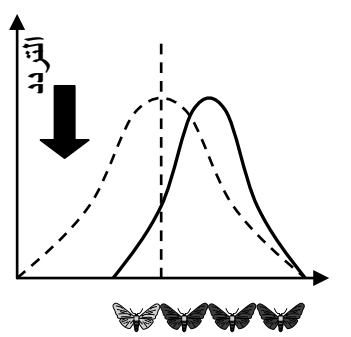
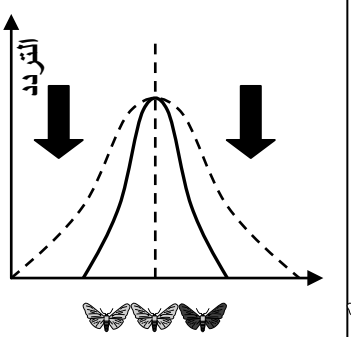
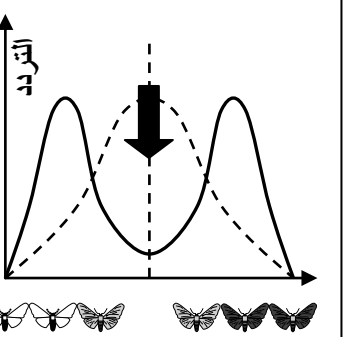
في منطقة صناعية تم إحصاء عدد كل من الفراشات الفاتحة والقاتمة في فترتين متباعدتين فجاءت النتائج على الشكل التالي :

القيمة الانتقائية النسبية	القيمة الانتقائية المطلقة	نسبة الفراشات القادرة على العيش والتوالد	عدد الفراشات المحصاة في نهاية الدراسة	عدد الفراشات المحصاة في بداية الدراسة	
			16	64	الفراشات الفاتحة
			82	154	الفراشات الداكنة

باعتدالك على التعاريف المدرجة في الوثيقة أعلاه، أحسب القيم الانتقائية لكل من الفراشة الفاتحة والداكنة في هذه المنطقة الصناعية، واملأ الجدول، ثم علق على النتائج المحصل عليها.

بناء على القيمة الانتقائية التي تعبر عن قدرة فرد معين على نقل حليلاته إلى الجيل الموالي، يبدو أن الفراشات الداكنة لها قدرة كبيرة على نقل حليلاتها إلى الخلف في المنطقة الصناعية.

هـ - أنواع الانتقاء الطبيعي. أنظر الوثيقة 26

الوثيقة 26: أنواع الانتقاء الطبيعي		يمثل المنحنى المتواصل توزيع المظاهر داخل ساكنة، والمنحنى المتقطع توزيع الساكنة الأصلية		
				
ساكنة أصلية	الانتقاء الاتجاهي	الانتقاء المثبت	الانتقاء التباعدي	
يمثل المنحنى توزيع	
الأنماط داخل الساكنة	

تتوزع المظاهر الخارجية داخل الساكنة حسب نوع الانتقاء الطبيعي اتجاهي، أو مثبت أو تباعدي.

③ الانحراف الجيني Dérive génétique:

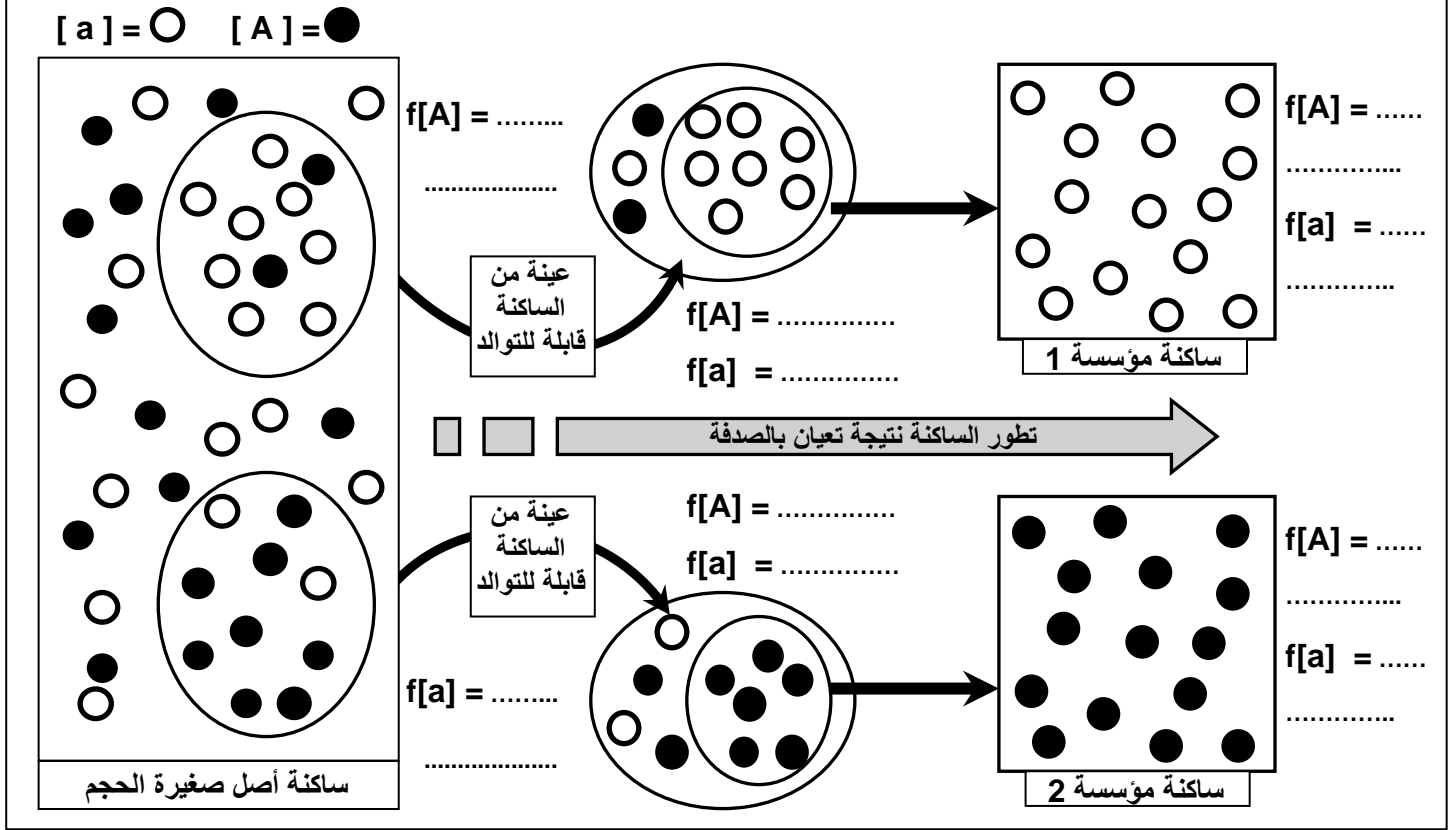
أ - مفهوم الانحراف الجيني. أنظر الوثيقة 27

الوثيقة 27: مفهوم الانحراف الجيني قام Steinberg بدراسة ترتبط بتردد الفصائل الدموية عند ساكنة Les Huttérites، يتعلق الأمر بتجمع عقاندي « Secte »، هاجر من سويسرا إلى روسيا ومن ثم خلال سنة 1880 إلى أمريكا الشمالية حيث كون سلسلة من المستعمرات في Docota و Montana وفي أجزاء قريبة من كندا. يمثل الشكل أ من الوثيقة النتائج التي توصل إليها Steinberg.

الشكل أ		
A	O	الفصيلة الدموية
45 %	تقارب % 29	عند أفراد التجمع العقاندي
% 30 - 40	تفوق % 40	عند أغلب الساكنات الأوروبية والأمريكية

1) قارن بين معطيات الجدول. ماذا تستنتج؟
فسر Steinberg البنية الوراثية لساكنة Les Huttérites بتعرضها لظاهرة تسمى الانحراف الجيني. لتعرف هذه الظاهرة نقترح عليك الرسم التخطيطي أسفله، والذي يمثل نموذجاً تفسيريًا لهذه الظاهرة.

- (2) أحسب تردد مختلف المظاهر الخارجية في هذه الساكنات.
 (3) علق على معطيات هذه الوثيقة موضحا فيما تتجلى ظاهرة الانحراف الجيني.
 (4) على ضوء هذه المعطيات فسر أصل البنية الوراثية المسجلة عند ساكنة Les Huttérites .

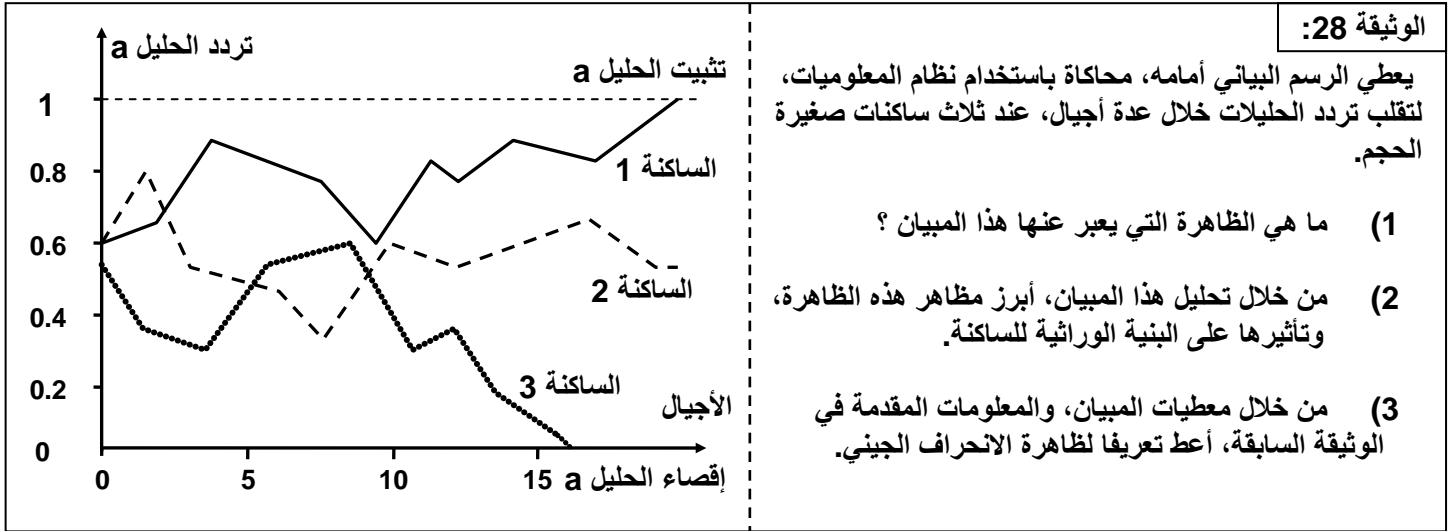


- (1) هناك اختلاف واضح في نسبة الفصليتين الدمويتين A و O بين أغلب الساكنات الأوروبية والأمريكية وبين أفراد التجمع العقائدي، حيث نجد عند هذا الأخير تردد الفصيلا الدموية O منخفض وتردد الفصيلا الدموية A مرتفع.
 نستنتج من هذا أن بنية ساكنة Les huttérites تختلف عن بنية الساكنات الأوروبية والأمريكية (ليس لها نفس المحتوى الجيني).
 (2) أنظر الوثيقة.

(3) انبثقت الساكنة 1 عن هجرة مجموعة صغيرة من الساكنة الأصلية، ونظرا لتعيان عرضي (بالصدفة) Echantillonnage aléatoire تضمنت هذه المجموعة فردين فقط يحملان المظهر المتوحش مما سبب تغيرا في البنية الوراثية لهذه الساكنة مقارنة مع الساكنة الأصلية. صدفة وقع التزاوج بين أفراد تحمل الصفة الطافرة فحدث إقصاء المظهر المتوحش في الجيل الثاني مع تثبيت المظهر المتنحي.

(4) تولدت ساكنة Les huttérites عن عينات صغيرة انطلقت من ساكنة أصلية. ونتيجة لهذا التعيان العرضي تضمنت هذه المجموعة محتوى جيني يختلف عن المحتوى الجيني للساكنة الأصل فتعرضت بعد ذلك لتقلبات في تردد الحليلات نظرا لصغر حجمها.

ب - تأثير ظاهرة الانحراف في المحتوى الجيني. أنظر الوثيقة 28.



(1) الانحراف الجيني

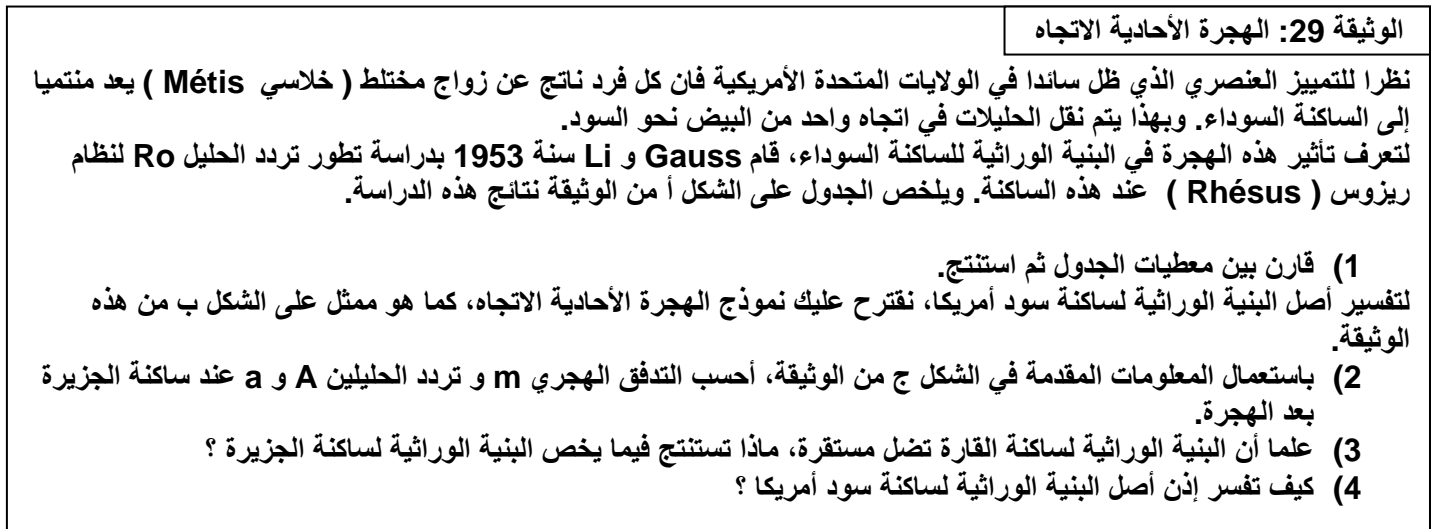
- (2) يتقلب تردد الحليل a في الساكنات الثلاث بشكل عشوائي بين 0 و 1 اللتان تمثلان القيمتين الحدين للتردد في كل جيل. وهكذا توجد وضعيتان حدان تتحققان عاجلا أو آجلا وهما:
- ★ إقصاء الحليل a ($q = 0$): حالة الساكنة 3.
 - ★ تثبيت الحليل a ($q = 1$): حالة الساكنة 1.

(3) مفهوم الانحراف الجيني.

يشير الانحراف الجيني إلى التقلبات العشوائية لتردد الحليلات داخل ساكنة من جيل لآخر مما يؤدي إلى انخفاض تعدد الأشكال الجينية داخل الساكنة. يحدث الانحراف الجيني داخل الساكنات الصغيرة. لا يخضع الانحراف الجيني لتأثير الوسط، ولا للانتقاء الطبيعي، بل يعود للصدفة، ففي الساكنات الطبيعية ليس جميع الأفراد قادرين على التوالد، وعليه ستكون بعض الحليلات أكثر تمثيلية في الجيل الموالي.

④ الهجرة La migration:

أ - حالة الهجرة الأحادية الاتجاه Unidirectionnelle. أنظر الوثيقة 29



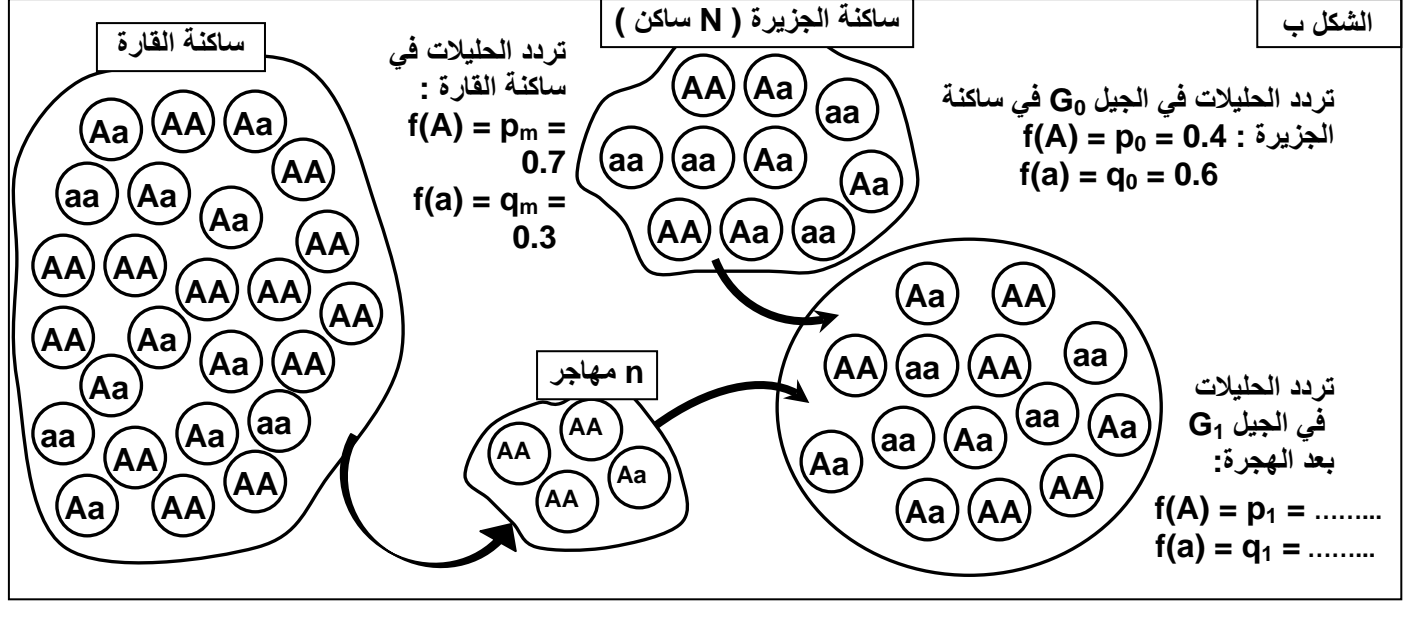
الشكل ج

التدفق الهجري m : هو نسبة المهاجرين الذين يتدفقون على الساكنة المستقبلية في كل جيل، ويحسب بتطبيق المعادلة التالية $m = n / (N + n)$
 $N =$ عدد أفراد الساكنة المستقبلية، $n =$ عدد المهاجرين.
 تمكن النسبة m من حساب تردد حليل معين بعد الهجرة بتطبيق المعادلة التالية $p_1 = (1-m)p_0 + mp_m$
 p_m : تردد الحليل السائد في ساكنة القارة. و p_0 تردد الحليل السائد عند ساكنة الجزيرة قبل الهجرة.

الشكل أ

تردد الحليل R_0	الساكنات
0.63	عدد الساكنة الأصلية السوداء (الساكنات الإفريقية أصل العبيد)
0.446	الساكنة السوداء سنة 1953 بعد عشرة أجيال من معاهدة العبيد.
0.028	عدد الساكنة البيضاء للولايات المتحدة الأمريكية ولساكنة أوروبا التي لم تتغير منذ القرن 18

الشكل ب



(1) يلاحظ أن تردد الحليل R_0 عند الساكنة السوداء لأمريكا منخفض بالمقارنة مع الساكنة الإفريقية أصل العبيد. وأن تردد هذا الحليل نادر عند الساكنة البيضاء لأمريكا وأن نسبته لم تختلف عند ساكنة أوروبا أصل بيض أمريكا.

نستنتج من هذا أن البنية الوراثية للساكنة السوداء لأمريكا قد تغيرت، بينما البنية الوراثية لساكنتها البيضاء لم تتغير.

$$m = \frac{n}{(N + n)} = \frac{4}{(4 + 10)} = 0.28 \quad \star (2) \text{ حساب التدفق الهجري } m:$$

★ حساب تردد الحليل A عند ساكنة الجزيرة بعد الهجرة هو $f(A) = p_1$

$$\begin{aligned} f(A) = p_1 &= (1 - m) p_0 + m p_m \\ &= (1 - 0.28) \times 0.4 + (0.28 \times 0.7) \\ &= 0.484 \end{aligned}$$

$$f(A) = p_1 = 0.48$$

★ حساب تردد الحليل a عند ساكنة الجزيرة بعد الهجرة : $f(a) = q_1$

$$f(a) = q_1 = (1 - m) q_0 + m q_m$$

$$= (1 - 0.28) \times 0.6 + (0.28 \times 0.3)$$

$$= 0.516$$

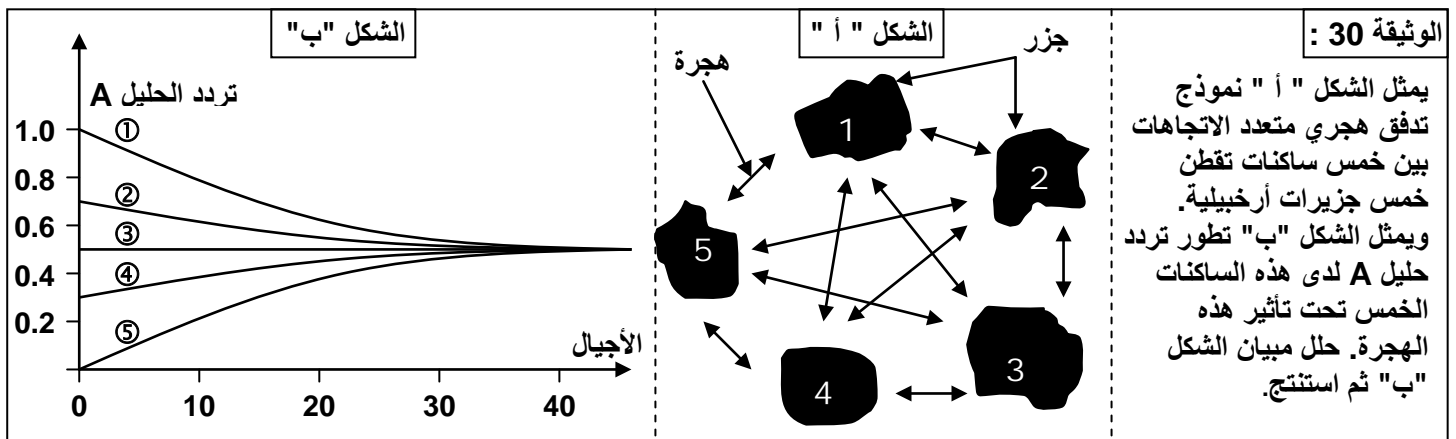
$$f(a) = q_1 = 0.52$$

$$p_1 + q_1 = 0.48 + 0.52 = 1$$

(3) يلاحظ ارتفاع في تردد الحليل A عند ساكنة الجزيرة بعد الهجرة. إذا استمرت الهجرة على هذا المنوال، ستتجه البنية الوراثية لساكنة الجزيرة نحو البنية الوراثية لساكنة القارة.

(4) نفس تغير البنية الوراثية للساكنة السوداء في أمريكا بظاهرة الهجرة. فهناك تدفق هجري أحادي الاتجاه من البيض نحو السود دون هجرة معاكسة. وبناء على هذا ستتغير الخصائص الوراثية للساكنة السوداء دون تغير في التركيب الوراثي للساكنة أصل الهجرة.

ب - حالة الهجرة المتعددة الاتجاهات Multidirectionnelle. أنظر الوثيقة 30.



في البداية كان تردد الحليل A جد مختلف بين هذه الساكنات، مثلا كان التردد عند الساكنة ① هو $f(A) = 1$ وعند الساكنة ③ هو $f(A) = 0.5$ وعند الساكنة ⑤ هو $f(A) = 0$.

تحت تأثير التدفق الهجري المتعدد الاتجاهات، ومع مرور الأجيال، بدأت تتقلص الاختلافات الحاصلة في تردد الحليلات تدريجيا بين مختلف هذه الساكنات، فنحت كلها إلى تردد حليلي مشترك يقابل معدل تردد الحليلات عند هذه الساكنات ($f(A) = 0.5$).

إذن يحدث تحت تأثير التدفق الهجري المتعدد الاتجاهات خلط وراثي يؤدي إلى تجانس الساكنات والحد من تنوعها.

VI - مفهوم النوع L'espèce

إذا كانت الساكنة هي مجموع الأفراد المنتمين لنفس النوع، فماذا نعني بالنوع، وما المعايير المميزة له ؟

أ - المعايير المميزة للنوع

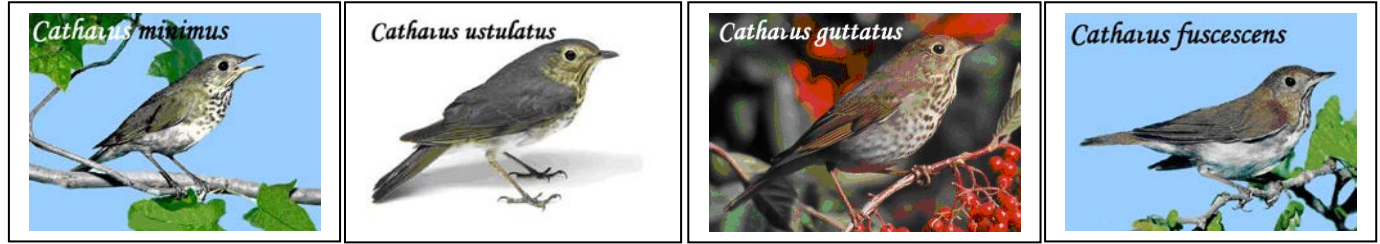
a - المعيار المرفولوجي والسلوكي: Morphologiques , Comportemental

يتمثل المعيار المورفولوجي في تشابه الشكل، لكن إلى أي حد يمكن هذا المعيار من تمييز نوع عن آخر ؟
 مثال 1 : ينتشر النمر حاليا في جنوب شرق آسيا ويوزع على خمس ساكنات : نمر البنغال، نمر سيبيريا، نمر الهند الصينية، نمر الصين. لهذه الساكنات خصائص مرفولوجية مشتركة.
 مثال 2 : هناك اختلافات مرفولوجية بين الكلاب إلا أنها تنتمي لنفس النوع.

مثال 3 : طائر السمنة يتضمن عدة أنواع متشابهة مرفولوجيا لكنها تختلف فيما بينها بمجموعة من المعايير المميزة لكل نوع كالمعايير السلوكية. أنظر الوثيقة 31.

الوثيقة 31

السمنة **La grive** طائر من جنس "**Catharus**" يتضمن عدة أنواع جد متشابهة مرفولوجيا لكنها تختلف فيما بينها بمجموعة من الخصائص (المعايير) المميزة لكل نوع. ويعطي الجدول التالي بعض خصائص أربعة أنواع من هذا الطائر تقطن أمريكا الشمالية. من خلال تحليل هذه المعطيات بين الخصائص المعتمدة لتصنيف هذه الطيور.





Catharus minimus	Catharus ustulatus	Catharus guttatus	Catharus fuscescens	الخصائص
غابات الصنوبر غير كاملة النمو	غابات المخروطيات	أشجار المخروطيات	أراض مشجرة ذات أدغال وافرة	مسكن الزواج
على التربة	غالبًا على الأشجار	على التربة	على التربة وعلى الأشجار	أماكن الصيد
على الأشجار	على الأشجار	فوق التربة	فوق التربة	بناء العش
موجود	منعدم	منعدم	منعدم	غناء أثناء الطيران

يتبين من هذه الأمثلة قصور المعيار المرفولوجي في تحديد النوع.

b – المعيار الاكولوجي (البيئي) : Ecologique

تتوفر أفراد نوع معين على خصائص تكيفية مميزة كالمحيا والسلوك الغذائي والدفاعي والجنسي، مما يساعد على الاندماج داخل عشيرة إحيائية.

c – المعيار الفزيولوجي : Morphologique أنظر الوثيقة 32

الوثيقة 32 :					
يعطي الجدول التالي كمية طرح CO ₂ حسب درجة حرارة الوسط من طرف نوعين من الطيور ينتميان إلى جنس Emberiza (الصور أسفله). من خلال معطيات هذا الجدول حدد المعيار الأساسي المعتمد في تمييز نوعي طائر					
 شرشور أرتلان	 شرشور أصفر				
25	15	05	0	-5	درجة حرارة الوسط (°C)
05	07	09	10.5	11	Eberiza hortulata
4.5	06	07	07.5	08	Emberiza citrinella
					كمية CO ₂ المطروح ب (mg/mg)/h

تتشابه طيور الشرشور مرفولوجيا لكنها تختلف من حيث كمية طرح CO₂ حسب درجة حرارة الوسط، وهذا معيار فزيولوجي يمكن من التمييز بين نوعي طائر الشرشور.

d – المعيار البيوكيميائي ووراثية : Biochimique Et génétique

أنظر الوثيقة 33

<p>الوثيقة 33: السمندل Salamandre حيوان برماني، أنجزت عليه مجموعة من الدراسات قصد التمييز بين أنواعه. يعطي الجدول أسفله نتائج التحليل الكروماتوغرافي لبروتينين مستخلصين من ثلاثة أنواع من السمندل. مكنت هذه الدراسة من تحديد عدد وتردد الحليلات الرامزة لكل بروتين عند كل نوع. تعبر القيم بين قوسين عن تردد الحليلات. قارن بين هذه المعطيات واستخلص المعيار الذي اعتمد لتمييز هذه الأنواع من السمندل.</p>	
---	---

نلاحظ أن عدد وتردد الحليلات الرامزة للبروتينين يختلف عند كل نوع من أنواع السمندل. نستنتج إذن أن المعيار البيوكيميائي والوراثي يمكن أن يعتمد في تمييز الأنواع.

Triton vulgaris	Triton marmoratus	Triton alpestris	البروتين	المورثة
(1) a ₆	(1) a ₂	(0.2) a ₃ (0.8) a ₄	الزلال	a : عدد الحليلات 7
(1) b ₁	(1) b ₇	(0.1) b ₁ (0.55) b ₃ (0.35) b ₄	Lactose déshydrogenase	b : عدد الحليلات 7

e – المعيار الخصوبة : La fécondité

إن خاصية التزاوج مع إعطاء خلف خصيب من أهم المعايير البيولوجية المعتمدة في تمييز النوع.

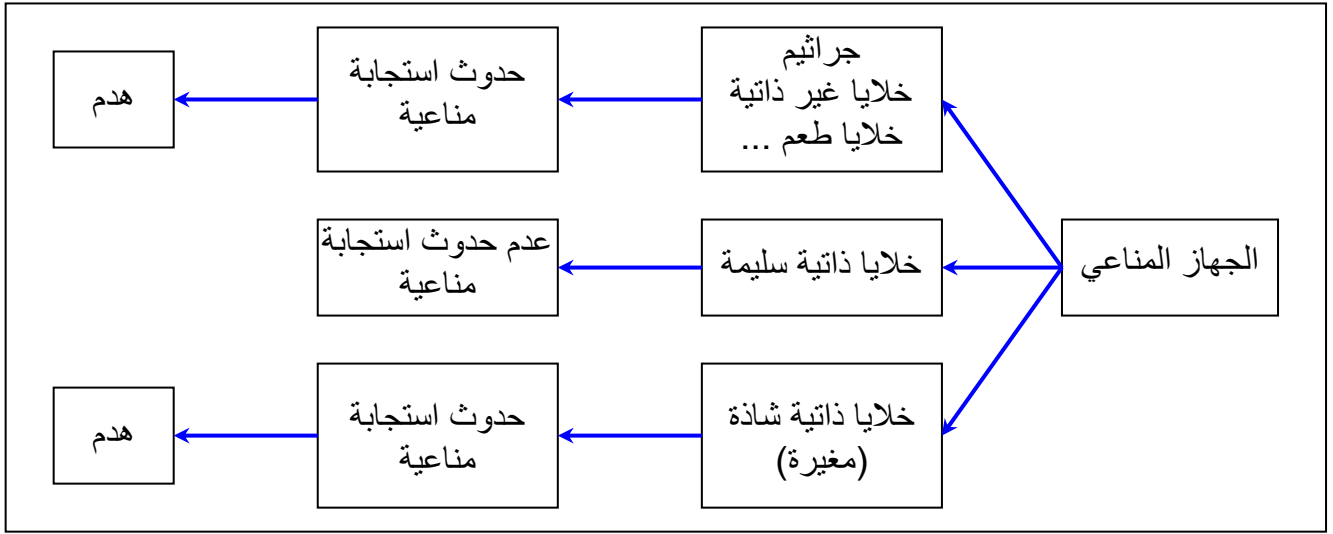
ب – تعريف النوع :

يتكون النوع من مجموع الساكنات الطبيعية التي تتزاوج فيما بينها زواجا حقيقيا، أو تكون قادرة على ذلك، والمعزولة جنسيا عن الساكنات الأخرى المشابهة لها. تجمع بين أفراد نفس النوع مجموعة من الخصائص المشتركة: مرفولوجية، شراحية، فزيولوجية، بيوكيميائية، ووراثية. ويعد الإخصاب المتبادل والخلف الخصيب الخاصيتين الأساسيتين المميزتين للنوع.

علم المناعة

مدخل عام:

يعيش الإنسان باستمرار في وسط مليء بعدة عناصر أجنبية، وتشكل الجراثيم جزءا هاما من هذه العناصر. يؤدي دخول بعض العناصر الأجنبية إلى الجسم إلى ردود فعل تدعى استجابات مناعية *réponses immunitaires*، يقوم بها الجسم للدفاع عن تماميته *Son intégrité*. ويعود السبب في ذلك إلى توفر الجسم على مجموعة من وسائل الدفاع (أعضاء وخلايا)، تسمى بالجهاز المناعي، تبطل مفعول الجراثيم أو تفصيها. يهتم علم المناعة بدراسة كل ما يمكن الجسم من الحفاظ على تماميته. وهو ما يقتضي التمييز بين ما هو ذاتي والحفاظ عليه وما هو غير ذاتي والتخلص منه.



انطلاقا من هنا يمكن طرح الإشكاليات التالية :

- كيف يميز الجسم بين ما هو ذاتي وما هو غير ذاتي؟ (Le soi et le non soi)
- ما هي استجابة الجسم اتجاه ما هو غير ذاتي؟
- ما هو نوع التواصل الذي يربط بين مختلف العناصر المتدخلة في الاستجابات المناعية؟
- إلى أي حد تمكن معرفة آليات الاستجابة المناعية من تفسير الاضطرابات المناعية قصد التفكير في تعويض الجهاز المناعي المخرب.

الفصل الأول

تعرف الجسم ما هو ذاتي وما هو غير ذاتي

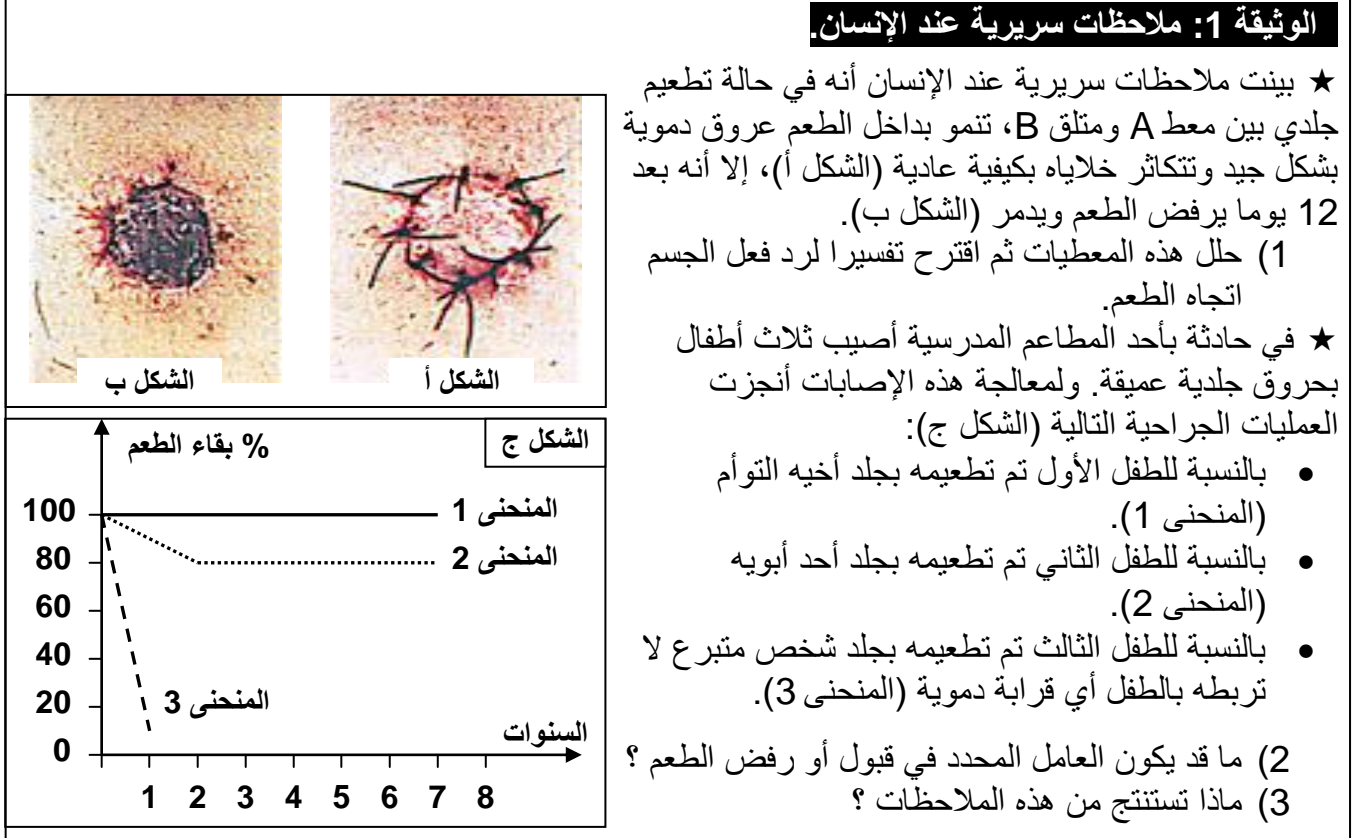
مقدمة:

يقوم الجسم بردود أفعال طبيعية دفاعية ضد الأجسام الغريبة فكيف يتعرف الجسم على هذه العناصر الغريبة أو غير الذاتية Le non soi ويميزها عن ما هو ذاتي Le soi؟

I - الكشف التجريبي عن التلاؤم بين الأنسجة:

① ملاحظات وتجارب:

أ - تطعيم الجلد عند الإنسان: أنظر الوثيقة 1.



(1) يتبين من هذه المعطيات أن الطعم يرفض بعد 12 يوماً، هذا يعني أن الجسم يتعرف على جلد لا ينتمي لنفس الجسم، فيعتبره عنصراً غير ذاتياً.

(2) يتبين من معطيات الشكل ج من الوثيقة أن نسبة قبول الطعم (Greffon) تصل إلى 100 % عندما تكون هناك قرابة دموية قوية بين المعطي والمتلقي، بينما تنخفض هذه النسبة إلى أن تنعدم في حالة غياب القرابة بين المعطي والمتلقي.

(3) توحي هذه النتائج بوجود فصائل نسيجية groupes tissulaires على غرار الفصائل الدموية، هي التي تحدد مدى تلاؤم الأنسجة عند التطعيم، أي هي المحددة للذاتي.

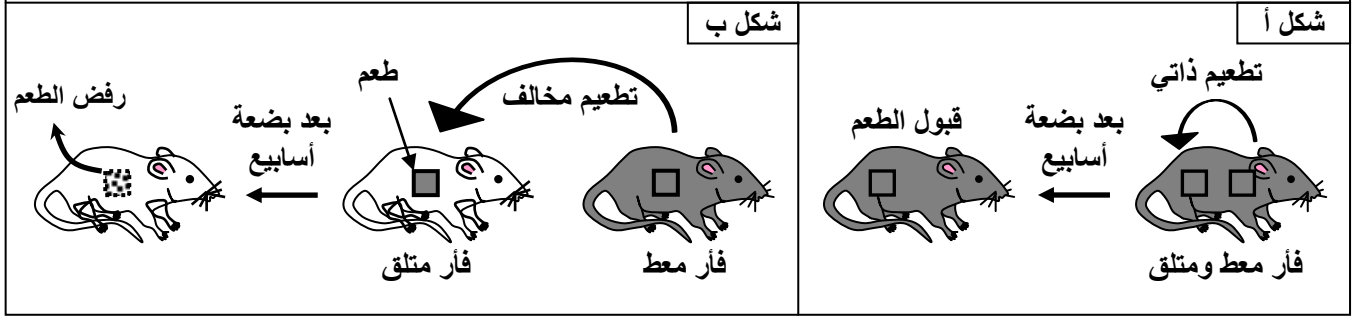
ب - تجارب التطعيم عند الفأر: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: تجارب التطعيم الذاتي والتطعيم المخالف عند الفأر.

تعطي هذه الوثيقة تجارب التطعيم عند الفئران:

الشكل أ: تطعيم ذاتي Autogreffe (اقتطاع نسيج أو عضو (طعم) ونقله من مكان إلى آخر في نفس الجسم).
الشكل ب: تطعيم مخالف Allogreffe (نقل قطعة من نسيج أو عضو من معط إلى متلق ينتميان لنفس النوع ويختلفان وراثياً).

أول هذه المعطيات التجريبية، ثم استنتج.



تبين تجربة التطعيم عند الفأر أنه إذا كان المعطي والمتلقي هو نفس الجسم يتم قبول الطعام، لكن إذا كان المعطي والمتلقي ينتميان لسلاسلتين مختلفتين، فإنه يتم رفض الطعام. وتسمى هذه الاستجابة (استجابة الرفض)، الاستجابة المناعية *réponse immunitaire*.

نستنتج أن قبول أو رفض الطعام يتعلق بطبيعة المادة الوراثية للمعطي والمتلقي.

ج - التلاؤم بين الفصائل الدموية: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: الكشف عن التلاؤم بين الفصائل الدموية	
عدم حدوث اللكد	حدوث اللكد

في سنة 1873 بين الباحثان Muller و Landois أن خلط دم الإنسان بدم حيوان يؤدي إلى تكون تكدسات تظهر بالعين المجردة أطلق عليها اسم اللكد أنظر الصور أمامه.

وفي سنة 1901 أخذ Landsteiner عينات من دم موظفي مختبره، ثم عزل المصل عن الكريات الدموية الحمراء بالنسبة لكل عينة، وعند خلط كل مصل على حدة بالكريات الحمراء المعزولة من دم كل موظف، لاحظ حدوث اللكد في بعض الحالات فقط.

انطلاقاً من هذه المعطيات استخرج الشروط اللازمة أثناء تحاقن الدم، والمشاكل المطروحة اثر عدم احترامها.

يتبين من معطيات هذه الوثيقة أن تحاقن الدم يستلزم وجود تلاؤم بين فصيلة المعطي والمتلقي. وفي حالة غياب التلاؤم يحدث لكد على مستوى دم المتلقي، الشيء الذي يعرض حياة هذا الأخير للخطر.

② استنتاجات:

يتبين مما سبق أن مصدر الاختلاف بين الأنسجة وراثي على اعتبار أن احتمال التلاؤم النسيجي بين المعطي والمتلقي يكون كبير كلما كانت قرابة دموية قوية بينهما، فتقارب المحتوى الحليلي بالنسبة لبعض المورثات يكون كبيراً عند أفراد نفس العائلة.

و بما أن دور المورثات في حياة الخلية يتجلى في تحديد نوع البروتينات المنتجة من طرف الخلية، يمكن القول أن رفض الطعام واعتباره غير ذاتي، له علاقة بطبيعة البروتينات البنوية لخلايا الطعام

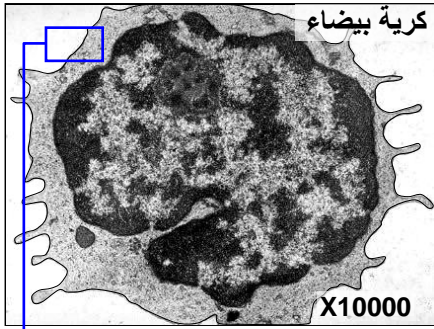
يتحدد الانتماء النسيجي إذن من خلال نوع من الجزيئات البروتينية الموجودة فوق سطح الخلايا (كليكوبروتينات). تتعدت هذه الجزيئات بالمركب الرئيسي للتلاؤم النسيجي أو **CMH** = Complexe Majeur d'histocompatibilité (HLA) Human Leucocyte Antigen.

II - تعرف الواسمات الرئيسية والثانوية.

① الواسمات الرئيسية.

أ - المحددات الجزيئية للذاتي. أنظر الوثيقة 4.

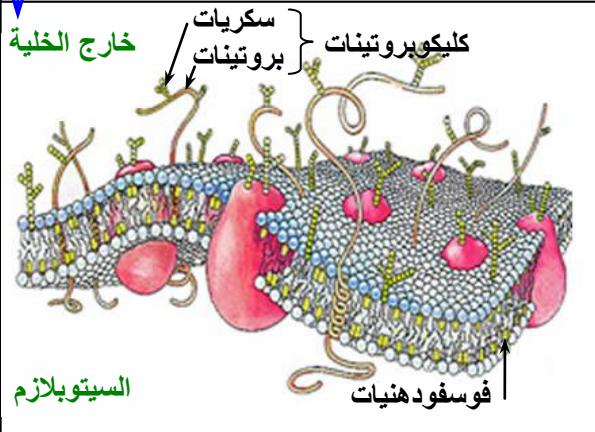
الوثيقة 4: الطبيعة الجزيئية للمركب الرئيسي للتلاؤم



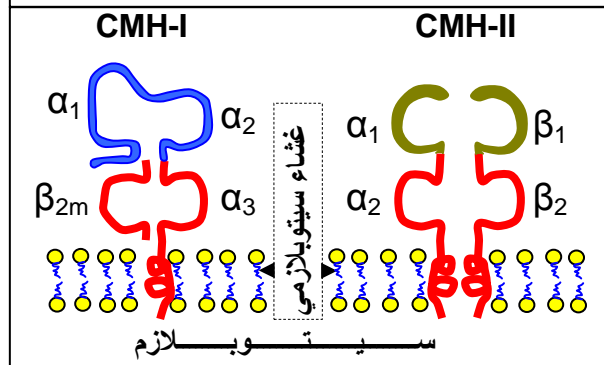
أدت الأبحاث حول وجود الفصائل النسيجية إلى اكتشاف بعض الجزيئات (بروتينات) لأول مرة على الغشاء السيتوبلازمي للكريات البيضاء، فسميت **HLA** نسبة لـ **Human Leucocyte Antigen**. ثم تم الكشف عنها على مستوى جميع الخلايا المنوأة فلعطيت مصطلح المركب الرئيسي للتلاؤم النسيجي **Complexe majeur d'histocompatibilité CMH**.

انطلاقاً من معطيات هذه الوثيقة، تعرف على الطبيعة الكيميائية لجزيئات الواسمات الرئيسية للذاتي، محددًا أصنافها.

أنموذج البنية الجزيئية للغشاء السيتوبلازمي



البنية الجزيئية لجزيئات CMH



الواسمات الرئيسية للذاتي **marqueurs du soi** هي عبارة عن كليكوبروتينات مُدمجة في غشاء جميع خلايا الجسم باستثناء الكريات الحمراء (خلايا غير منوأة). وتحدد هذه البروتينات الفصائل النسيجية، لدى نطلق عليها مصطلح المركب الرئيسي للتلاؤم النسيجي **CMH (Complexe majeur d'histocompatibilité)**.

لقد تم تحديد صنفين أساسيين من هذه الجزيئات:

- ✓ الواسمات الرئيسية للذاتي من الصنف I ويُرمز لها بـ **CMH-I** وهي جزيئات توجد على سطح جميع الخلايا المنوأة، وتتكون من سلسلتين بيبتيديتين: السلسلة α والسلسلة β_{2m} .
- ✓ الواسمات الرئيسية للذاتي من الصنف II ويُرمز لها بـ **CMH-II** وهي جزيئات توجد أساساً على سطح بعض الخلايا المناعية (بلعيمات كبيرة، خلايا لمفاوية...)، وتتكون من سلسلتين بيبتيديتين: السلسلة α والسلسلة β .

ب - الأصل الوراثي لمركب CMH: أنظر الوثيقة 5.

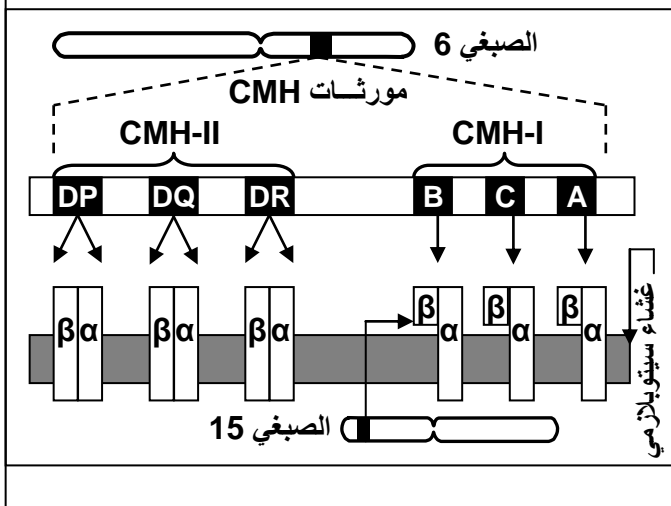
الوثيقة 5: الأصل الوراثي للمركب الرئيسي للتلاؤم النسيجي CMH.

تتحكم في تركيب بروتينات CMH عند الإنسان أربع مورثات محمولة على الصبغي 6، ويشار لها بالحروف: A و B و C و D. ولهذه المورثات ثلاث خصائص أساسية:

- ✓ توجد على شكل عدة حليلات: (72 DP , 49 DQ, 199 DR, 188 B , 63 C, 82 A).
- ✓ هذه الحليلات متساوية السيادة.
- ✓ المورثات مرتبطة. (أنظر الرسم أمامه).

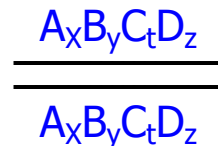
انطلاقاً من معطيات هذه الوثيقة:

- استخراج أهم خصائص مورثات CMH.
- فسر أصل التنوع الكبير في جزيئات CMH بين الأفراد.
- وضع سبب رفض الطعم في غياب قرابة بين المعطي والمتلقي.



- ★ تحتل مورثات CMH قطعة واسعة من الذراع القصير للصبغي رقم 6 عند الإنسان. ونميز بين صنفين من مورثات:
- ✓ بالنسبة لـ CMH I: يرمز للسلسلة α بمركب من ثلاث مورثات متجاورة A و B و C. بينما تتحكم في تركيب السلسلة β_{2m} مورثة تتموضع على الزوج الصبغي 15.
 - ✓ بالنسبة لـ CMH II: يرمز لكل سلسلة بمورثتين، مورثة رامزة للسلسلة α (DPA و DQA و DRA) ومورثة رامزة للسلسلة β (DPB و DQB و DRB).

★ إن كل شخص يحمل تركيبية من الحليلات مكونة من 8 حليلات تكاد تكون فريدة من نوعها. و يرمز لها على الشكل التالي:



كل شخص يتلقى نصف الحليلات من الأم، والنصف الآخر من الأب، ونظرا لتعدد الحليلات التي تقابل كل مورثة فان عدد التوليفات الوراثية أي الأنماط الوراثية الممكنة يصل إلى عدة ملايين. فلا يكاد يوجد على المستوى العالمي، أي فرصة لشخصين كي يحملان نفس CMH باستثناء التوأمن الحقيقيين (أو المنحدرين من عملية الاستنساخ).

★ يُفسر رفض الطعم في حالة غياب قرابة بين المعطي والمتلقي، باختلاف بروتينات CMH بينهما، هذا الاختلاف ناتج عن الاختلاف في الحليلات الرامزة لهذه البروتينات، حيث أن كل شخص يتميز بتركيبية مميزة من هذه الجزيئات، وبالتالي، فكل خلية غريبة عن الجسم تُعتبر بمثابة عنصر غير ذاتي.

نستنتج من كل ما سبق أن جزيئات CMH تكون خاصة بكل فرد، لذلك تسمى بالواسمات الرئيسية.

② الواسمات الثانوية: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: الواسمات الثانوية للذاتي.

تحمل أغشية الكريات الحمراء جزيئات كليكوبروتينية، تختلف فيما بينها على مستوى الجزء النهائي للسلسلات السكرية. ويمثل هذا الجزء الواسم النوعي للفصيلة الدموية. وتؤدي الكليكوبروتينات التي تحمل الواسمات A أو B إلى التلدد، وتسمى مولدات المضاد. يعطي الجدول أسفله طريقة تحديد الفصائل الدموية ABO عند الإنسان باستعمال أمصال الاختبار. انطلاقا من معطيات هذا الجدول أستخرج خاصيات واسمات الكريات الحمراء وأهميتها كواسمات ثانوية للذاتي.

الفصيلة	مولد اللكد	لكدين (مضاد الأجسام)	مصل اختبار مضاد AB	مصل اختبار مضاد A	مصل اختبار مضاد B
A	A	مضاد B			
O	H	مضاد A ومضاد B			
B	B	مضاد A			
AB	A و B	لا شيء			

يخضع تحديد فصائل النسيجية لأنظمة أخرى ثانوية كحالة نظام الفصائل الدموية ABO. حيث أن هذا النظام مرتبط بمورثة تتميز بثلاثة حليلات وهي:

- ✓ الحليل A: يرمز إلى مولد مضاد غشائي (يميز غشاء الكريات الحمراء من الفصيلة A).
- ✓ الحليل B: يرمز إلى مولد مضاد غشائي (يميز غشاء الكريات الحمراء من الفصيلة B).
- ✓ الحليل O: لا يركب أي مولد مضاد (الفصيلة O).

يتضح إذن أن مولدات المضاد A وB فقط تكون مصدر التلكد (الرفض) الملاحظ أثناء التحاقتات الدموية. وهي جزيئات تدعى واسمات غشائية، مسؤولة عن تحديد الفصائل الدموية.

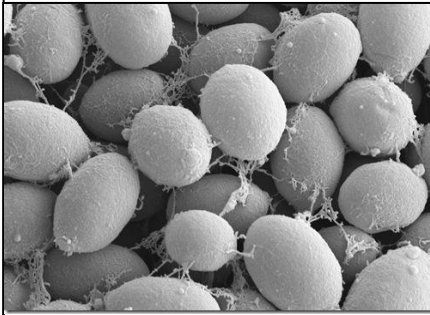
نستنتج مما سبق أن النظام ABO ينتج عن مورثة واحدة بعدد محدود من الحليلات عكس جزيئات CMH مما يفسر قلة عدد الفصائل الدموية، كما يمكنها أن تكون مشتركة بين مجموعة من الأفراد، لذلك نسميها واسمات ثانوية للذاتي.

III – دور CMH في تمييز الذاتي:

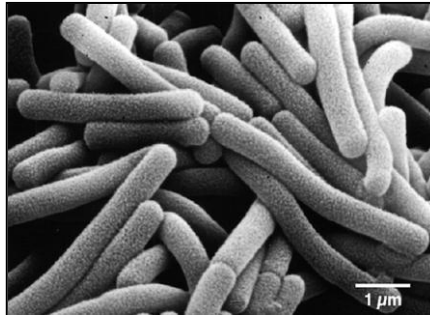
① مفهوم الذاتي وغير الذاتي: أنظر الوثيقة 7

الوثيقة 7: مفهوم الذاتي وغير الذاتي.

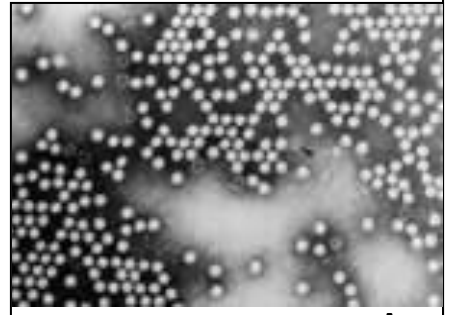
تنتشر في محيطنا الخارجي جراثيم متنوعة يمكنها أن توجد في أوساط مختلفة، منها النافع ومنها الممرض. تعطي الوثائق التالية مجموعة من العناصر الأجنبية عن الجسم. انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة ومن مكتسباتك، عرف غير الذاتي، ثم صنف مختلف عناصره.



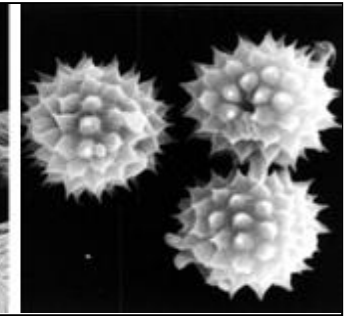
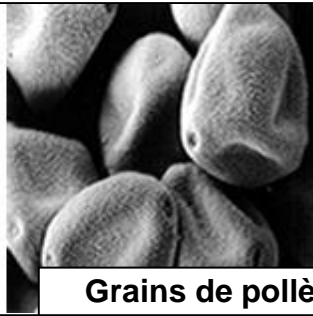
C فطر مجهري
Candidas albicans



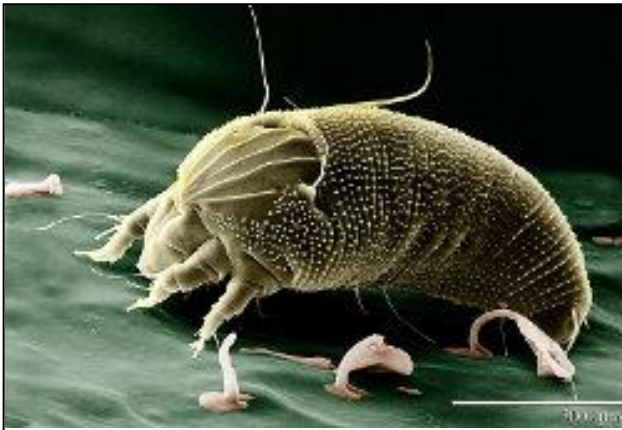
B عصيات كوخ المسببة لداء السل



A Virus de la poliomyélite
فيروس شلل الأطفال



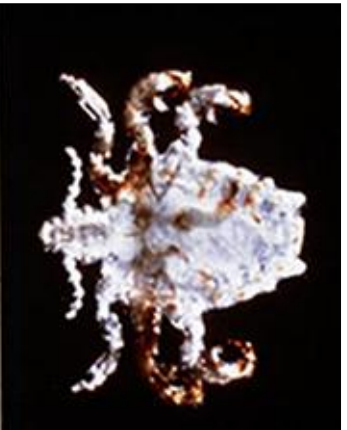
D حبوب اللقاح
Grains de pollène



F القرادية المكونة لغبار المنازل

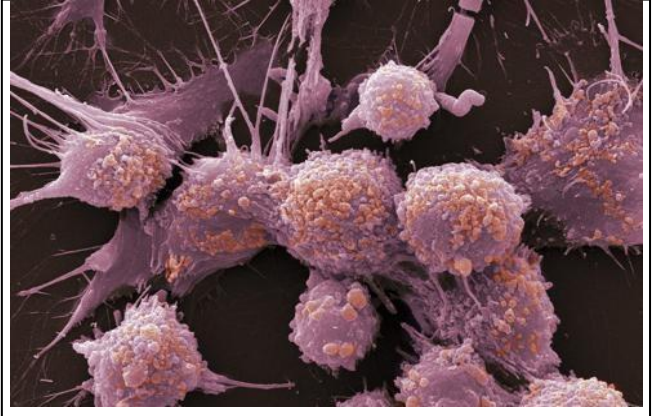


E Sarcoptes scabiei القرادية المسببة للجرب





H خلايا الطعم عند زرع الجلد أو الأعضاء



G خلايا سرطانية للبروستات (الموتة)

الذاتي : هو مجموع الخاصيات الجزيئية للفرد الناتجة عن تعبير جينومه. وبالتالي فمجموع خلايا الجسم تكون الذاتي.

غير الذاتي: هو مجموع العناصر التي إذا دخلت الجسم تؤدي إلى إثارة استجابة مناعية. و يسمى كذلك مولد المضاد.

↪ يمكن أن يكون غير الذاتي خارجيا ممرضاً كحالة:

- ★ البكتيريات: Bactéries وتتميز قدرتها الممرضة بتأثيرين مهيمن:
 - ✓ قدرتها المرتفعة على التوالد و التكاثر.
 - ✓ إنتاج سمينات Toxines وهي سموم قوية تنتشر في الجسم وتؤدي إلى هلاكه. مثال: بكتيريا الكزاز...
- ★ الفيروسات أو الحماة Virus: وهي طفيليات خلوية، حيث أنها غير قادرة على التكاثر خارج الخلايا العائلة. مثال : حمة الزكام المسببة لمرض الزكام، حمة VHC ، المسببة لمرض التهاب الكبد H. Hépatite C.
- ★ الفطريات المجهرية Champignons microscopiques وتنتقل في الغالب على الجلد أو المخاطات، مسببة في فطار Mycoses على المناطق المصابة.
- ★ الحيوانات الأولية Protozoaires وهي متعضيات مجهرية تنتقل إما على الوسط الداخلي مسببة أمراض مثل الملاريا Paludisme أو البلهارسيا Bilharziose أو تنتقل على الجلد مثل الأميبة amibe.

↪ يمكن أن يكون غير الذاتي خارجاً غير ممرض، كحالة:

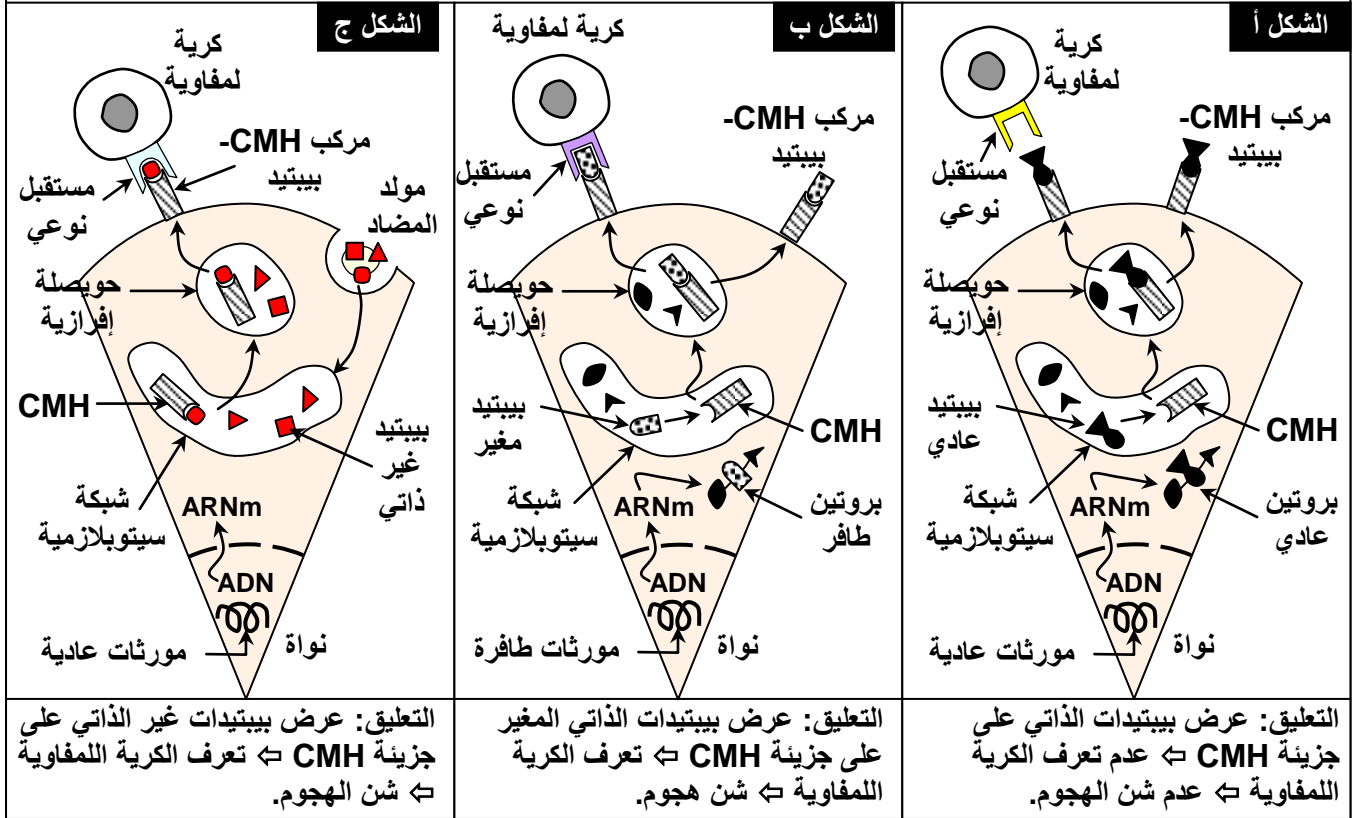
- ★ حبوب اللقاح.
- ★ الكريات الحمراء الدموية، خلايا الطعم، ... الخ

الذاتي المغير: هي عناصر ذاتية خضعت لتغير فاعتبرت كغير ذاتية. كحالة الخلايا السرطانية.

② دور جزيئات CMH: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: دور جزيئات CMH في عرض بروتينات الذاتي وغير الذاتي.

يعطي الرسم أسفله خطأ تركيبي توضح دور جزيئات CMH في عرض بروتينات الذاتي وغير الذاتي. علق على هذه المعطيات مبرزا دور جزيئات CMH في كل حالة.



في جميع الخلايا تجزئ أنزيمات خاصة عينة من البروتينات الموجودة في السيتوبلازم إلى بيبتييدات، يرتبط كل بيبتييد بجزيئة CMH ويهاجر المركب بيبتييد - CMH إلى سطح الخلية، وهكذا تعرض الخلايا باستمرار محتواها البيبتييدي مما يمكن من حراسة مناعية.

★ إذا كانت البيبتييدات المعروضة منحدره من بروتينات عادية للخلية فإنه لا يحدث ارتباط بين الخلية العارضة والخلايا المناعية، وبالتالي لا تشن هذه الأخيرة هجوماً على الخلية العارضة (غياب الاستجابة المناعية) الشكل أ.

★ إذا كانت البيبتييدات المعروضة منحدره من بروتينات غير عادية للخلية (بروتين شاذ لخلية سرطانية الشكل ب، أو بروتين فيروسي، الشكل ج)، فإنه يحدث ارتباط بين الخلية العارضة والخلايا المناعية، وبذلك تشن هذه الأخيرة هجوماً على الخلية العارضة (تحدث الاستجابة المناعية).

حصيلة:

لا تقتصر وظيفة CMH على رفض التطعيم أو قبوله فحسب، بل يعمل على عرض مولدات المضاد على سطح الخلايا. وهكذا فنوعية عديد البيبتييد المعروض بواسطة (CMH) هي التي تثير الاستجابة المناعية ضد الخلية العارضة أو عدمها، لدى يسمى هذا الجزء من مولد المضاد بالمحدد المستضادي *déterminant antigénique*، والذي يتميز ببنية ثلاثية الأبعاد تتعرف على الكرية للمفاوية ومضادات الأجسام. للإشارة فمولد مضاد واحد يمكن أن يتفكك فيعطي عدة محددات مستضادية.

الفصل الثاني

وسائل دفاع الجسم عما هو ذاتي

مقدمة:

نعلم أن الخلايا المناعية تستطيع التعرف على ما هو ذاتي وتميزه عن ما هو غير ذاتي، بحيث تتصدى لهذا الأخير باستجابات مناعية قصد إبادته وإبطال مفعوله، وذلك عن طريق نمطين من المناعة:

- ★ مناعة غير نوعية أو طبيعية: تكون موجهة بنفس الطريقة ضد كل ما هو غير ذاتي.
- ★ مناعة نوعية: تكون موجهة ضد ما هو غير ذاتي حسب نوعه.

فما هي آليات الاستجابة المناعية غير النوعية؟
ما المقصود بالاستجابة المناعية النوعية وما هي خصائصها؟

I - وسائل الدفاع غير النوعية:

① الحواجز الطبيعية للجسم. أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: الحواجز الطبيعية للجسم	
<p>حواجز ميكانيكية</p> <p>5 أغشية مخاطية وأهداب</p> <p>6 الجلد</p> <p>حواجز ايكولوجية</p> <p>7 فلورة بكتيرية متعايشة</p>	<p>حواجز كيميائية وبيوكيميائية</p> <p>1 الدموع</p> <p>2 لعاب</p> <p>3 حمضية العرق</p> <p>4 حمضية المعدة</p>
<p>Les barrières naturelles de l'organisme</p> <p>تعتبر الحواجز الطبيعية للجسم، أولى العناصر المتدخلة لحمايته، حيث تمنع ولوج الجراثيم داخله، كما أنها تعمل على إيقاف نمو العديد من هذه الجراثيم إذا لم تقض عليها. تختلف هذه الحواجز حسب طبيعتها، وتبين الوثيقة أمامه أهم أصناف هذه الحواجز.</p> <p>(1) تعرف على الحواجز الطبيعية للجسم، وصنفها حسب طبيعتها.</p> <p>(2) أعط تعريفا للاستجابة المناعية.</p>	

(1) الحواجز الطبيعية للجسم هي حواجز مناعية تمنع ولوج الجراثيم إلى داخل الجسم، ويمكن تصنيفها إلى

⇨ حواجز ميكانيكية:

✓ الجلد: يشكل حاجزا ميكانيكيا فعالا ضد أغلبية الجراثيم، إذ يتألف من عدة طبقات، ويتجدد باستمرار فيقتشر الجزء السطحي منه وتطرح الخلايا الميتة حاملة معها جزءا من الجراثيم السطحية.

✓ الأغشية المخاطية: تغطي السطح الخارجي للجهاز الهضمي والتنفسي والبولي والتناسلي، وتفرز على مستواها مواد مخاطية تمنع تسرب بعض المتعضيات المجهرية. كما يمكن أن تضم أهدابا اهتزازية تساعد على التخلص من العناصر العالقة بها.

⇨ حواجز كيميائية:

✓ العرق: تفرز الغدد العرقية عرقا حمضيا (PH=3,5) يمنع نمو الفطريات المجهرية وكذلك بعض البكتيريات.

✓ الإفرازات الحمضية: تفرز المعدة عصارة حمضية (PH=1) تقضي على الجراثيم و تمنع تكاثرها. كذلك الإفرازات الحمضية لكل من الإثنى عشري والمسالك البولية التناسلية، تمنع تطور الجراثيم بهذه الأوساط.

⇨ حواجز بيوكيميائية: يحتوي اللعاب والدموع والمخاط الأنفي على أنزيمات (ليزوزومات) تقضي على البكتيريات.

حواجز إيكولوجية: مثل الفلورة البكتيرية غير الممرضة (حالة E.coli) المتعايشة في الأنبوب الهضمي، والتي تتنافس مع أنواع أخرى من البكتيريا الدخيلة. وهي ضرورية للنشاط العادي للجسم.

(2) في بعض الحالات، يمكن للجراثيم أن تخترق الحواجز الطبيعية للجسم على إثر جرح مثلا، فتصل إلى داخل الجسم، مما يفرض استجابة مناعية، وهي مجموعة ردود أفعال يقوم بها الجسم إزاء مولد مضاد معين، تهدف إلى إقصاء هذا الأخير أو إبطال مفعوله.

② الاستجابة الالتهابية Réaction inflammatoire

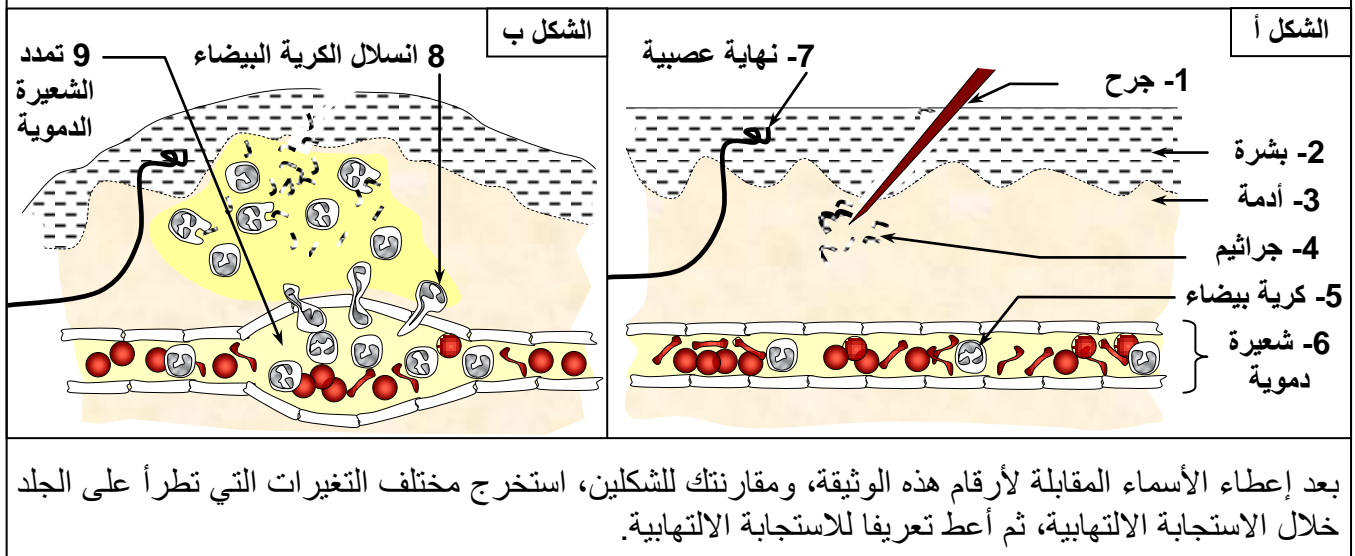
أ - نتائج جرح أو وخز الجلد: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: مظاهر الاستجابة الالتهابية

في بعض الحالات يمكن للجراثيم أن تخترق الحواجز الطبيعية إلى الوسط الداخلي، فتشن سلسلة من الأحداث تؤدي إلى استجابة التهابية محلية، تليها بعد ذلك ظاهرة البلعمة *La phagocytose*. أصيب شخص بتصدع نسيجي، اثر إصابته بوخز إبرة. فلو حظ انتفاخ الجلد على مستوى موقع الإصابة، مصحوب باحمرار مع إحساس بالألم وارتفاع محلي لدرجة الحرارة.

(1) حدد من خلال تحليلك للنص أهم الأعراض التي تميز الاستجابة الالتهابية.

لدراسة رد فعل الجلد بعد تعرضه لتصدع معين (جرح، وخز...)، وقصد فهم مختلف التغيرات التي تحدث على مستوى موقع الإصابة، نقترح الشكلين أ و ب أسفله:
الشكل أ: مقطع عرضي تفسيري للجلد عند الجرح.
الشكل ب: مقطع عرضي تفسيري للجلد بعد الجرح.



★ تشن الجراثيم إثر دخولها إلى الجسم سلسلة من الأحداث، تؤدي إلى استجابة التهابية محلية تتجلى في الأعراض التالية :

- ✓ الألم: ناتج عن تنبيه النهايات العصبية الحسية.
- ✓ ارتفاع محلي لدرجة الحرارة.
- ✓ الاحمرار: ناتج عن زيادة تدفق الدم نحو المنطقة المعفنة.
- ✓ الانتفاخ أو أوديما: ناتج عن تمطط جدار الأوعية الدموية، وزيادة نفاذيته للجزيئات الكبيرة الذائبة في البلازما.

فما هي العوامل المسببة للالتهاب؟

★ بالإضافة إلى الانتفاخ المحلي للشعيرات الدموية، تتجمع الكريات البيضاء في موقع الالتهاب. فما دور الكريات البيضاء في الاستجابة المناعية غير النوعية ؟

★ الاستجابة الالتهابية هي رد فعل الجسم اتجاه تعفن جرثومي، وهي وسيلة دفاعية غير نوعية، تهدف إلى توجيه العناصر النشيطة للجهاز المناعي إلى مكان التعفن (بؤرة الالتهاب).

ب - الوسائط الكيميائية المتدخلة في الاستجابة الالتهابية: أنظر الوثيقة 3.

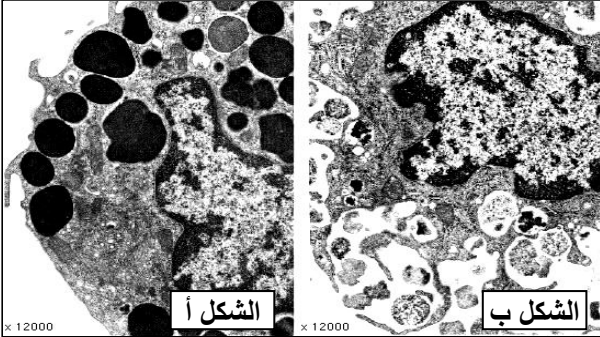
الوثيقة 3: دور الوسائط الكيميائية في الاستجابة الالتهابية

★ لاحظ Otto Loewi سنة 1926 أن أعراض الالتهاب تكون متشابهة رغم تنوع مسبباتها مما دفعه إلى الافتراض بأن الالتهاب ينتج عن تحرير مواد كيميائية في موقع الإصابة الجرثومية واقترح اسم الهيستامين لهذه المادة الالتهابية، وقد تم اكتشاف نوع من الكريات البيضاء تسمى الخلايا البدنية = الخلايا العمادية Les mastocytes، تكون منتشرة في أنسجة الجسم وتتدخل في ردود الفعل الالتهابية.

★ يهتل الشكلان أمامه بنية خلية بدنية، قبل غزو جرثومي (الشكل أ) وبعد الغزو الجرثومي (الشكل ب).

★ استخلص Werle سنة 1936 مادة الهيستامين من نسيج مصاب، وبين أن حقنها تحت الجلد يؤدي إلى ظهور أعراض الالتهاب في مكان الحقن.

(1) ماذا يمكنك استخلاصه من هذه المعطيات حول دور الهيستامين في الاستجابة الالتهابية؟

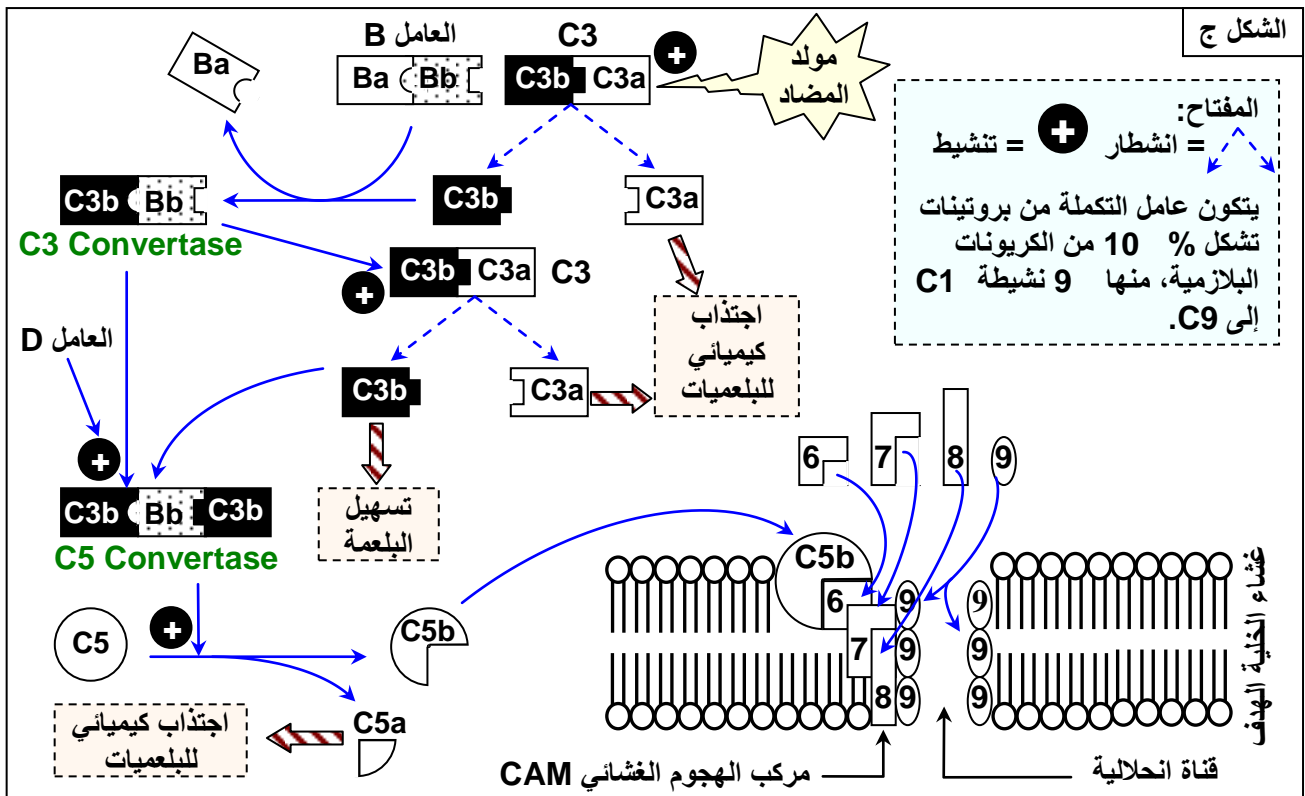


★ يعطي الجدول أسفله بعض الوسائط الكيميائية المتدخلة في الاستجابة الالتهابية.

الوسائط الالتهابية	المصدر الرئيسي	التأثير البيولوجي
الهيستامين	الخلايا البدنية والمحببات والقعدات	تمدد جدار الأوعية الدموية وزيادة في النفاذية وتضييق المسالك التنفسية
الكينين	الصفائح الدموية	
البروستاغلاندين	الخلايا البدنية النسيجية	الزيادة في نفاذية الأوعية الدموية
C5a . C3a	جهاز عامل التكملة	الاجتذاب الكيميائي للوحيدات

(2) ماذا تستخلص من معطيات هذا الجدول؟

★ يهتل الشكل ج من الوثيقة خطاطة تركيبية لمختلف مراحل تنشيط جزيئات عامل التكملة.



(3) علق على هذه الخطاطة مبرزاً دور بروتينات عامل التكملة في تكون مركب الهجوم الغشائي، وفي القضاء على الخلية الهدف.

1) دور الهيستامين في الاستجابة الالتهابية:

نلاحظ أنه بعد الغزو الجرثومي، يختفي تحبب الخلية البدينة، ويعود ذلك إلى إفراغ الهيستامين خارج السيتوبلازم. نستخلص من هذه المعطيات أن الخلايا البدينة تتدخل خلال الاستجابة الالتهابية، حيث تعمل على تحرير مواد تسمى الوسائط الالتهابية *Les mediateurs de l'inflammation*. يمثل الهيستامين أهم هذه الوسائط، حيث يتسبب في تمدد الشعيرات الدموية، وزيادة نفاذيتها للجزيئات الكبيرة، مما يؤدي إلى انتفاخ الأنسجة، وحدث الالتهاب.

2) دور الكينين والبروستاغلاندين في الاستجابة الالتهابية:

بالإضافة إلى الهيستامين، تحرر عند الاستجابة الالتهابية وسائط التهابية أخرى كالبروستاغلاندين التي لها نفس تأثير الهيستامين، كما تعمل على جذب الخلايا المناعية إلى موقع الخمج. والكينين التي هي عبارة عن عديدات الببتيد تظهر في البلازما بشكل سريع (20 إلى 30 ثانية بعد دخول الجراثيم) انطلاقاً من انشطار بروتين بلازمي تحت تأثير أنزيم ينشط بواسطة الجراثيم. وللكينين نفس تأثيرات الهيستامين.

3) دور بروتينات عامل التكملة في الاستجابة الالتهابية:

★ يتكون عامل التكملة من عدة بروتينات يتم تركيبها داخل أنسجة مختلفة من الجسم (الظهار المعوي، الكبد، الطحال...) وتشكل هذه البروتينات حوالي 10% من الكريونات البلازمية، منها 9 نشيطة (C1 إلى C9). تكون هذه البروتينات خاملة ويتم تنشيطها مباشرة بواسطة العناصر الأجنبية (مولد المضاد) خلال الاستجابة المناعية غير النوعية.

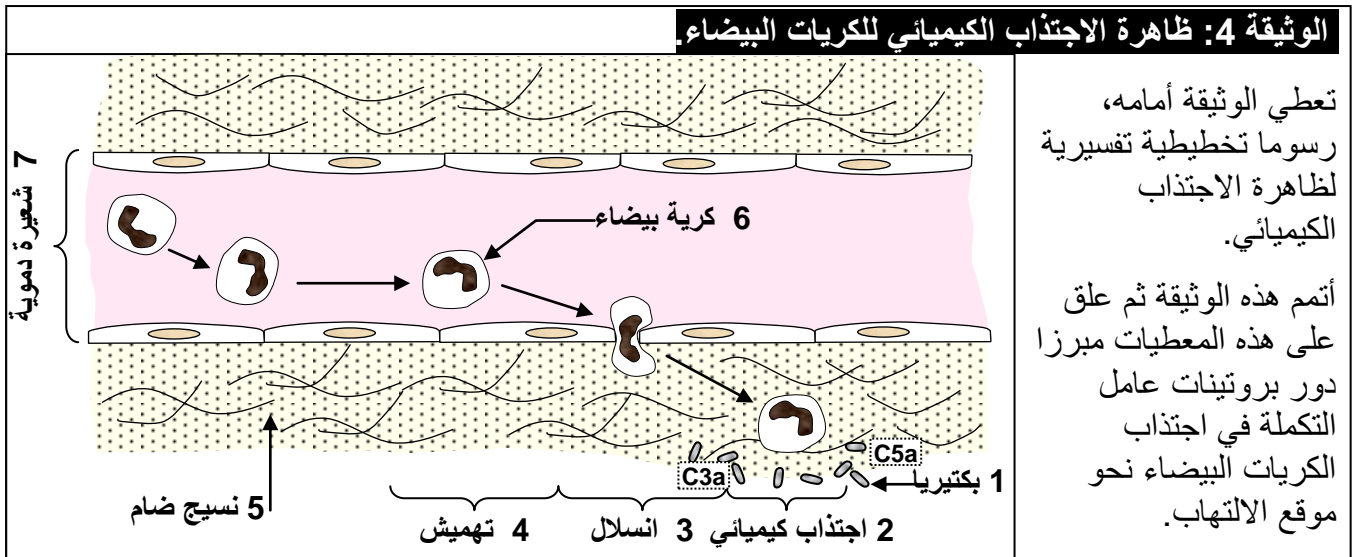
★ يتميز تنشيط هذه البروتينات بخاصية أساسية وهي التسلسل *Réactions en cascades* أي أن منتج كل تفاعل يحفز التفاعل الموالي له.

★ يؤدي تدخل مولد المضاد، إضافة إلى عوامل أخرى إلى تشكل أنزيمي *C3 Convertase* و *C5 Convertase*، اللذان يعملان على تركيب جزيئات *C3a* و *C3b* و *C5a* و *C5b*. فتعمل هذه الجزيئات بعد تشكلها على القضاء على مولد المضاد عبر ثلاثة ظواهر أساسية وهي:

✓ دور محلل للخلايا *action cytolytique*.

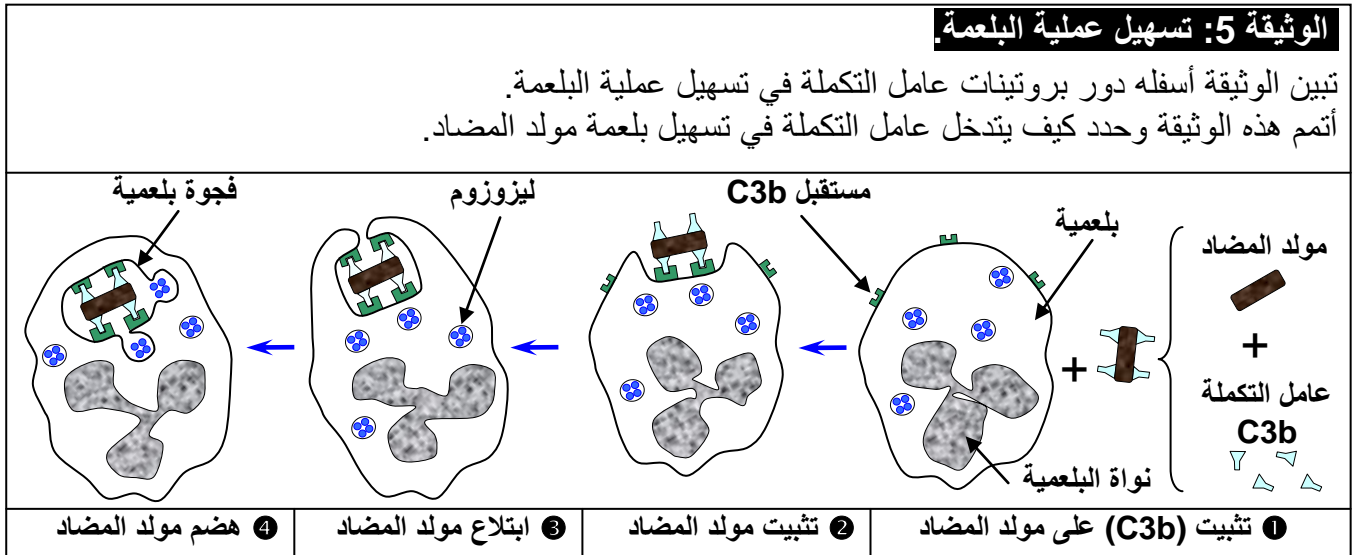
تندمج بعض أجزاء عامل التكملة (*C9, C8, C7, C6, C5b*) في غشاء الخلية الهدف، فتشكل قناة قطرها 10 nm نسميها مركب الهجوم الغشائي (*complexe d'attaque membranaire (CAM)*). عبر هذه القناة ينفذ الماء إلى الخلية الهدف، فتفجر وينفلت منها المحتوى الداخلي مما يسبب إتلافها.

✓ تنشيط اجتذاب الكريات البيضاء نحو موقع الالتهاب *chimiotactisme*. أنظر وثيقة 4.



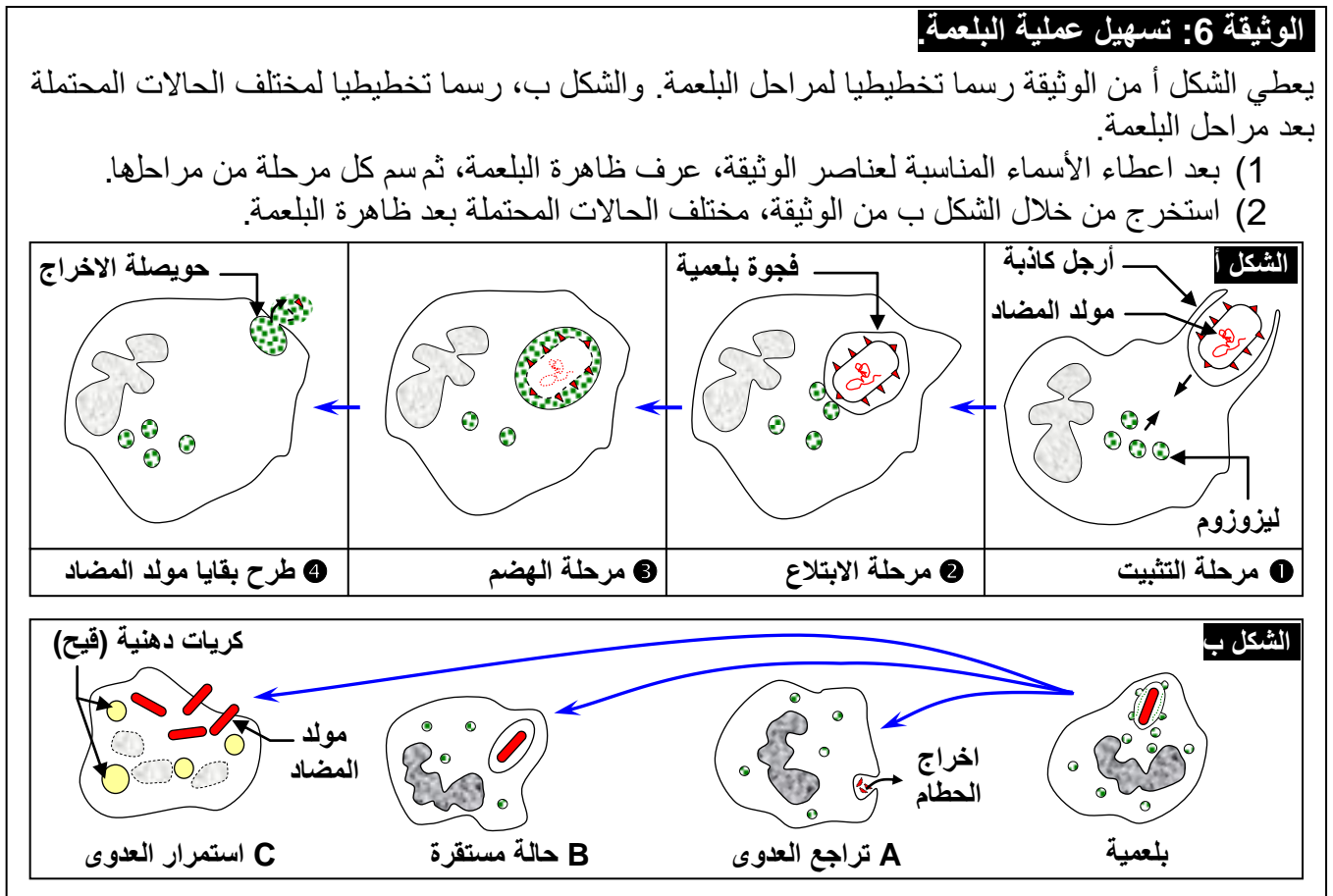
تحت تأثير البروستاغلاندين وأحد أجزاء عامل التكملة *C3a* و *C5a*، يتم كل من الانسلال والاجتذاب الكيميائي. حيث تلتصق بعض الخلايا المناعية (المحبيبات أولاً ثم الوحيدات) على الجدران الداخلية للشعيرات الدموية المجاورة لموقع الالتهاب، نتكلم عن ظاهرة التهميش. تغادر هذه الخلايا الشعيرات الدموية، فننتكلم عن ظاهرة الانسلال *Diapédèse*. بعد انسلالها تتجه الكريات البيضاء نحو موقع مولد المضاد بفضل ظاهرة الاجتذاب الكيميائي.

✓ تسهيل عملية البلعمة: أنظر الوثيقة 5.



تثبتت بعض أجزاء عامل التكملة (C3b) على الجراثيم والعناصر الأجنبية، وبعد الاجتذاب الكيميائي للخلايا البلعمية، تلتصق هذه الأخيرة بمولد المضاد بواسطة مستقبلات نوعية لـ (C3b)، الشيء الذي يساهم في تسهيل عملية البلعمة.

③ البلعمة La phagocytose: أنظر الوثيقة 6.



أ - تعريف البلعمة:

البلعمة هي قدرة الخلية على ابتلاع عنصر غير ذاتي، وتتم بواسطة خلايا تسمى الخلايا البلعمية كالبلمعات الكبيرة Les macrophages والعدلات Les neutrophiles، ولا تتطلب هذه الآلية أي اتصال قبلي بمولد المضاد، لذا تصنف كوسيلة دفاعية طبيعية غير نوعية.

ب - مراحل البلعمة:

★ **مرحلة التثبيت:** تحمل العدلات مستقبلات تمكنها من تثبيت بصفة غير نوعية أنماطا مختلفة من مولدات المضاد وأجزاء عامل التكملة.

★ **مرحلة الابتلاع:** بعد مرحلة التثبيت، ينشط نظام الأكتين-ميوزين الذي يمكن الخلية البلعمية من مد أرجل كاذبة Les pseudopodes حول العنصر الأجنبي، الذي يصبح محصورا داخل فجوة بلعمية phagosome.

★ **مرحلة الهضم:** تلتحم الليزوزومات Lysosomes بالفجوة البلعمية وتفرغ فيها محتواها الغني بالإنزيمات فيقع انحلال للعنصر الأجنبي المبتلع.

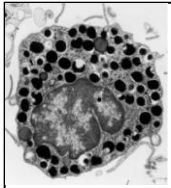
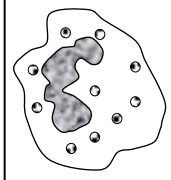
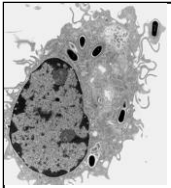
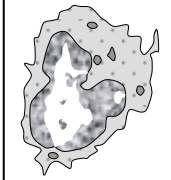
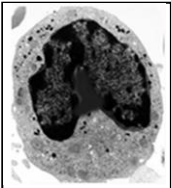
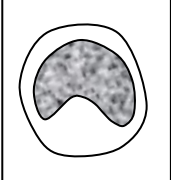
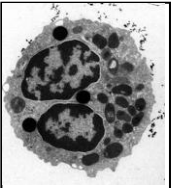
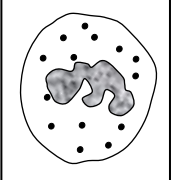
★ **مرحلة إخراج الحطام:** بعد هضمه وانحلاله، تطرح بقايا مولد المضاد خارج الخلية.

ج - الحالات المحتملة بعد البلعمة:

في أغلب الأحيان تنتهي البلعمة بانحلال العنصر الأجنبي المبتلع، ولكن يمكن أن تفشل لأسباب متعددة نذكر من بينها: بكتيريا تفرز مواد تمنع تكون الأرجل الكاذبة، أو تتوفر على أغشية تمنع التثبيت على مستقبلات البلعمية، أو تغادر الفجوة البلعمية، عجز أنزيمي... فينتج عن هذا بقاء البكتيريا سليمة مدة من الزمن، أو تكاثر مولد المضاد مما يؤدي إلى تدمير البلعمية وانتشار الخمج. وفي هذه الحالة تتدخل آليات أخرى تعرف بالاستجابة المناعية النوعية.

④ الخلايا المتدخلة خلال الاستجابة المناعية غير النوعية. أنظر الوثيقة 7

الوثيقة 7: الخلايا المتدخلة خلال الاستجابة المناعية غير النوعية. تمثل الوثيقة أسفله صورا الكتروغرافية ورسوما توضيحية، مع خصائص أهم الخلايا المناعية المتدخلة في الاستجابة المناعية غير النوعية.

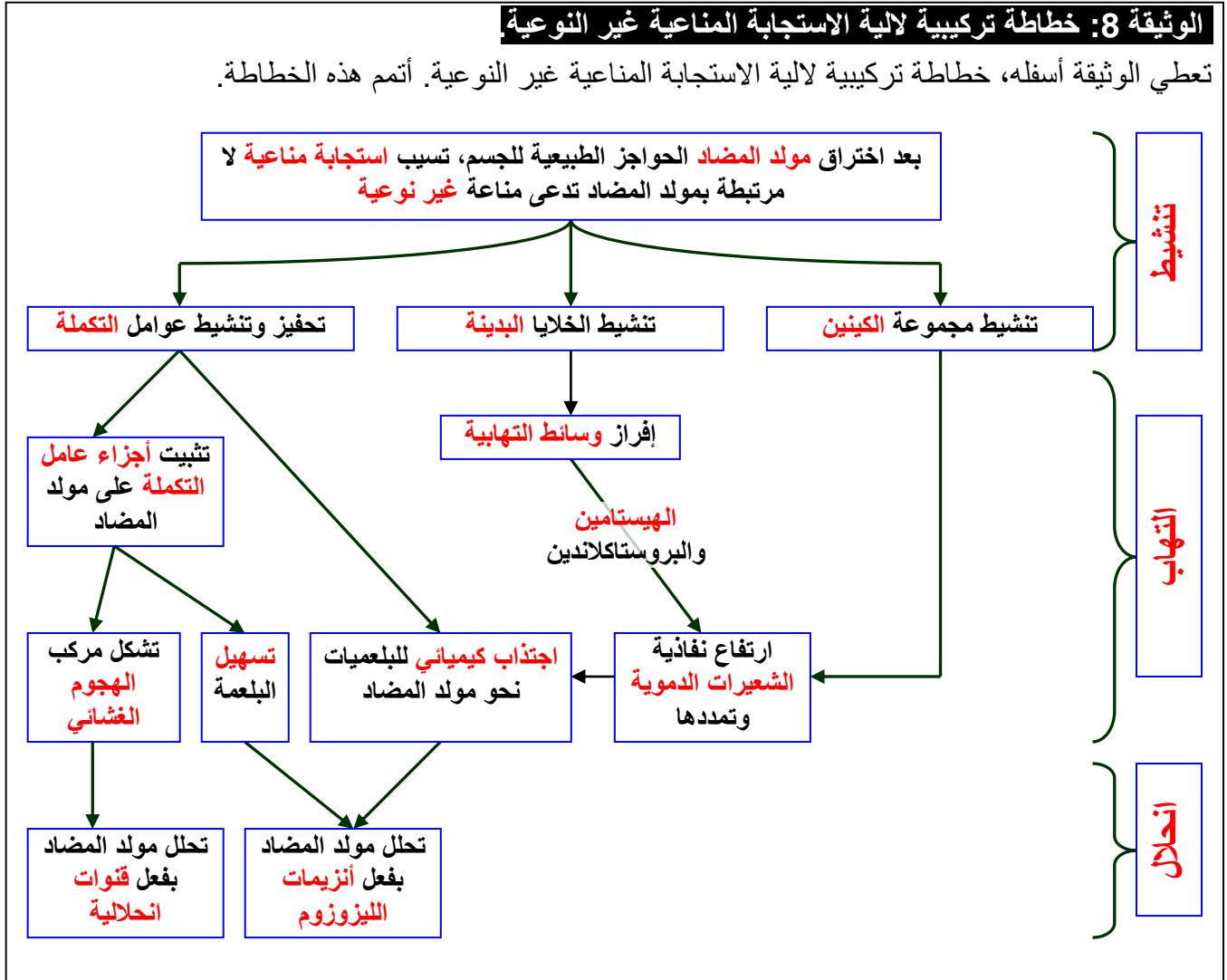
ملاحظة الكتروغرافية	رسم تفسيري للملاحظة الالكتروغرافية	اسم الكرية البيضاء	القطر ب (µm)	الخصائص	مواقع التواجد	الوظيفة
		الخلايا البدينة = الخلايا العمادية Mastocytes	15µm	- سيتوبلازم حبيبي يضم حبيبات الهيستامين. - تنحدر من المحببات	في بعض الأنسجة والمخاطيات	تحفز الالتهاب
		البلعميات الكبيرة Macrophages	قد يصل 150µm	- خلايا ضخمة ذات غشاء سيتوبلازمي جد منغمد. - لها قدرة كبيرة على الحركة.	في الأنسجة: الجلد، الكبد، الطحال، العقد اللمفاوية	قدرة كبيرة على البلعمة. - تساهم في المناعة النوعية (خلايا عارضة)
		الوحدات Monocytes	15 الى 30µm	- نواة محدبة على شكل حدوة جواد. - بإمكانها الانسلاخ، حيث تتحول إلى بلعميات كبيرة.	في الدم	- البلعمة
		المحببات = مفصصات النواة = متعددة النوى Granulocytes	10 الى 15µm	- نواة مفصصة. - سيتوبلازم حبيبي. - بإمكانها الانسلاخ	في الدم واللمف	- البلعمة - إفراز مواد قاتلة للجراثيم

تعرف على هذه الخلايا المناعية ودورها في الاستجابة المناعية غير النوعية

خلال الاستجابة المناعية غير النوعية، تتدخل مجموعة من الخلايا المناعية للقضاء على مولد المضاد كيفما كان نوعه. يمكن تصنيف هذه الخلايا المناعية المتدخلة إلى صنفين أساسيين، هما المحببات والوحيدات.

خلاصة:

تتدخل كل من الحواجز الطبيعية، الالتهاب والبلعمة حسب درجة الخمج وذلك كيفما كان نوع الجرثوم (استجابة مناعية غير نوعية). لكن القضاء على الجرثوم يبقى رهينا بعدة عوامل منها: نوع الجرثوم المتسرب للجسم، طبيعة نشاطه داخل الجسم، ونسبة الكريات البيضاء في الجسم. أنظر الوثيقة 8.



II - وسائل الدفاع النوعية:

يتعرض الإنسان لعدة أنواع من الامراض الجرثومية، إلا أنه يُعافى منها عموماً دون اللجوء إلى العلاج. كما أنه في الغالب يكتسب مناعة ضد هذه الأمراض في حالة إصابة أخرى، مما يدل على أن الجسم يتعرف على عناصر غير الذاتي التي سبق له القضاء عليها، وذلك بشكل نوعي. هذا ما يسمى بالاستجابة المناعية النوعية.


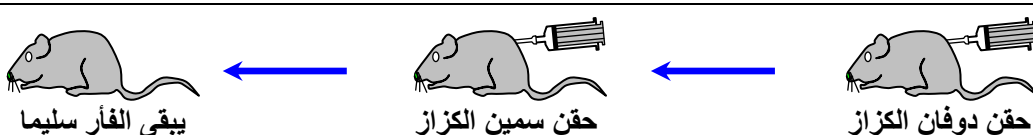
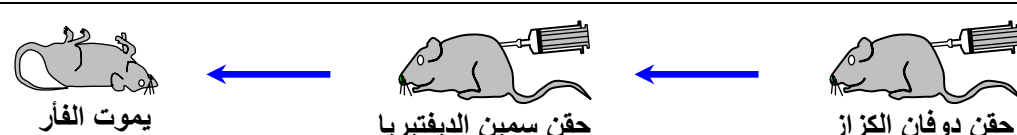
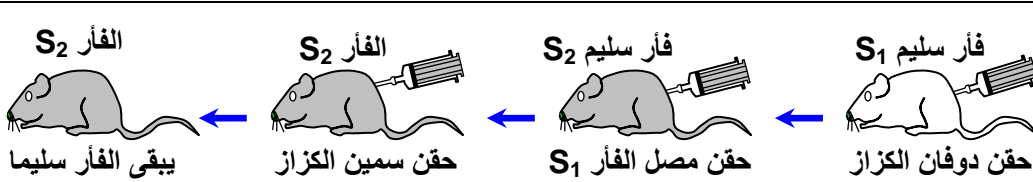
① خصائص الاستجابة المناعية النوعية

أ - الكشف عن نوعية الاستجابة المناعية النوعية:

a - تمرين: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: الكشف عن نوعية الاستجابة المناعية النوعية

بعض البكتيريات كالعصية الكزازية Bacille Tétanique والعصية الدفتيرية Bacille Diphtérique، تفرز في الوسط الداخلي سمينات Toxines مسؤولة عن فعلها الممرض. وتحت تأثير بعض العوامل كالحرارة والفورمول تفقد هذه السمينات قدرتها الممرضة في حين تحتفظ بقدرتها على شن استجابة مناعية نوعية. فنتكلم في هذه الحالة عن الدوفان L'anatoxine. تم القيام بالتجارب المبينة على الجدول أسفله. بعد تحليل نتائج كل تجربة أعط الاستنتاج المناسب. ماذا تستخلص من نتائج التجارب الأربع مجتمعة؟

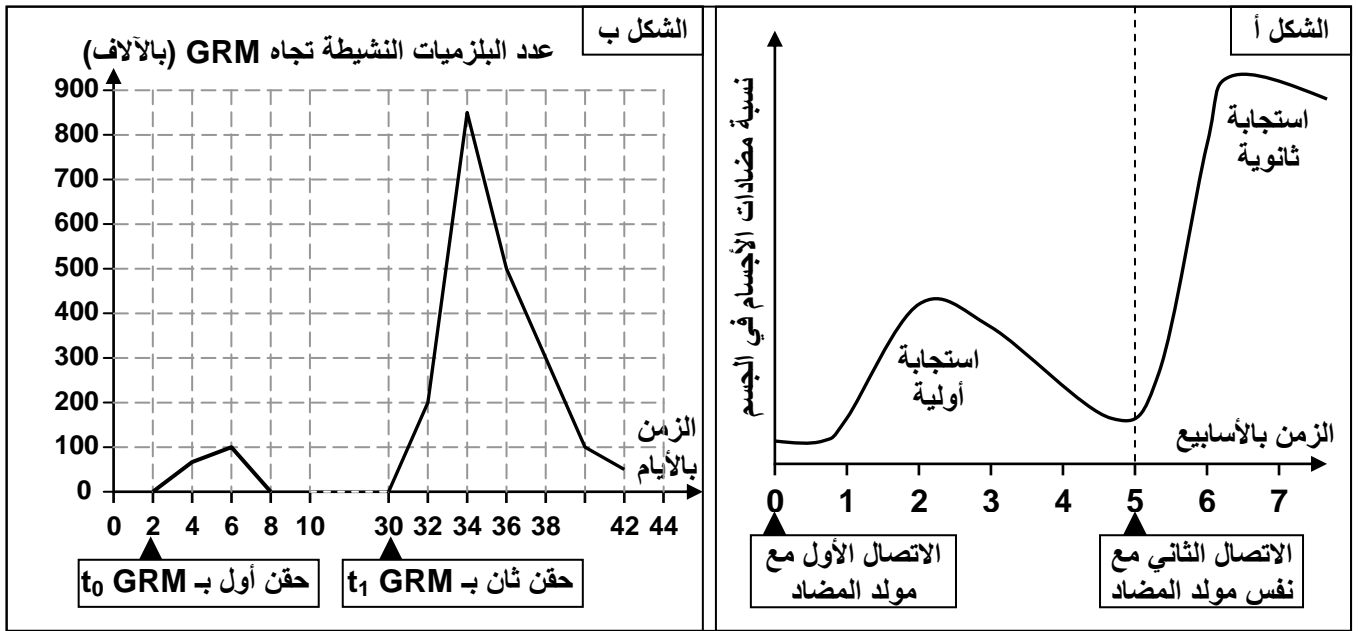
التجربة	التجارب ونتائجها	الاستنتاج
①		A
②		B
③		C
④		D

b - حل التمرين:

★ تحليل واستنتاج:

التجربة ①: يموت الفأر الشاهد بعد حقنه بسمين الكزاز مما يدل على أن الفئران تتأثر بسمين الكزاز.
 التجربة ②: يبقى الفأر سليماً رغم حقنه بسمين الكزاز مما يدل على أن دوفان الكزاز قام بمنعها ضد سمين الكزاز.
 التجربة ③: يموت الفأر الممنوع ضد الكزاز بعد حقنه بسمين الديفتيريا مما يدل على أن دوفان الكزاز لا يعطي مناعة ضد سمين الديفتيريا أي أن هناك تمنيعاً نوعياً Réponse Immunitaire spécifique.
 التجربة ④: يبقى الفأر S₂ سليماً رغم حقنه بسمين الكزاز، هذا يدل على أن مصل الفأر S₁ يحتوي على مادة لها القدرة على حماية الفأر S₂ من سمين الكزاز.

★ يتبين من خلال التجارب السابقة أن الاستجابة المناعية التي تتم في هذه الحالة لحماية الكائن الحي تتم بواسطة مادة موجودة في أخلاط (الوسط الداخلي) الحيوان الممنوع، لذا نتكلم عن استجابة مناعية عن طريق وسيط خلطي Réponse Immunitaire médiation à humorale كما أن هذه الاستجابة هي استجابة نوعية spécifique لأن المادة الناتجة عن دوفان الكزاز لا تحمي إلا من سمين الكزاز وليس من أي سمين آخر. لذلك نسمي السمين هنا بمولد المضاد Antigène، حيث يولد استجابة ضده تتم بواسطة مادة توجد في المصل وتسمى بمضاد الأجسام Anticorps.



(1) تحليل واستنتاج:

★ **التجربة 1:** تم رفض الطعم الجلدي الأول من A إلى B لأن جسم المتلقي B تعرف على الطعم كعنصر غير ذاتي يجب التخلص منه وذلك لأنه يحمل CMH مخالف لـ CMH جسم المتلقي B. وتتطلب آلية التعرف على مولد المضاد مدة زمنية طويلة نسبياً.

★ **التجربة 2:** نلاحظ أن مهلة الرفض في التطعيم الثاني (استجابة ثانوية) تكون أقل من مهلة الرفض في التطعيم الأول (استجابة أولية) لأن الجسم سبق له أن تعرف على مولد المضاد.

★ **التجربة 3:** لقد أصبحت الكريات اللمفاوية للفأر C قادرة على التعرف مباشرة على CMH الفأر المعطي A الذي سبق لها التعرف عليه.

نستنتج من التجارب السابقة أن الخلايا المناعية تحمل ذاكرة مناعية تجعل كل استجابة مناعية ثانوية تكون فورية.

(2) بعد الحقن الأول لمولد المضاد تكون نسبة مضادات الأجسام في دم القنينة ضعيفة. نفس هذه النتائج بوجود استجابة مناعية بواسطة مضادات الأجسام ضد مولد المضاد. إلا أن هذه الاستجابة المناعية الأولية لا تكون جد فعالة، لعدم التعرف الفوري للجهاز المناعي على مولد المضاد.

يؤدي الحقن الثاني لنفس مولد المضاد إلى ظهور استجابة مناعية ثانوية تتميز بارتفاع سريع و قوي لكمية مضادات الأجسام مقارنة بالحقن الأول.

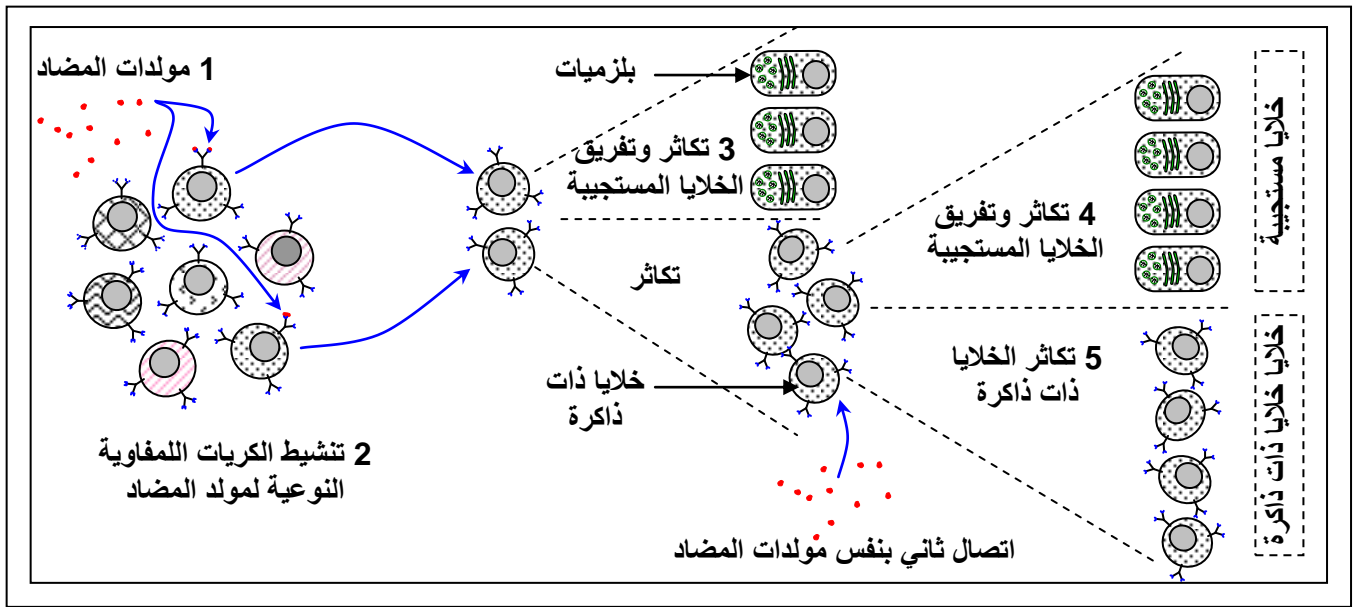
نفس هذه النتائج يكون الجهاز المناعي يتوفر على ذاكرة مناعية تمكنه من التعرف بسرعة على مولدات المضاد التي سبق له أن قاومها. وهذا ما يفسر الملاحظات التاريخية حول مرض الحصبة.

(3) نلاحظ أن عدد البلازيمات المفترزة لمضادات الأجسام Anti-GRM يكون ضعيفاً خلال الاستجابة الأولية، فيرتفع خلال الاستجابة الثانوية. نستنتج من هذه المعطيات أنه خلال الاستجابة المناعية الأولية تتوقف عدة خلايا مناعية عن التفريق لتكون خلايا لمفاوية ذات ذاكرة.

b - آلية الذاكرة المناعية: أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 11: آلية الذاكرة المناعية.

تعطي الوثيقة أسفله، رسماً تخطيطياً تفسيريًا لآلية الذاكرة المناعية. أول معطيات هذا الرسم التخطيطي مبينا مفهوم الذاكرة المناعية.

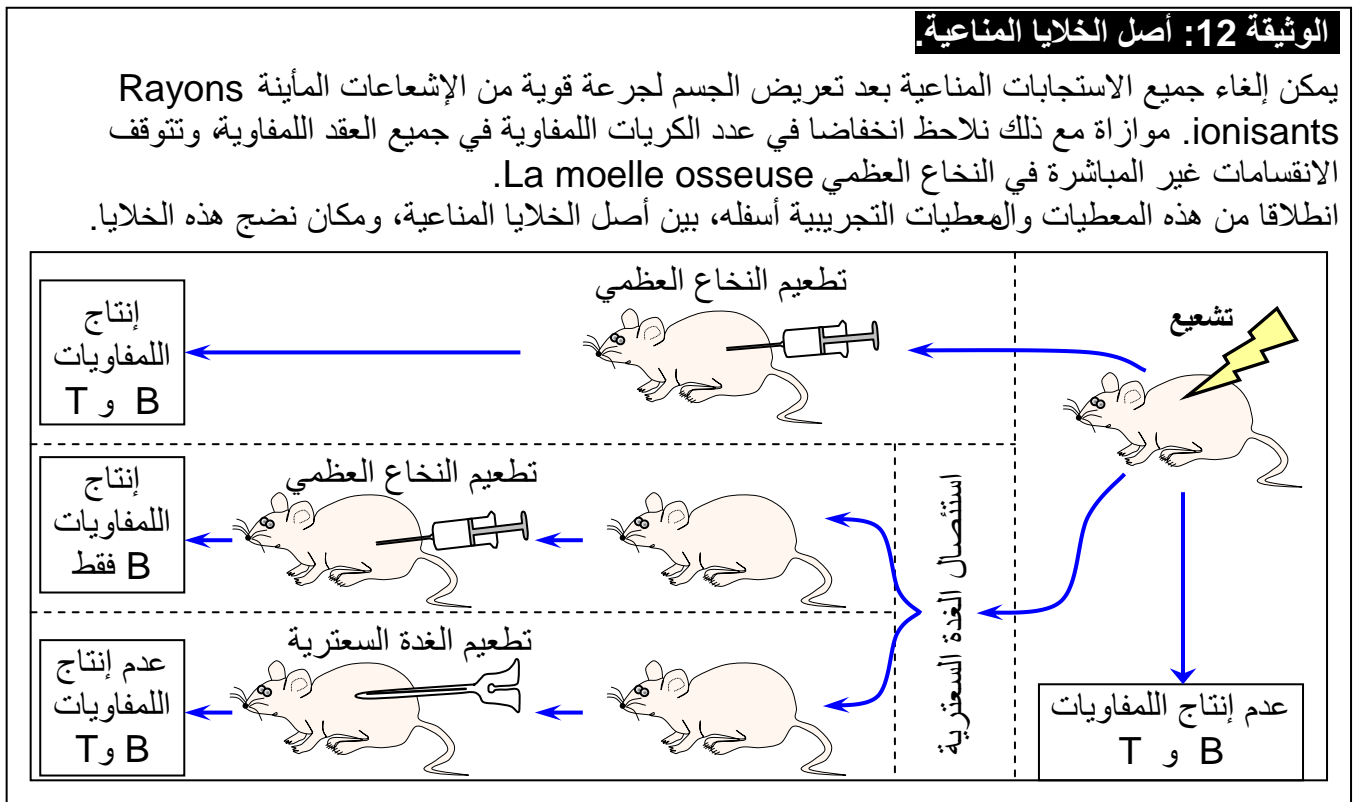


تفسر الذاكرة المناعية بأنه خلال مرحلة التضخيم للاستجابة المناعية الأولى تتوقف عدة خلايا لمفاوية عن التفریق لتتحول إلى كريات لمفاوية ذات ذاكرة. و تعيش هذه الخلايا طويلا في الجهاز الدوراني. وهكذا تتكون ذخيرة من الخلايا القادرة على التعرف على مولد المضاد مباشرة بعد اختراقه الحواجز الطبيعية للجسم. وبذلك تكون الاستجابة المناعية الثانوية فورية وقوية.

② الأعضاء والخلايا المناعية المتدخلة خلال الاستجابة المناعية النوعية.

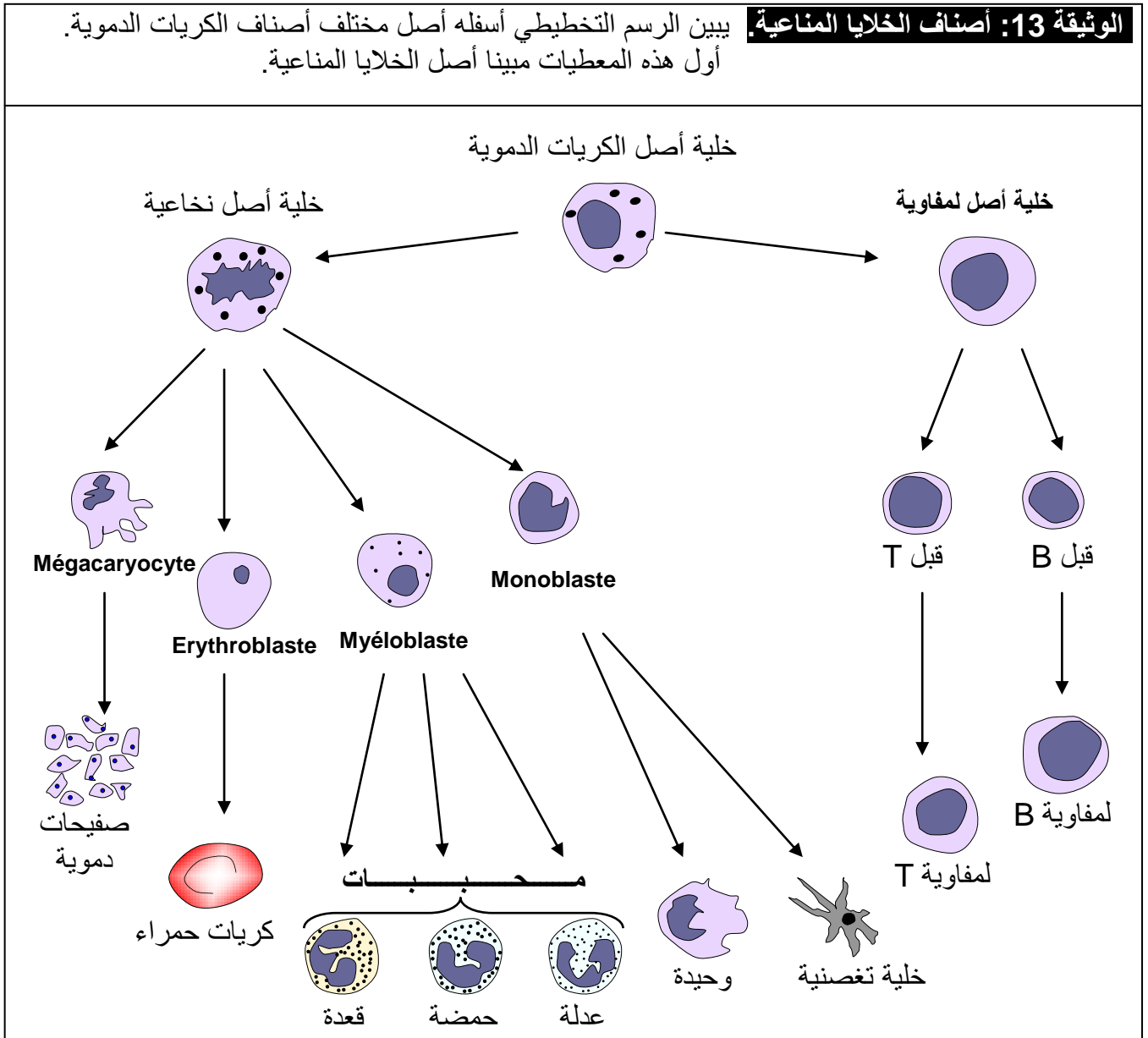
أ - الخلايا المناعية:

a - أصل الخلايا المناعية: أنظر الوثيقة 12.



يعد النخاع العظمي الأحمر أصل الخلايا الدموية بما فيها الكريات اللمفاوية المتدخلة في الاستجابات المناعية. ونميز نوعان من الكريات اللمفاوية حسب المستقبلات البروتينية الموجودة على غشائها البلازمي: الكريات اللمفاوية B: تنتج وتتضج داخل النخاع العظمي (التسمية B من Bone أي عظم). الكريات اللمفاوية T: تنتج داخل النخاع العظمي، وتتضج بالغدة السعترية (التسمية T من Thymus أي سعترية).

b - أصناف الخلايا المناعية: أنظر الوثيقة 13 والوثيقة 14.



تتكون الكريات اللمفاوية، على غرار جميع خلايا الدم (الكريات البيضاء المتدخلة في المناعة غير النوعية، الكريات الحمراء، الصفائح الدموية...)، على مستوى النخاع العظمي الأحمر انطلاقاً من الخلايا الأصل للكريات الدموية، والتي تتجدد باستمرار طيلة العمر. (ينتج النخاع العظمي يومياً حوالي $1.75 \cdot 10^{11}$ كرية حمراء و $7 \cdot 10^{10}$ كرية بيضاء).

★ تخضع الخلايا الأصل النخاعية للتفريق لتعطي أنماطاً مختلفة من الكريات البيضاء: المحببات، الوحيدات، الخلايا التغصنية...

★ تخضع الخلايا الأصل اللمفاوية للتفريق لتعطي:

❖ **الكريات اللمفاوية B:** تستقر في العقد اللمفاوية Ganglions lymphatiques والطحال Rate. وتملك مستقبلات نوعية، تسمى المستقبلات B أو (B Cell Receptor) BCR.

❖ **الكريات اللمفاوية T:** تستقر في العقد اللمفاوية والطحال، وتملك مستقبلات تتعرف على أجزاء بروتينية من مولد المضاد (محددات مستضادية)، وتسمى المستقبلات T أو (T Cell Receptor) TCR.

الوثيقة 14: أصناف الكريات البيضاء Les Leucocytes

تصنف الكريات البيضاء حسب بنيتها وحسب تفاعلها مع بعض الملونات. يعطي الجدول أسفله أنواع الكريات البيضاء وبعض خصائصها. تعرف على مختلف الخلايا المناعية المتدخلة في الاستجابة المناعية النوعية.

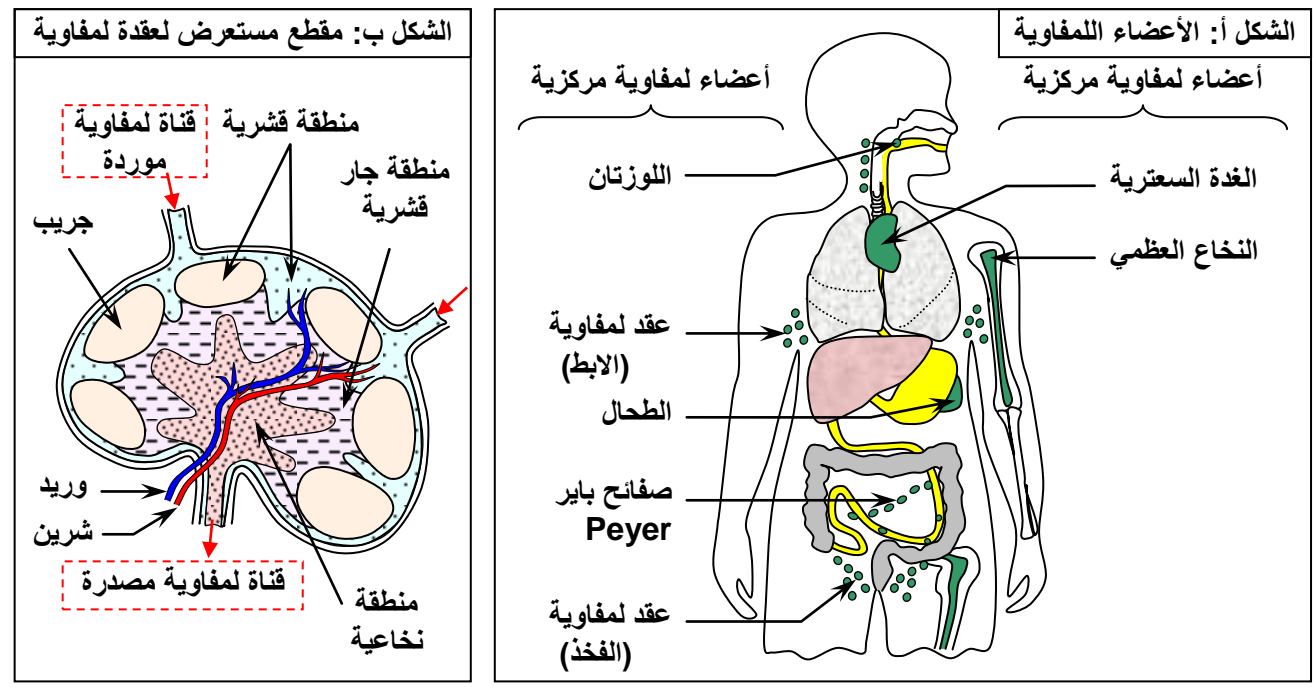
كريات بيضاء وحيدة النواة Mononucléaires		كريات بيضاء متعددة النوى Polynucléaires محببات Granulocytes			نوع الخلايا
كريات لمفاوية Lymphocytes	الوحدات Monocytes	قعدات Basophiles	حمضات Eosinophiles	عدلات Neutrophiles	
7 - 8	14 - 20	9 - 10	10 - 12	10 - 12	قدها ب μm
4000 - 1400 حوالي 20% إلى 45%	700 - 100 حوالي 3% إلى 7%	50 - 10 حوالي 0% إلى 0.5%	300 - 50 حوالي 1% إلى 3%	7000 - 2000 حوالي 45% إلى 70%	عدد الخلايا في mm^3 من الدم
العدد الكلي هو حوالي 4000 عند ♂ و 10000 عند ♀					
النخاع العظمي أو كبد الحميل					
الدم واللمف والأعضاء اللمفاوية المحيطة	الدم واللمف وتتحول إلى بلعميات في الأنسجة	الدم واللمف وتتحول إلى خلايا بدنية في الأنسجة	الدم و اللmf والأنسجة	الدم و اللmf والأنسجة	مكان تواجدها
تتدخل في الاستجابات المناعية النوعية	تتحول إلى بلعميات تقوم ببلعمة العناصر الدخيلة	تنظيم الاستجابات الالتهابية	تدمير الطفيليات	بلعمة وتدمير البكتيريا الدخيلة	دورها

تصنف الكريات البيضاء حسب بنيتها وتفاعلها مع بعض الملونات إلى محببات (متعددة النوى) والوحدات، والكريات اللمفاوية، والخلايا التغصنية.

ب - الأعضاء اللمفاوية ودورها: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: الأعضاء اللمفاوية

وللتعرف على الأعضاء اللمفاوية المتدخلة خلال الاستجابة المناعية النوعية ودورها، نقترح دراسة الوثائق التالية: يمثّل الشكل أ من الوثيقة مختلف أعضاء الجهاز اللمفاوي. والشكل ب رسماً تخطيطياً لمقطع مستعرض لأحد الأعضاء اللمفاوية. بعد إعطاء عناصر هذه الوثيقة، ومن خلال هذه المعطيات، صنف مختلف أعضاء الجهاز اللمفاوي.



★ تسمى مخلف الأعضاء المتدخلة في الاستجابة المناعية بالأعضاء اللمفاوية، وهي التي تتشكل مع الكريات اللمفاوية وباقي الكريات البيضاء الجهاز المناعي.

★ يمكن تقسيم الأعضاء اللمفاوية أو أعضاء الجهاز المناعي إلى:

✓ أعضاء ليمفاوية مركزية: وهي نخاع العظمي الأحمر المسؤول عن إنتاج الكريات اللمفاوية، والغدة السعترية.

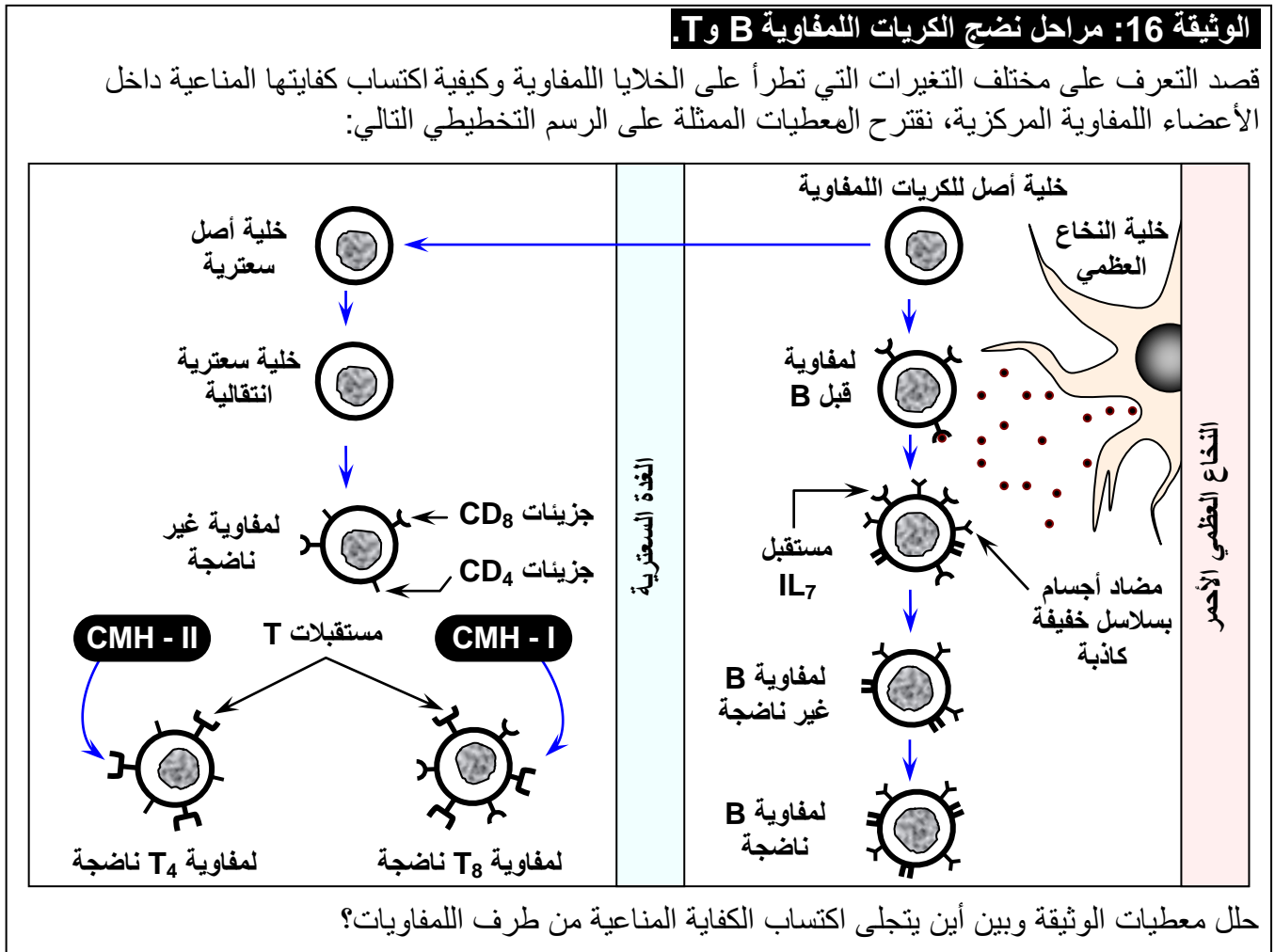
✓ أعضاء ليمفاوية محيطية: وهي الطحال واللوزتان والزائدة الدودية وصفائح Peyer على غشاء الأمعاء، والعقد اللمفاوية، التي تكون موزعة على المسالك اللمفاوية. وهذه الأخيرة هي عبارة عن عروق يجري فيها اللمف عوض الدم، وترتبط مختلف الأعضاء اللمفاوية.

★ بعد نضجها في الأعضاء اللمفاوية المركزية، تنتقل اللمفاويات T و B بواسطة الدورة الدموية نحو مختلف أنسجة الجسم، لتشكل بعد تسربها عبر الشعيرات الدموية، مع البلازما، ما يسمى اللمف الليمفاوي. ينتقل هذا اللمف داخل الأوعية اللمفاوية، ثم يُنقل نحو مختلف الأعضاء اللمفاوية المحيطية، حيث يتم على مستواها تخزين وتكاثر اللمفاويات T و B، وكذلك التعرف على عناصر غير الذاتي (مولدات المضاد). يعود بعد ذلك اللمف الليمفاوي إلى الدورة الدموية حاملاً معه الخلايا المناعية الناضجة.

③ اكتساب الكفاية المناعية L'immunocompétence.

أ - مراحل نضج اللمفاويات B و T:

a - ملاحظات: أنظر الوثيقة 16.



b - تحليل واستنتاج:

يتجلى نضج الكريات اللمفاوية B و T في تركيبها لمستقبلات نوعية تتموضع على سطحها. ويحدث هذا النضج في النخاع العظمي والغدة السعترية، ويخضع لمراقبة دقيقة بواسطة التماس مع عدة خلايا من محيطها المباشر. وباستقبالها لعدة إشارات جزيئية.

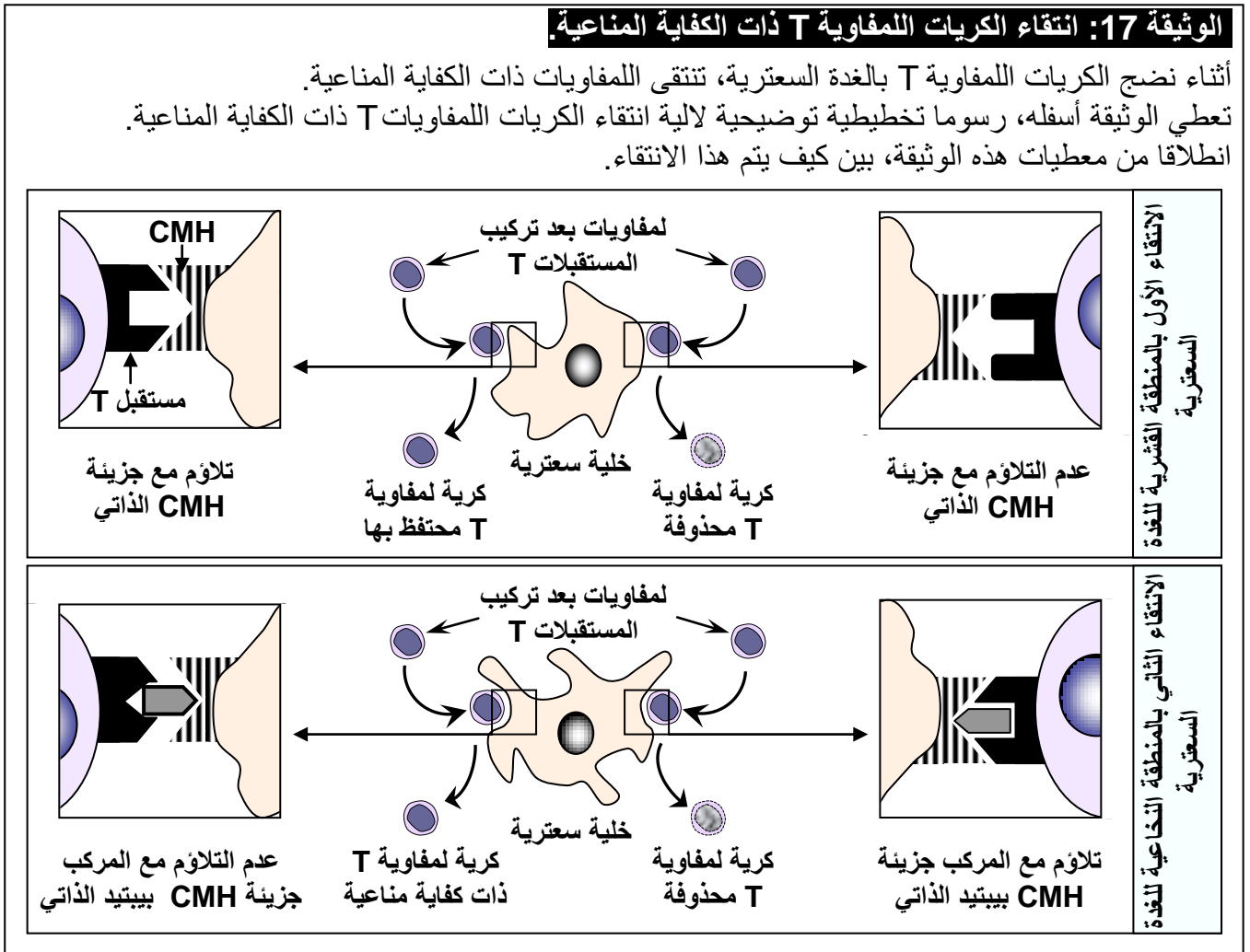
✓ تكتسب الكريات اللمفاوية B كفايتها المناعية في نخاع العظمي، حيث تتركب مستقبلات غشائية تدعى مضادات الأجسام الغشائية. وبعد تركيبها لهذه المستقبلات الغشائية، تخضع الكريات اللمفاوية B لانتقاء يتمثل في حذف اللمفاويات التي تظهر ارتباطا متينا بمولدات المضاد الذاتية المحمولة من طرف خلايا نخاع العظمي.

✓ تكتسب الكريات اللمفاوية T كفايتها المناعية في الغدة السعترية، حيث تتركب مستقبلات غشائية تدعى المستقبلات T. وبعد تركيبها لهذه المستقبلات الغشائية، تخضع الكريات اللمفاوية T لانتقاء أولي، حيث يتم تقديم جزيئات CMH المميزة للذاتي لهذه الكريات اللمفاوية، فنجد أن:

- الكريات اللمفاوية التي تتفاعل وترتبط بـ II - CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD₄ و TCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T₄.
- الكريات اللمفاوية التي تتفاعل وترتبط بـ I - CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD₈ و TCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T₈.

ب - انتقاء الكريات اللمفاوية T ذات الكفاية المناعية:

a - ملاحظات: أنظر الوثيقة 17.



b - تحليل واستنتاج:

↳ بعد تركيب المستقبلات T، تخضع اللمفاويات T لأول عملية انتقاء والتي تتم على مستوى المنطقة القشرية للغدة السعترية، حيث يتم تقديم جزيئات CMH المميزة للذاتي للكريات اللمفاوية، فنجد أن:

- ★ الكريات اللمفاوية التي تتفاعل وترتبط بـ II - CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD₄ و TCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T₄.
- ★ الكريات اللمفاوية التي تتفاعل وترتبط بـ I - CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD₈ و TCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T₈.
- ★ الكريات اللمفاوية التي لم تتعرف على CMH تحذف وتموت.

يسمى هذا الانتقاء بالانتقاء الايجابي لأن الذي يتفاعل مع الذاتي يحتفظ به، والذي لا يتفاعل مع الذاتي يموت.

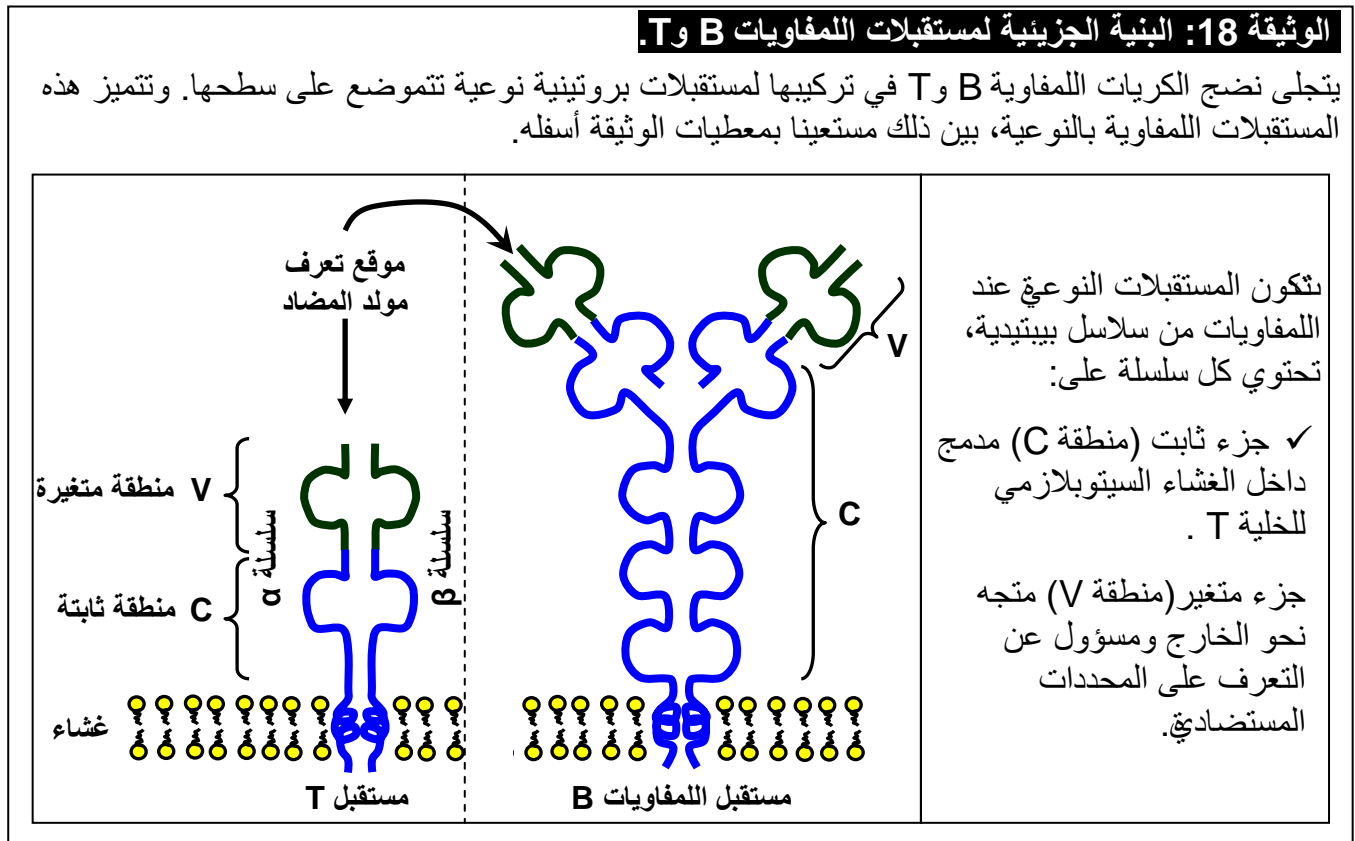
↳ بعد الانتقاء الأول تخضع الكريات اللمفاوية لانتقاء ثاني على مستوى المنطقة النخاعية للغدة السعترية، حيث يتم تقديم بيبتيديات الذاتي معروضة على جزيئة CMH إلى الكريات اللمفاوية، فنجد أن:

- ★ الكريات اللمفاوية التي سوف تتعرف بواسطة مستقبلاتها T على بيبتيديات الذاتي وترتبط بها، تحذف وتموت.
- ★ الكريات اللمفاوية التي لن تتعرف بواسطة مستقبلاتها T على بيبتيديات الذاتي، وبالمقابل سوف تتعرف على بيبتيديات غير الذاتي، فإنها تعيش وتصبح كرية لمفاوية ناضجة.

ويسمى هذا الانتقاء بالانتقاء السلبي، لأن الذي يتفاعل مع الذاتي يموت والذي لا يتفاعل مع الذاتي يحتفظ به.

ج - البنية الجزيئية لمستقبلات اللمفاويات B و T:

a - ملاحظات: أنظر الوثيقة 18.



b - تحليل واستنتاج:

★ تتركب على غشاء اللمفاويات B مستقبلات غشائية تدعى مضادات الأجسام الغشائية (IgM)، والتي تتكون من سلسلتين بيبتيديتين ثقيلتين وسلسلتين خفيفتين، كل سلسلة تضم منطقة ثابتة (C) تتشابه عند جميع مضادات الأجسام، ومنطقة متغيرة (V) تتغير حسب مولدات المضاد. تختلف المنطقة V من مضاد أجسام لآخر، حيث تشكل موضعاً لتثبيت المحدد المستضادّي، مما يدل على نوعية مضادات الأجسام تجاه مولد مضاد معين.

★ تتركب على غشاء اللمفاويات T مستقبلات T، والتي تتكون من سلسلتين بيبتيديتين تضم كل واحدة: جزء ثابت (منطقة C) مدمج داخل الغشاء السيتوبلازمي للخلية T، وجزء متغير (منطقة V) متجه نحو الخارج ومسؤول عن التعرف الثنائي على البروتينات المعروضة في شكل بيبتيديات مرتبطة بجزيئة CMH، على سطح خلية جسدية أو خلية عارضة لمولد المضاد (CPA). هذا يدل على نوعية المستقبلات T.

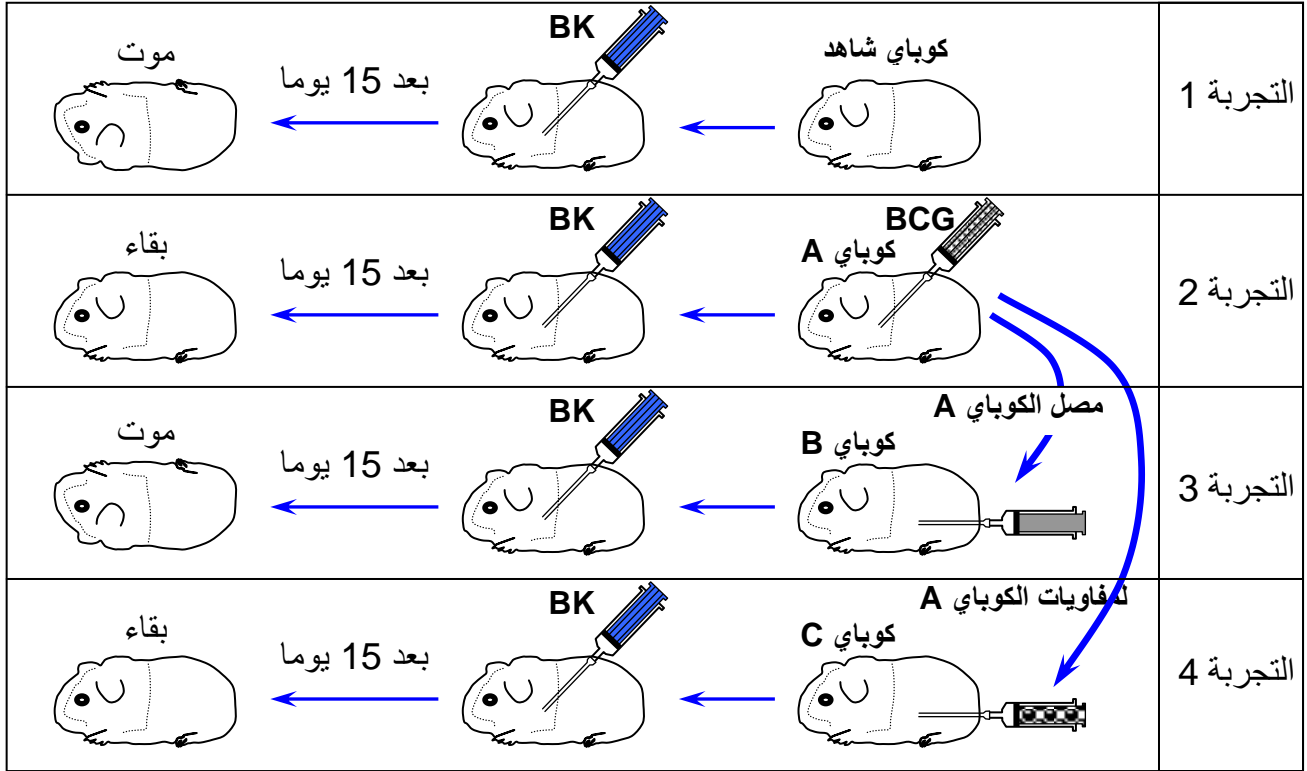
④ الاستجابة المناعية ذات مسلك خلوي. Médiation cellulaire.

أ - تجربة نقل المناعة:

a - معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 19.

الوثيقة 19: تجربة نقل المناعة عند الكوباي. Le cobaye est un petit rongeur

يصاب الإنسان ومجموعة من الثدييات بالسل عن طريق بكتيريا تعوى عصيات كوخ (Bacille de koch) (BK). إذ تتطور هذه الجرثومة داخل خلايا الرئة والعظام والكليتين... وقد اكتشف لقاح ضد هذا المرض من طرف الفرنسيين Calmette و Guérin، انطلاقاً من عصيات مرض سل الأبقار، فسمي هذا الشكل BCG (Bacille de Calmette Guérin) وهو يحدث استجابة مناعية دون إحداث المرض. تم القيام بتجارب على كوابيات A و B و C لها نفس CMH أي أنها سلالات متلائمة نسيجياً. فصلنا على النتائج الممثلة على الوثيقة أسفله:



حلل نتائج هذه التجارب واستنتج العناصر المتدخلة في هذه الاستجابة المناعية.

b - تحليل واستنتاج:

★ يموت الكوباي الشاهد بعد حقنه ببكتيريا BK، وذلك لإصابته بالسل، إذن هي بكتيريا حادة، وتعتبر عنصراً غير ذاتي (مولد المضاد).

★ بعد حقن BCG يبقى الكوباي A سليماً عند حقنه ب BK، مما يدل على أن BCG أحدثت عند الكوباي A تمنيعاً ضد بكتيريا BK.

★ يموت الكوباي B بعد حقنه ب BK، رغم أنه حصل على مصلي الكوباي A الممنع ضد BK، مما يدل على أن المادة الممنعة ضد BK لا توجد في المصل.

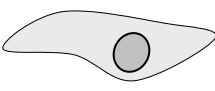
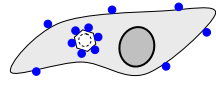
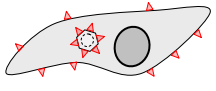

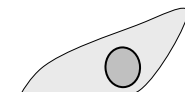
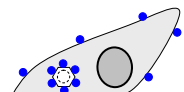
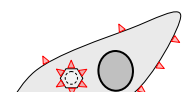

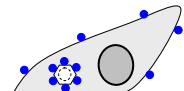
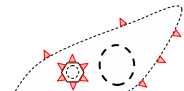


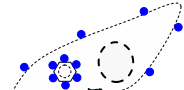
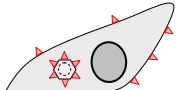
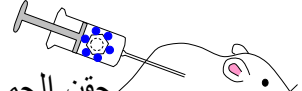
★ بعد حقنه بلمفاويات الكوباي A، يبقى الكوباي C سليماً عند حقنه ب BK، مما يدل على أن الكريات اللمفاوية هي المسؤولة عن حماية الكوباي C ضد BK.




عند حقن الحيوان ب BCG تكتسب الكريات اللمفاوية خاصية التعرف على مولد المضاد BK، لتقوم بتدميره وتسمى هذه الاستجابة باستجابة مناعية نوعية عن طريق وسيط خلوي، لأن العامل الممنع هنا هي الكريات اللمفاوية.

ب - الكشف عن شروط تدخل اللمفاويات T:
a - معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 20.

الوثيقة 20: الكشف عن شروط تدخل اللمفاويات T القاتلة. Les lymphocytes T cytotoxiques

لتحديد ظروف إقصاء خلايا معفنة بحمة، نحضر في أنابيب اختبار ثلاثة أوساط زرع لخلايا مأخوذة من جلد الفئران (تحمل مركب التلاؤم النسيجي H₂k).
الوسط الأول: خلايا معفنة بحمة A، الوسط الثاني: خلايا معفنة بحمة B، الوسط الثالث خلايا غير معفنة.
تضاف للخلايا الجلدية في الأوساط الثلاثة كريات لمفاوية T (L_T) مأخوذة من فئران من نفس أصل الذرية، سليمة أو سبق حقنها إما بالحمة A أو بالحمة B. ويبين الجدول أسفله النتائج المحصل عليها:

خلية غير معفنة	مولد مضاد الحمة B	مولد مضاد الحمة A	أوساط الزرع (خلية عائلة) مصدر اللمفاويات T
			 أخذ كريات لمفاوية T L _T
 L _T عدم التحطيم	 L _T عدم التحطيم	 L _T عدم التحطيم	
 L _T عدم التحطيم	 L _T عدم التحطيم	 L _T تحطيم	 حقن الحمة A أخذ اللمفاويات T بعد أسبوع من الحقن L _T
 L _T عدم التحطيم	 L _T تحطيم	 L _T عدم التحطيم	 حقن الحمة B أخذ اللمفاويات T بعد أسبوع من الحقن L _T

الحممة A  **الحممة B**  **محددات مستضادية للحممة A**  **محددات مستضادية للحممة B** 

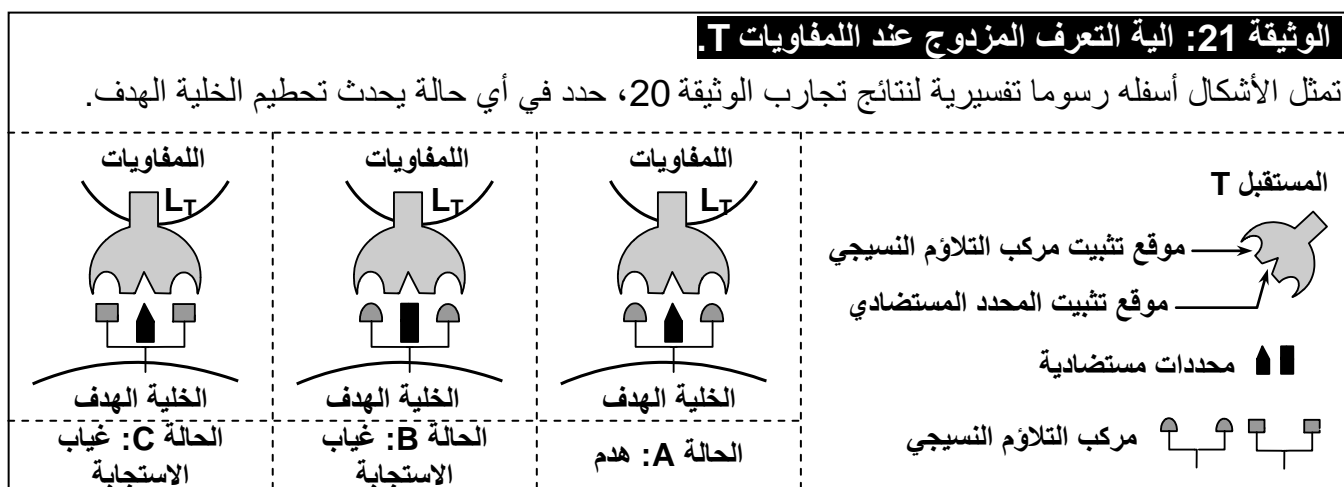
عند إعادة نفس التجارب باستعمال خلايا جلدية مأخوذة من فئران تحمل مركب التلاؤم النسيجي H₂d، لا تحطم الخلايا بواسطة لمفاويات T مأخوذة من فئران من السلالة H₂k
حلل المعطيات التجريبية واستخرج شروط هدم الخلايا المعفنة من طرف اللمفاويات T.

b - تحليل واستنتاج:

- ★ خلال التجربة الأولى لم تعمل الكريات اللمفاوية L_T على تحطيم الخلايا المعفنة، لأنها لم يسبق لها التعرف على هذه الحمات.
- ★ خلال التجربة الثانية تعمل الكريات اللمفاوية L_T على تحطيم الخلايا المعفنة بالحممة A فقط، والتي سبق التعرف عليها.
- ★ خلال التجربة الثالثة تعمل الكريات اللمفاوية L_T على تحطيم الخلايا المعفنة بالحممة B فقط، والتي سبق التعرف عليها.
- ★ عند استعمال خلايا لا تحمل نفس مركب التلاؤم النسيجي H₂k، لا يتم تدمير أي خلية من طرف اللمفاويات L_T.

يتبين من هذه التجارب أن الكريات اللمفاوية T تتعرف وتهدم الخلايا المعفنة، وذلك بتعرفها على المحددات المستضادية غير الذاتية المعروضة على سطح الخلية المعفنة بواسطة بروتينات مركب التلاؤم النسيجي. إذن هو تعرف مزدوج: اتجاه الخلية الهدف الحاملة لمولد المضاد واتجاه مولد المضاد نفسه. تتعدت إذن هذه الخلايا باللمفاويات T القاتلة، ونرمز لها بـ T_C (Lymphocyte T cytotoxic)، وهي خلايا ناتجة عن تفريق الكريات اللمفاوية T_8 .

★ لفهم خاصية التعرف المزدوج للخلايا اللمفاوية T على الخلايا الهدف المعفنة، نقترح الرسم التفسيري على الوثيقة 21.



يتبين من هذه المعطيات أن الكريات اللمفاوية T تتوفر على مستقبلات غشائية تتميز بموقعين للتثبيت:

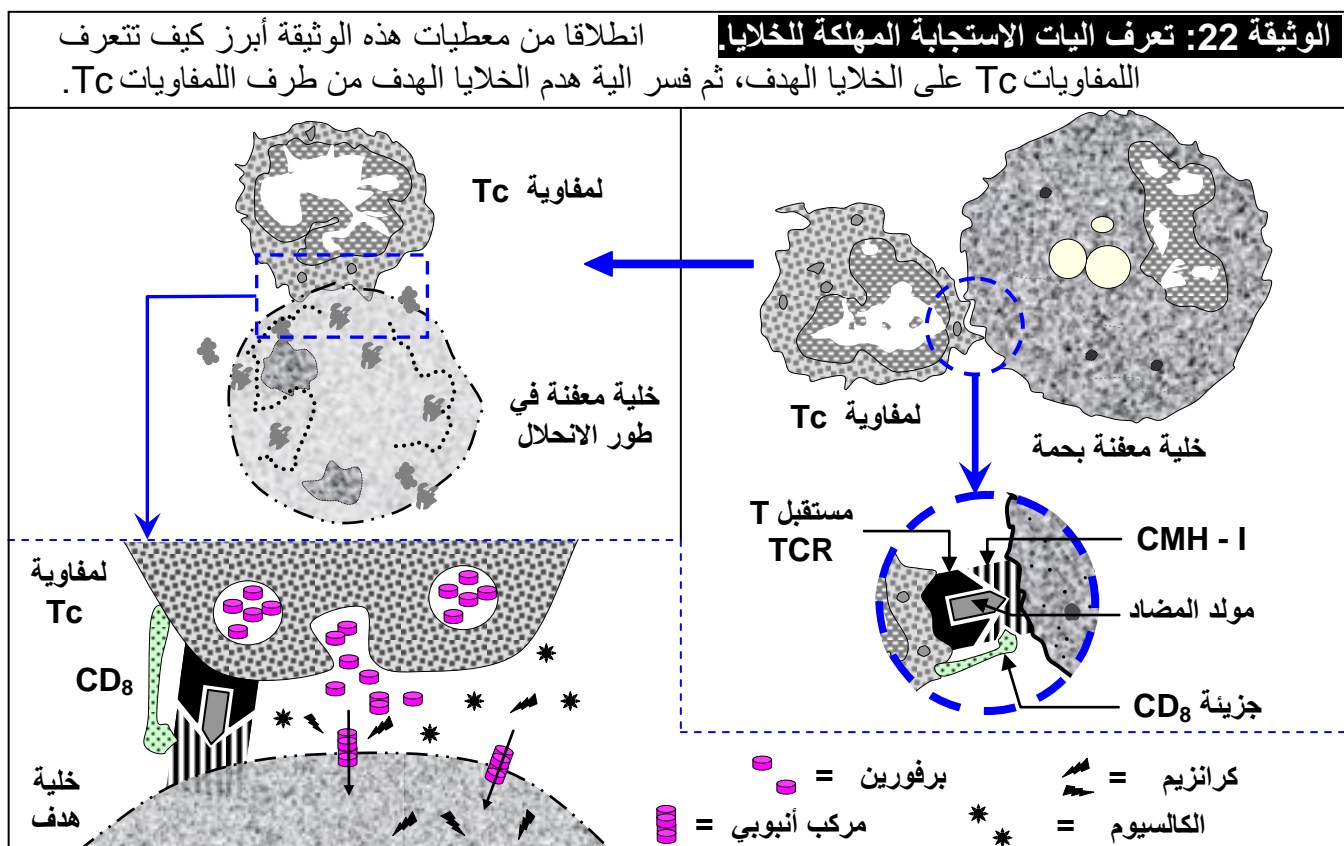
✓ موقع لتثبيت المحدد المستضادي.

✓ موقع لتثبيت مركب التلاؤم النسيجي الخاص بالخلية العارضة للمحدد المستضادي.

إذا حصل هذا التثبيت المزدوج بين الكرية اللمفاوية T والخلية الهدف والذي لا يحصل إلا إذا كان هناك تكامل بنيوي بين مواقع التثبيت والعنصر المثبت، تكون الكرية اللمفاوية قد تعرفت على الخلية الهدف فتبدأ عملية تنفيذ الهجوم.

ج - آليات الاستجابة المهلكة للخلايا:

★ لتحديد مراحل الية الاستجابة المهلكة للخلايا، نعطي الأشكال الممثلة على الوثيقة 22.



★ يتضح من خلال معطيات الوثيقة، أن للمفاويات T_c تتعرف على المحدد المستضادي لمولد المضاد بواسطة المستقبلات الغشائية T الخاصة بها، و التي تكون نوعية لمولد مضاد معين، كما أنها تتعرف على CMH-I العارض للمحدد المستضادي، لهذا نتكلم عن التعرف الثنائي. ويتساهم الواسمات CD_8 كذلك في هذا التعرف.

★ مراحل الية الاستجابة المهلكة للخلايا:

a - طور الحث: Phase d induction

بعد دخول مولد المضاد (حمة مثلا) إلى الوسط الداخلي، تتم بلعمته من طرف الخلايا العارضة لمولد المضاد CPA (Cellule Présentatrice de l'Antigène) (البلعميات الكبيرة وخلايا Langerhans للجلد)، التي ستعرض المحددات المستضادية لمولد المضاد الدخيل على جزيئة CMH، فتنقل إلى العقد للمفاوية حيث يتم الانتقاء للمي للكريات للمفاوية T النوعية للمحددات المستضادية المعروضة بواسطة خلايا CPA:

- للمفاويات T_8 تتعرف على المحدد المستضادي المعروض من طرف CMH-I.
- للمفاويات T_4 تتعرف على المحدد المستضادي المعروض من طرف CMH-II.

يؤدي هذا الارتباط إلى تنشيط خلايا CPA التي تفرز وسيطا مناعيا Médiateur immunitaire يسمى الأنترلوكين 1 والذي يؤدي إلى تنشيط الكريات للمفاوية T_4 و T_8 النوعية للمحدد المستضادي.

✓ يؤدي تنشيط الكريات للمفاوية T_4 إلى تكاثرها و إفرازها لوسيط مناعي هو الأنترلوكين 2 (IL_2). و $IFN\gamma$ (Interféron).

✓ يؤدي تنشيط الكريات للمفاوية T_8 إلى تركيبها لمستقبلات غشائية خاصة بالأنترلوكين 2، ثم تموضع هذه المستقبلات فوق غشائها السيتوبلازمي.

b - طور التضخيم: Phase d'Amplification

ينقسم هذا الطور إلى مرحلتين:

← مرحلة التكاثر: Période de multiplication

خلال هذه المرحلة يتم تنشيط الكريات للمفاوية T_8 المتوفرة على المستقبلات الخاصة بالأنترلوكين 2 بواسطة IL_2 . فتتكاثر هذه الكريات للمفاوية مكونة لمات Des Clones، كل لمة تكون ناتجة عن كرية لمفاوية واحدة فتتكاثر بذلك عن مرحلة التوسع للمي Expansion clonale.

← مرحلة التفريق: Période de différenciation

خلال هذه المرحلة تتحول الكريات للمفاوية T_8 إلى كريات لمفاوية مهلكة الخلايا T_c (LTC) تحتوي على حويصلات غولجية غنية بجزيئات بروتينية تسمى البرفورين La perforine.

c - طور التنفيذ: Phase effectrice

خلال هذا الطور تغادر الكريات للمفاوية T_8 مهلكة الخلايا (LTC) العقد للمفاوية وتنتشر في الجسم بحثا عن خلايا الجسم العارضة للمحددات المستضادية لمولد المضاد الدخيل بواسطة CMH-I.

تتعرف الكريات للمفاوية T_c بواسطة مستقبلاتها T (TCR)، على المحدد المستضادي المعروض بواسطة CMH-I، تحرر LTC البرفورين Pérforine وأنزيمات الكرانزيم Granzyme.

بوجود الكالسيوم Ca^{++} تندمج جزيئات البرفورين مع غشاء الخلية الهدف محدثة ثقوبا. يتسرب الكرانزيم إلى الخلية الهدف عبر الثقوب مما ينشط أنزيمات تؤدي إلى هدم ADN الخلية الهدف وموتها، تسمى هذه الظاهرة بالسمية الخلوية Apoptose.

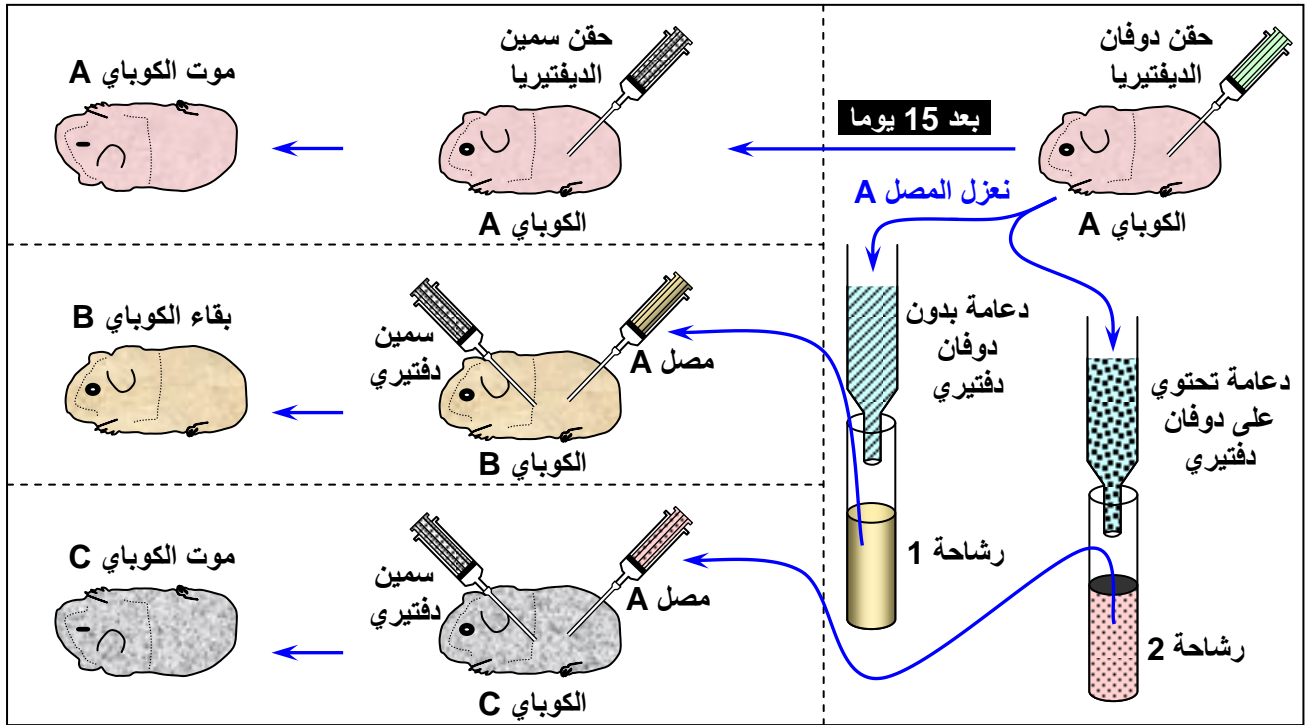
④ الاستجابة المناعية ذات مسلك خلطي. Médiation humorale

أ - الكشف التجريبي عن الاستجابة المناعية الخلطية:

a - معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 23.

الوثيقة 23: الكشف التجريبي عن الاستجابة المناعية ذات المسلك الخلطي

نأخذ ثلاثة حيوانات كويبي متلائمة نسيجيا (تتوفر على CMH متشابهة) A و B و C. ★ نحقن الكويبي A بالذوفان الدفتيري، ثم بعد 15 يوما نحقن هذا الحيوان بسمين الدفتيريا. ★ بعد 15 يوما من حقن الكويبي A بالذوفان الدفتيري، نستخلص عينة من مصله. ثم نعرض عينتين من نفس المصل للترشيح، إحداهما على جزيئات لا تتوفر على الذوفان الدفتيري (نحصل على الرشاحة 1)، والأخرى على جزيئات مسحوق تتوفر على الذوفان الدفتيري (نحصل على الرشاحة 2). ★ نحقن الرشاحة 1 للكويبي B، والرشاحة 2 للكويبي C، ثم نحقن الكويبي B و C بسمين الدفتيريا. تمثل الوثيقة أسفله ظروف ونتائج هذه التجربة:



ماذا تستنتج من تحليل معطيات هذه التجارب؟

b - تحليل واستنتاج:

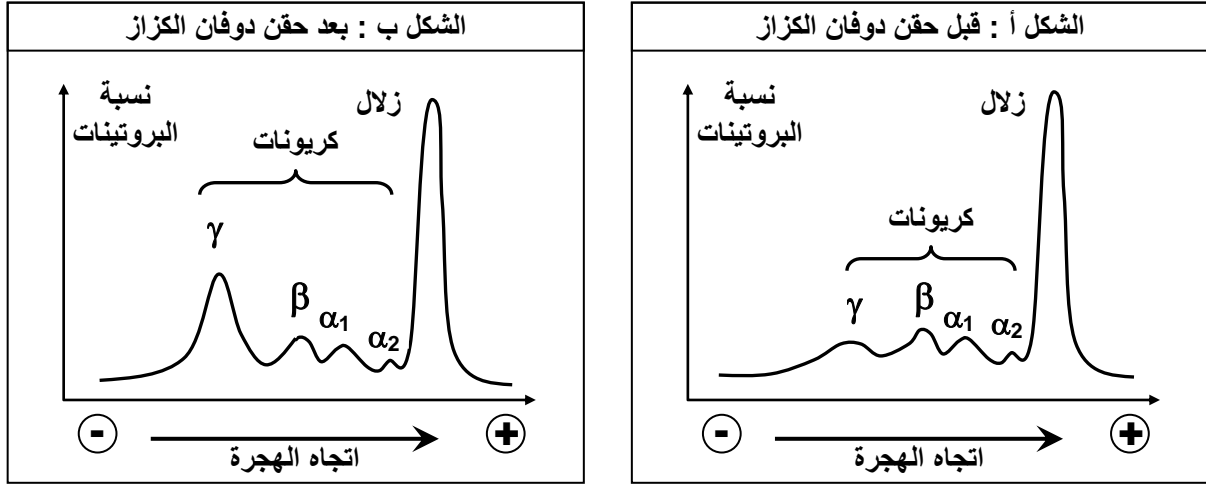
- ★ عند حقن الكويبي A بالذوفان الدفتيري، لا يتأثر بسمين الدفتيريا، لكونه أصبح ممنعا ضد هذا السمين.
 - ★ عند حقن الرشاحة 1 الناتجة عن مصل الكويبي A للكويبي B، ثم حقنه بسمين الدفتيريا، يبقى هذا الأخير حيا، مما يدل على أن الرشاحة 1 ساهمت في تمنيع الكويبي B، لكونها تتوفر على مضادات الأجسام (التي لم ترتبط بجزيئات الدعامات بسبب غياب الذوفان الدفتيري).
 - ★ عند حقن الرشاحة 2 الناتجة عن مصل الكويبي A للكويبي C، ثم حقنه بسمين الدفتيريا، يموت هذا الأخير، مما يدل على أن الرشاحة 2 لا تتوفر على مضادات الأجسام (التي ارتبطت بجزيئات الدعامات بسبب وجود الذوفان).
- نستنتج من هذه التجارب أن العناصر المسؤولة عن التمنيع في هذه الحالة هي مضادات الأجسام المتواجدة في المصل، والتي ترتبط بعناصر مولد المضاد بشكل نوعي بهدف ابطال مفعوله. بما أن المادة الممنعة تتواجد بأخلاط الحيوان (الوسط الداخلي)، نتكلم عن استجابة مناعية عن طريق وسيط خلطي.

ب - الكشف عن الطبيعة الكيميائية لمضادات الأجسام: أنظر الوثيقة 24

الوثيقة 24: الكشف عن الطبيعة الكيميائية لمضادات الأجسام

للتعرف على الطبيعة الكيميائية لمضادات الأجسام، نقترح الشكلين أ وب، والتي تمثل نتائج عملية فصل البروتينات المصلية بواسطة تقنية الهجرة الكهربائية، وذلك قبل وبعد 15 يوما من حقن فأر سليم بدوفان الكزاز.

(1) ماذا يمكنك استنتاجه من مقارنة الشكلين أ وب؟



ثم حقن حيوان غير ملقح ضد الكزاز بواسطة الكريونات γ بعد عزلها بواسطة التقنية السابقة، ثم حقن بعد ذلك بسمين الكزاز. يبقى الفأر حيا ويعطي تحليل دم الفأر وجود كريونات γ مثبتة على سمين الكزاز.

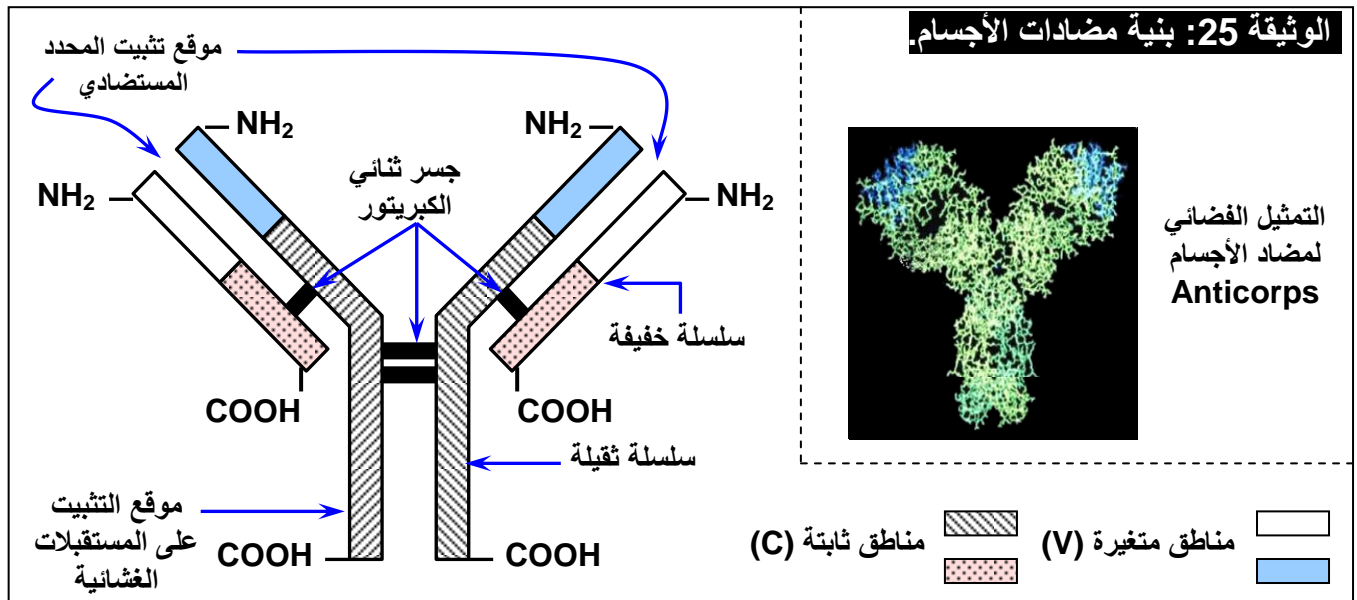
(2) ماذا تمثل هذه الكريونات γ ؟ وما هو دورها؟

(1) نلاحظ أن حقن الفأر بدوفان الكزاز يؤدي إلى ارتفاع نسبة بعض بروتينات المصل الدموي وبالضبط ارتفاع نسبة الكريونات γ Globuline. ربما أن المادة الممنعة في هذه الحالة هي عبارة عن كريونين γ .

(2) تقوم الكريونات γ بحماية الفأر من سمين الكزاز، وهذا يدل على أن هذه الكريونات γ هي المادة الممنعة في هذه الحالة، وهي مادة توجد في مصل الحيوان الممنع. إذن تشكل الكريونات γ مضادات الأجسام Les anticorps. ويتجلى دورها في ارتباطها بمولدات المضاد لابطال فعاليته. ويسمى المركب "مضاد أجسام - مولد المضاد" بالمركب الممنع.

ج - بنية وأصناف مضادات الأجسام:

a - بنية مضادات الأجسام: أنظر الوثيقة 25



تنتهي مضادات الأجسام لمجموعة الكريونات، لذا تسمى الكريونات المناعية Les immunoglobulines Ig. وتملك جزيئة مضاد الأجسام بنية أساسية مكونة من:

★ سلسلتين متماثلتين خفيفتين، تسمى كل سلسلة بالسلسلة (Light) = L.


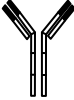
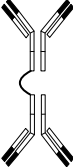
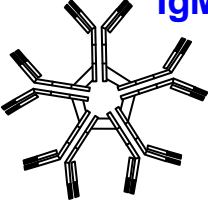

★ سلسلتين متماثلتين ثقيلتين، تسمى كل سلسلة بالسلسلة (Heavy) = H.

وترتبط هذه السلاسل الأربعة بواسطة قناطر ثنائية الكبريتور، وتكون ملتوية فيما بينها على شكل حرف y. وقد بين التحليل الكيميائي أن كل سلسلة من هذه السلاسل تحتوي على منطقتين:

★ منطقة ثابتة (C) Constante، متشابهة لدى جميع مضادات الأجسام المنتمية لنفس الصنف.

★ منطقة متغيرة (V) Variable، مختلفة من مضاد أجسام لآخر. وتشكل هذه المنطقة موقع تثبيت مولد المضاد، وهي التي تحدد إذن نوعية المستضادية أي نوعيته لمولد مضاد معين.

b - أصناف مضادات الأجسام: أنظر الوثيقة 26

الوثيقة 26: أصناف مضادات الأجسام					
					أصناف مضادات الأجسام
اثر	اثر	20 - 15	10	75 - 70	% بالنسبة لمجموع Ig
وافرة على سطح اللمفاويات B المتنقلة	تثبت على الخلايا البدينة والمحبيات، دور في الأرجيات	تتواجد أساسا في الإفرازات، تمنع محلي	لا تخترق المشيمة، تثبت وتنشط عامل التكملة، تنشيط البلعميات الكبيرة	تخترق المشيمة، تكون حرة، تثبت وتنشط عامل التكملة، تنشيط البلعميات الكبيرة	أهم الخصائص

إن المنطقة المتغيرة في جزيئة مضاد الأجسام هي التي تحدد نوعيته المستضادية، في حين تحدد المناطق الثابتة الصنف الذي ينتمي له. ونميز عدة أصناف من مضادات الأجسام تختلف حسب معدل تركيزها في المصل، وأماكن فعلها وكذلك خصائصها.

★ IgG: ذات بنية أحادية، يوجد في المصل وخارج الخلايا، ويتميز بتثبيت عامل التكملة وتسهيل البلعمة وإبطال مفعول السمينات ومفعول الحمات.

★ IgA: ذات بنية أحادية على مستوى المصل أو ثنائية في الإفرازات (الدموع، اللعاب، العصارة الهضمية). تتدخل في القضاء على الطفيليات وفي إبطال مفعول السمينات والحمات.

★ IgM: ذات بنية أحادية على مستوى المستقبلات الغشائية لللمفاويات B، أو خماسية في الدم. وتتدخل ضد عوامل التعفن.

★ IgD: ذات بنية أحادية، توجد على مستوى سطح الكريات اللمفاوية B، وتلعب دور مستقبل غشائي.

★ IgE: ذات بنية أحادية، توجد بتركيز ضعيف جدا في المصل، وتتدخل عند الحساسية المفرطة.

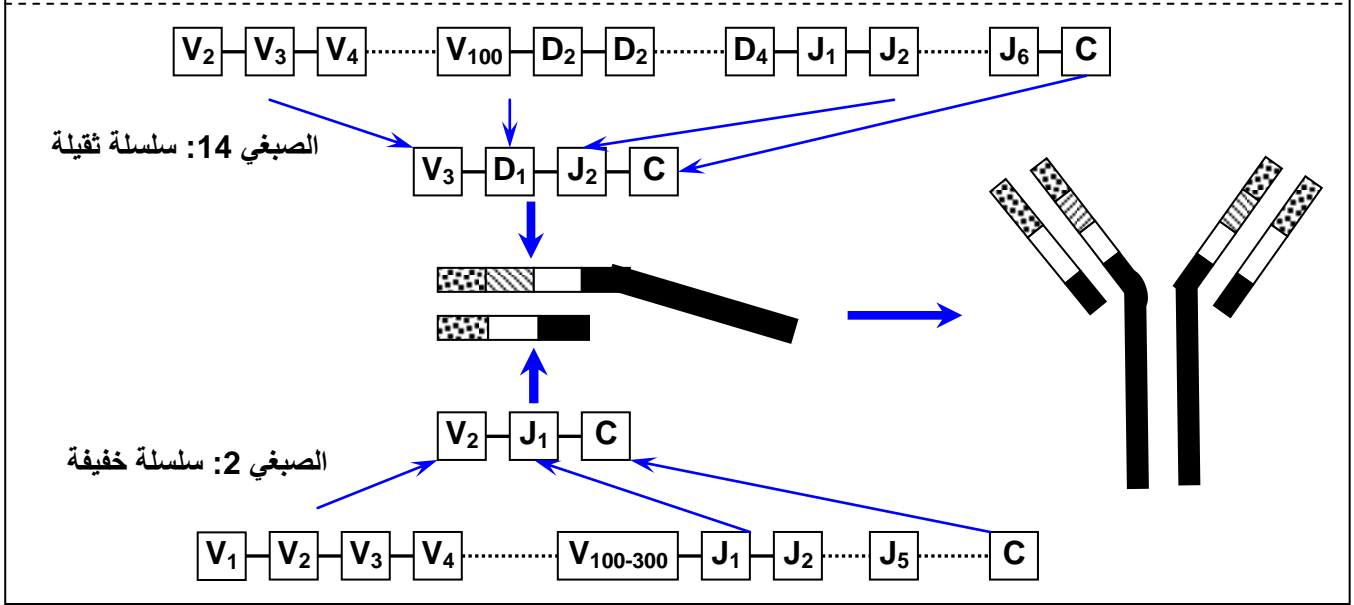
د - أصل تنوع مضادات الأجسام:

a - الأصل الوراثي لتنوع مضادات الأجسام:

إن تركيب الكريوتين المناعي هو تحت رئاسة مورثتين، واحدة بالنسبة للسلسلة الثقيلة والأخرى بالنسبة للسلسلة الخفيفة. ويتم ذلك خلال مرحلة نضج الكريات اللمفاوية B وقبل أي تماس مع مولدات المضاد. إن هذه المورثات تكون عند الكريات اللمفاوية غير الناضجة على شكل أجزاء مشتتة على طول الصبغي. حيث يتم تجميعها قبل الاستنساخ حسب برنامج دقيق لكنه خاضع للصدفة. (أنظر الوثيقة 27)

الوثيقة 27: الأصل الوراثي لتنوع مضادات الأجسام.

- ★ تتألف المورثة المسؤولة عن تركيب السلسلة الثقيلة من أربعة أجزاء يشار إليها بالحروف C, J, D, V متموضعة على الصبغي رقم 14.
- ★ تتألف المورثة المسؤولة عن تركيب السلسلة الخفيفة من ثلاثة أجزاء يشار إليها بالحروف C, J, V متموضعة على الصبغي رقم 2.
- ★ هناك عدة نسخ من الأجزاء V و D و J. وهذه المورثات هي المسؤولة عن تركيب المنطقة المتغيرة.
- ★ هناك نسخة واحدة من الجزء C، وهذه المورثة هي المسؤولة عن تركيب المنطقة الثابتة.

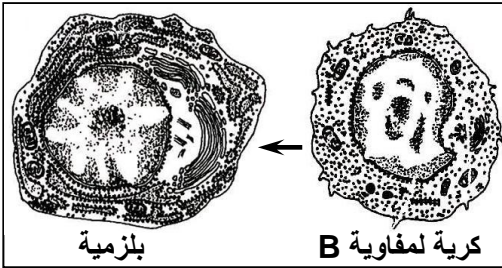


كل نمط من مضادات الأجسام يكون نوعيا لمولد مضاد معين، وينتج التنوع الهائل لمضادات الأجسام عن آلية تسمى إعادة التركيب الوراثي **Réarrangement génétique** حيث بينت تطبيقات الهندسة الوراثية أن:

- ★ السلاسل الثقيلة H يتم تركيبها انطلاقا من أربعة أجزاء جينية Minigènes يشار إليها بالحروف V : **variabilité** و Constante C و Diversité D و J **jonction** محمولة على الصبغي 14.
- ★ السلاسل الخفيفة L يتم تركيبها انطلاقا من ثلاثة أجزاء جينية هي C و V و J. محمولة على الصبغي 2.

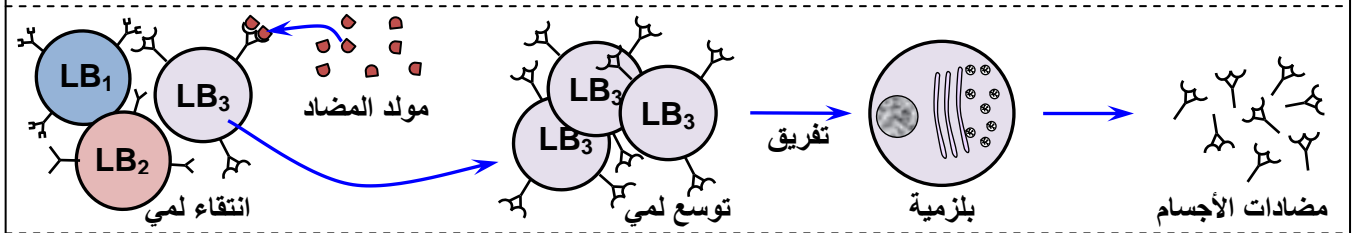
b - إنتاج مضادات الأجسام: أنظر الوثيقة 28

الوثيقة 28: إنتاج مضادات الأجسام.



- ★ داخل وسط زرع لمفاويات فأر، نعمل على إدخال بقايا خلية بكتيرية، فتم تسجيل الملاحظات التالية:
- توقع نسبة ARN و ADN داخل الخلية، بتقسم بعض اللمفاويات، إفراز مضادات الأجسام، ويتغير شكل اللمفاويات كما هو مبين على الصورة الالكترونوغرافية أمامه.

★ يمر إنتاج مضادات الأجسام خلال الاستجابة المناعية ذات وسيط خلطي عبر ثلاث مراحل أساسية، تلخصها الوثيقة التالية:



من خلال تحليل معطيات الوثيقة صف مراحل تنشيط اللمفاويات B وتحولها إلى بلمزيات مُنتجة لمضادات أجسام

★ يزداد حجم الكريات اللمفاوية B وتغتنى ببعض البنيات مثل الشبكة السيتوبلازمية الداخلية المحببة وجهاز غولجي، وبذلك تتفرق إلى بلزيمات قادرة على إنتاج مضادات الأجسام.
يتبين إذن أن تركيب مضادات الأجسام يحتم توفر شبكة سيتوبلازمية داخلية محببة، جهاز غولجي وحوصلات إفرازية. هذا يعني أن تركيب مضادات الأجسام يتم بنفس المراحل التي تتركب فيها كل البروتينات: الاستنساخ والترجمة.

★ يمر إنتاج مضادات الأجسام خلال الاستجابة المناعية الخلطي عبر ثلاث مراحل أساسية وهي:

✓ بعد اكتساب كفايتها المناعية، تبقى اللمفاويات B الناضجة في حالة خمول ويكون غشاؤها مكسوا بالملايين من مضادات الأجسام من الصنف IgM، التي تعتبر بمثابة مستقبلات غشائية قادرة على التعرف على مولد مضاد مُحدد، تكون نوعية له. عند دخول مولد مضاد معين إلى الجسم، لا ترتبط محدداته المستضادية إلا بالكريات اللمفاوية B ذات المستقبلات الغشائية المطابقة لها، إنه الانتقاء اللممي.

✓ يتم تنشيط الكريات اللمفاوية B التي تتوفر على مستقبلات غشائية نوعية لهذا المولد المضاد، فتتقسم مُشكلة لمة نوعية، إنه التوسع اللممي.

✓ تتحول اللمفاويات B إلى بلزيمات قادرة على إنتاج مضادات أجسام نوعية تجاه مولد المضاد، إنه التفريق.

د - آليات تدخل مضادات الأجسام:

a - تعرف مضاد الأجسام على مولد المضاد:

ترتبط مولدات المضاد بمضادات الأجسام النوعية لها، وهذا الارتباط ليس تفاعلا كيميائيا بقدر ما هو ارتباط بسيط نتيجة قوى تجاذبيه بيجزيئية تحدث بين موقع تعرف مولد المضاد والمحدد المستضادي، وهو تكامل بنيوي يتكون من خلاله المركب المنيع.
يؤدي ارتباط مضادات الأجسام بالمحددات المستضادية للسمينات والحمات والبكتيريات الى إبطال مفعولها وتأثيرها، إلا أن التخلص النهائي منها يتطلب آليات أخرى كالبلعمة.

b - دور مضادات الأجسام في القضاء على مولد المضاد: أنظر الوثيقة 29.

الوثيقة 29: دور مضادات الأجسام بوجود عامل التكملة

لتعرف تدخل مضادات الأجسام وعامل التكملة أثناء الاسجابة المناعية الخلطية، نضع أربعة أوساط متساوية التوتير كريات حمراء لخروف (GRM)، ثم نضيف عدة مواد كما هو مبين في الجدول أسفله:

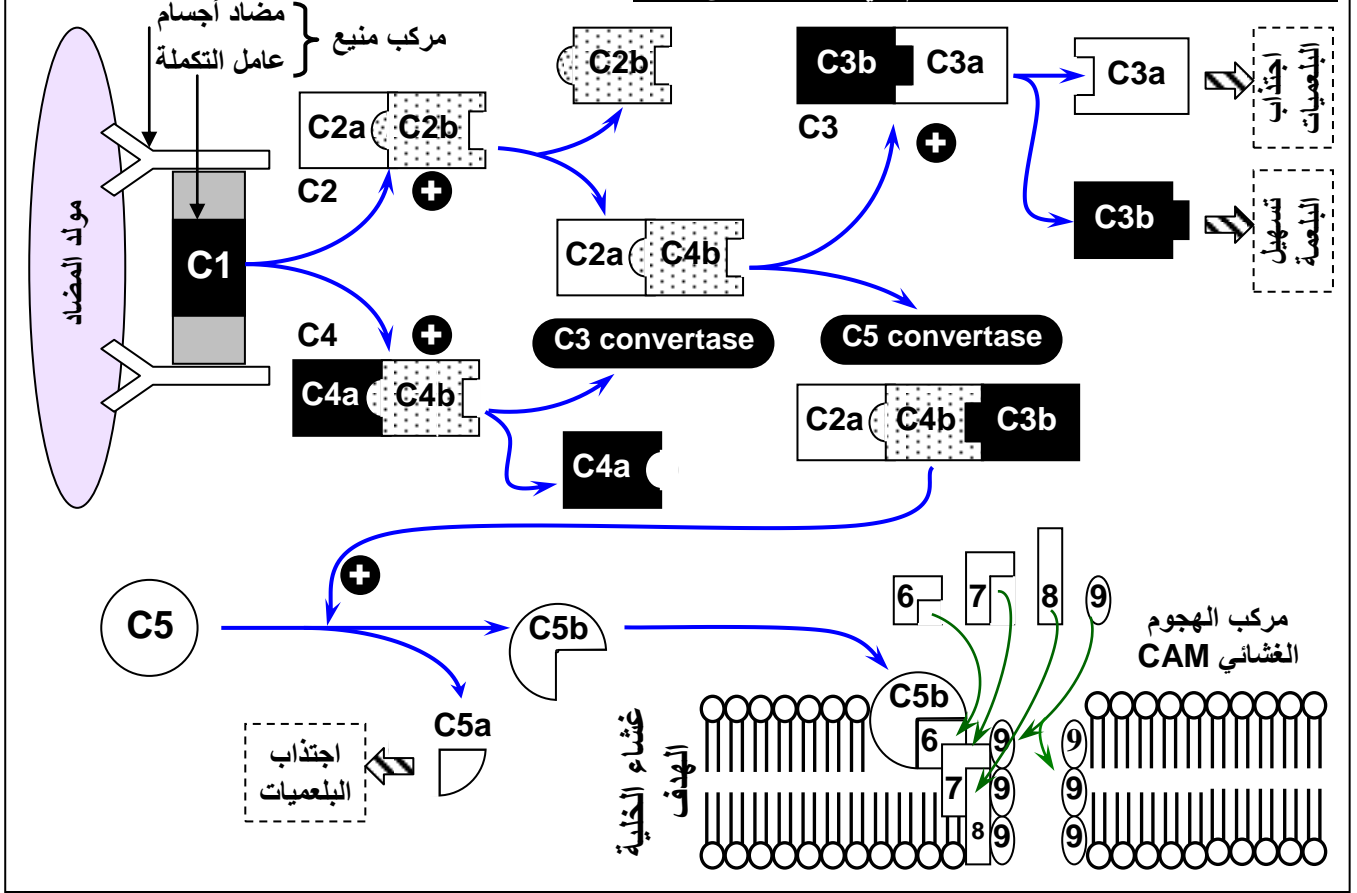
التجارب	النتائج
1 NaCl 1.5 ml + GRM بتركيز 9 %	ترسب GRM عادية
2 1.5 ml + GRM مضادات أجسام ضد GRM	ترسب GRM ملكدة
3 1 ml + GRM مضادات أجسام ضد GRM + 0.5 l من عامل التكملة	لكد متبوع بانحلال GRM
4 NaCl 1 ml + GRM بتركيز 9 % + 0.5 ml من عامل التكملة	ترسب GRM عادية

ماذا تستنتج من تحليل هذه المعطيات التجريبية حول دور كل من عامل التكملة ومضادات الأجسام.

- ★ التجربة 1: يؤدي الوسط المتساوي التوتير (NaCl بتركيز 9 %) إلى ترسب الكريات الحمراء للخروف GRM في قعر الأنبوب تحت تأثير ثقلها.
- ★ التجربة 2: ترتبط مضادات أجسام ضد GRM بمولد المضاد المطابق لها GRM، وينتج عن تكون هذه المركبات المنيعة ظهور تلكد في الأنبوب لأن مولد المضاد المستعمل هنا GRM هو عنصر غير ذاتي.
- ★ التجربة 3: بعد تكون المركبات المنيعة (ارتباط GRM بمضادات الأجسام)، وبوجود عامل التكملة يحدث انحلال مولد المضاد GRM.
- ★ التجربة 4: يكون عامل التكملة غير فعال ضد GRM في غياب مضادات الأجسام ضد GRM أي في غياب المركب المنيع.

نستنتج من هذه المعطيات أنه عند تشكل المركب المنيع، وبحضور عامل التكملة يحدث انحلال مولد المضاد المستهدف. ولمعرفة كيف يتم ذلك نلاحظ معطيات الوثيقة 30:

الوثيقة 30 : دور مضادات الأجسام في القضاء على مولد

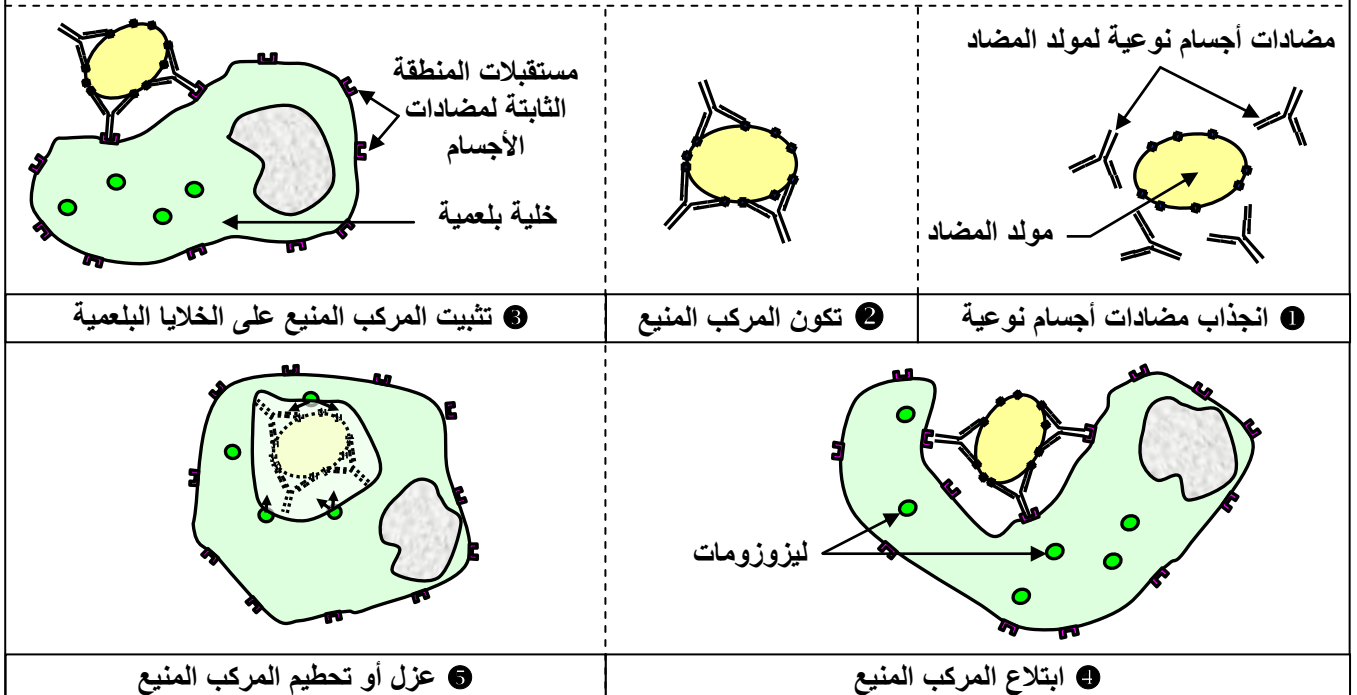


عند ارتباط مضادات الأجسام بمولدات المضاد، يتشكل المركب المنيع الذي ينشط عامل التكملة، فينتج عن هذا التنشيط المتسلسل لأجزاء عامل التكملة تشكل مركب الهجوم الغشائي (CAM)، الذي يتسبب في انحلال الخلية الهدف بصدمة أسموزية.

c - دور مضادات الأجسام في تسهيل البلعمة: أنظر الوثيقة 31

الوثيقة 31 : دور مضادات الأجسام في تسهيل البلعمة

تعطي الوثيقة أسفله، رسوما تخطيطية تفسيرية لآلية تدخل مضادات الأجسام في تسهيل ظاهرة البلعمة. بعد اتمام الوثيقة، أبرز كيف تتدخل مضادات الأجسام في تسهيل عملية البلعمة.



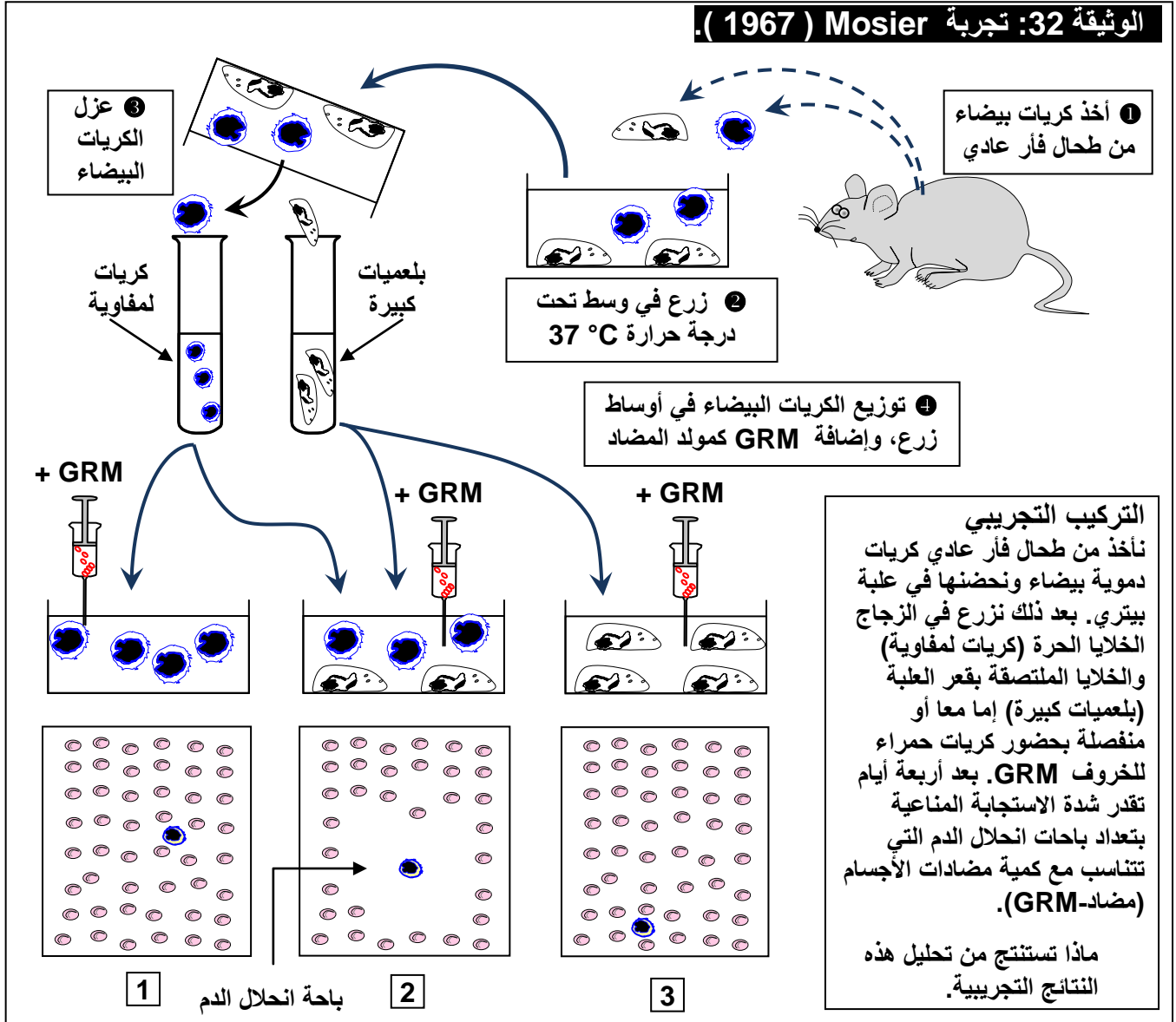
تتوفر الخلايا البلعمية على مستوى غشائها الخارجي على مستقبلات تتعرف على الجزء الثابت لمضادات الأجسام، بعد تكون المركب المنيع، وتنشيط عامل التكملة، (توفر الأجزاء C_3b التي ترتبط بمولد المضاد) تثبت مضادات الأجسام على مستقبلات البلعميات، ومعها مولد المضاد، الشيء الذي يسمح ببلعمة المركب المنيع وإقصاء مولد المضاد.

III – التعاون الخلوي بين الخلايا المناعية:

① الكشف التجريبي عن وجود تعاون بين الخلايا المناعية:

أ – تجربة Mosier (1967):

a – معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 32.



b – تحليل واستنتاج:

★ عند حقن أوساط الزرع ب GRM، ستلعب هذه الكريات الحمراء دور مولد المضاد، وبالتالي تسبب استجابة مناعية نوعية ضد GRM، وهي استجابة خلطية، تتجلى في إنتاج مضادات أجسام نوعية لـ GRM تؤدي الى ظهور باحة الإنحلال.

★ نلاحظ أن باحة الانحلال تظهر فقط في الحالة الثانية، عند وجود كل من الكريات اللمفاوية والبلعميات. يدل هذا على أن وسط الزرع في الحالة الثانية وحده يحتوي على مضادات أجسام نوعية لـ GRM، وبالتالي فاننتاج مضادات الأجسام يستلزم تواجد كل من البلعميات الكبيرة واللمفاويات.

★ نستنتج من هذه المعطيات أن إنتاج مضادات الأجسام يتطلب تعاون بين الخلايا المناعية لكالبعميات الكبيرة واللمفاويات.

ب - تجربة Claman (1966): a - معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 33.

الوثيقة 33: تجربة Claman، الكشف عن التعاون الخلوي بين اللمفاويات.

تهيأ الفئران لهذه التجربة باستئصال الغدة السعترية، ثم إخضاع الفئران للتشعيع لقتل اللمفاويات، فتحقن اللمفاويات B و T إما متفرقة أو مجتمعة. (أنظر الجدول أسفله)

استئصال الغدة السعترية ثم التشعيع		بدون معالجة (شاهد)		تهيئ الحيوانات
حقن اللمفاويات T و B ④	حقن اللمفاويات B ③	حقن اللمفاويات T ②	①	إعادة تكوين جزئي أو كلي للجهاز المناعي عن طريق حقن اللمفاويات
تتلقى جميع الفئران حقنة من GRM (كريات حمراء للخروف)				تمنيع
مصل المجموعة ④ + GRM : إيجابي	مصل المجموعة ③ + GRM : سلبي	مصل المجموعة ② + GRM : سلبي	مصل المجموعة ① + GRM : إيجابي	نتائج اختبارات تلكد الكريات الحمراء (أسبوع بعد التمنييع)

استنتج أنماط الخلايا المناعية المعنية بالتعاون والتي تكشف عنها هذه التجربة.

b - تحليل واستنتاج:

نلاحظ أن تلكد الكريات الحمراء (استجابة مناعية) لا يحدث إلا بوجود الكريات للمفاوية B و T، نستنتج إذن أن الخلايا المناعية المعنية بالتعاون هي الكريات للمفاوية B و T.

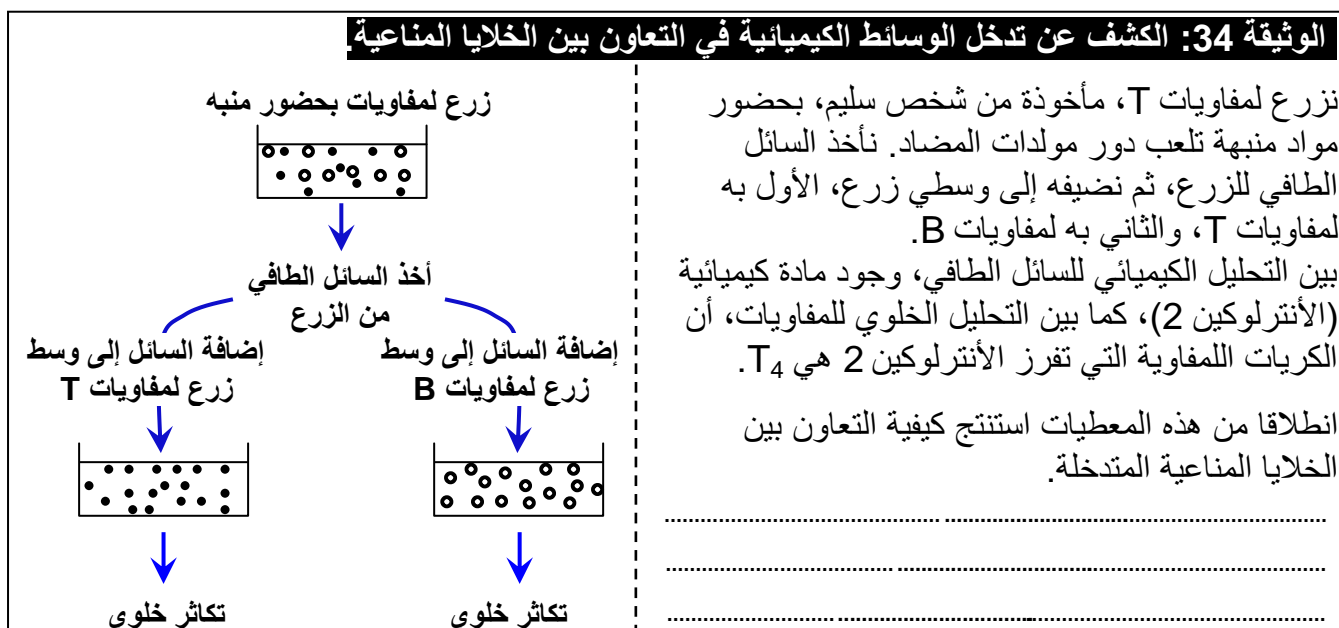
ج - استنتاج:

توجد جل الكريات للمفاوية B في حالة خمول، ولا تصبح نشيطة إلا بعد تعرفها على مولد المضاد النوعي. ويتطلب هذا التنشيط تعاوناً بين اللمفاويات B و T والخلايا العارضة لمولد المضاد CPA كالبلمعات الكبيرة.

② موقع وآليات التعاون بين الخلايا المناعية:

أ - الكشف عن تدخل الوسائط المناعية: أنظر الوثيقة 33.

الوثيقة 34: الكشف عن تدخل الوسائط الكيميائية في التعاون بين الخلايا المناعية



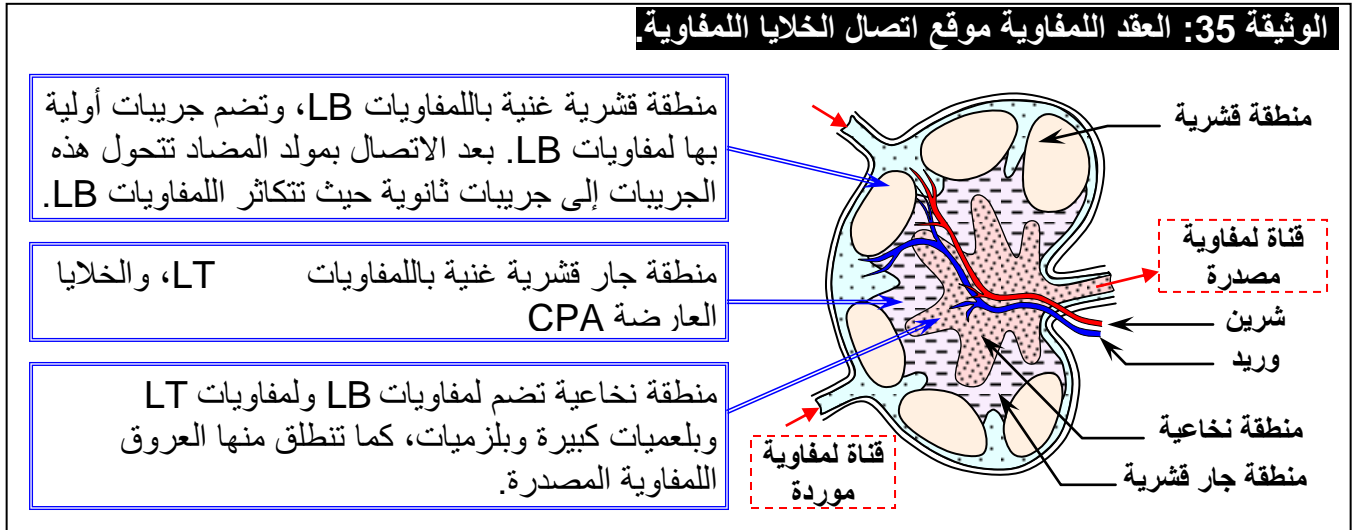
★ إن تكاثر اللمفاويات يرمز إلى تسبب استجابة مناعية، باستثمار هذا المعطى يمكنك القول أن تكاثر اللمفاويات سببه مواد كيميائية توجد في السائل الطافي من الزرع. هذه المواد تم إفرازها من طرف الخلايا المناعية بوجود العنصر المنبه، وهو مولد المضاد.

هذه المواد المنشطة لللمفاويات B تشكل الوسائط المناعية، وهي أساسية في التواصل بين مختلف الخلايا المتدخلة في الاستجابة المناعية.

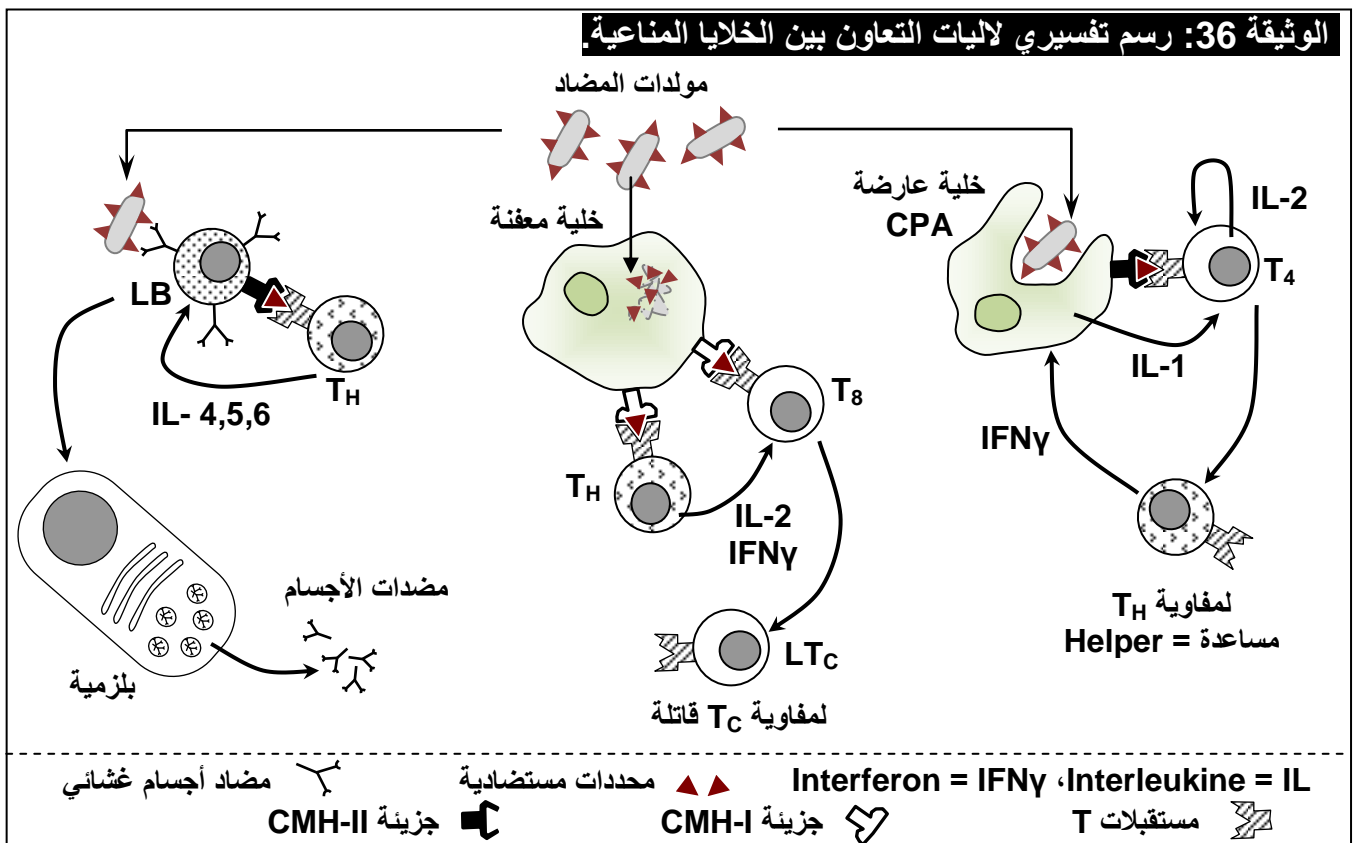
★ نستنتج من هذا التحليل أن الاستجابة المناعية الخلوية تنتج عن عدة عمليات تساهم فيها كل من البلعميات الكبيرة (مستقبلة للعنصر الغريب وعارضة لمحدداته المستضادية) و LT_4 (مرسلة للوسائط المناعية) و LB (منفذة للاستجابة).

ب - آليات التعاون بين الخلايا المناعية:

تعتبر العقد اللمفاوية ملتقى المسلكين الدموي واللمفاوي، ومكان اتصال الخلايا اللمفاوية (أنظر الوثيقة 35).



تلتقي الكريات اللمفاوية والخلايا العارضة لمولد المضاد (CPA) في أقرب عقد لمفاوية لمكان الخمج، لتتم عملية الانتقاء اللمي للكريات اللمفاوية النوعية لمولد المضاد. ويحصل التعاون عن طريق التماس المباشر بين الخلايا المتدخلة، وبواسطة وسائط مناعية تسمى السيتوكينات (أنظر الوثيقة 36).



تتم بلعمة مولد المضاد بواسطة البلعميات الكبيرة التي تجزئه إلى بيبتيديات. فتلتحم البيبتيديات مع CMH-II ويعرض المركب بيبتيديد - CMH-II على سطح الخلايا العارضة (CPA). تتعرف LT_4 على هذا المركب عن طريق التماس المباشر (تعرف ثنائي). تفرز CPA الأنترلوكين IL-1 الذي يحث LT_4 على التفريق إلى لمفاويات مساعدة T_H . تفرز هذه الأخيرة مجموعة من السيتوكينات تنشط CPA وLB النوعية و LT_8 النوعية.

IV - حصيلة تركيبية لمراحل الاستجابة المناعية النوعية:

☒ أول معطيات الوثيقة 37 إلى نص يلخص مختلف مراحل الاستجابة المناعية.

☒ تتدخل الاستجابة المناعية عبر آليات متنوعة ومتراطة ومتكاملة فيما بينها وتتم عبر مراحل هي:

a - طور الحث أو التحريض: Phase d induction

بعد دخول مولد المضاد إلى الوسط الداخلي ترتبط محدداته المستضادية بطريقة متكاملة مع المستقبلات B النوعية الموجودة على غشاء الكريات اللمفاوية B النوعية لمولد المضاد. وفي نفس الوقت تقوم خلايا CPA (خصوصا البلعميات الكبيرة) بعرض المحددات المستضادية لمولد المضاد بواسطة جزيئات CMH-II. وعند ارتباط المستقبلات T للكريات اللمفاوية T_4 النوعية لمولد المضاد بالمحددات المستضادية المعروضة، تفرز الكريات اللمفاوية T_4 عامل منشط للبلعميات الكبيرة. تفرز هذه الأخيرة الأنترلوكين 1 (IL_1) الذي ينشط الكريات اللمفاوية T_4 النوعية لمولد المضاد، تفرز عندئذ الأنترلوكين 2 (IL_2) الذي ينشط الكريات اللمفاوية B المحسنة (التي يوجد ارتباط بين مستقبلاتها B و مولد المضاد).

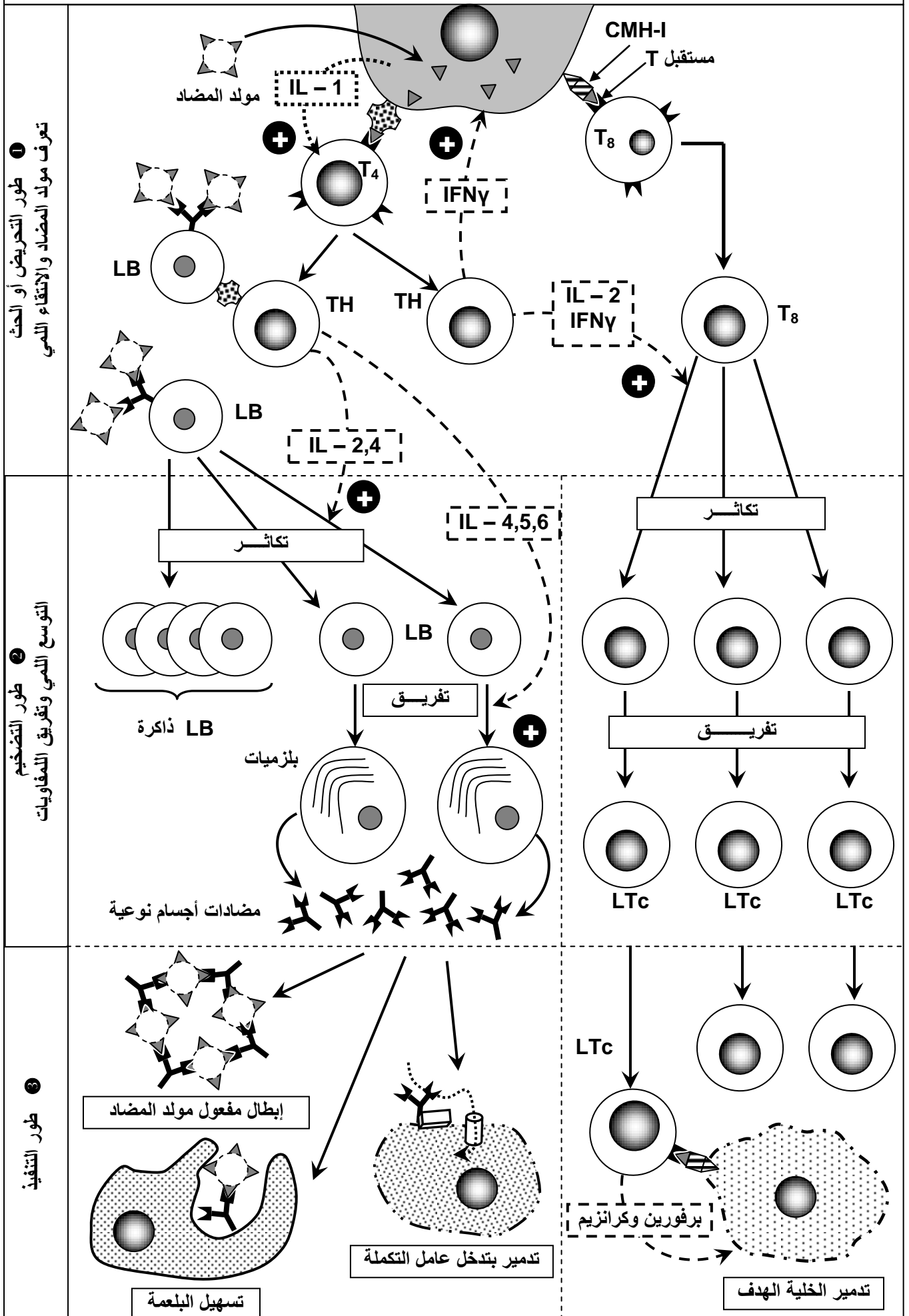
b - طور التضخيم: Phase d'Amplification

تحت تأثير السيتوكينات المحررة من طرف TH المنتقا، تتكاثر اللمفاويات T_8 المنتقا وتتفرق إلى LTC، كما تتكاثر اللمفاويات B المنتقا وتتفرق إلى بلزميات مفرزة لمضادات أجسام نوعية.

c - طور التنفيذ: Phase effectrice

خلال هذا الطور تقوم البلزميات بإفراز مضادات الأجسام نوعية للمحدد المستضادي المستهدف، فتنتقل هذه الكريونات المناعية بواسطة الدم واللمف من الأعضاء اللمفاوية المحيطة حيث تم إنتاجها إلى مكان تأثيرها حيث ترتبط بمولدات المضاد الدخيلة والمسؤولة عن تسييب هذه الاستجابة المناعية، مكونة مركبات منيعة. فتبطل بذلك فعل مولدات المضاد، وتسهل البلعمة، كما ينشط المركب المنيع عامل التكملة. كما تقوم اللمفاويات T القاتلة (LTC) بتركيب وإفراز البيروفورين والكرانزيم المؤديان إلى هدم الخلايا الهدف (المعفنة) بظاهرة السمية الخلوية أو الانتحار الخلوي Apoptose.

الوثيقة 37 : حصيللة مبسطة لمراحل الاستجابة المناعية النوعية



الفصل الثالث

اضطرابات الجهاز المناعي

مقدمة: عادة تكون الاستجابة المناعية منظمة، متوازنة، ودقيقة، لكن في بعض الحالات قد يصاب الجهاز المناعي ببعض الاضطرابات، يمكن أن تظهر في شكل ردود فعل مفرطة، تنتج عنها أمراض كالأرجيات، وقد يتمثل الخلل في قصور مناعي وقد يضطرب الجهاز المناعي بشكل يجعله يدمر ما هو ذاتي.

- كيف تحصل هذه الاضطرابات؟ وكيف يمكن وقاية الجسم من بعضها؟
- هل توجد وسائل لعلاج بعضها؟

1 - الاستجابة الأرجية: L'allergie

① مفهوم الاستجابة الأرجية :

أ - أمثلة للاستجابات الأرجية: أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: بعض الاضطرابات المصنفة ضمن الأرجيات			
نوع الاستجابة الأرجية	المؤرج	موقع تأثيره	أعراض الاستجابة الأرجية
التهاب مخاطية الأنف Rhinites Rhume = زكام الحشائش des foins	حبوب اللقاح، غبرة المنازل، زغب الحيوانات، القراديات.	المخاطة الأنفية La muqueuse nasale	العطس الأرجي، الاحتقان الأنفي، إفرازات مخاطية مفرطة، عسر تنفسي.
الربو الأرجي L'asthme	حبوب اللقاح، غبرة المنازل، زغب الحيوانات، القراديات	مخاطة القصبات الهوائية	عسر تنفسي (زفير وشهيق صافرين)، تقلصات تشنجية للقصبات الهوائية الرئوية.
الأكزيمة الأرجية L'eczéma allergique	مواد كيميائية، أغذية، أدوية	الجلد أو الدم	صفائح حمراء منتفخة بعض الشيء ومقشرة.
الشري الأرجي L'urticaire allergique	مواد كيميائية، أغذية، أدوية	الجلد أو الدم	نتوءات وردية طافحة على سطح الجلد. انتفاخ مخاطة العين والمسالك الهوائية العليا.
الاستجابة اللاوقائية = الصدمة اللاوقائية Le choc anaphylactique	سموم بعض الحشرات، أدوية	الدم	التهابات تصيب مناطق مختلفة من الجلد، هبوط مفاجئ في الضغط الدموي، التهاب الحبال الصوتية مما يؤدي إلى انسداد المسالك التنفسية. الموت المفاجئ 20 إلى 30 دقيقة بعد حقن المؤرج.

باعتماذك على معطيات الجدول أعلاه:

- حدد الأعراض العامة المشتركة بين كل هذه الاستجابات؟ ماذا تمثل كل هذه الأعراض؟
- ما هي العوامل المحدثة لهذه الاستجابات؟ ماذا تسمى؟

• تتميز الاستجابات الملاحظة على الجدول بأعراض عامة تتمثل في الالتهاب، التدميع، عطس، سعال، سيلان أنفي، تضيق المسالك الهوائية مما يسبب عسر تنفسي. ويمكن لنفس المؤرج أن يسبب استجابات أرجية مختلفة حسب موقع تأثيره (الجهاز التنفسي، الهضمي، الدم ...)

• من بين العوامل المحدثة لهذه الاستجابات نذكر: حبوب لقاح بعض النباتات، غبرة المنازل، القراديات، زغب بعض الحيوانات، سم بعض الحشرات، بعض الأدوية ... نسمي هذه العناصر بالمؤرجات Les allergènes.

ب - تعريف الاستجابة الأرجية:

الأرجيات أمراض شائعة تصيب أكثر من 10% من السكان، وتكون ناتجة عن دخول عناصر أجنبية غير ممرضة إلى الجسم، وتسمى هذه العناصر بالمؤرجات، وتحدث هذه المؤرجات استجابات مناعية مفرطة تسبب في ظهور الأرجيات وتسمى الاستجابات المناعية بالاستجابة الأرجية.

② خصيات الاستجابة الأرجية : أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: الكشف عن الصدمة اللاوقائية Le choc anaphylactique

في سنة 1920 قام العالمان Richet و Portier بحقن كلب بكمية 0.1cm^3 من هريس لوامس شقار البحر، لم يلاحظ العالمان أي مضاعفات لدى الكلب، لكن بعد 22 يوما، أعيدت نفس التجربة، ومباشرة بعد حقنه بنفس المستخلص، انهارت قوى الكلب وهبط ضغطه الشرياني واختنق ومات بعد 25 دقيقة. كان العالمان ينتظران أن يكون الكلب قد منع ضد سم شقار البحر لكن العكس هو الذي وقع.

لوامس ←
شقار البحر

(1) ماذا تمثل الأعراض الملاحظة خلال هذه التجربة؟
(2) ما هي العناصر المحدثة لهذه الاستجابات؟ ماذا تسمى؟
(3) ماذا تستخلص من معطيات هذه التجربة؟

(1) تمثل الأعراض الملاحظة خلال هذه التجربة استجابة مناعية مفرطة، تسمى استجابة أرجية.

(2) العناصر المحدثة لهذه الأعراض هي هريس لوامس شقار البحر، وتسمى هذه العناصر بالمؤرجات.

(3) نلاحظ أنه عند الحقن الأول للمؤرج لم تظهر أعراض الاستجابة الأرجية عند الكلب، لكن عند الحقن الثاني للمؤرج ظهرت أعراض الاستجابة اللاوقائية عند الكلب.

نستنتج أن الاستجابة الأرجية لا تظهر في أول اتصال بالمؤرج، بل تظهر في الاتصال الثاني بالمؤرج وما بعده. لذلك تسمى مرحلة الاتصال الأول بالمؤرج بالمرحلة التحسيسية La sensibilisation، يصبح بعدها الشخص محسسا، فإذا تعرض مرة ثانية لنفس المؤرج، تحدث الاستجابة الأرجية، فتسمى هذه المرحلة بالمرحلة الحساسية المفرطة الفورية. Hypersensibilité immédiate.

ملحوظة: أحيانا تكون الاستجابة الأرجية الفورية متبوعة بمرحلة تالثة تسمى الاستجابة الأرجية المتأخرة H.retardé، تظهر بعد بضع ساعات عن الاستجابة الفورية، تجعل أعراض الأرجية تشتد وتستمر.

③ آلية الاستجابة الأرجية :

أ - العناصر المتدخلة في الاستجابات الأرجية: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: العناصر المتدخلة في الاستجابة الأرجية

يهتل الشكل أمن الوثيقة صورة مجهرية لخلية بدينة قبل نوبة أرجية وبعدها. ويعطي الشكل ب، تركيز مضادات الأجسام من الصنف IgE في مصل أشخاص بالغين مصابين ببعض الأرجيات. ماذا يمكنك استخلاصه من خلال هذه الوثائق إذا علمت أن التركيز العادي لـ IgE يبلغ حوالي 100 ng/ml في مصل شخص بالغ؟

الشكل ب

التركيز المصلي لـ IgE (ng.ml ⁻¹)	التهاب مخاطية الأنف المزمن	الربو	الأرجية الحادة
المعدل	24000	2400	240

الشكل أ

الشكل ب

قبل النوبة الأرجية

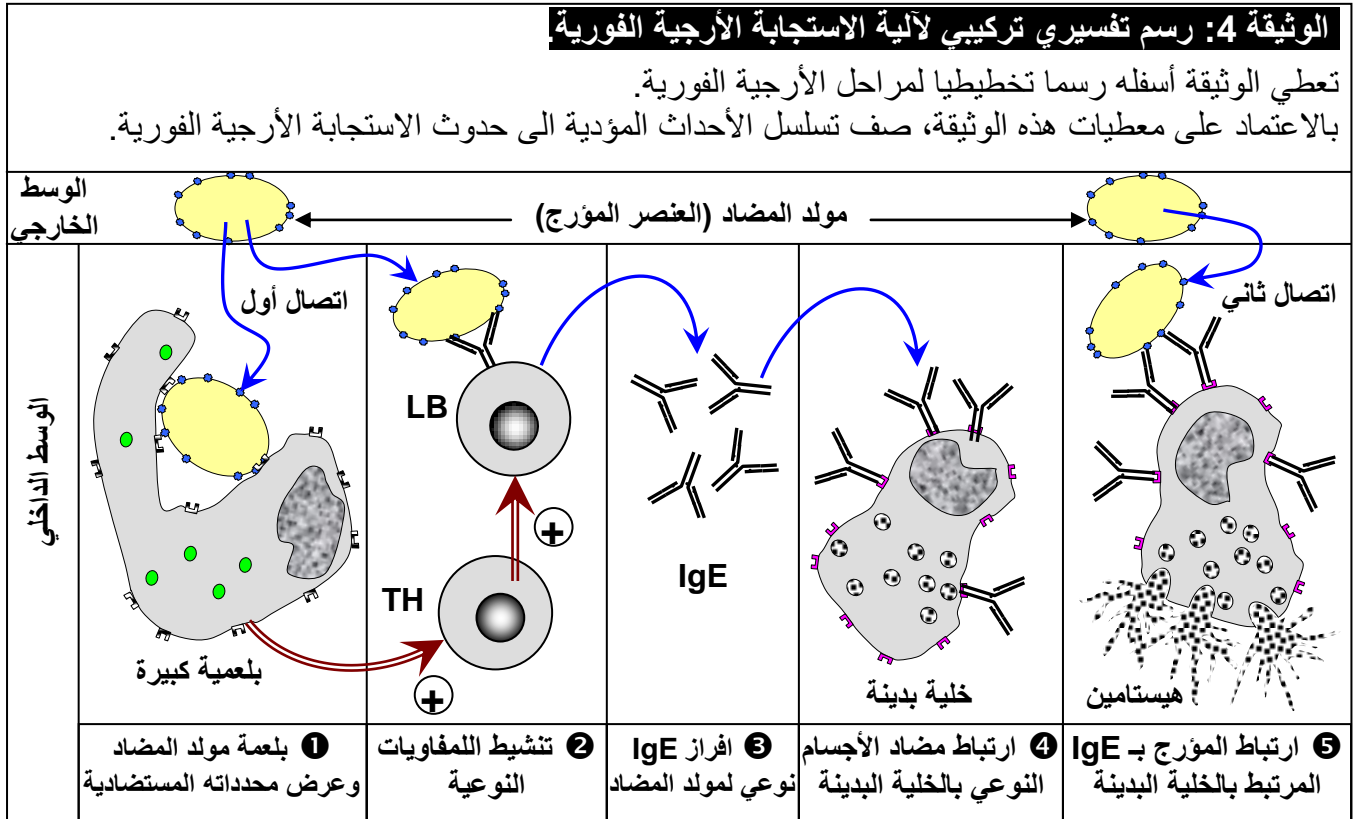
بعد النوبة الأرجية

★ نلاحظ أنه عند الأشخاص الأرجيين، قبل النوبة الأرجية تكون الخلية البدينة غنية بالحببيات الغولجية المحتوية على الهيستامينات. وبعد النوبة الأرجية نلاحظ اختفاء هذه الحبيبات الغولجية.
نستنتج إذن أن الخلية البدينة تتدخل في الاستجابة الأرجية، وذلك بإفرازها لمادة الهيستامين.

★ يلاحظ في مصلى الأشخاص المحسسون لمؤرج معين ارتفاعا في نسبة IgE، حيث تصل عند بعض الأشخاص الأرجيين إلى 2400 ng/ml بينما لا تتعدى هذه النسبة 100ng/ml عند الأشخاص العاديين.

★ يتبين من هذه الملاحظات أن هناك علاقة بين الاستجابة الأرجية وإزالة تحبب الخلايا البدينة (العمادية) وإفراز الكريوتين المناعي IgE. وقد بينت دراسات أخرى أن مضاد الأجسام النوعي للمؤرج يثبت على غشاء الخلايا البدينة فيجعلها تفرز الهيستامين المسؤول عن ظهور أعراض الأرجية.

ب - مراحل الاستجابة الأرجية: أنظر الوثيقة 4.



a - المرحلة التحسيسية :

عندما يتعرض الجسم لمؤرج معين تستقبله البلعميات الكبيرة التي تقوم ببلعته وتعرض محدداته المستضادية التي تتعرف عليها الكريات اللمفاوية T₄ التي تقوم بتنشيط الكريات اللمفاوية B النوعية للمؤرج فتتحول إلى بلزميات تفرز مضاد الأجسام IgE النوعي للمؤرج. يهاجر IgE إلى مختلف الأنسجة التحلدية والتحمخاطية، حيث يرتبط بالخلايا البدينة، كما يهاجر إلى الدم، حيث يرتبط بالقعدات فيصبح الجسم محسسا.

b - مرحلة الحساسية المفرطة الفورية:

عندما يتعرض الجسم مرة ثانية لنفس المؤرج، يثبت هذا الأخير على IgE، مما يسبب في تفريغ حويصلات الخلايا البدينة للهيستامين، وذلك على مستوى الأنسجة المصابة، فيقع التهاب الأنسجة المحلية وظهور أعراض الاستجابة الأرجية. وعند وصول المؤرج إلى الدم يثبت على IgE المرتبط بالقعدات، فتفرز الوسائط الالتهابية في الجسم كله مما يسبب الصدمة اللاوقائية.

c - مرحلة الحساسية المفرطة المتأخرة :

تظهر الاستجابة الأرجية من جديد بعد 24 إلى 48 ساعة بعد الإصابة الأولى حيث يعمل الهيستامين المفرز من طرف الخلايا البدينة بجذب القعدات والحمضات إلى مكان تواجد المؤرج، فيرتبط المؤرج بـ IgE المثبت على سطح القعدات والحمضات، فيفرز الهيستامين الذي يعمل على ظهور أعراض الاستجابة الأرجية من جديد. كما يعمل على جذب قعدات وحمضات جديدة مما يجعل أعراض النوبة الأرجية تستمر وتشتد.

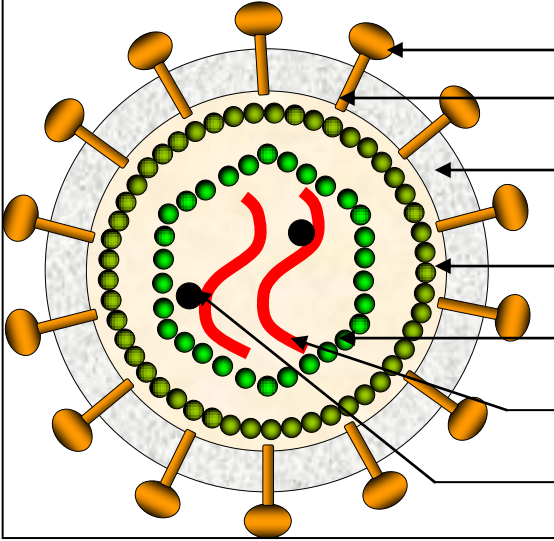
II - قصور الجهاز المناعي (السيدا):

① تعريف المرض:

يعرف داء فقدان المناعة المكتسبة بالسيدا وهو اسم من أصل فرنسي SIDA مشتق من العبارة Syndrome *d'ImmunoDéficiency Acquis* وهو مرض ناتج عن قصور مناعي، وتسبب فيه حمة أطلق عليها اسم VIH المشتقة من العبارة *Virus d'Immunodéficience Humaine*. وهي حمة تقضي على الخلايا المناعية فتضعف بذلك الجهاز المناعي، لتصبح بذلك أبسط الأمراض فتاكة بالجسم.

② بنية حمة VIH: أنظر الوثيقة 5.


الشكل ب: رسم تخطيطي تفسيري لبنية حمة VIH



1
2
3
4
5
6
7

الوثيقة 5: بنية حمة VIH.

الشكل أ: تجسيد للبنية الجزيئية لحمة VIH



لقد بينت الملاحظة بالمجهر الالكتروني وملاحظات أخرى أن حمة VIH تتكون من العناصر التالية:

- ★ غشاء خارجي كروي الشكل يشبه الغشاء السيتوبلازمي (طبقتين من الفوسفوليبيدات)، تتخلله جزيئات بروتينية - سكرية (كليكو- بروتينات (gp = Glycoprotéines). يسمى جزئها الخارجي gp120 (= الكتلة المولية) ويسمى الجزء الضمغشائي gp41. تتجمع gp120 مع gp41 لتكون شوكة (Spicule).
- ★ قالب (Matrice) يكون تحت الغشاء وهو كروي الشكل، مكون من بروتين يرمز له بـ p17.
- ★ نواة الحمة أو الكبسيدة (Capside) تكون على شكل مخروط مبتور القمة، مكون من بروتين p24، وداخله خيطان من ARN تلتف حولها جزيئات من أنزيم يسمى الناسخ العكسي (Reverse Transcriptase).

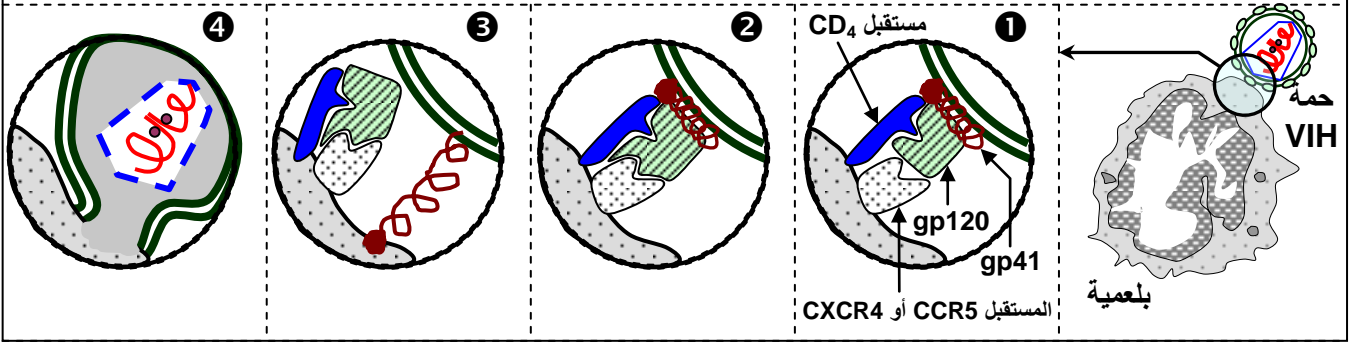
سنة 1983 وبمعهد باستور بفرنسا، تمكن الباحث الفرنسي L. Montagnier من عزل الفيروس المسؤول عن داء السيدا عند الإنسان. أطلق على الفيروس المسبب لداء فقدان المناعة عند الإنسان اسم VIH. وتعتبر حمة VIH حمة قهقرية لأنها تضم جزيئة ARN كمادة وراثية. فيروس السيدا لا يتعدى قطره 0.12um، ويتطفل على الخلايا المناعية، خاصة البلعميات الكبيرة والخلايا المنتشرة الموجودة في جميع المخاطيات، لكنه يبدي ألفة أكثر للمفاويات T₄.

③ آلية تعرف حمة VIH الخلية الهدف: أنظر الوثيقة 6.

تعتبر جزيئة CD₄ المستقبل الأساسي لحمة VIH، حيث يوجد بينها وبين البروتين gp120 الحموي تكامل ونالف كبيران. توجد جزيئات CD₄ بكثافة كبيرة على سطح للمفاويات T₄ الناضجة، وبكثافة أقل على سطح الوحيدات والبلعميات الكبيرة والخلايا العصبية. وهكذا فكل الخلايا التي تحتوي على CD₄ تكون قابلة للتعفن بحمة VIH.

الوثيقة 6: آلية تعرف حمة VIH الخلية الهدف.

تعطي الوثيقة أسفله رسوما تخطيطية تفسيرية لآلية تعرف حمة VIH الخلية الهدف. صف مراحل تعرف VIH الخلية الهدف، مبرزاً دور التعرف الثنائي في تثبيت الحمة على الغشاء الخلوي.

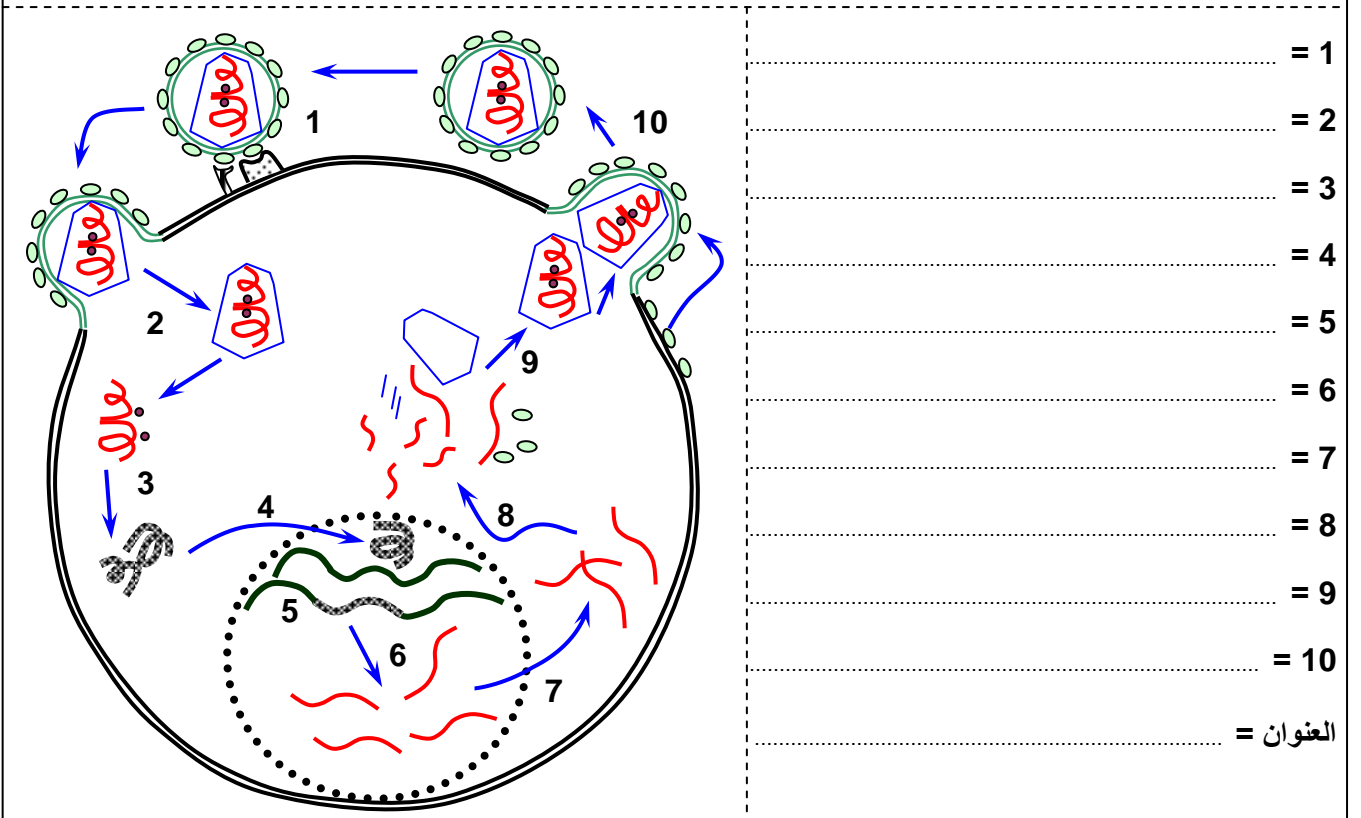


عندما تهاجم حمة VIH بلعمية كبيرة أو كرية لمفاوية T، فإنها تثبت أولاً بواسطة بروتينات الغشاء gp120 على مستقبلين (المستقبل CD₄ والمستقبل CCR5 أو CXCR4)، ويتم ذلك عبر المراحل التالية:

- 1 - يتعرف أحد موقعي البروتين gp120 الجزئية CD₄ ويثبت عليها.
- 2 - يكشف هذا التفاعل عن الموقع الثاني الذي كان محجوباً، والذي يثبت على المستقبل CCR5 أو CXCR4.
- 3 - يوفر هذا التفاعل الثنائي تماساً ضيقاً بين الحمة والخلية، ثم ينتشر البروتين gp41 الذي كان محجوباً من طرف gp120.
- 4 - يؤدي gp41 إلى تثبيت والتحام الأغشية، وبذلك يحقن محتوى الحمة داخل الخلية.

4 الدورة الاستنساخية لحمة VIH: أنظر الوثيقة 7.**الوثيقة 7: دورة حمة VIH.**

تعطي الوثيقة أسفله رسماً تخطيطياً لمراحل تطفل حمة VIH على كرية لمفاوية T₄، من دخول الحمة إلى تحرير حمت جديدة. أتمم عناصر الوثيقة، مع وصف مراحل تطفل حمة VIH.

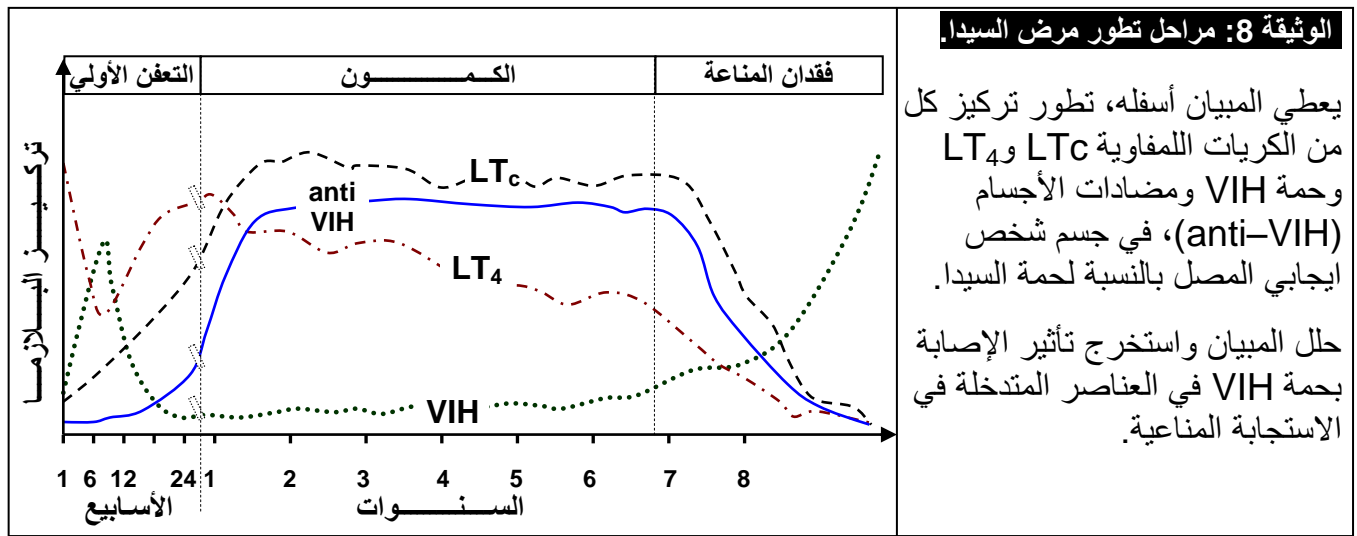


تبدأ عدوى فيروس السيدا عندما يرتبط الفيروس VIH بالسطح الخارجي لخلية T_4 وبالضبط المستقبل CD_4 . يتم حقن بروتينات لب الحمة مع ARN، يقوم الناسخ العكسي بتحويل ARN الحموي إلى ADN (فيروس قهقري (Rétrovirus)). يتضاعف ADN ويرحل إلى النواة فيندمج مع ADN الخلية T_4 . وقد يستمر الفيروس كامنا دون أية بادرة تدل على وجوده، وبدلا عن ذلك فإنه قد يجند الآليات الخلوية لتنسخ جيناته إلى ARN ثم لترجم إلى بروتينات حموية قصد تشكل حمات جديدة، تتبرعم من الخلية، فتمضي للتطفل على خلايا T_4 جديدة.

يتجلى اذن تطفل حمة VIH على للمفاويات T_4 في دخول ARN الحمة إلى الخلية الهدف وحثها على تركيب ADN الحموي بواسطة النسخ العكسي، ليندمج ضمن الذخيرة الوراثية للخلية، ويجعلها تشكل بذلك حمات جديدة، تحرر خارج الخلية المعفنة.

ملاحظة: خلال النسخ العكسي، يرتكب الناسخ العكسي خطأ بعد إدراج كل 2000 نيكليوتيد مسببا ظهور طفرات على صعيد الجينوم الحموي، الشيء الذي يساعد هذا الأخير على الإفلات من المراقبة المناعية بالمضادات النوعية.

⑤ مراحل مرض السيدا: أنظر الوثيقة 8.



أ - من السلبية المصلية إلى الايجابية المصلية:

تدخل حمة VIH إلى الجسم إما عبر الدم أو المخاطات وخصوصا منها التناسلية. فتستقر أولا في الخلايا التغصنية للمخاطات، ومنها إلى الدم، فننتكلم عن مرحلة التعفن الأولي، التي تتميز بحمى وعباء وانتفاخ العقد للمفاوية على مستوى العنق أو تحت الساعدين. تدوم هذه المرحلة بضعة أسابيع قبل أن تختفي بعد أن يكون الجسم قد بدأ في إنتاج مضادات أجسام نوعية لحمة VIH. فنقول عن الشخص أنه أصبح ايجابي المصل (Séropositif).

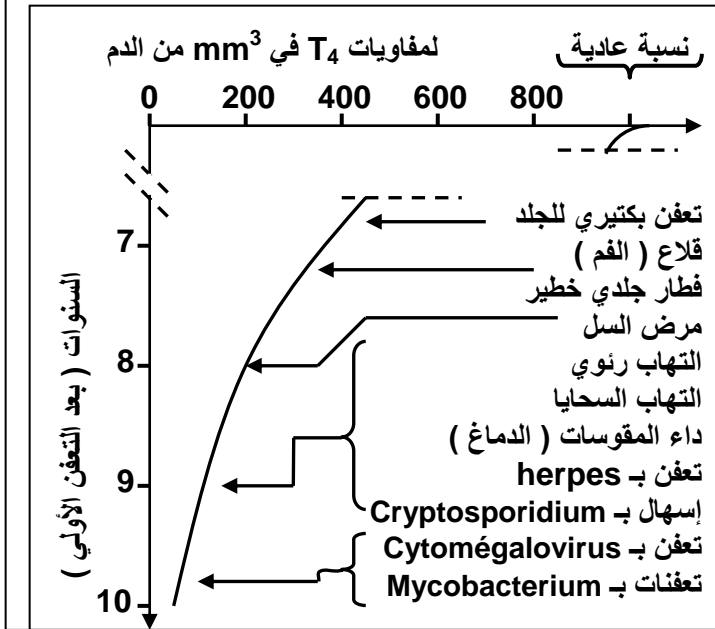
ب - مرحلة الكمون: Phase de latence

تدوم هذه المرحلة عدة سنوات، لا تظهر خلالها أي أعراض عند الشخص المصاب رغم كونه حاملا لحمة VIH. يفقد الجسم العديد من الكريات للمفاوية T_4 ، حيث يتضاءل عددها فتحدف بذلك وظيفتها التنشيطية، الشيء الذي يؤثر في وظيفة T_8 والبلمزيات ويعطي قصورا مناعيا.

ج - مرحلة الأمراض الانتهازية: Maladies opportunistes أنظر الوثيقة 9.

ينتج عن فقدان الكريات للمفاوية T_4 تدهور عام للجهاز المناعي. حيث يصبح الشخص عرضة لمختلف الأمراض الجرثومية التي تنتهز فرصة ضعف الجهاز المناعي للشخص المصاب، فتهاجمه، وبذلك نسميها أمراضا انتهازية..

الوثيقة 9: ظهور الأمراض الانتهازية حسب انخفاض اللمفاويات T₄



في حالة غياب أي علاج تظهر مرحلة السيدا النهائية بعد مرور 5 الى 12 سنة من الإصابة بحمة VIH التي تتميز بانخفاض كبير في نسبة اللمفاويات T₄، الأمر الذي يؤدي الى ضعف كبير في الاستجابة المناعية (قصور مناعي) مما يفتح الباب لظهور الأمراض الانتهازية.

يعطي المبيان أمامه تطور ظهور أكثر الأمراض الانتهازية شيوعا حسب الانخفاض التدريجي لعدد اللمفاويات T₄

فسر ظهور الأمراض الانتهازية في مرحلة السيدا النهائية

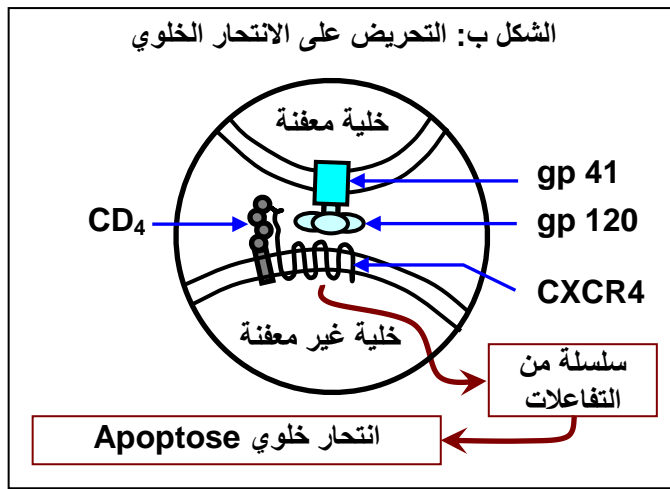
⑥ آلية تدمير الكريات اللمفاوية T₄ : أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: آلية تدمير الكريات اللمفاوية T₄

يمثل تدمير الكريات اللمفاوية T₄ السبب الرئيسي لفقدان المناعة المميز للخمج الجرثومي بواسطة VIH. يمكن تفسير هذا التدمير بتدخل مجموعة من الآليات نذكر منها أساسا:

- التطفل المباشر لحمة VIH على الخلايا T₄.
- الانتحار الخلوي (Apoptose) للخلايا المعفنة، (الشكل أ)
- تحريض اللمفاويات T₄ غير المعفنة على الانتحار الخلوي (الشكل ب).

انطلاقا من هذه الوثيقة أبرز مختلف آليات القضاء على LT₄.



يتم تدمير اللمفاويات T₄ بعدة آليات:

- التطفل المباشر لحمة VIH على اللمفاويات T₄، التي تقتل بتحطيم الغشاء الخلوي اثر تكاثر وتبرعم الحمات.
- موت اللمفاويات T₄ المعفنة بفعل الانتحار الخلوي، إذ تؤدي الجزيئات الحموية gp120 المثبتة على غشاء اللمفاوية T₄ إلى تحسيسها وتحريضها على التدمير الذاتي وذلك بتكثيف النواة وتجزئ ADN. (ناتج عن استقبال الخلايا إشارات كيميائية خاصة أو تماس مع خلايا أخرى).
- تتعرض اللمفاويات T₄ غير المعفنة بحمة VIH كذلك إلى نفس الظاهرة، وذلك بتماسها مع لَمفاويات T₄ معفنة حاملة على سطحها الجزيئات gp120، التي ترتبط ب المستقبل CXCR4 أو CCR5 مما يحرض اللمفاويات T₄ غير المعفنة على الانتحار.

⑦ اختبارات الكشف عن السيدا:

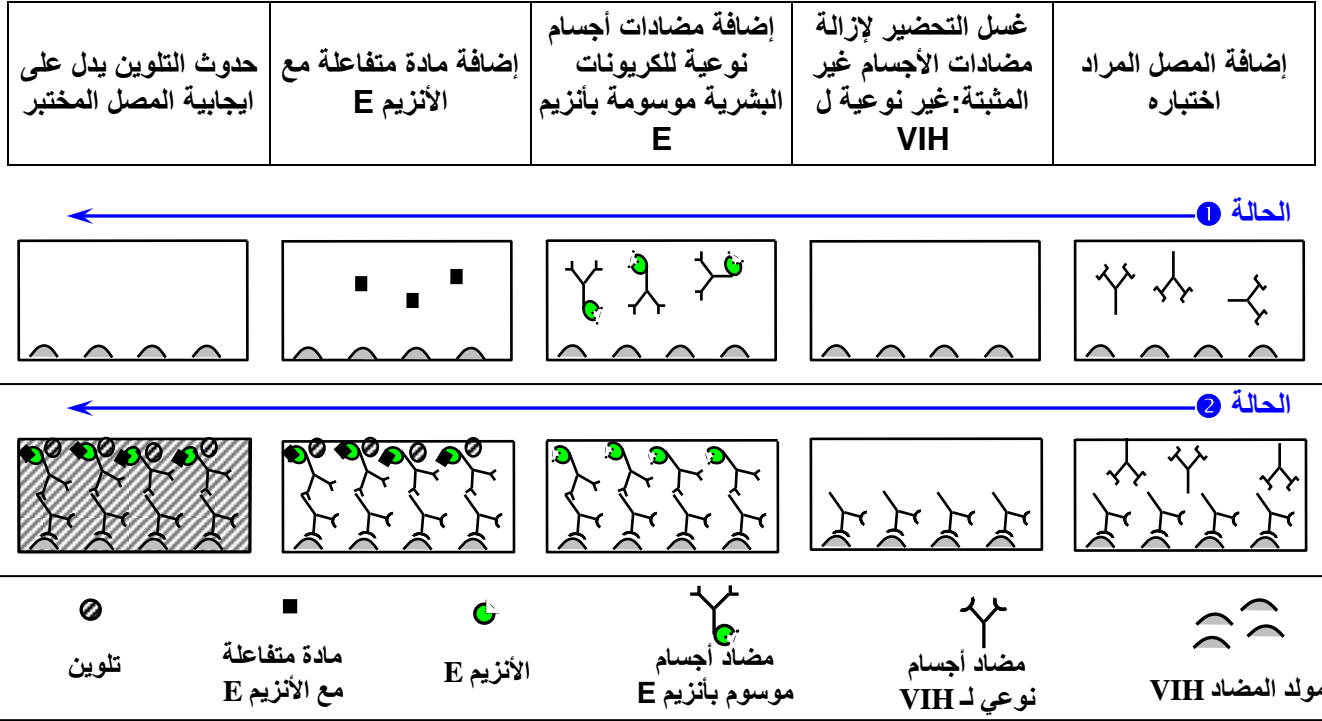
بعد مرور 3 أسابيع إلى 3 أشهر عن دخول VIH إلى الجسم؛ ينتج هذا الأخير مضادات أجسام موجهة ضد بعض المحددات المستضادية لهذا الفيروس.
تعتمد اختبارات الكشف عن داء السيدا على البحث عن مضادات VIH في دم الأشخاص المختبرين.

أ – اختبار Elisa. أنظر الوثيقة 11

الوثيقة 11: الكشف عن مضادات الأجسام Anti – VIH بواسطة اختبار Elisa.

أصل العبارة ELISA هو Enzyme linked immunosorbent assay. أنظر الخطأ أسفله:

على دعامة بلاستيكية يتم تثبيت مولد المضاد VIH، ثم توضع الدعامة داخل المصل المراد اختباره. فان كان يتوفر على مضاد جسم نوعي لـ VIH، فان هذا الأخير يثبت على مولد المضاد، مكونا مركب منيع. بعد ذلك يتم غسل هذه الدعامة لإزالة ما لم يثبت من مضادات الأجسام. ثم تضاف مضادات أجسام نوعية للكربونات البشرية موسومة بواسطة أنزيم. بعد غسل الدعامة، تضاف مادة خاصة متفاعلة مع الأنزيم تعطي تفاعلا ملونا، بحيث يدل ظهور اللون على الايجابية المصلية (La séropositivité). وعدم ظهوره على السلبية المصلية.



يعد اختبار ELISA اختبارة سهلا وغير مكلف، لكن يبقى غير ناجع % 100، لأن فيه احتمال للخطأ، حيث يمكن للمحددات المستضادية الفيروسية أن تلتقط مضادات أجسام غير موجهة أصلا ضد VIH.
ولو أن احتمال الخطأ لا يتعدى 2%، ففي حالة اختبار إيجابي، يلزم تأكيده باختبار أكثر دقة مثل اختبار Western Blot.

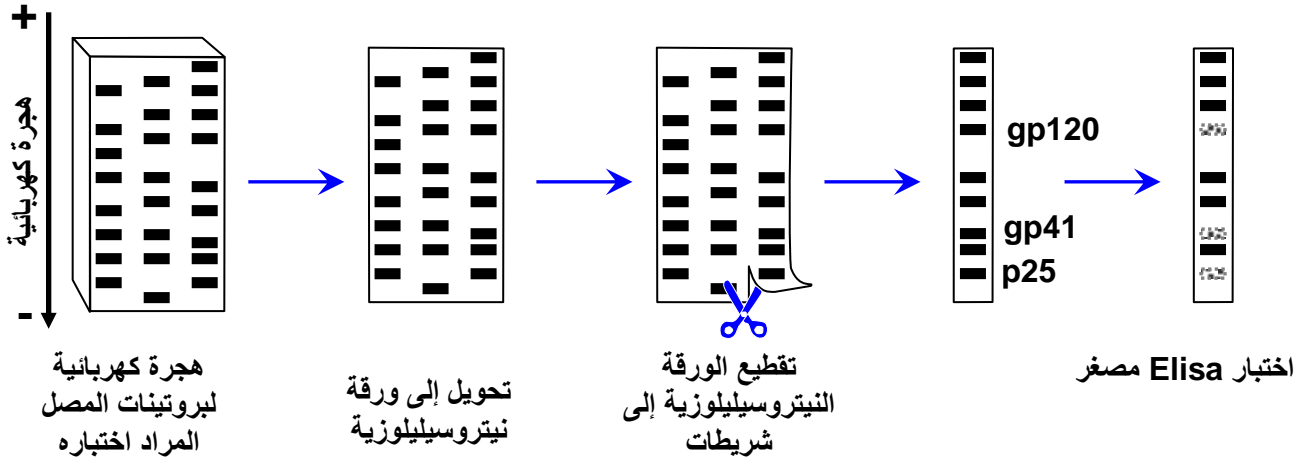
ب – اختبار Western-Blot. أنظر الوثيقة 12

يعتبر هذا الاختبار مكلفا، لكن لا يلجأ إليه إلا في حالة الايجابية المصلية باختبار Elisa.

الوثيقة 12: اختبار Western-Blot

تعطي الوثيقة أسفله رسوما تخطيطية تفسيرية لمراحل الكشف عن السيدا بواسطة اختبار Western Blot:

تنقى البروتينات الحموية وتعزل بشكل مرتب حسب كتلتها الجزيئية بواسطة طريقة الهجرة الكهربائية على الغراء. وبما أن الغراء الحامل للبروتينات الحموية جد هش، فإنه يحول على ورقة نيتروسيليلوزية متعششة للبروتينات. تقطع بعد ذلك هذه الورقة إلى شريطات حسب كل نوع بروتيني. فيجرب على كل شريط اختبار ELISA مصغر، ليتم الحصول على عدة أجوبة نوعية عوض الجواب الإجمالي. وغالبا ما يتم الاقتصار على الأشرطة الحاملة ل gp120 و gp41 و p25.

**⑧ بعض المحاولات العلاجية لداء السيدا :**

أ - إبطال فعالية :VIH

حيث تستعمل بعض الأدوية التي تعرقل بعض مراحل دورة الفيروس مثل:

- إعاقه دخول VIH إلى LT_4 وذلك بحقن الشخص بمضادات أجسام نوعية لبروتينات gp120 الفيروسيه مثلا أو بحقن الشخص بجزيئات CD_4 الحرة التي تعمل على شغل جزيئات gp120 الفيروسيه.
- تخريب L'ARN الفيروسي وذلك بحقن المصاب بمادة l'interféron مثلا وهو بروتين تفرزه الخلايا المعفنة بالحمات لتندثر الخلايا السليمة بهدف المقاومة ضد الفيروس المعني.
- إيقاف الاستنساخ العكسي بواسطة عقار Azidothymine= AZT أو DDI اللذان يكبحان عمل أنزيم الناسخ العكسي، لكن لسوء الحظ يمكن لهذا الأنزيم أن يتغير بفعل طفرات الفيروس فتصبح هذه الأدوية غير فعالة، من جهة ثانية، لهذه الأدوية سمية اتجاه الجسم، لذلك لا توصف إلا لدوي السيدا الحقيقية أو إيجابي المصل الذين انخفضت كثافة LT_4 لديهم إلى ما دون 200 كرية في كل mm^3 من الدم.

ب - محاولة دعم وترميم جهاز المناعة بشتى الوسائل.

ج - معالجة الأمراض الانتهازية التي تظهر لدى المصاب : استمصال، مضادات حيوية ...

ملحوظة: هذه المحاولات العلاجية تخفف من آلام المصاب لكن لا تقضي على الفيروس المسبب للمرض.

الفصل الرابع

مساعداات الجهاز المناعي

مقدمة: قد يصاب الجهاز المناعي ببعض الاضطرابات تكون عواقبها وخيمة على الجسم. وقد طور البحث الطبي طرائق ووسائل لمساعدة الجهاز المناعي، خلال الإصابة كعلاج، أو قبل الإصابة كوقاية. **فما هي هذه المساعداات؟**

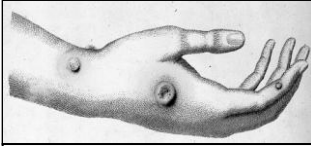
I - التلقيح La vaccination

① مراحل اكتشاف التلقيح:

أ - أعمال E.jenner: أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: أعمال Edouard Jenner.

الجدري La variole مرض معدي يصيب الجلد، وهو ناتج عن حمة الجدري. لقد لاحظ العالم الإنجليزي Edouard Jenner أن الإصابة بالجدري قليلة جدا عند الأشخاص الذين يخلبون الأبقار، وأنهم يصابون بمرض يسمى جدري البقر La vaccine، والذي يظهر على شكل طفحيات جلدية فوق ثدي البقر، وبطفحيات مشابهة على أيديهم، تكون بسيطة وتختفي بسرعة أنظر الصورة أمامه.



طفحيات على يد مصاب بالجدري

(1) ما هي الفرضية التي يمكنك صياغتها انطلاقا من ملاحظات E.Jenner؟

في سنة 1796 استطاع E.Jenner أن يمنع شخصا ضد مرض الجدري بعد حقنه ببقية نقطات بقرة مصابة بجدري البقر.

(2) ماذا تستخلص من هذه التجربة؟

(1) انطلاقا من ملاحظات E.jenner يمكن افتراض أن نقل جذري البقر La vaccine لأشخاص سليمين، يمكن من تمنيعهم ضد الجدري.

(2) نستخلص من هذه التجربة أن الاحتكاك بالمرض يعطي الجسم حصانة ضد نفس المرض.

ب - أعمال Louis Pasteur: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: أعمال Louis Pasteur.

★ في سنة 1879 قام العالم الفرنسي L.Pasteur بدراسة مرض كوليرا الدجاج. وهو مرض قاتل تتسبب فيه بكتريا معينة.

★ في 9 فبراير من سنة 1880 بعث باستور بإرسالية إلى أكاديمية العلوم يقول فيها:

" إن إعادة زرع الجرثوم المعدي (المسبب لكوليرا الدجاج) بنقله عبر أوساط زرع (حساء دجاج) متتالية، لا يؤثر على حدة هذا الكائن الحي المجهرى ولا على سرعة تكاثره داخل جسم الدجاج، بحيث أن التطعيم بجزء ضئيل من قطرة الزرع يؤدي إلى الموت بعد يومين أو ثلاثة، وغالبا بعد 24 ساعة.

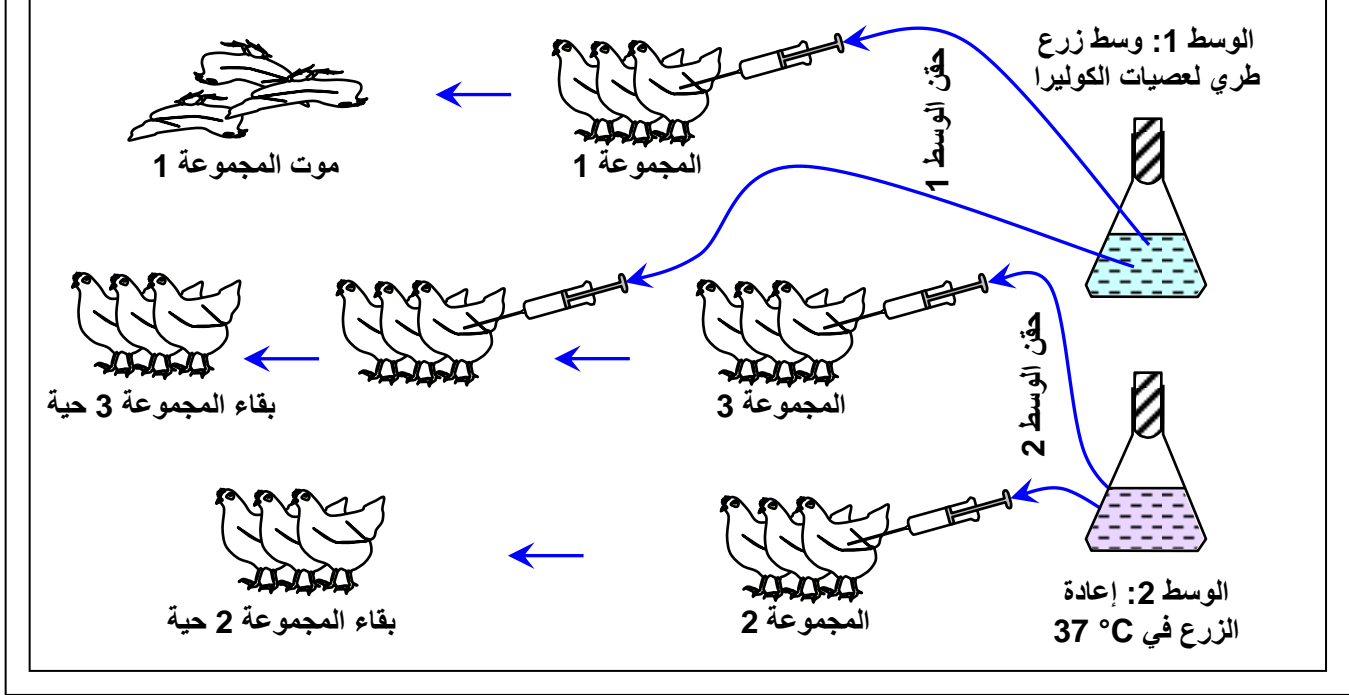
هذه المقدمات إذن معروفة، أتى على الأحداث الأكثر بروزا في هذه الإرسالية: بتغيير كيفية زرع الجرثوم، يمكن أن نضعف من حدته (الوسط 2) تلك هي النقطة الحيوية لموضوعي هذا ...
لنأخذ 40 دجاجة (أنظر الرسوم التخطيطية أسفله) ولنطعم عشرون منها بالفيروس الأكثر حدة، ستموت العشرون دجاجة (المجموعة 1).

لنطعم العشرون دجاجة الأخرى بالفيروس الوهن، ستصبح كلها مريضة لكنها سوف لن تموت (المجموعة 2).

لنتركها تشفى من مرضها ولنعود بعد ذلك لتطعيمها من جديد بالفيروس الحاد جدا. هذه المرة سوف لن تقتل (المجموعة 3). الخلاصة واضحة المرض يقي نفسه. " ... عن مجلة La recherche عدد 53 فبراير 1975

ماذا تستخلص من أعمال Louis Pasteur؟

تابع الوثيقة 2: أعمال Louis Pasteur



لاحظ Pasteur أن دجاجات المجموعة الثالثة أصبحت ممنعة ضد بكتيريا كوليرا الدجاج. نستخلص من هذه الأعمال أن إدخال الجراثيم مضعفة إلى الجسم يوفر لديه دفاعا فعالا ضد نفس الجراثيم في حالتها الحادة.

ج - خلاصة:

سميت عملية إدخال الجرثوم المضعف للجسم بالتلقيح La vaccination. وذلك تكريما للعالم Jenner الذي كان أول من قام بتمنيع شخص ضد الجدري وذلك بحقنه بالجرثوم المسبب لجدري البقر La vaccine، وإن لم يستطع إنتاج لقاح (Vaccin) وإنما استعمل لقاح موجودا في الطبيعة. لكن Pasteur يعتبر المكتشف الحقيقي للتلقيح لأنه أول من أنتج لقاحا سنة 1885 (ضد السعار La rage).

② طرق تحضير اللقاحات: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: طرق تحضير اللقاح

يعطي الجدول التالي نبذة عن طرق تحضير بعض اللقاحات. ماذا تستخلص من هذه المعطيات؟

العنصر الملحق	كيفية تحضير اللقاح	مخترع اللقاح	المرض
الحمية حية وهنة	نخاع شوكة لأرنب مصاب محفوظ في هواء جاف لمدة 14 يوما	Pasteur 1885	السعار Rage
عصيات ميتة	يتم إخضاع عصيات التيفويد للحرارة وتأثير الفورمول	Wright 1892	التيفويد Typhoïde
عصيات BCG حية وهنة ومشابهة لعصية كوخ Koch	عصيات مسببة للهلل عند الأبقار، حصل عليها بعد 13 سنة من الزرع وبعد 232 عملية مرور على أوساط تحتوي على افرازات الحويصلة الصفراء لثور والجليسرين.	Calmette et Guérin (1908 - 1921)	السل Tuberculose
ذوفان (سمين وهن)	سمين الدفتيريا الخاضع لتأثير الفورمول بنسبة 4% والخاضع لتأثير الحرارة لمدة شهر	Ramon 1923	الدفتيريا Diphthérie
مشتقات بكتيرية	مشتقات حوافظ (Enveloppes) 14 نوعا من المكورات الرئوية	Goebel 1943	التهاب الرئة Pneumonie
مشتقات الحمية المعنية	حوافظ الحمية غير الحاملة للمادة الوراثية. مأخوذة من دم أشخاص حاملين للحمية، أو منتجة بطريقة الهندسة الوراثية	معهد Pasteur 1975 - 1981	التهاب الكبد B Hépatite B

يتبين من معطيات الجدول أن تحضير اللقاحات يعتمد:

◀ **طرائق كلاسيكية:** تتمثل في ابطال حدة الجرثوم أو السمين دون أن يفقد قدرته على اثاره استجابة مناعية نوعية مثلا:
 ★ جراثيم ميتة: محضرة انطلاقا من جراثيم تم قتلها بواسطة مواد كيميائية أو تحت تأثير الحرارة.
 ★ مشتقات الجراثيم، حيث يتم استعمال بعض أجزاء الجرثوم الممرض فقط.

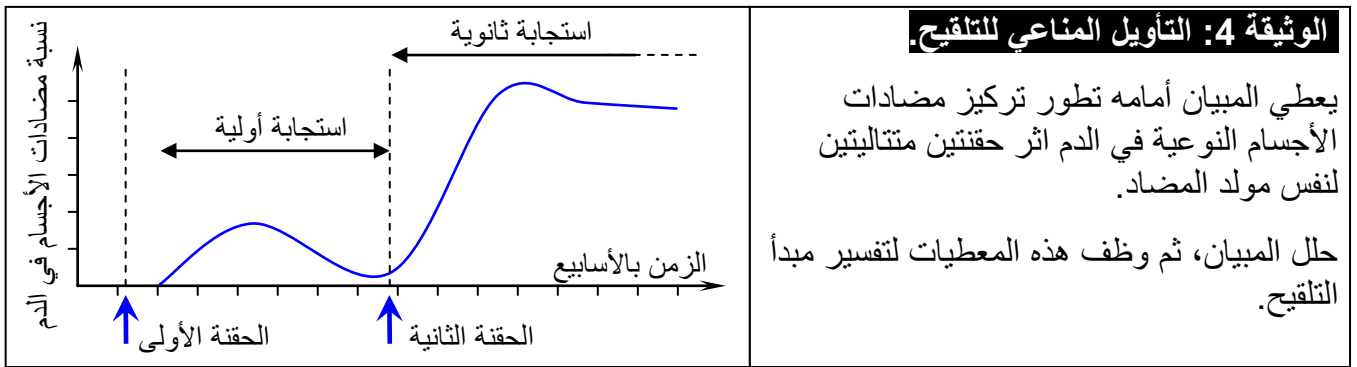
◀ **طرائق حديثة:** تعتمد هذه الطرق على اليات الهندسة الوراثية، مثلا الكباد B مرض يؤدي إلى التهاب الكبد ثم تشمعه و تسببه حمة تعرف ب(HBV)، وقد تم عزل مولد المضاد لهذه الحمة وهو بروتين من الغلاف الحموي، فتم عزل الموروثة المسؤولة عن هذا البروتين من الجينوم الحموي (ADN الحموي)، ثم تم إدماجها في بلاسميد ناقل وتم إدماج البلاسميد المغير في خلية الخميرة التي تنتج كميات كبيرة من البروتين المعني، والذي يستعمل كلقاح.

② مبدأ التلقيح:

أ - تذكير:

- يؤدي حقن ذوفان الكزاز إلى إكساب الجسم مناعة خلوية ضد الكزاز .
- يؤدي حقن بكتيريات BCG إلى إكساب الجسم مناعة خلوية ضد بكتيريات BK المسببة لداء السل.

ب - التأويل المناعي للتلقيح: أنظر الوثيقة 4.



يؤدي الحقن الأول الى استجابة مناعية أولية تتميز بوقت كمون طويل وارتفاع ضعيف لنسبة مضادات الأجسام النوعية. يؤدي الحقن الثاني والذي يسمى بالتذكير **rappel**، الى استجابة مناعية ثانوية تتميز برد فعل سريع وفوري، وبارتفاع مهم لنسبة مضادات الأجسام النوعية المنتجة من طرف الجسم.

نستخلص من هذه المعطيات أن تلقيح شخص بجرثوم موهن أو ذوفان يحدث لدى الشخص الملقح استجابة مناعية تسمى الاستجابة المناعية الأولية ينتج عنها تكون كريات لمفاوية ذات ذاكرة B أو T₈ (حسب نوع الاستجابة المناعية) التي تتميز بطول عمرها.

إذا تعرض الشخص الملقح للجرثوم الحاد أو السمين يكون عدد الكريات للمفاوية النوعية لمولد المضاد هذا كبيرا مما يجعل الاستجابة المناعية الثانوية تكون فورية وقوية مما يؤدي إلى القضاء على مولد المضاد الدخيل (جرثوم أو سمين).

يتوخى التلقيح اذن إكساب الجسم مناعة ضد عامل ممرض معين. ولهذا الغرض يمكن حقن الجسم بالعامل الممرض نفسه أو عوامل غير ممرضة مشتقة منه أو سمينات وهنة (الدوفان) أو مولدات مضاد مستخلصة من الجراثيم. وتستعمل حاليا لقاحات جديدة مهيأة بواسطة تقنيات الهندسة الوراثية.

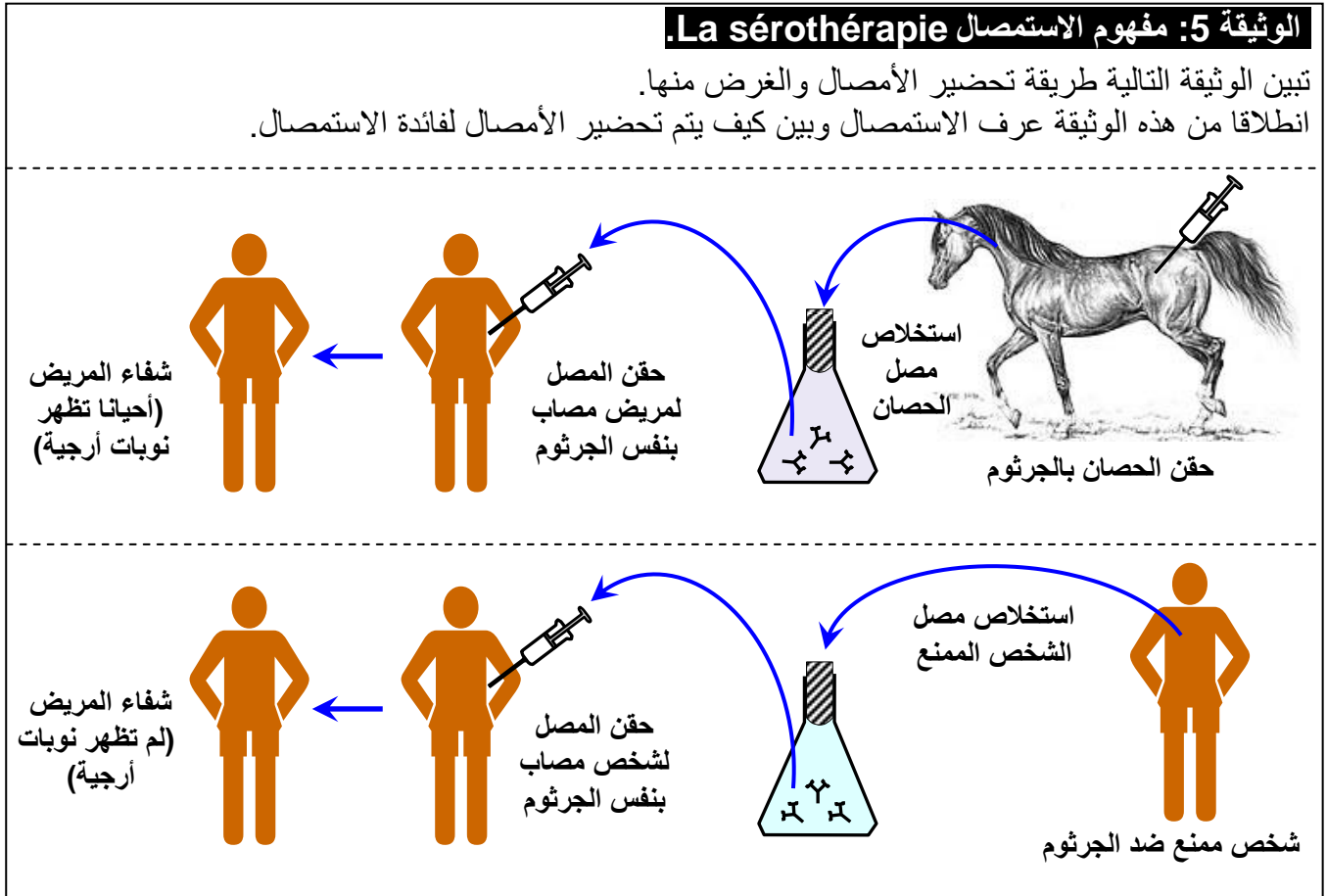
ملاحظات:

★ في بعض الحالات لا تكون الاستجابة الثانوية كافية للقضاء على مولد المضاد الحاد (الممرض) فنتحتاج إلى حقن اللقاح عدة مرات (التذكير) إلى أن نحصل على استجابة مناعية ثانوية كفيلة بالقضاء على مولد المضاد الممرض. وتكمن أهمية التذكير هنا بأنه يرفع عدد الكريات للمفاوية B أو T₈ النوعية لمولد المضاد حتى تصبح بالعدد الكافي للقضاء على مولد المضاد.

★ في بعض الحالات يكون عمر الكريات للمفاوية B أو T₈ ذات ذاكرة قصير، فيقل عدد هذه للمفاويات تدريجيا بحيث تصبح الاستجابة الثانوية غير فعالة، فيحتاج إلى تذكير، ويعاد التذكير كل 10 إلى 15 سنة حسب عمر للمفاويات ذات الذاكرة.

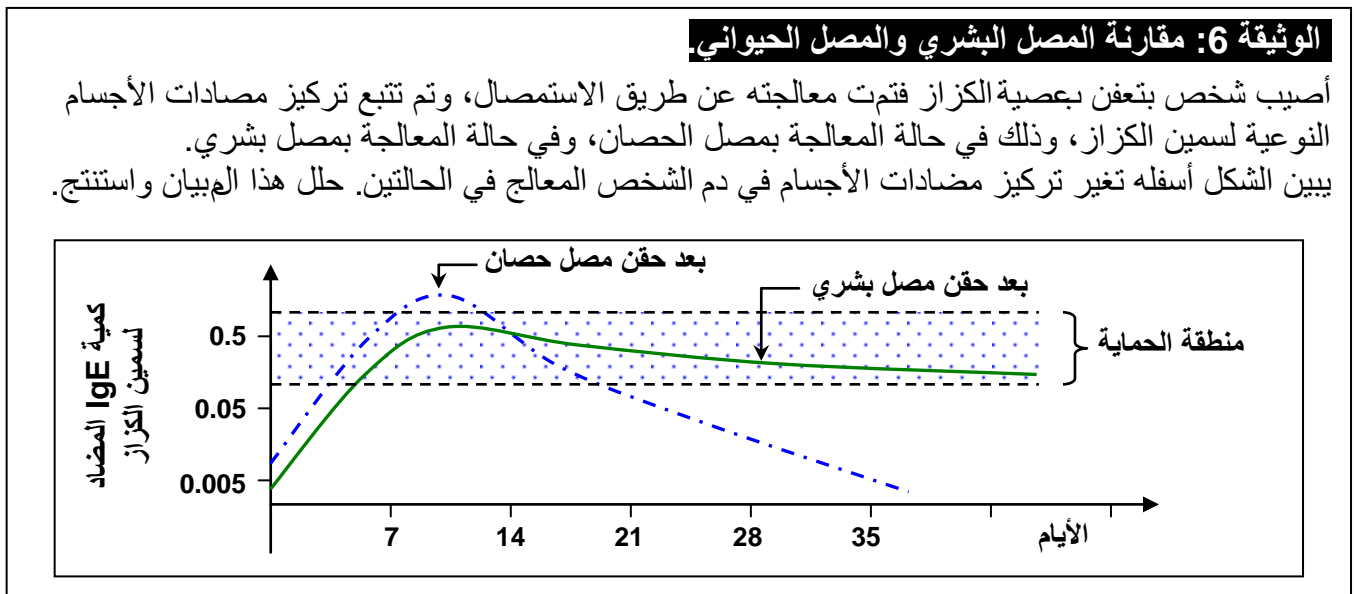
II - الاستمصال La Sérothérapie

① مفهوم الاستمصال : أنظر الوثيقة 5.



عند حقن حصان بجرعات متزايدة السمية من سمين معين، فإن الحصان ينتج مقادير هائلة من مضادات الأجسام نوعية لهذا السم، الشيء الذي أوحى إلى الطبيب Roux سنة 1894 بفكرة نقل مصل هذا الحصان الممنع إلى الإنسان. وهكذا فللاستمصال هو تحويل تمنع شخص إلى شخص آخر غير ممنع، وذلك بحقن هذا الأخير بمصل الشخص الممنع ضد مرض معين، قصد علاجه من نفس المرض. المصل سائل فيزيولوجي يستخلص من الدم ويحتوي على كميات كبيرة من مضادات أجسام نوعية تستعمل لمعالجة بعض حالات التسمم الناتجة عن خمج جرثومي، أو سمين البكتيريات، أو سموم الأفاعي والعقارب.

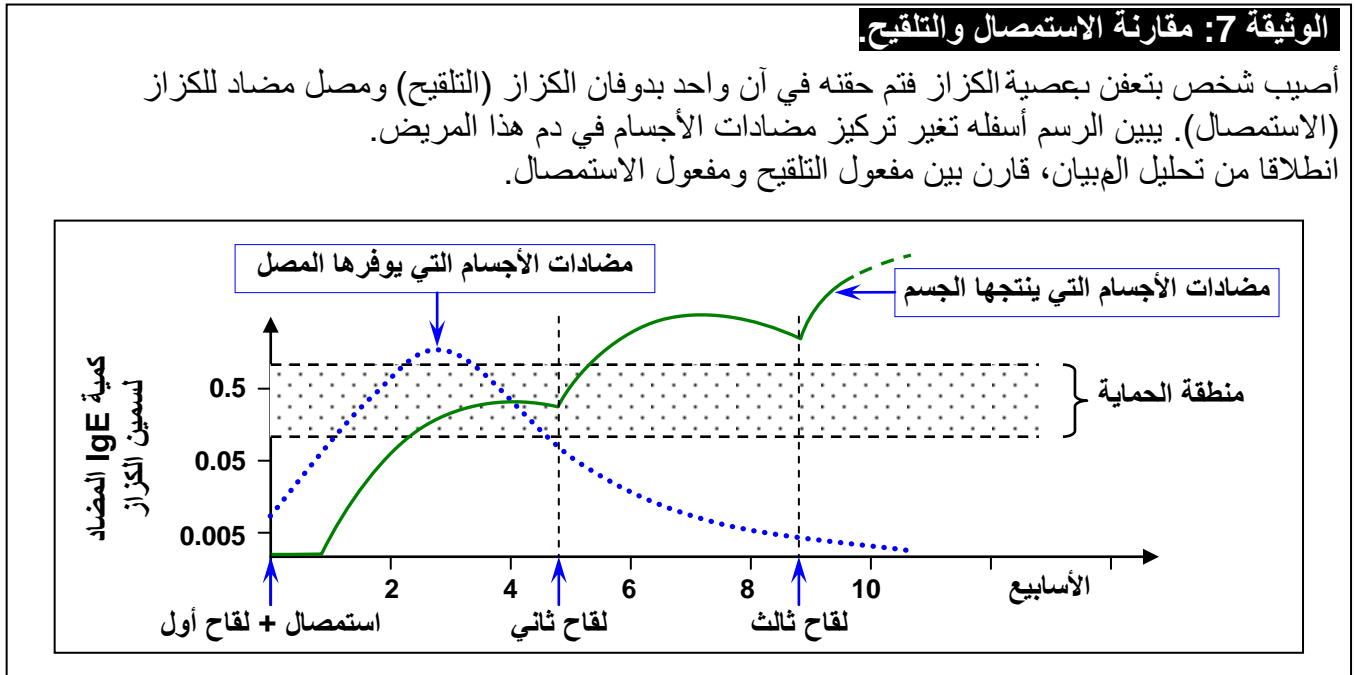
② مقارنة المصل البشري والمصل الحيواني: أنظر الوثيقة 6.



مباشرة بعد حقن مصل مضاد للكرزاز، ترتفع نسبة مضادات سمين الكزاز في البلازما لتغطي منطقة الحماية، لتتخفف تدريجياً بعد ذلك. لكن تأثير هذه الأمصال يختلف حسب مصدرها. ويمكن تلخيص هذا الاختلاف على الجدول التالي:

الخصائص	مصل الحصان	المصل البشري
الفعالية	فعالية قوية	فعالية أقل قوة ولكن كافية
مدة المناعة	فعالية قصيرة الأمد (حوالي 3 أسابيع)	فعالية طويلة الأمد (عدة أشهر)

③ مقارنة الاستمصال والتلقيح: أنظر الوثيقة 7.



★ مباشرة بعد حقن المصل المضاد للكرزاز، ترتفع نسبة مضادات سمين الكزاز في البلازما لتغطي منطقة الحماية. لتتخفف تدريجياً إلى أن تنعدم بعد عدة أسابيع.

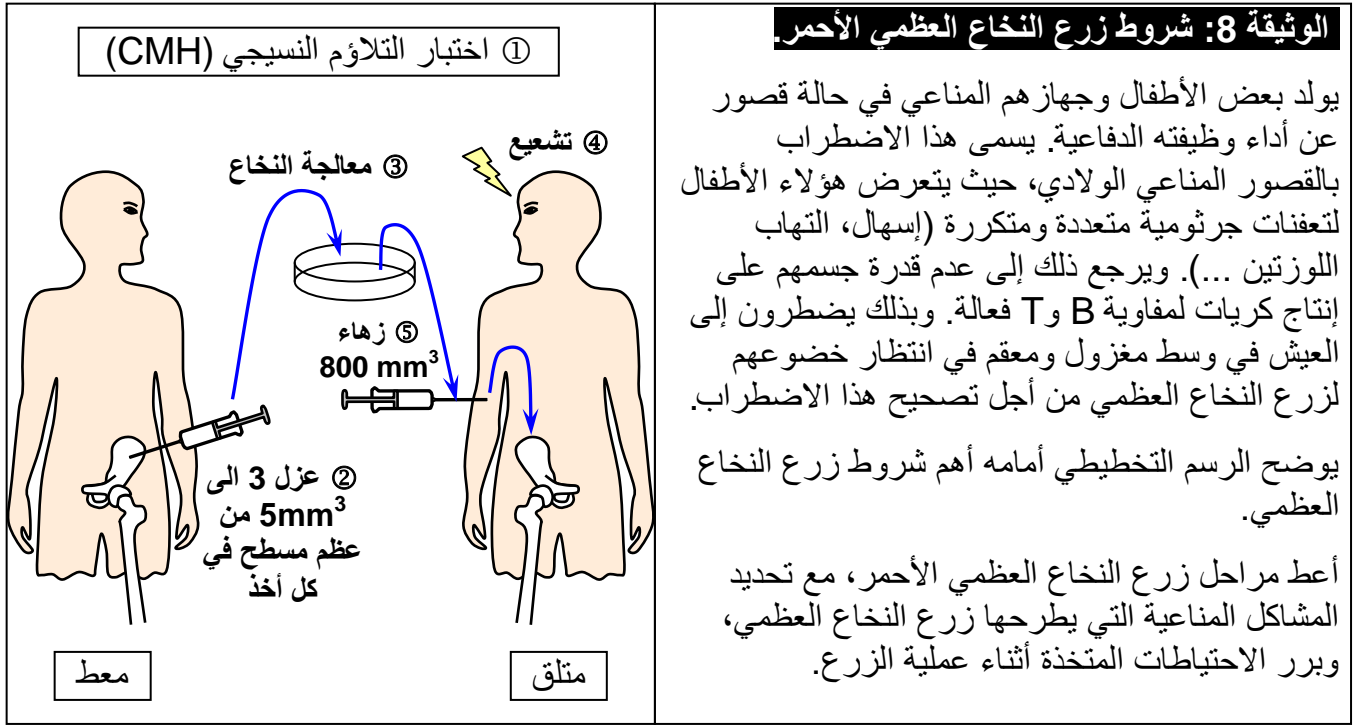
★ بعد التلقيح تبقى نسبة مضادات سمين الكزاز منخفضة خلال الأسابيع الأولى ولا تغطي منطقة الحماية إلا بعد الأسبوع الثاني من التلقيح. وترتفع نسبة المضادات مع التذكير لتبقى مرتفعة في جسم الشخص الملقح.

يتبين من هذه المعطيات أن التلقيح يوفر مناعة نشيطة ونوعية، وله دور وقائي يدوم وقتاً طويلاً. أما الاستمصال فله دور علاجي ويدوم فعلة وقتاً قصيراً. ويعطي الجدول التالي مقارنة بين الاستمصال والتلقيح:

مقارنة الاستمصال بالتلقيح					
التلقيح	مفعول نوعي	اكتساب مناعة نشيطة	مناعة مكتسبة ببطء	مفعول دائم	يستعمل للوقاية
الاستمصال	مفعول نوعي	نقل مناعة (سلبية الجسم)	منعة منقولة فورية	مفعول مؤقت	يستعمل للعلاج

III - زرع النخاع العظمي

يولد بعض الأطفال مصابين بداء قصور المناعة الولادي. ومن أنجع الطرق العلاجية للمصابين بهذا الداء هو زرع النخاع العظمي الذي يعتبر أصل خلايا الجهاز المناعي. لكن نجاح هذا الزرع يكون رهيناً بالتغلب على مجموعة من المشاكل التي يطرحها رد الفعل المناعي، وهي: أنظر الوثيقة 8.



① - اختيار المعطي:

يلزم العمل على اختيار معط يتوفر على CMH مماثل ل CMH المتلقي. وبما أن صيغ CMH ليست دقيقة بما فيه الكفاية، يلزم اختبار الاستجابة المناعية بين المعطي والمتلقي في الزجاج.

② - أخذ الطعم:

يجرى للمعطي تخدير عام، ثم تأخذ من بعض عظامه المسطحة كمية قليلة من النخاع العظمي (800ml).

③ - معالجة الطعم:

يتم قتل اللمفاويات B و T الناضجة الموجودة في الطعم بواسطة مضادات أجسام نوعية لها، حتى لا تستجيب ضد الخلايا الذاتية للأخذ. ويتم الاحتفاظ فقط بالخلايا الأصلية للنخاع العظمي. كما يتم عزل الكريات الحمراء الموجودة بالعينة لتفادي تلكد هذه الأخيرة في حالة اختلاف الفصائل الدموية بين المعطي والمتلقي.

④ - تجهيز الآخذ:

يمكن للخلايا المناعية النشيطة للمتلقي أن تهاجم خلايا الطعم، لتفادي هذا المشكل، يتم - قبل الزرع - تشعيع شامل للمتلقي بهدف قتل جزء من خلاياه المناعية التي هي سبب الرفض. بسبب هذا التشعيع، يبقى المتلقي عدة شهور بدون دفاع مناعي، ولكي لا يكون عرضة للخمج يوضع في غرفة معقمة ويخضع لتتبع استمصال صارم.

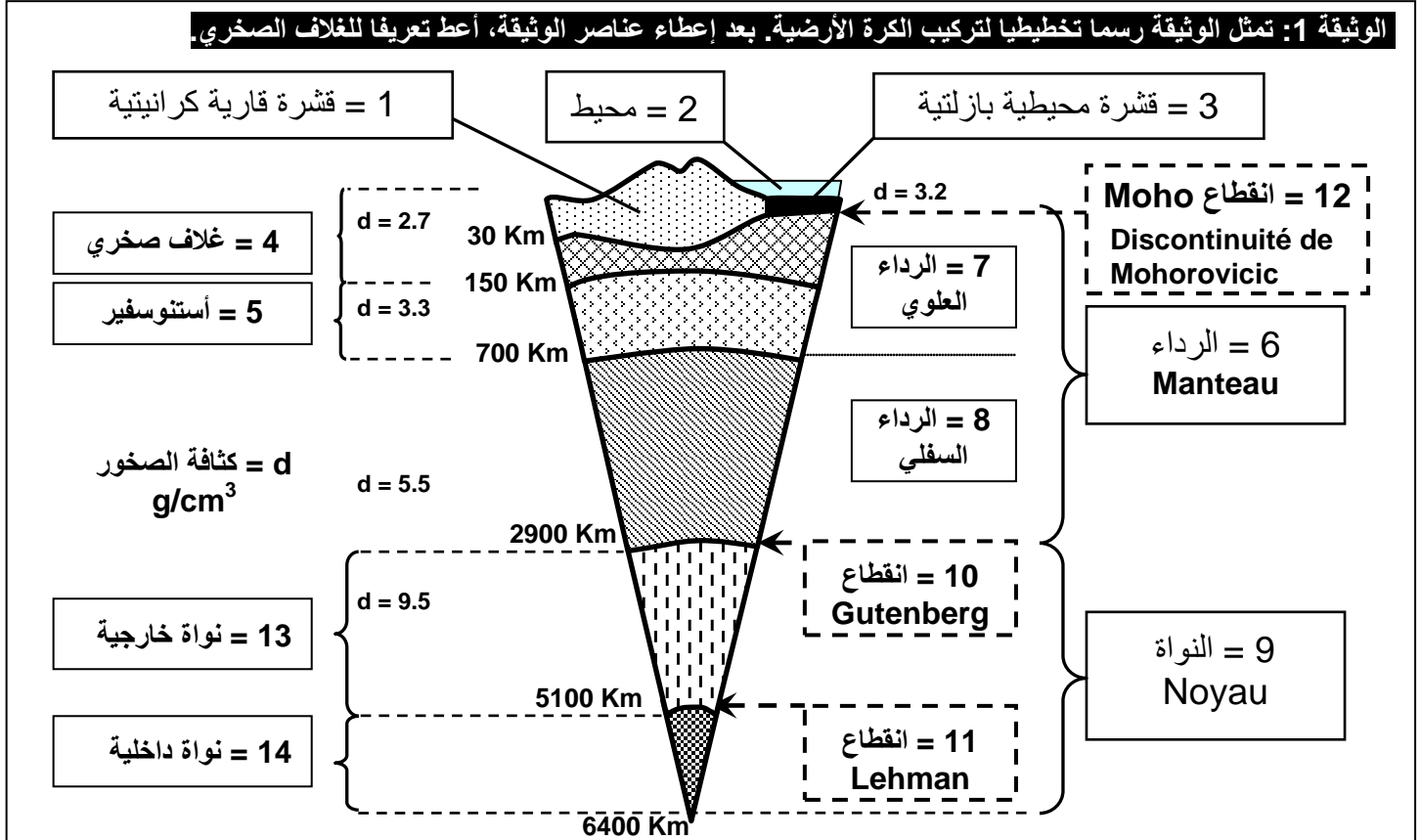
⑤ - تطعيم المتلقي:

يتم حقن العينة في دم الشخص الآخذ بحيث تنتقل عبر الجهاز الدوراني لتستقر في النخاع العظمي لعظام الشخص الآخذ.

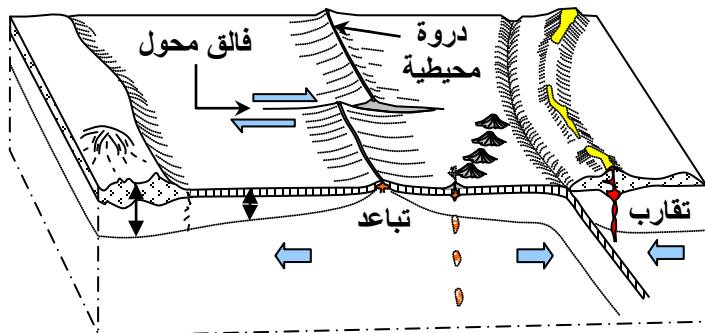
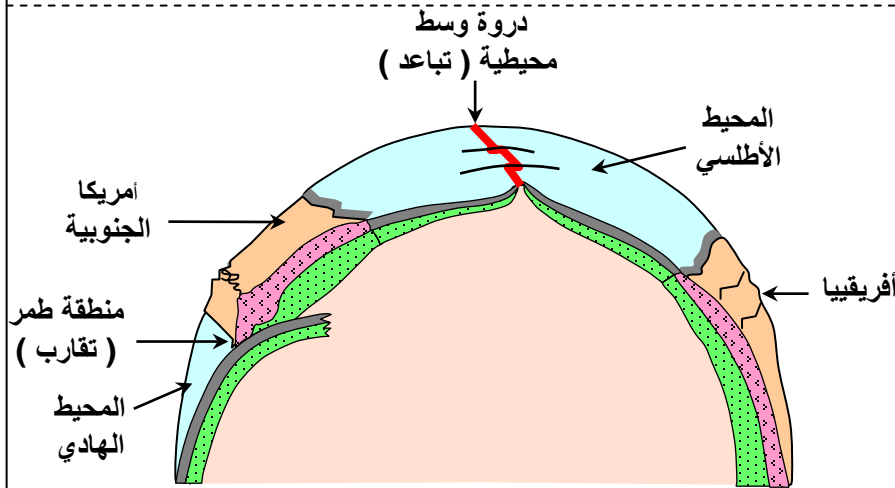
الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح

الوحدة السادسة

تذكير ببنية الكرة الأرضية: (أنظر الوثيقة 1 والوثيقة 2)



الوثيقة 2: بعض الظواهر الجيولوجية التي تطرأ على مستوى جزء من الكرة الأرضية



★ ينقسم الغلاف الصخري إلى عدة كتل تمثل الصفائح الصخرية أو التكتونية.

★ يمكن التمييز بين أربعة أنواع من الحدود بين الصفائح:

- الدروات المحيطية حيث تنشأ القشرة المحيطية الجديدة.
- مناطق الطمر حيث يختفي الغلاف الصخري القديم.
- مناطق الاصطدام حيث تكوم تتجابه قشرتان قاريتان.
- الفوالق المحولة.

تنتقل هذه الصفائح بالنسبة لبعضها البعض. فهي تتباعد في مستوى الدروات و تتقارب في مناطق الطمر و تتجابه في مستوى مناطق الاصطدام.

★ الغلاف الصخري : يضم القشرة الأرضية (القارية والمحيطية) ، وجزء من الرداء العلوي. تحد القشرة الأرضية بواسطة انقطاع Moho الذي يفصل بين القشرة الأرضية و الرداء العلوي. معدل كثافة الصخور في هذا الغلاف حوالي 2.7 g/cm^3

★ الرداء : مادته غير متجانسة بشكل عام. فالجزء العلوي منه يتكون من مادة لدنه (مائعة)، تطفو فوقه صفائح الغلاف الصخري، بينما الجزء السفلي منه يتكون من مادة صلبة. ولهذا يقسم الرداء إلى قسمين: الرداء العلوي والرداء السفلي. يمتد إذن الرداء من انقطاع Moho إلى انقطاع Gutenberg.

★ النواة الخارجية: تحد بواسطة انقطاع Lehmann. كثافة الصخور من 9.5 إلى 12

★ النواة الداخلية: تمتد إلى مركز الأرض أي إلى عمق 4600 كيلومتر. كثافة ما بين 12 إلى 12.5 .

يتشكل الغلاف الصخري من مجموعة من الصفائح صلبة وطافية على الأستينوسفير وفي حركية مستمرة. وينتج عن حركية صفائح الغلاف الصخري، انفتاح المحيطات، والذي يعوضه تقارب الصفائح في مناطق أخرى حيث تتشكل السلاسل الجبلية، والتي تصاحبها مجموعة من التشوهات التكتونية .

- فما هي ظروف تشكل السلاسل الجبلية ؟ وما هي أنواعها ؟
- وما هي الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية الحديثة ؟
- وما علاقتها بتكتونية الصفائح ؟

السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح

مقدمة: السلاسل الجبلية الحديثة تضاريس بارزة على سطح الأرض، ارتبط تشكلها بحركية الصفائح التكتونية خلال الأزمنة الجيولوجية القديمة.

ما علاقة السلاسل الجبلية الحديثة بتكتونية الصفائح ؟
 ما هي أنواع السلاسل الجبلية الحديثة ؟ وما هي مميزاتها ؟
 ما هي أبرز التشوهات التكتونية المميزة للسلاسل الجبلية الحديثة ؟

1 - أنواع السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح. أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3 :

الصفائح الصخرية هي قطع صلبة طافية على الأستينوسفير، تتكون من جزء من الرداء العلوي تعلوه قشرة قارية أو قشرة محيطية أو هما معا. يشكل مجموع الصفائح الغلاف الصخري للكرة الأرضية.

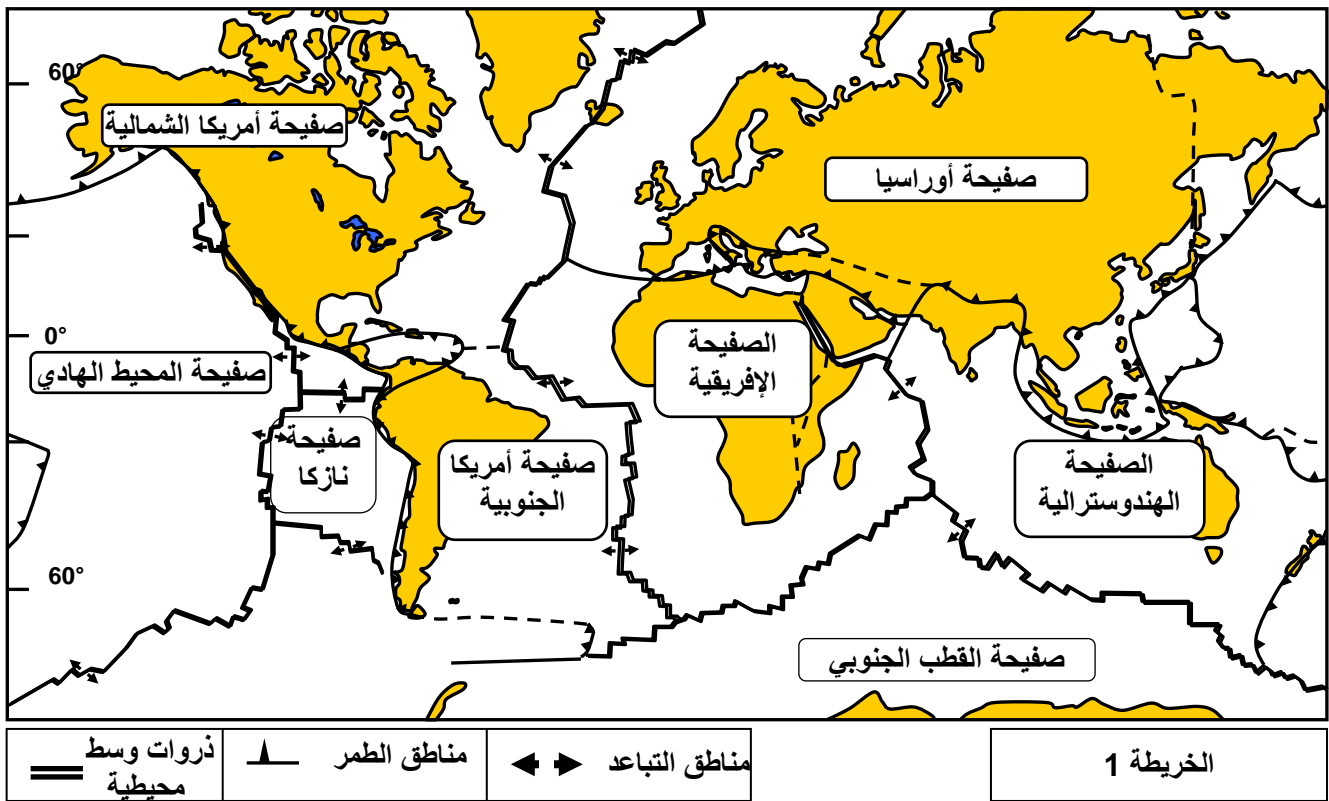
* تمثل الخريطة 1 أهم الصفائح التكتونية وعلاقتها ببعضها البعض. وتمثل الخريطة 2 التوزيع الجغرافي للبراكين وبؤر الزلازل على مستوى الكرة الأرضية.

(1) اعتمادا على الخريطة 1 و 2 وعلى مكتسباتك ذكر بمميزات حدود الصفائح ؟

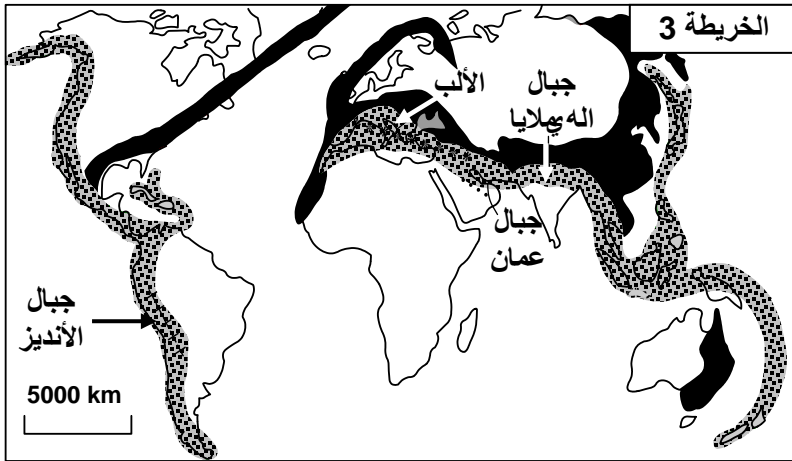
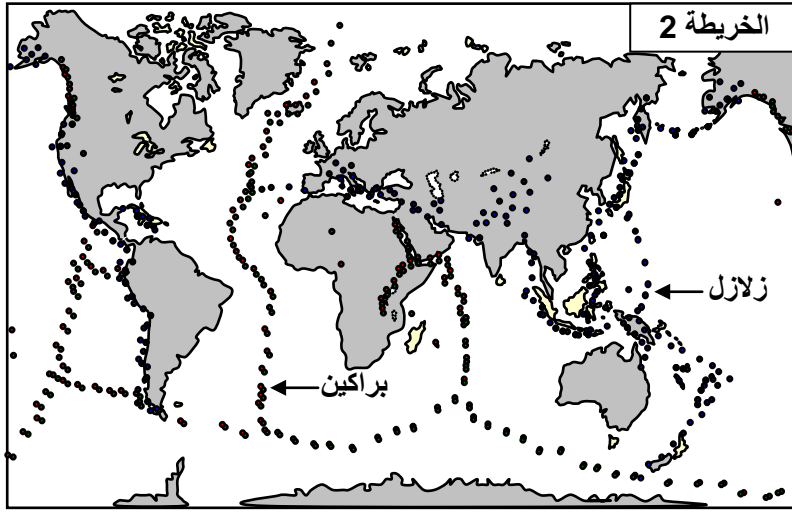
* تمثل الخريطة 3 التوزيع الجغرافي للسلاسل الجبلية الحديثة على مستوى الكرة الأرضية.

(2) بالاعتماد على هذه الخريطة والخرائط السابقة، حدد تموضع السلاسل الجبلية الحديثة .

(3) صنف هذه السلاسل الجبلية حسب مواضع تواجدها.



(1) الصفيحة التكتونية هي قطعة من الغلاف الصخري شاسعة وهادئة، تحدها مناطق ضيقة ذات نشاط بركاني وزلزالي كثيف. وتتميز حدود الصفائح بـ :



- مناطق التباعد: تتموضع وسط المحيط، وتتمثل في الذروات الوسط محيطية.
- مناطق التقارب أو التجابه وتكون من:
 - ✓ مناطق الطمر Subduction حيث تنغرز صفيحة تحت أخرى.
 - ✓ مناطق الطفو Obduction حيث يزحف الغلاف الصخري المحيطي فوق الغلاف الصخري القاري.
 - ✓ مناطق الاصطدام Collision حيث تصطدم كتلة قارية مع أخرى.

- مناطق الاحتكاك: تحتك صفيحة بأخرى.
- مع حركة أفقية للصفحتين.

(2) تتموضع السلاسل الجبلية الحديثة على مستوى مناطق التقارب بين الصفائح التكتونية، مما يدل على وجود علاقة بين حركية الصفائح وتشكل السلاسل الجبلية الحديثة.

(3) يمكن تصنيف السلاسل الجبلية الحديثة إلى ثلاثة أنواع هي:

- سلاسل الطمر: تتشكل في مناطق الطمر بين صفيحة محيطية وصفيحة أخرى.
- سلاسل الاصطدام: تتشكل اثر اصطدام كتلتين قاريتين تنتميان لصفحتين مختلفتين.
- سلاسل الطفو: تنتج عن طفو أو تراكم غلاف صخري محيطي فوق غلاف صخري قاري ينتميان لصفحتين مختلفتين.

II - خصائص السلاسل الجبلية الحديثة.

① سلاسل الطمر

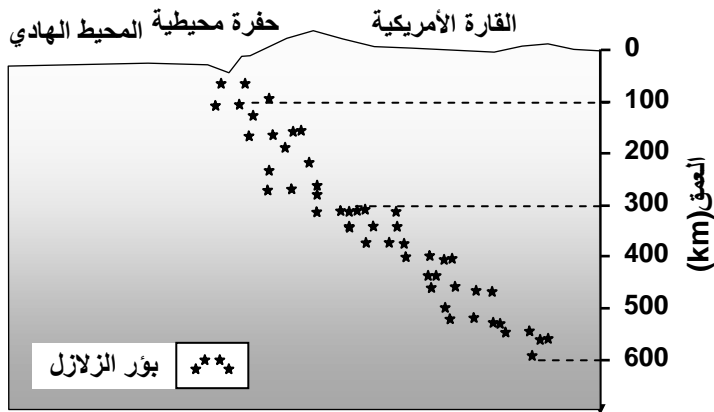
أ - الخصائص البنوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر: مثال جبال الأنديز وثيقة 4

- ★ تتموضع جبال الأنديز (سلاسل الطمر) في منطقة التجابه بين صفيحة المحيط الهادي وصفيحة أمريكا الجنوبية. ويتميز هذا الهامش النشط بظواهر جيولوجية خاصة أبرزها:
 - وجود حفر محيطية عميقة.
 - زلزالية شديدة تنتظم بؤرها على مستوى مائل يسمى مستوى Benioff.
 - شدوذات حرارية، حيث أن خطوط ثوابت درجة الحرارة غير موازية لسطح الأرض، بل تنغرز نحو العمق حسب سطح مائل موافق لمستوى Bénioff. يفسر الجيوفيزيائيون هذه الشذوذات بانغراز صفيحة باردة بالأستينوسفير الساخن.
 - بركانية عنيفة تؤدي إلى قذف صهارة أنديزيتية يسبب تبردها المرحلي صخرة ذات بنية ميكروليتية تسمى الأنديزيت Andésite.

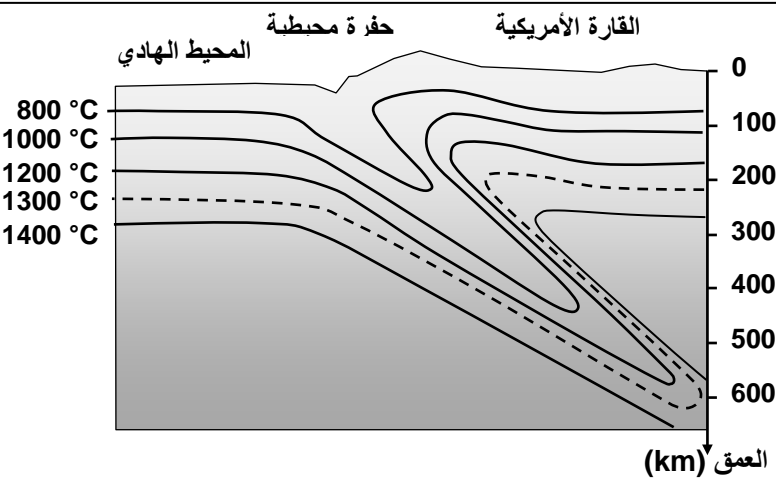
الوثيقة 4: الخصائص البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر.

حدد من خلال دراسة هذه الوثيقة، الظروف الجيوفيزيائية المميزة لمناطق الطمر، بنية صخرة الأنديزيت وظروف تشكلها.

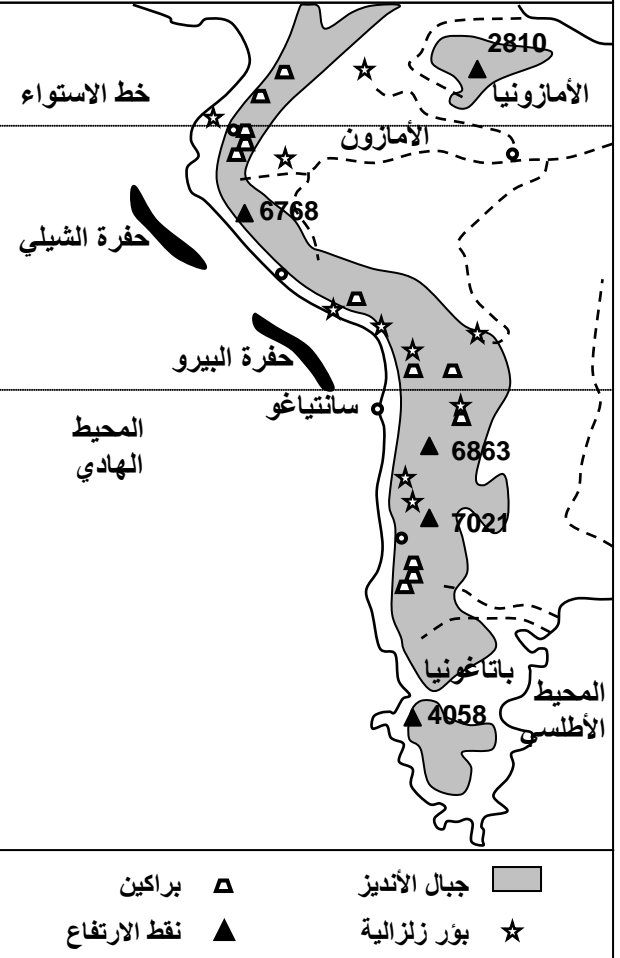
شكل ب: توزيع بؤر الزلازل حسب العمق في مستوى الهامش النشط لمنطقة الأنديز



شكل ج: توزيع خطوط تساوي درجة الحرارة في منطقة الطمر بجبال الأنديز

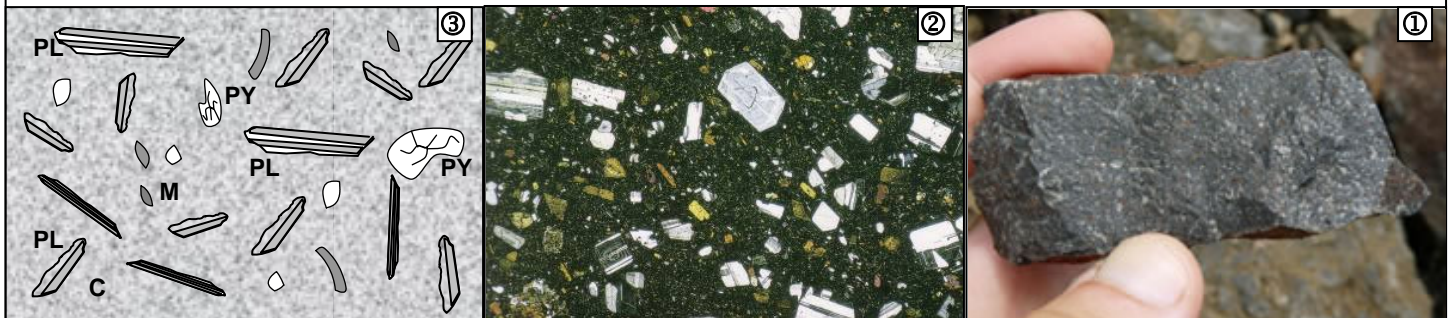


شكل أ: خريطة أمريكا الجنوبية تبين جغرافية الهامش النشط



براكين ▲ جبال الأنديز ■
نقط الارتفاع ▲ بؤر زلزالية ☆

شكل د: صخرة الأنديزيت **Andésite**: صخرة رمادية اللون، مميزة لمناطق الطمر وقد سميت بذلك لوجودها بكثرة في جبال الأنديز. ① : عينة لصخرة الأنديزيت. ② : ملاحظة صفيحة دقيقة لصخرة الأنديزيت بالمجهر المستقطب. ③ : رسم تفسيري للصفحة الدقيقة. PY = البيروكسين، PL = البلاجيوكلاز، M = ميكروليتات، C = زجاج.



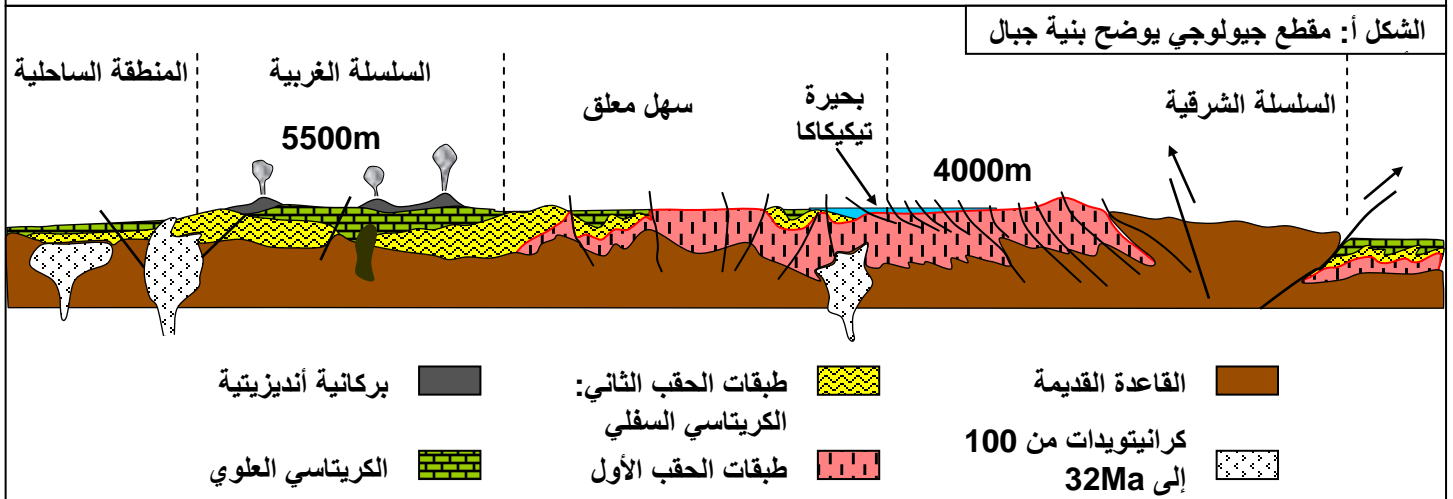
★ تتكون صخرة الأنديزيت من مادة غير متبلورة تدعى عجين أو زجاج، وبلورات كبيرة الحجم (البلاجيوكلاز و البيروكسين)، وبلورات صغيرة الحجم تدعى ميكروليتات. لدى نتكلم عن بنية ميكروليتية، الشيء الذي يدل على أن صخرة الأنديزيت تشكلت عبر مراحل:

- تبريد بطيء في العمق مكن من تشكل البلورات الكبيرة.
- تبريد سريع على السطح ترتب عنه تشكل الزجاج والميكروليتات.

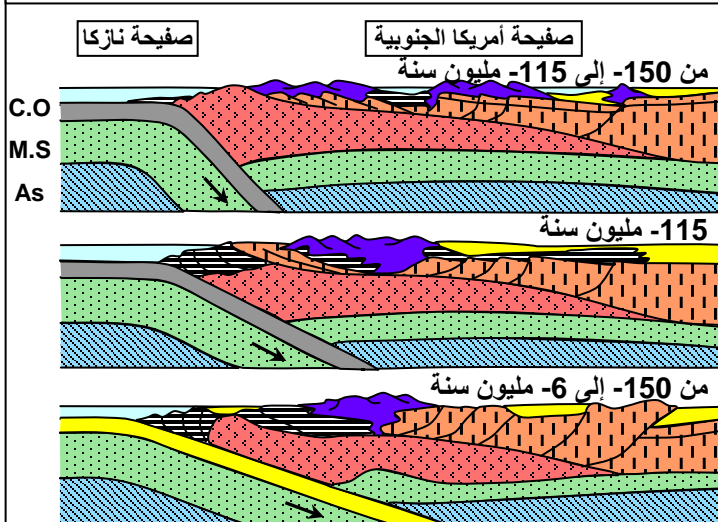
ب - تشكل سلاسل الطمر: وثيقة 5

الوثيقة 5: تشكل سلاسل الطمر

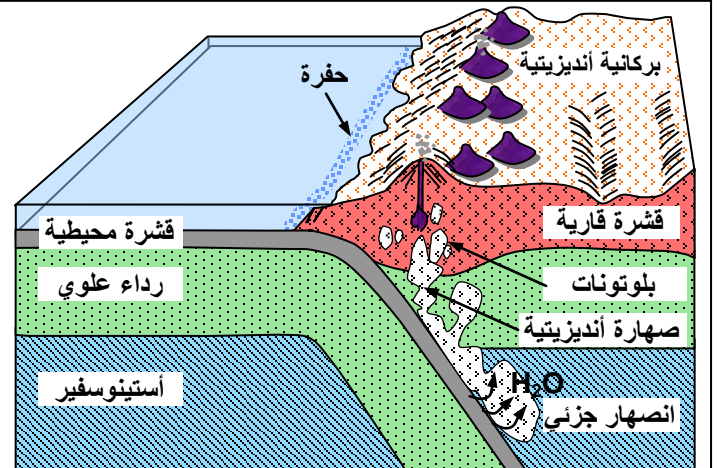
- 1) انطلاقاً من الشكل أ من الوثيقة، استخراج المميزات التكتونية لجبال الأنديز.
- 2) من خلال معطيات الوثيقة 6 والشكل ب من الوثيقة 5 بين كيف تتشكل البركانية الأنديزيتية وبلوتونات الكرانوديوريت، واربط هذين الحدثين بتكتونية الصفائح.
- 3) من خلال تحليل معطيات الشكل ج من الوثيقة، حدد تسلسل الأحداث المؤدية إلى تشكل جبال الأنديز.



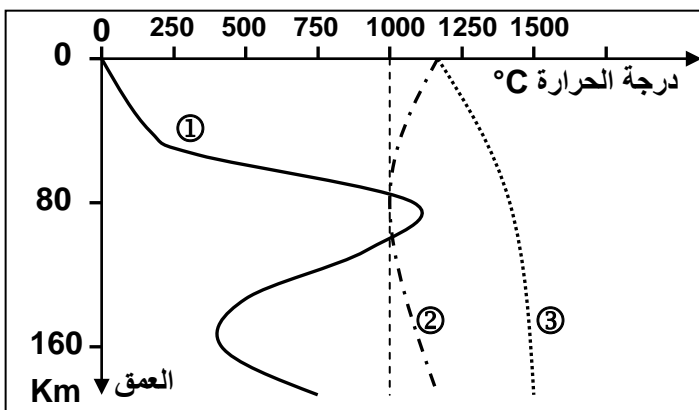
الشكل ج: نموذج تفسيري لمراحل تشكل جبال الأنديز.



الشكل ب: مجسم بياني لبنية جبال الأنديز: البركانية الأنديزيتية والبلوتونية نتاج



- 1) انطلاقاً من الشكل أ من الوثيقة يمكن القول أن سلاسل الأنديز تتميز بـ:
 - بركانية أنديزيتية وبصخور بلوتونية (صخرة صهارية داخلية المنشأ أي تبردت في العمق).
 - تشوهات تكتونية بسيطة: طيات على شكل مروحة وفوالق معكوسة.



الوثيقة 6: تطور درجة الحرارة حسب العمق تحت القوس الصهاري لمنطقة الطمر ①

- على نفس الميادين مثلت المنحنيات التجريبية لبداية انصهار البيريدوتيت المكونة للرداء تحت ظروف الضغط والحرارة:
- ② = منحني تصلب البيريدوتيت المميهة.
 - ③ = منحني تصلب البيريدوتيت غير المميهة.
- من خلال تحليل معطيات هذه الوثيقة، أربط العلاقة بين البلوتونية والبركانية الأنديزيتية وتكتونية الصفائح.

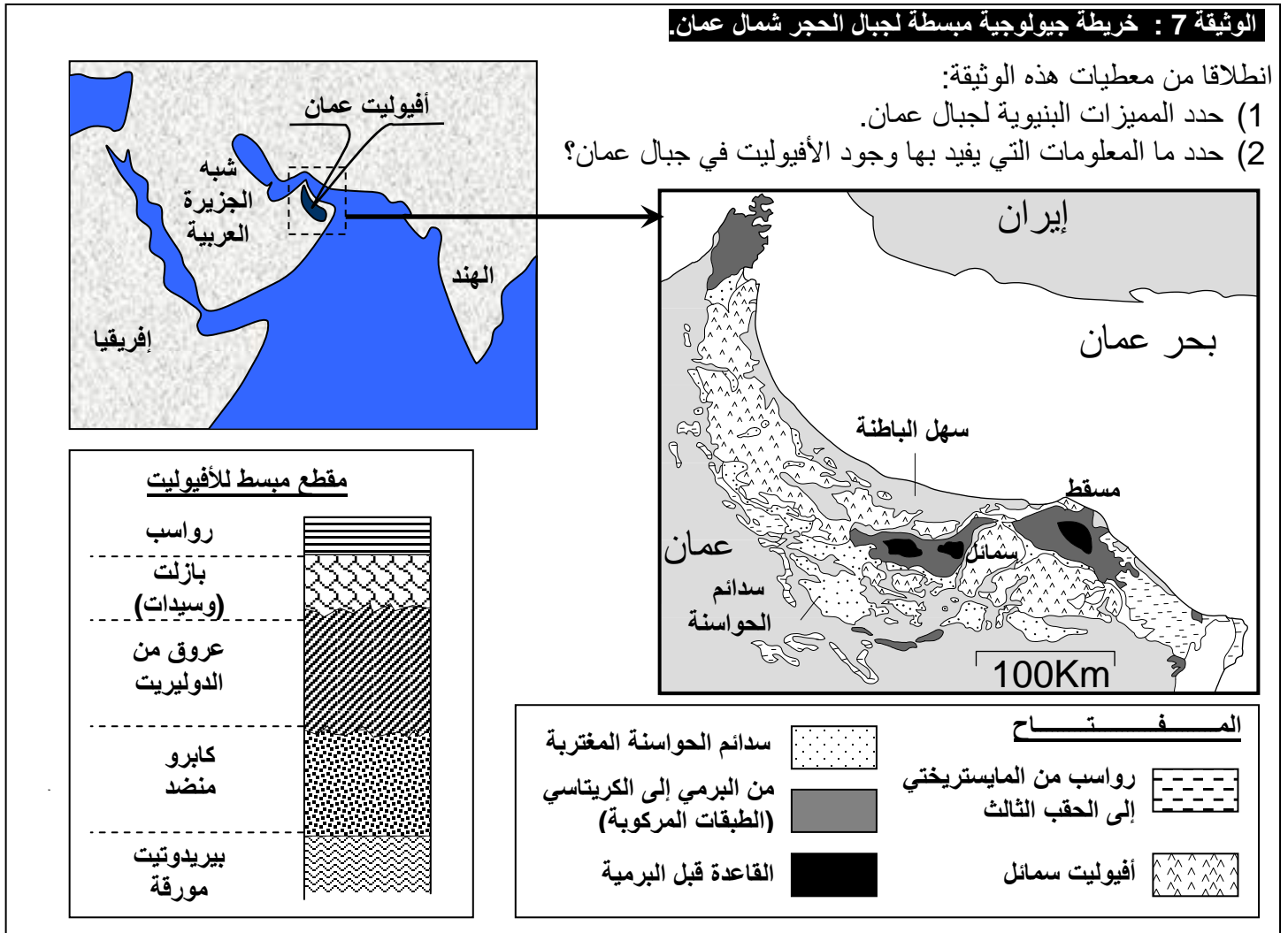
(2) انطلاقاً من معطيات الوثيقة 6، والشكل ب من الوثيقة 5، نفسر البنيات التكتونية والصخرية لمناطق الطمر بما يلي:

يؤدي انغراز الغلاف الصخري المحيطي (أكثر كثافة) تحت الغلاف الصخري القاري (أقل كثافة) إلى خضوع الصخور عند وصولها إلى الأستوسفير لارتفاع في درجة الحرارة والضغط، وينتج عن هذا تحرير الماء الذي ينتشر عبر الرداء فيصبح هذا الأخير تحت شروط الانصهار الجزئي. تصعد الصهارة الناتجة عن هذا الانصهار الجزئي نحو السطح مؤدية إلى بركانية أنديزيتية. كما يتبرد جزء من هذه الصهارة في الأعماق فيعطي بلوتونات الكرانوديوريت.

(3) تكون الصفيحة المنغززة أثناء الطمر مكسوة بطبقات رسوبية، تعمل الصفيحة الراكبة على كسطها وفصلها عن القشرة المحيطية المركوبة، فتشكل هذه الرواسب موشور التضخم. بتوالي الضغوط التكتونية، تزداد أهمية الطي والفوالق المعكوسة، فينتج عن هذا تقصير وارتفاع في الغلاف الصخري مشكلاً تضاريس عالية تمثل سلاسل الطمر.

② سلاسل الطفو:

أ - الخصائص البنيوية لسلاسل الطفو: مثال جبال عمان وثيقة 7.

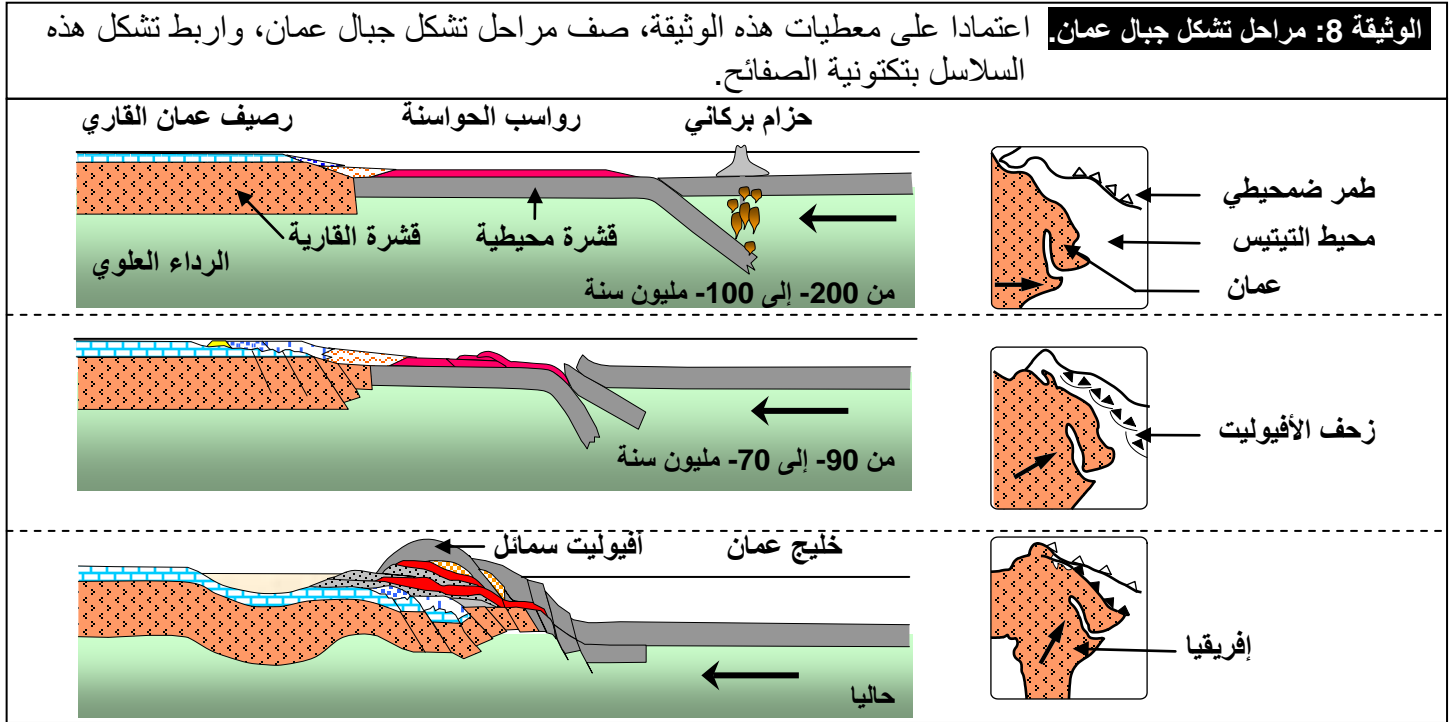


(1) تتميز سلسلة جبال عمان ب:

- وجود سدائيم، وهي تشكيلات صخرية مغتربة ذات امتداد كبير (مئات الكيلومترات)، زحفت من موقع نشأتها واستقرت في مكان آخر وغطت صخوراً أخرى تسمى بالصخور المركوبة.
- وجود صخور المركب الأوفيوليتي Ophiolite له نفس تركيب الغلاف الصخري المحيطي.

(2) داخل المجال القاري لعمان، يعتبر وجود صخور المركب الأفيوليتي شاهدا عن انغلاق مجال محيطي وزحف لصفحة محيطية على صفحة قارية، وهو ما يسمى بالطفو Obduction.

ب - تشكل سلاسل الطفو: وثيقة 8.



باعتبار الخصائص البنيوية والصخرية الحالية لجبال عمان، يمكن استعادة التاريخ الجيولوجي للمنطقة، والذي تتمثل أحداثه كالتالي:

- بين الصفحة الإفريقية والصفحة الأوراسيوية كان هناك محيط قديم هو التيتيس Téthys (البحر الوحيد الذي كان يحيط باليابسة الوحيدة حسب نظرية زحزحة القارات)، حيث ظهرت منطقة طمر ضمحيطية تم فيها طمر الصفحة الإفريقية تحت الصفحة الأوراسيوية.
- عندما نفذت القشرة المحيطية المطمورة، ووصلت القارة (شبه الجزيرة العربية) إلى منطقة الطمر بدأ طمر الغلاف الصخري القاري، غير أن ضعف كثافة هذا الأخير تحول دون استمرار طمره، مما أدى إلى حجز الطمر.
- مع تواصل القوى الانضغاطية، يزحف الغلاف الصخري والرواسب المحيطيين فوق الغلاف الصخري القاري. نتكلم عن ظاهرة الطفو.
- تؤدي هذه التراكمات من الصخور إلى تضخم الغلاف الصخري، فينتج عن ذلك نشوء سلاسل جبلية تسمى بسلاسل الطفو.

③ سلاسل الاصطدام:

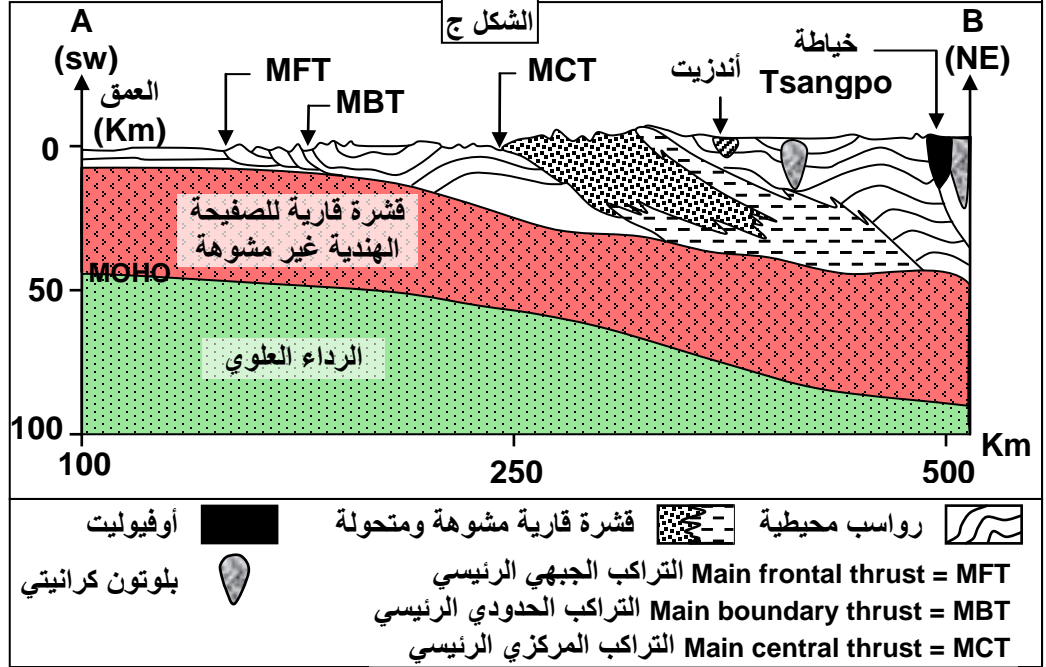
أ - الخصائص البنيوية والبتروغرافية لسلاسل الاصطدام:

مثال جبال الهملايا وثيقة 9.

الوثيقة 9: سلاسل الاصطدام (سلسلة جبال الهمليا).

تعطي الوثيقة صورة بالأقمار الاصطناعية للهماليا (الشكل أ)، ورسم تفسيري لهذه الصورة (الشكل ب). ويمثل الشكل ج، رسم تخطيطي لمقطع جيولوجي أنجز على مستوى جبال الهمليا حسب الخط AB.

- (1) انطلاقاً من الشكل أ من الوثيقة حدد تموضع جبال الهمليا، ثم صف الكيفية التي تتموضع بها هذه الجبال.
- (2) انطلاقاً من الشكل ب من الوثيقة استخرج المميزات الصخرية والتكتونية لجبال الهمليا مع ذكر دلالة كل عنصر.



(1) تنحصر جبال الهمليا بين كتلتين قاريتين متصادمتين: الهند وآسيا.

(2) تتميز هذه السلاسل بـ :

- تراكبات Chevauchement وتشوهات ناتجة عن قوى انضغاطية عرفتها منطقة التجابه بين الكتلتين القاريتين.
- وجود صخور أنديزيتية وكرانيتية بالتبت، تدل على نشاط صهاري ناتج عن ظاهرة الطمر.
- وجود صخور الأوفبوليت وصخور رسوبية تيتيسية (موشور التضخم) تدل على حدوث طفوف.

ب - تشكل سلاسل الاصطدام: وثيقة 10.

(1) حسب الشكل أ، قبل 70 مليون سنة كانت القارة الهندية والأسيوية متباعدتان، ونتيجة لحركية الصفائح انتقلت القارة الهندية نحو الشمال، مع اختفاء المحيط الذي يفصلها عن القارة الأسيوية، إلى أن التصقت بالقارة الأسيوية وتشكلت بينهما سلاسل جبال الهمليا.

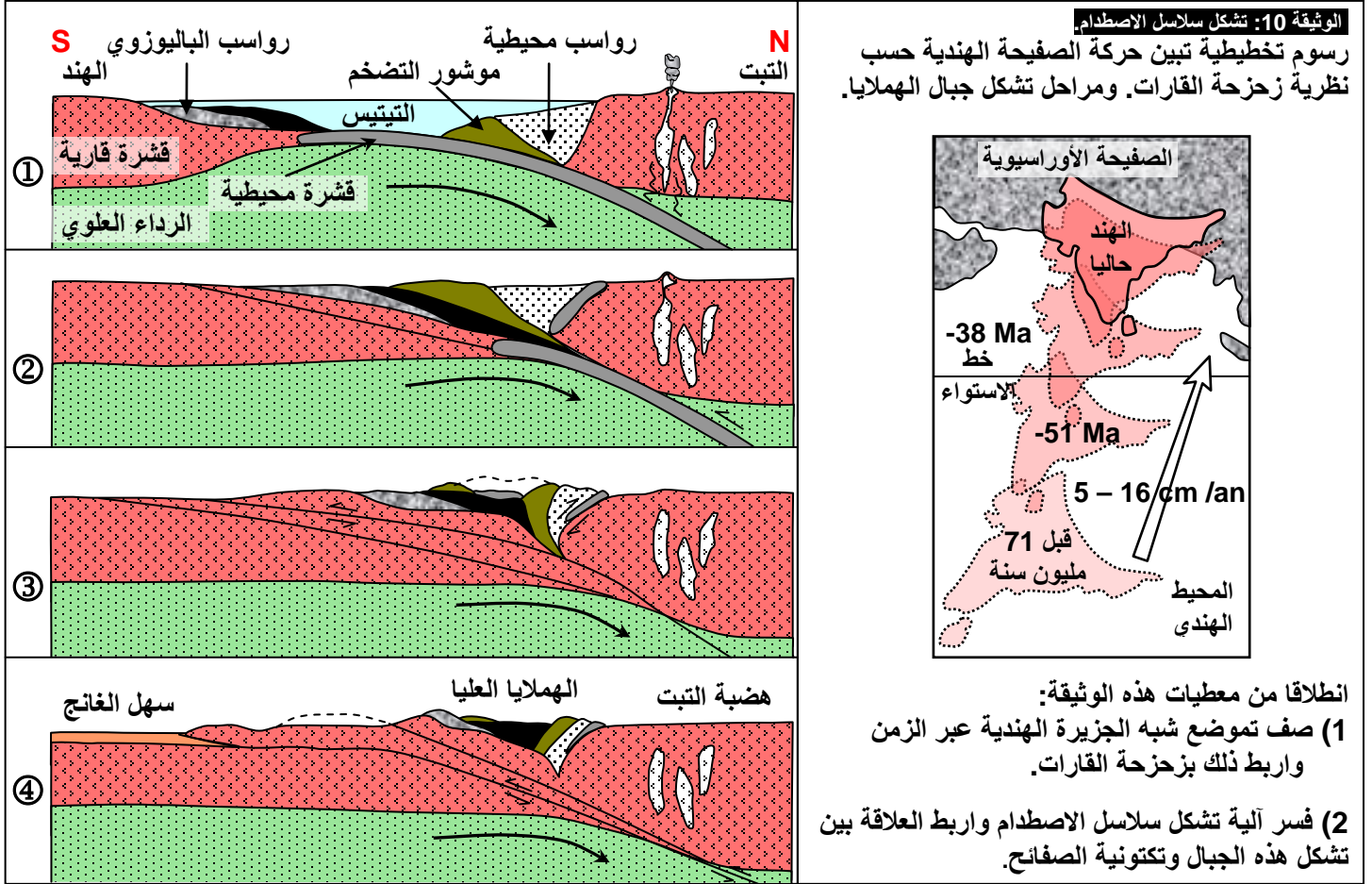
(2) تشكلت السلاسل الجبلية للهماليا نتيجة حركية الصفائح عبر المراحل التالية:

- قبل 100 مليون سنة كانت هناك منطقة طمر ضمحيطية بين الصفيحة التي تحمل القارة الهندية والصفيحة الأوراسيوية.
- طمر الغلاف الصخري المحيطي تحت الصفيحة الأوراسيوية أدى إلى نشوء الصحارة الأنديزيتية والبلوتونية.

• بعد استنفاد الغلاف الصخري المحيطي للصفحة المطمورة يتم حجز الطمر، فينتج عن ذلك طفو جزء من الغلاف الصخري المحيطي للصفحة الراكبة فوق القشرة القارية للهند الشيء الذي أعطى مركب الأفيوليت.

• مع استمرار القوى الانضغاطية، اصطدم الهامشان القاريان للهند وآسيا، مع تكون موشور تضخم بينهما ونشوء تراكبات كبيرة في اتجاه الجنوب.

• بتزايد الضغوطات التكتونية، نشأت تشوهات معقدة دفعت بموشور التضخم باتجاه آسيا مع رفع الكتل الصخرية عاليا وهذا ما أعطى الهملايا العليا (حيث توجد أعلى قمة: Everest).



ملحوظة: إن اصطدام قارتين يمكن أن يكون مسبقا بـ:

- طمر دون طفو: غياب المركب الأفيوليتي.

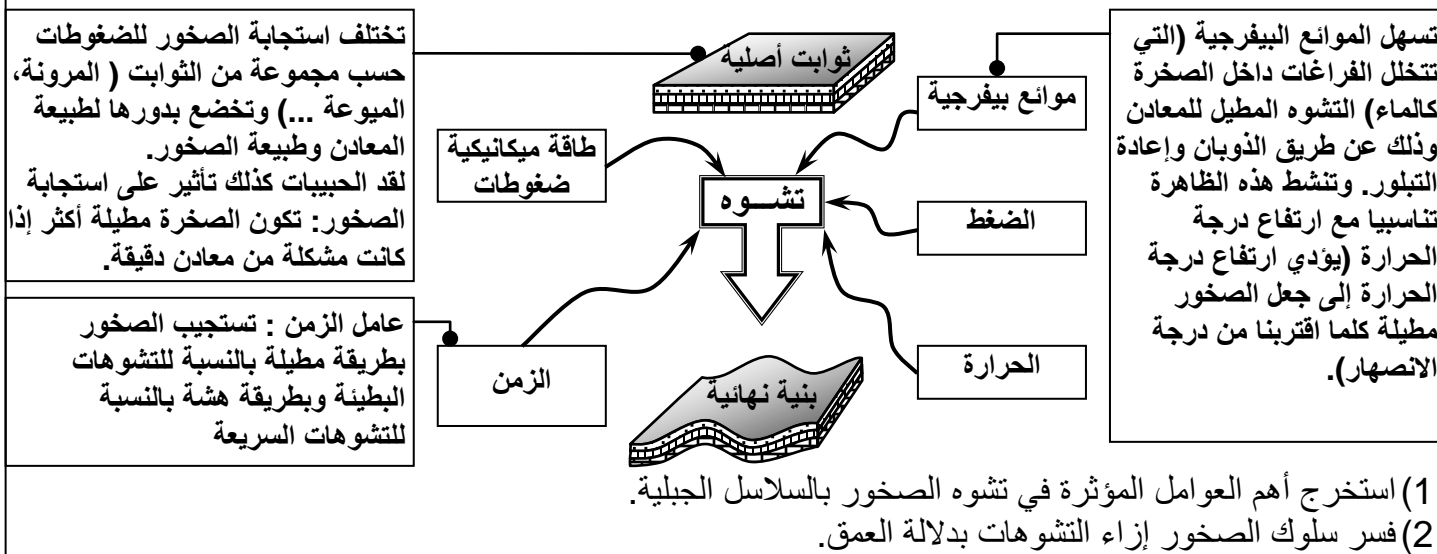
- طمر مع طفو: تواجد المركب الأفيوليتي.

III – التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر والاصطدام.

① العوامل المتدخلة في تشوه الصخور.

أ – ملاحظات: أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 11: عوامل تشوه الصخور. تختلف تشوهات الصخور حسب بنيتها وتركيبها وتموضعها في الغلاف الصخري، إذ تكون هشّة في السطح فتتشكل فوالق وطيات ثابتة السمك. وتكون مطيلة في العمق فتتشكل طيات متغيرة السمك وشيسينية.



1) يرتبط نمط التشوه التكتوني بمناطق التجابه بين الصفائح، بعوامل خارجية أهمها: العمق الذي يحدد تغيرات الضغط ودرجة الحرارة والزمن والحركات التكتونية. وعوامل داخلية أهمها: خاصيات المرونة والميوعة.

2) تختلف استجابة الصخور للضغوط التكتونية حسب العمق:

- على السطح تكون ظروف الضغط والحرارة منخفضة، فتكون الصخور هشّة مما يجعل التشوهات التكتونية من النوع الكسور. وتتمثل أساسا في الفوالق المعكوسة والسدائم المرتبطة بها.
- في العمق يزداد الضغط والحرارة مما يجعل الصخور مرنة، فتصبح التشوهات التكتونية على شكل طيات متساوية السمك، ثم متغيرة السمك مع ازدياد العمق.

ب - استنتاج:

تتطور التشوهات حسب شدة الضغوط المسلطة عليها، وبذلك نحدد ثلاثة مجالات هي: المجال 1 = المجال المرن، المجال 2 = المجال اللدن، المجال 3 = مجال التدفق اللدن (Fluage).

② التشوهات التكتونية.

أ - الطيات: أنظر الوثيقة 12.

الطيات هي عبارة تشوهات تكتونية متواصلة (تبقى الطبقات الصخرية متصلة على طول مساحة الطي)، تنتج عن قوى انضغاطية، مما يترتب عنه تقصير في الطبقات الصخرية.

الوثيقة 12: الطيات

يمثل الشكل أ صورة لطيات بسلسلة الجبال الصخرية، والشكل ب رسم تخطيطي لعناصر الطية. والشكل ج رسم تخطيطي لمختلف أنماط الطيات.

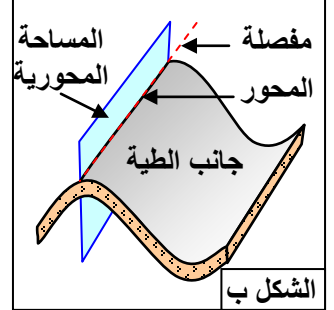
(1) تعرف مختلف أنماط الطيات المميزة لمناطق الطمر.

(2) تعرف عناصر وخصائص الطيات.

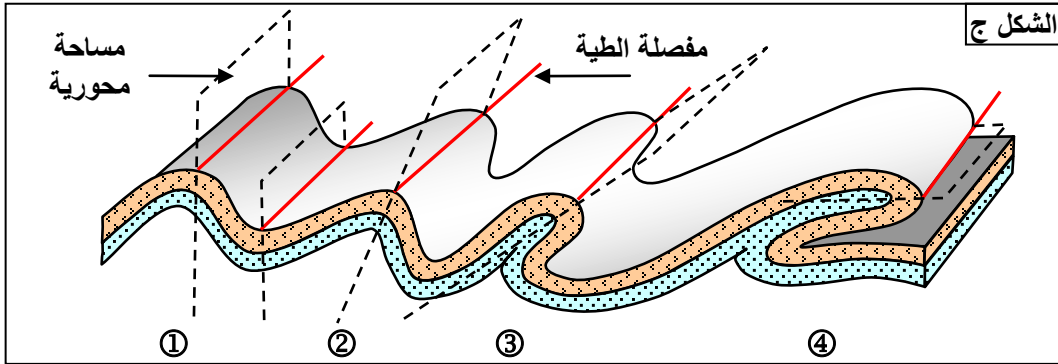
(3) ميز بين مختلف أصناف الطيات.



الشكل أ



الشكل ب



الشكل ج

- (1) تتميز سلاسل الطمر والاصطدام بتشوهات تكتونية تتجلى في طيات محدبة، وطيّات مقعرة، وهي تشوهات تقاربية ناجمة عن ضغوط تكتونية بمناطق التجابه بين الصفائح.
- (2) (أنظر الشكل ج) عناصر الطية هي: المفصلة، جانب الطية، المساحة المحورية، محور الطية.
- (3) (أنظر الشكل ت) أصناف الطيات هي: طية مستقيمة، طية منحرفة، طية مائلة، طية راقدة.

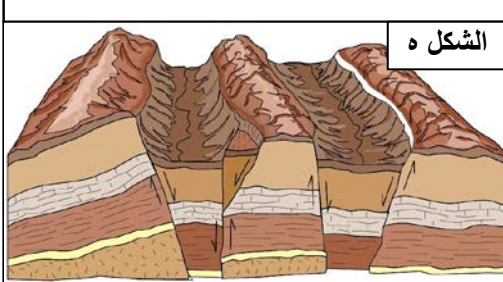
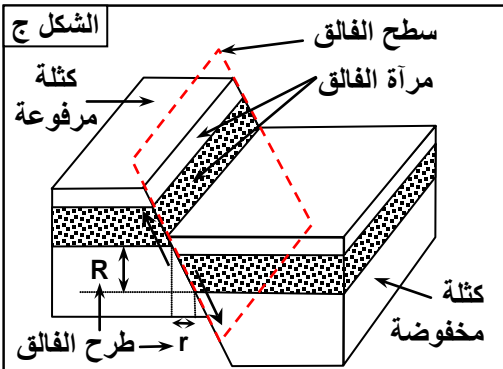
ب - الفوالق: أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: الفوالق

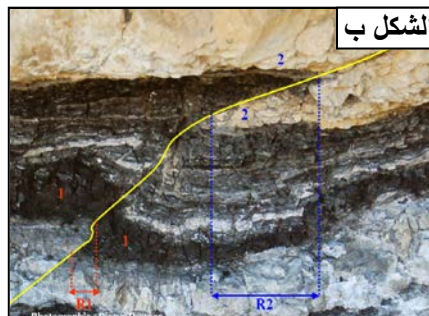
يعطي الشكل أ صورة لفالق عادي، والشكل ب صورة لفالق معكوس. الشكل ج: عناصر الفالق. الشكل د: أنماط الفوالق. الشكل هـ: الفوالق المركبة.

انطلاقاً من معطيات هذه الوثيقة:

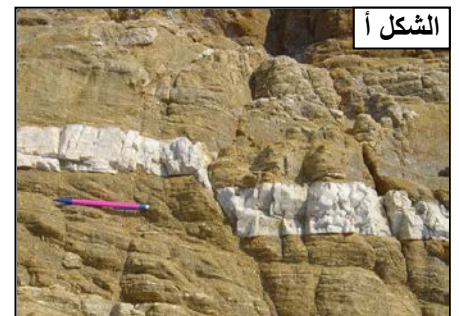
- (1) تعرف أنواع الفوالق المنتشرة في مناطق الطمر والاصطدام.
- (2) تعرف عناصر الفالق.
- (3) قارن بين مختلف أصناف الفوالق.



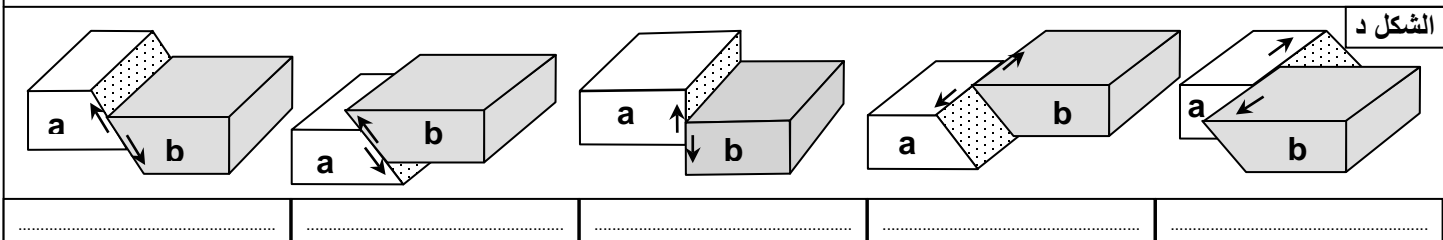
الشكل هـ



الشكل ب



الشكل أ

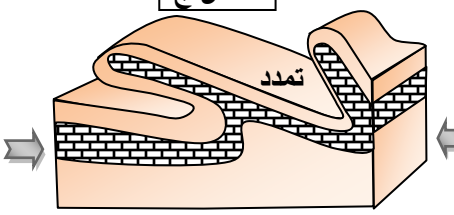
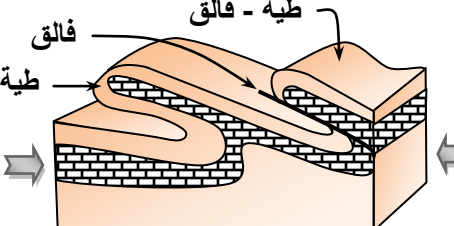
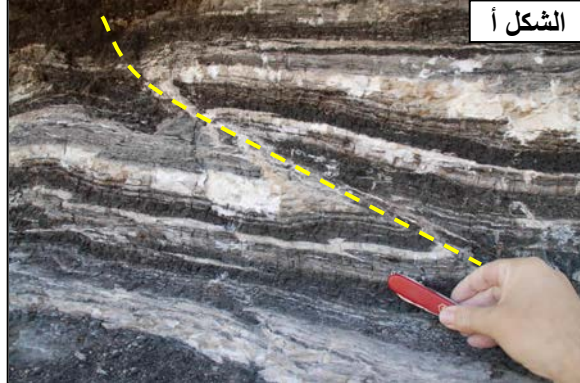
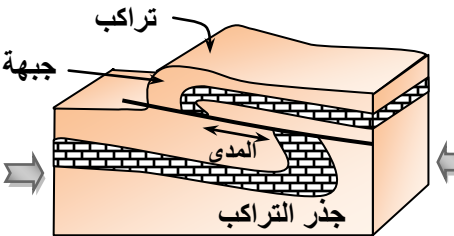

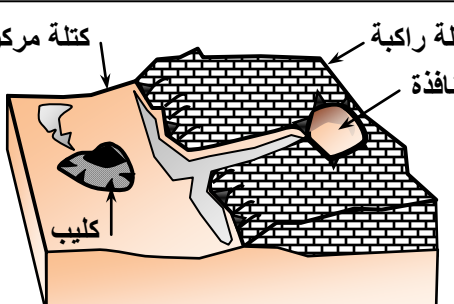


الشكل د

هي عبارة عن انكسارات للكتل الصخرية مصحوبة بتفاوت للكتلتين الناتجتين عن الكسر.

- (1) تتميز سلاسل الطمر والاصطدام بفوالق معكوسة وعادية، وسدائم، وهي تشوهات تقاربية ناجمة عن ضغوط تكتونية بمناطق التجابه بين الصفائح.
- (2) (أنظر الشكل ج) عناصر الفالق هي: سطح الفالق يكون مصحوبا بصقل إلي يسمى مرآة الفالق. طرح الفالق مركب من طرح أفقي مستعرض (r)، وطرح عمودي (R).
- (3) (أنظر الشكل ت) أنماط الفوالق هي: فالق عادي، فالق معكوس، فالق عمودي، انقلاع.
- الفوالق المركبة هي مجموعة من الفوالق المعكوسة، في مناطق تسود فيها القوى الانضغاطية فتؤدي إلى تشكل مدرجات صاعدة (الأنشاز) Horst.

ج - التشوهات الوسيطة: أنظر الوثيقة 13.

<p>الشكل ج</p> 	<p>الوثيقة 14: التشوهات الوسيطة</p> <p>يمثل الشكل أ من الوثيقة صورة لمنظر جيولوجي بسلسلة جبال الألب تظهر طية- فالق. والشكل ب هو عبارة عن صورة لمنظر جيولوجي تظهر تراكبا. أما الشكل ج فهو عبارة عن رسوم تفسيرية تبين تطور الطية إلى الفالق ثم إلى التراكب.</p> <p>انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة تعرف مختلف التشوهات الوسيطة المميزة لمناطق الطمر والاصطدام.</p>
<p>طية - فالق</p> 	<p>الشكل أ</p> 
<p>تراكب</p> <p>جبهة</p> <p>المدى</p> <p>جذر التراكب</p> 	<p>الشكل ب</p> 
<p>كتلة راكبة</p> <p>نافذة</p> <p>كتلة مركوبة</p> <p>كليب</p> 	

أدت الضغوطات التقصيرية التي تعرضت لها القشرة الأرضية بمناطق الطمر والاصطدام إلى تعقيد التشوهات التكتونية لتتحول إلى تشوهات وسيطة: طيات-فوالق، تراكبات وسدائم.

a - الطيات - الفوالق pli-faille

نتيجة لتزايد الضغوط المسلطة على الطية من أحد جانبيها، يتمدد الجانب المقابل لمنحى الضغوط ثم يترقق، فيؤدي ذلك إلى حدوث فالق، لتتطور الطية إلى طية-فالق.

Chevauchement التراكب b

بعد تشكل الطية-الفالق، وإذا استمرت الضغوطات، يزحف الجزء الأعلى فوق الآخر مشكلا تراكبا.

Nappe de charriage السديمة c

بعد تشكل التراكب، وإذا استمرت الضغوطات، تصبح مسافة زحف الجزء الأعلى كبيرة، فتتكون بذلك السديمة. يسمى الجزء المنتقل بالراكب، وتسمى القاعدة بالمركوب.

تتعرض الصخور الراكبة للحث فتتكون نافذة تسمح برؤية الطبقات المركوبة. ويمثل الكليب **Klippe** الصخور الراكبة التي لم تتعرض للحث، وتبقى شاهدة على التراكبات.

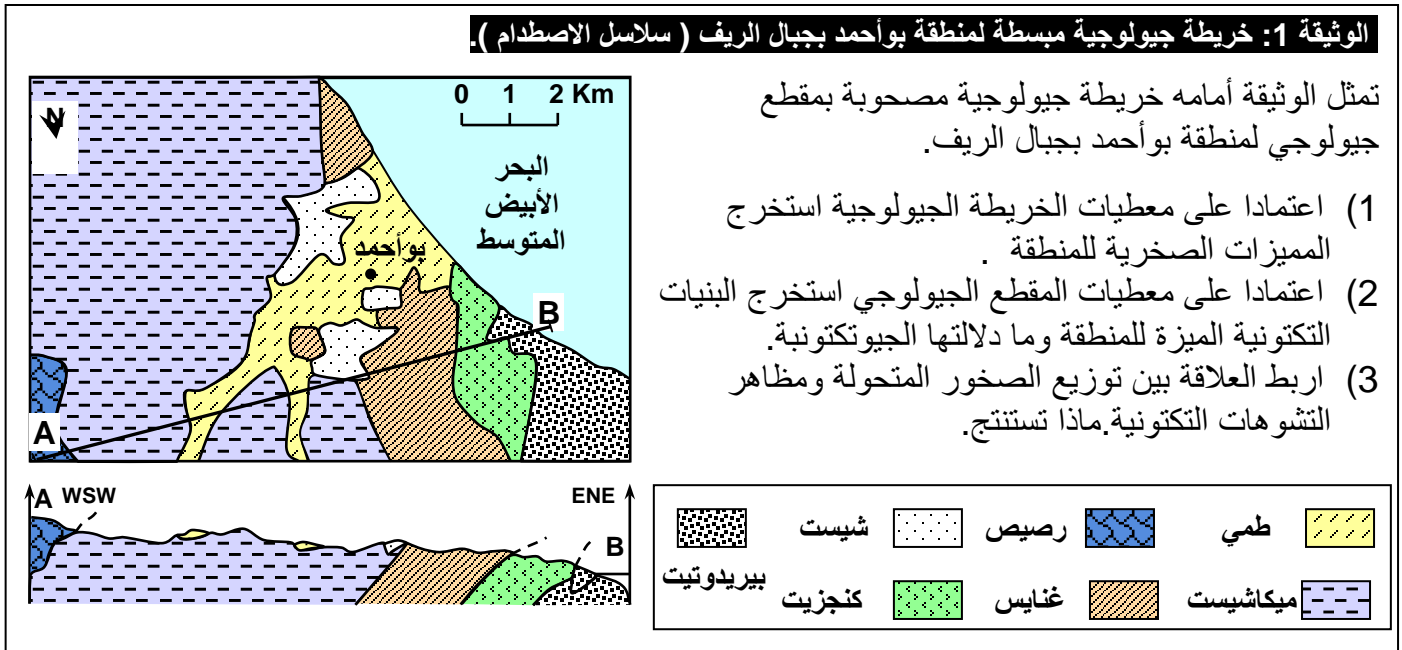
التحول وعلاقته بدينامية الصفائح

مقدمة: الصخور المتحولة هي صخور ناتجة عن تحول في الحالة الصلبة لصخور سابقة الوجود، تحت تأثير تغير عوامل الضغط والحرارة خلال تشكل السلاسل الجبلية.

- فما هي الخصائص البنيوية والعيانية للصخور المتحولة المميزة لمناطق الطمر والاصطدام؟
- ما هي ظروف التحول وما هي علاقتها بتكتونية الصفائح؟
- كيف يمكن للصخرة المتحولة أن تحتزن ظروف تحولها؟

1 - الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الاصطدام.

① دراسة خريطة جيولوجية لمنطقة Bas Limousin بجبال الألب: أنظر الوثيقة 1



(1) المميزات الصخرية :

- الصخور الرسوبية : طمي + رصيص.
- الصخور المتحولة : شيست + ميكاشيست + غنايس.
- الصخور الصحارية : كنجزيت + البيريدوتيت.

(2) البنيات التكتونية ودلالاتها :

فوالق معكوسة + طيات: يدل وجودها على أن المنطقة تعرضت لقوى انضغاطية تكتونية .

(3) العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة ومظاهر التشوهات التكتونية :

تخضع الصخور المتحولة لتوزيع محدد انطلاقا من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي حيث نجد شيست ثم ميكاشيست ثم بعد ذلك الغنايس كما نلاحظ تعقد تدريجي في البنيات التكتونية بحيث يصبح وسع الطيات صغير وتكثر الصدعات كلما اتجهنا نحو الشمال الشرقي.

② الخصائص البنيوية والعيانية والكيميائية للصخور المتحولة: أنظر الوثيقة 2.

★ مفهوم التضد، الشيسيتية والتوريق.

التوريق:

بنية واضحة في بعض الصخور المتحولة حيث يضاف إلى الشيسيتية تمايز معدني بين الأسرة ينتج عنه تكوين وريقات.

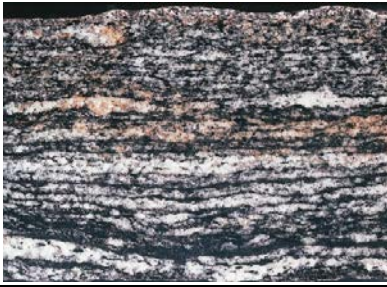


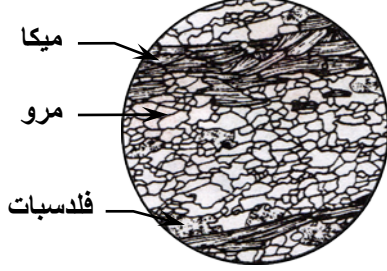
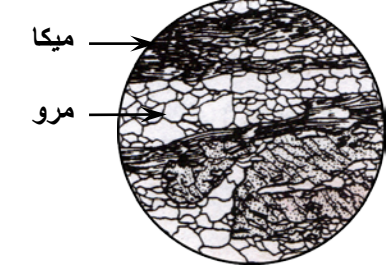

الشيسيتية:

توريق أقل أو أكثر دقة تكتسبه للصخور المتحولة بفعل عامل الضغط، ويختلف عن التطبيق كما يمكن أن يتجزأ إلى صفائح منتظمة.

التضد:

هو نوع من التطبيق تبينه مكونات الصخرة وهو ناجم فقط عن ظاهرة الترسيب.

الوثيقة 2: بعض مميزات الصخور المتحولة المنتشرة في سلاسل الاصطدام.

الغنايس	الميكاشيست	الشيسيت الأخضر	ملاحظة الصخرة بالعين المجردة
			
			ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب
68.7	60.9	60.2	SiO ₂
16.2	19.1	20.9	Al ₂ O ₃
0.7	1.2	2.8	Fe ₂ O ₃
4.1	4.1	3.7	FeO
1.3	1.4	0.85	MgO
1.8	1.7	0.55	CaO
3.8	2.1	2.45	Na ₂ O
3	3.7	4.1	K ₂ O

التركيب الكيميائي (%)

- 1) صف البنية المجهرية لكل عينة من الصخور. ماذا تلاحظ.
- 2) استخراج المكونات العيانية التي تتميز بها كل صخرة. ماذا تستنتج.
- 3) يمثل الجدول أسفل الوثيقة نسب العناصر الكيميائية التي تحتوي عليها كل صخرة. ماذا تستنتج من خلال تحليل معطيات الجدول.
- 4) أثبتت الدراسة الميدانية للمنطقة وجود صخور طينية ذات تركيب كيميائي يغلب عليه العنصرين (SiO₂ و Al₂O₃). اقترح فرضية توضح من خلالها العلاقة بين هذه الصخور والصخور المتحولة الموجودة بالمنطقة.

1) البنية المجهرية للعينات:

- الشيسيت الأخضر: صخرة ذات بنية شيسيتية تأخذ خلالها المعادن اتجاهها دالا على اتجاه القوى التي تعرضت إليها.
- الميكاشيست: صخرة لامعة ذات بنية مورقة قابلة للانصام، تتميز بتعاقب أسرة من البيوتيت والموسكوفيت (الألوان الزاهية)، وأسرة من المرو (ألوان منطفئة).

• الغنايس : صخرة ذات بنية مورقة غير قابلة للانفصام، بها المعادن على شكل أسرة فاتحة (المرو والفلدسبات) وأخرى داكنة (الميكال).

نلاحظ انه كلما اتجهنا من الشيست إلى الميكاشيست إلى الغنايس، ازداد قد البلورات مع اختلاف في بنية الصخور، حيث تزداد هذه البنية تعقيدا: من التنضد إلى الشيستية إلى التوريق. كما تختفي بعض المعادن وتظهر أخرى.

(2) التركيب العيداني للعينات:

- الشيست : تتشكل من السيريسيت(ميكال بيضاء ذات بلورات جد رقيقة) والكلوريت ذو اللون الأخضر (لدى تسمى الصخرة بالشيست الأخضر).
- الميكال شيست : تتشكل من الميكال (البيوتيت والموسكوفيت) ومن المرو.
- الغنايس : تتشكل أساسا من الميكال (البيوتيت والموسكوفيت) والمرو والفلدسبات.

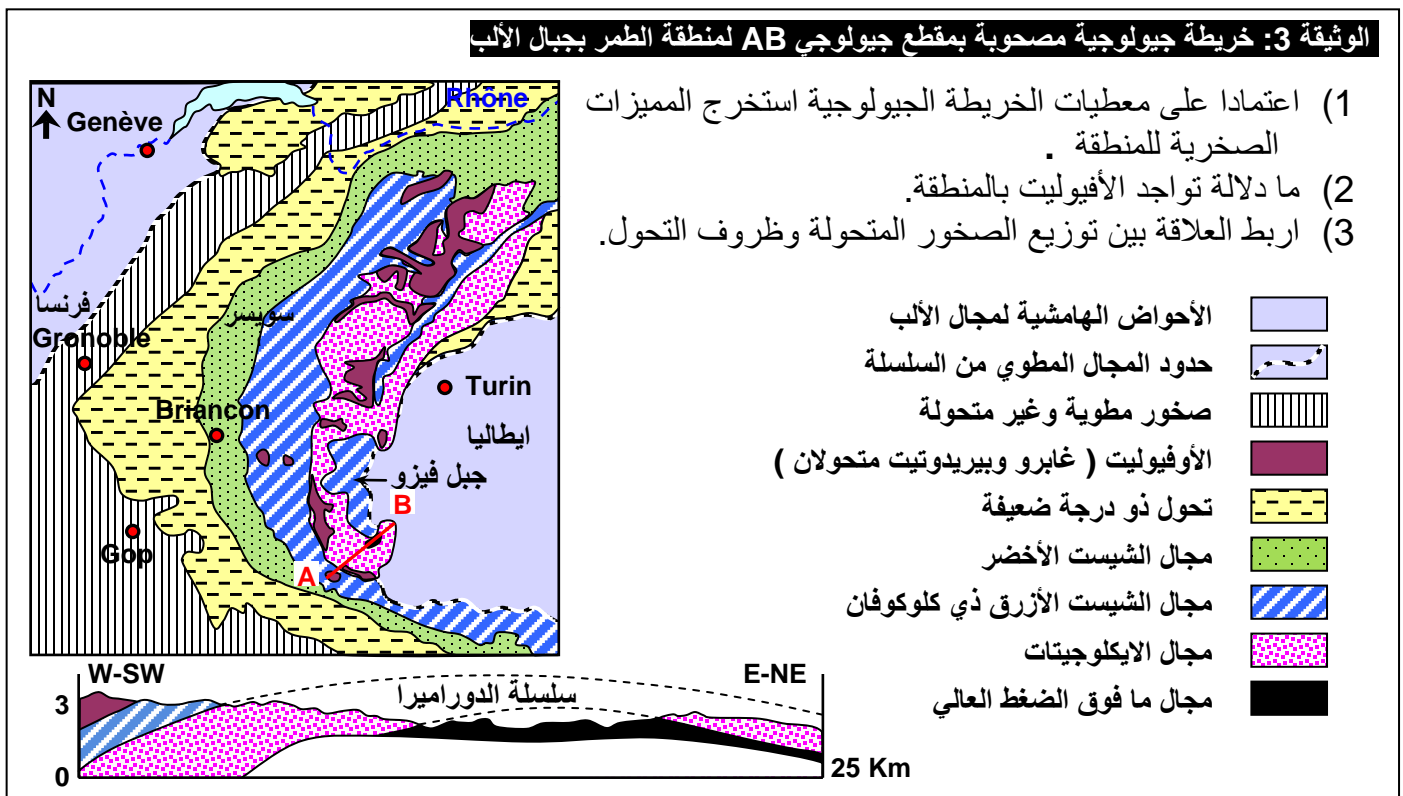
نستنتج ظهور معادن جديدة واختفاء أخرى كلما انتقلنا من الشيست إلى الغنايس مرورا بالميكاشيست.

(3) لهذه الصخور نفس التركيب الكيميائي، ويغلب عليه العنصرين ($2SiO$ و $3O_2Al$). وتسمى المعادن التي تحتوي عليها وتتوفر على هذا التركيب بسيليكات الألومين.

(4) الصخور المتحولة لها نفس التركيب الكيميائي لكنها تختلف من حيث البنية وهذا يدل على أن لهذه الصخور نفس الأصل، لكن خضعت لظروف تشكل مختلفة. إذا علمنا أن الصخور الطينية تتشكل أساسا من سيليكات الألومين، يمكن افتراض أن العينات المدروسة هي ناتجة عن تحول صخور طينية.

II – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الطمر.

① استسطاح بعض الصخور المتحولة الشاهدة عن طمر قديم: أنظر الوثيقة 3.



تتميز مناطق الطمر الحالية بظروف ملائمة لتشكل الصخور المتحولة، إلا أنه يصعب ملاحظتها ودراستها لوجودها في الأعماق، لذلك يتم اللجوء إلى دراسة الصخور المستسطحة بمناطق الطمر القديمة.

1) المميزات الصخرية للمنطقة:

تبرز الخريطة لمنطقاً في توزيع الصخور المتحولة حيث تنتقل تدريجياً من مجال الشيبست الأخضر (غني بالكوريت)، نحو مجال الشيبست الأزرق (غني بالكوكوفان)، ثم إلى مجال الإكلوجيتات (جادييت والبيجادي) المتداخلة مع الأوفوليت.

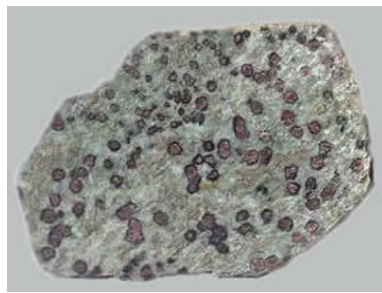


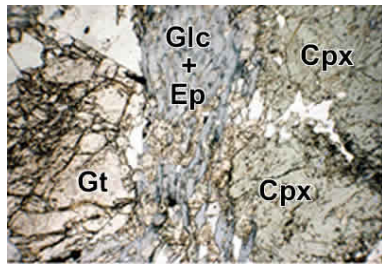
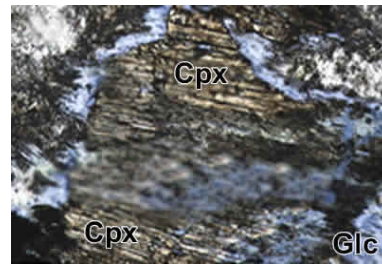
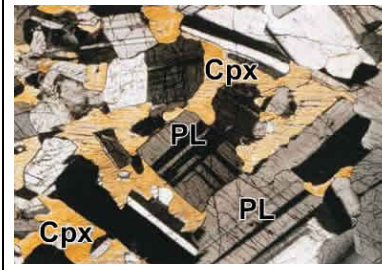
2) دلالة تواجد الأوفوليت بالمنطقة:

يدل الأوفوليت على أن الاصطدام الذي نتجت عنه جبال الألب كان مسبقاً بطمر ثم طفو.

3) العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة وظروف التحول:

هناك زيادة في شدة التحول كلما اتجهنا من الشيبست الأخضر إلى الشيبست الأزرق ثم إلى الإكلوجيت. ان وجود الإكلوجيت المتميز بمعدي البجادي Grenat والجادييت Jadeite (كلينوبيروكسين صودي)، والتي تتشكل في ظروف ضغط عالية، لشاهد على حدوث طمر سابق لسلاسل الاصطدام.

② خصائص الصخور المتحولة لمناطق الطمر: أنظر الوثيقة 4.

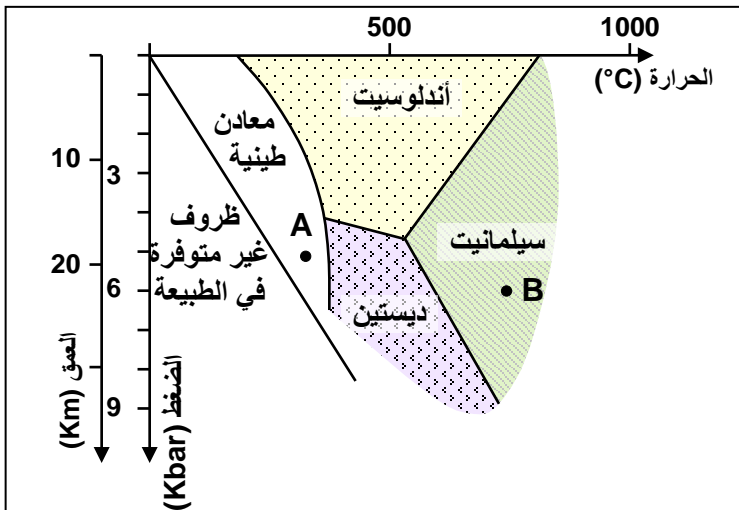
الوثيقة 4: بعض الخصائص البنيوية والعيانية للصخور المتحولة المنتشرة بمناطق الطمر.									
اكلوجيت ذو بجادي وجادييت			شيبست أزرق ذي كلوكوفان وبيدوت			غابرو أوفوليتي			
									الملاحظة بالعين المجردة
									ملاحظة الصفحة الدقيقة بالمجهر المستقطب
Cpx = بيروكسين Ep+Glc = كلوكوفان وبيدوت Gt = البجادي			Cpx = بيروكسين Glc = كلوكوفان			Cpx = بيروكسين PL = بلاجيوكلاز			التركيب العياني
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	العناصر	التركيب الكيميائي (لهذه العينات نفس
47,1	14,2	2,3	11	12,7	9,9	2,2	0,4	النسب المنوية	التركيب الكيميائي (العام)

* قارن بين خصائص الصخور المدروسة.

* ماذا تستخلص من وجود الكابرو الأفيوليتي بهذه المنطقة وما علاقته بالصخور المتحولة المجاورة.

يتبين من خلال هذه التجارب أنه عند ارتفاع درجة الحرارة تخضع الصخرة الصلبة لتغيرات عيانية حيث تظهر معادن و تختفي أخرى. إذن فالحرارة مسؤولة عن هذه التغيرات في الحالة الصلبة.

ج - تأثير الحرارة والضغط: تجربة Richardson ومساعدوه أنظر الوثيقة 5 شكل ج.



الشكل ج: تجربة Richardson ومساعدوه:

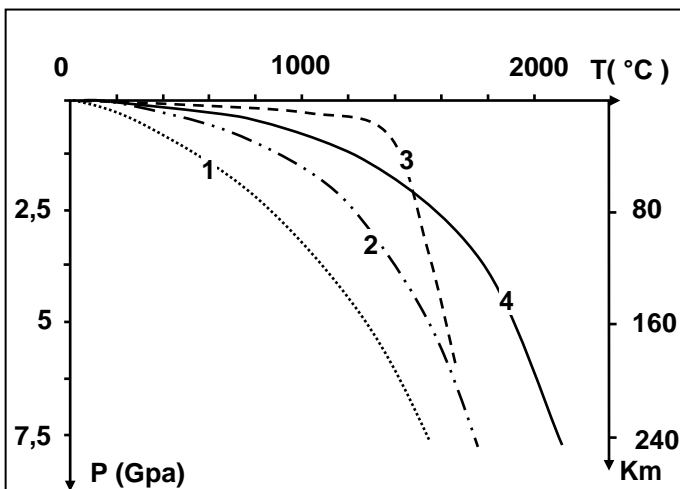
أخضع هؤلاء الباحثون عينات من خليط من سيليكات الألومين لدرجة حرارة وضغط مرتفعين ومتغيرين، فاستطاعوا تحديد مجال استقرار المعادن الثلاثة: الأندلوسيت Andalousite، والسيلمانيت Sillimanite، والديستين Disthène، (أنظر المبيان أمامه) تمثل الخطوط المستقيمة حدود مجال استقرار كل معدن، ويعبر الخط الفاصل بين مجالين عن الظروف اللازمة لكي يتم التفاعل العياني، وبالتالي تحول معدن إلى آخر.
انطلاقاً من تحليل معطيات هذه الوثيقة:

- * أعط التفاعل العياني الذي يمكن أن يحصل عند مرور صخرة من الظروف A إلى الظروف B .
- * بين سبب الاختلاف في التركيب العياني بين الصخور المتحولة، وماذا نعني بمجال استقرار معدن معين؟ وفيما يفيد تواجد هذا المعدن في صخرة ما؟

يتبين من معطيات التجربة أن لكل معدن ظروف حرارة وضغط يكون خلالها في حالة استقرار، حيث أن تغير هذه الظروف يؤدي إلى تحوله إلى معدن آخر. وظروف استقرار كل معدن تشكل ما يسمى مجال استقرار المعدن.

مثلاً عند مرور صخرة من الظروف A إلى الظروف B، يظهر أولاً معدن الديستين، ومع تزايد درجات الحرارة يختفي الديستين ويظهر السيلمانيت. إن تواجد معدن معين من هذه المعادن في صخرة ما، يشهد على ظروف معينة للضغط والحرارة، خضعت لها الصخرة (تواجد الديستين مثلاً ← ضغط مرتفع)، بذلك تنعت هذه المعادن بالمعادن المؤشرة.

② ظروف التحول في الطبيعة: أنظر الوثيقة 6.



الوثيقة 6: ظروف التحول في الطبيعة.

* تزداد درجة الحرارة مع العمق في باطن الأرض وتكون هذه الزيادة ما يسمى الدرجة السعيرية (أنظر المبيان أمامه) **le gradient géothermique**، وتتغير حسب التركيب الداخلي والطبيعة الجيولوجية للمنطقة، وتكون منخفضة في المناطق المستقرة جيولوجياً ومرتفعة في المناطق النشطة.

* تخضع المواد في باطن الأرض لضغط تتناسب أهميته مع العمق وكثافة الصخور التي تعلوه. ويسمى بضغط الغلاف الصخري. وتحدد قيمته بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{\text{وزن العمود الصخري}}{\text{مساحة قاعدته}}$$

1 = متوسط الدرجة السعيرية القارية
2 - - - - = متوسط الدرجة السعيرية المحيطية
3 - - - - = الدرجة السعيرية أسفل الدروة
4 ——— = الدرجة السعيرية بالنقط الساخنة

تضم الصخور بين بلوراتها بعض الموائع (H₂O, CO₂) تتسبب في ضغط إضافي هو الضغط الجزيئي للموائع.

أ - درجة الحرارة:

تزداد درجة الحرارة مع العمق في باطن الأرض، وتكون هذه الزيادة ما يسمى الدرجة السعيرية، وتتغير حسب التركيب الداخلي والطبيعة الجيولوجية للمنطقة.

ب - الضغط:

تخضع الصخور في الطبيعة لتغير الضغط حسب:

- الضغط التكتوني: ناتج عن الحركات التكتونية.
- الضغط الصخري: يزداد الضغط مع زيادة العمق، حيث أن الطبقات الصخرية في باطن الأرض تخضع لضغط مستمر يتناسب مع كثافة الصخور التي تعلوها. ويسمى هذا الضغط بضغط الغلاف الصخري.
- ضغط الموائع: يتمثل في الموائع البيفرجية المتواجدة في أعماق الأرض، كالماء وثنائي أكسيد الكربون، والتي تغير من ظروف التفاعلات.

IV - مفهوم المعدن المؤشر والسلسلة التحولية.

① مفهوم التحول والمعدن المؤشر: أنظر الشكل أ، ب، ج وثيقة 7.

الشكل أ: تحول الكلويفان إلى أكتنوت (مقبول أخضر) في بازلت متحول		الوثيقة 7: المعدن المؤشر والمتتالية التحولية																					
		<p>* يعطي الشكل أ من الوثيقة ملاحظة بالضوء المستقطب لصفحة دقيقة لبازلت محيطي قديم متحول، مع رسم تفسيري لهذه الملاحظة.</p> <p>↪ يبرز هذا الشكل مظهرا من مظاهر التحول، بين ذلك.</p>																					
<p>الشكل ب: متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>طين</th> <th>شيبست</th> <th>ميكاشيست</th> <th>غنايس</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>طين ألوميني</td> <td>سيرسيت</td> <td>موسكوفيت</td> <td>أندلوسيت</td> </tr> <tr> <td>سلكاتات</td> <td></td> <td>Muscovite</td> <td>فلدسبات بوتاسي</td> </tr> <tr> <td>مميهة + Ca</td> <td></td> <td>بجادي Grenat</td> <td></td> </tr> <tr> <td>طين حديد مغنيزي</td> <td>كلوريت</td> <td>بيوتيت Biotite</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>تحول متزايد ←</p>		طين	شيبست	ميكاشيست	غنايس	طين ألوميني	سيرسيت	موسكوفيت	أندلوسيت	سلكاتات		Muscovite	فلدسبات بوتاسي	مميهة + Ca		بجادي Grenat		طين حديد مغنيزي	كلوريت	بيوتيت Biotite		<p>* يعطي الشكل ب متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني</p> <p>* يعطي الشكل ج تغير التركيب العيداني حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة، أي حسب ارتفاع شدة التحول.</p> <p>↪ حلل معطيات الجدولين أ وب واستنتج.</p> <p>↪ انطلاقا من كل المعطيات السابقة، أعط تعريف لمفهوم التحول، المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.</p>	
طين	شيبست	ميكاشيست	غنايس																				
طين ألوميني	سيرسيت	موسكوفيت	أندلوسيت																				
سلكاتات		Muscovite	فلدسبات بوتاسي																				
مميهة + Ca		بجادي Grenat																					
طين حديد مغنيزي	كلوريت	بيوتيت Biotite																					
<p>الشكل ج: تغير التركيب العيداني حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة (ارتفاع شدة التحول).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>الصخور</th> <th>التفاعلات</th> <th>المعادن المميزة</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ميكاشيست ذو موسكوفيت</td> <td>كلوريت + موسكوفيت</td> <td>موسكوفيت وكلوريت</td> </tr> <tr> <td>ميكاشيست ذو نوعين من الميكا</td> <td>بيجادي + بيوتيت</td> <td>موسكوفيت متبق</td> </tr> <tr> <td>غنايس ذو نوعين من الميكا</td> <td>مرو + موسكوفيت</td> <td>بيوتيت (اختفاء الكلوريت)</td> </tr> <tr> <td>غنايس ذو بيوتيت</td> <td>سيلمانيت + أرتوز سيلمانيت + مرو + بيوتيت</td> <td>بيوتيت وسيلمانيت (اختفاء الموسكوفيت)</td> </tr> <tr> <td>غنايس أبيض</td> <td>كوردبيريت + مرو</td> <td>اختفاء البيوتيت</td> </tr> </tbody> </table> <p>↑ ارتفاع شدة التحول</p>				الصخور	التفاعلات	المعادن المميزة	ميكاشيست ذو موسكوفيت	كلوريت + موسكوفيت	موسكوفيت وكلوريت	ميكاشيست ذو نوعين من الميكا	بيجادي + بيوتيت	موسكوفيت متبق	غنايس ذو نوعين من الميكا	مرو + موسكوفيت	بيوتيت (اختفاء الكلوريت)	غنايس ذو بيوتيت	سيلمانيت + أرتوز سيلمانيت + مرو + بيوتيت	بيوتيت وسيلمانيت (اختفاء الموسكوفيت)	غنايس أبيض	كوردبيريت + مرو	اختفاء البيوتيت		
الصخور	التفاعلات	المعادن المميزة																					
ميكاشيست ذو موسكوفيت	كلوريت + موسكوفيت	موسكوفيت وكلوريت																					
ميكاشيست ذو نوعين من الميكا	بيجادي + بيوتيت	موسكوفيت متبق																					
غنايس ذو نوعين من الميكا	مرو + موسكوفيت	بيوتيت (اختفاء الكلوريت)																					
غنايس ذو بيوتيت	سيلمانيت + أرتوز سيلمانيت + مرو + بيوتيت	بيوتيت وسيلمانيت (اختفاء الموسكوفيت)																					
غنايس أبيض	كوردبيريت + مرو	اختفاء البيوتيت																					

↪ تظهر ملاحظة الصفيحة الدقيقة للبازلت اختفاء الكلوكوفان وظهور الأكتينوت، وذلك تحت تأثير تغير ظروف التحول.

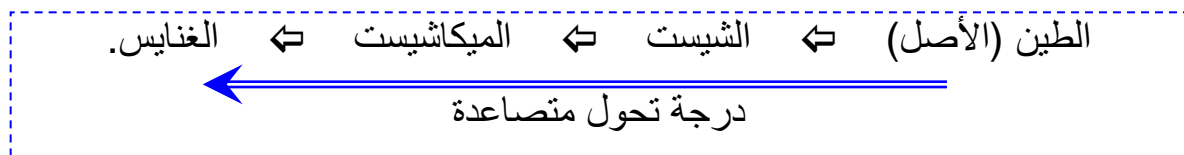
↪ تحت تأثير عاملي الضغط والحرارة تخضع الصخور لتحول، حيث نمر من تركيب عيداني لآخر، وذلك باختفاء معادن وظهور أخرى أكثر استقرارا في الظروف الجديدة.

↪ تعريف التحول، المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

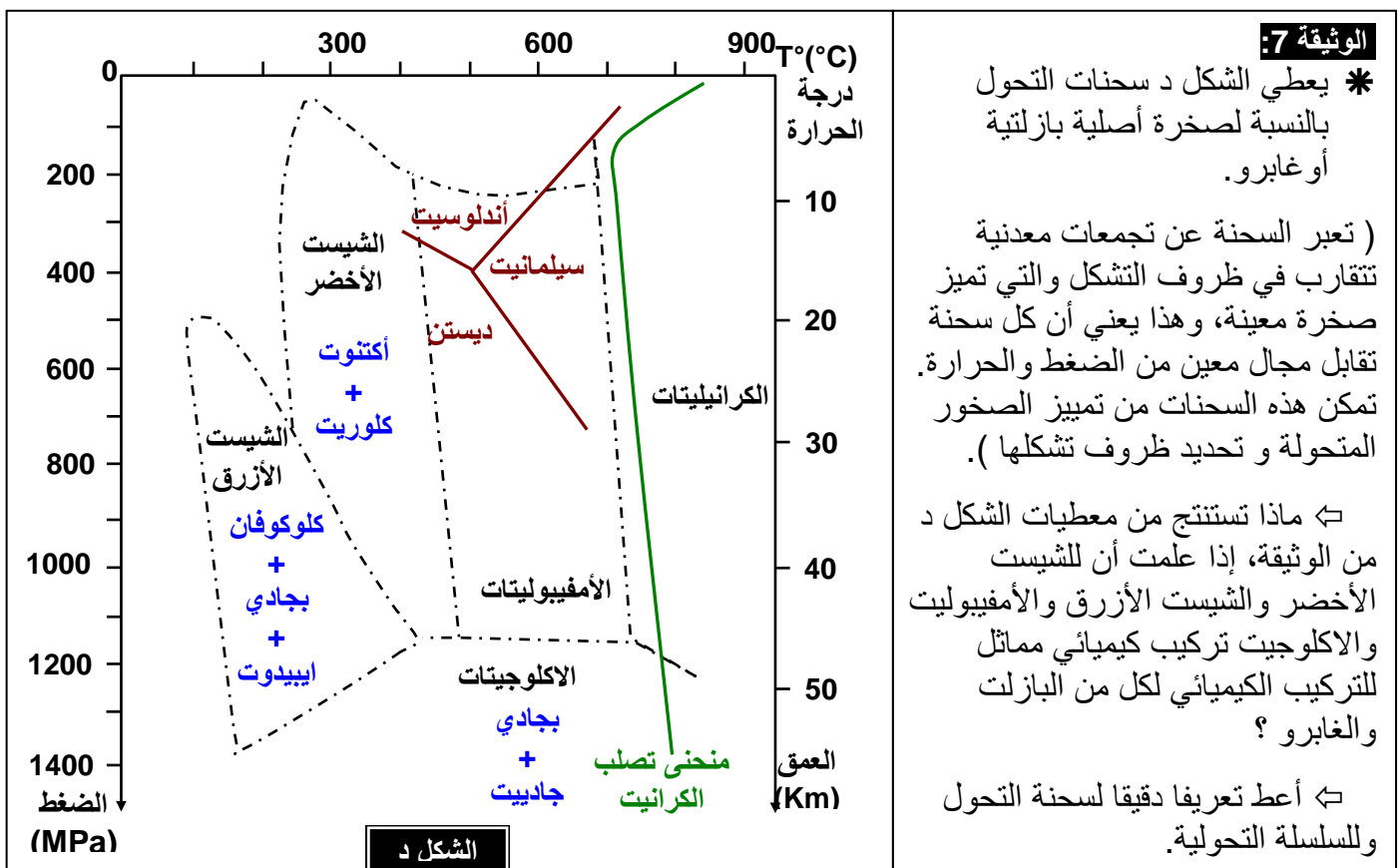
★ **التحول:** هو مجموعة من التغيرات البنيوية والعيدانية التي تطرأ على صخرة سابقة الوجود (رسوبية، صهارية أو متحولة)، في حالتها الصلبة، بفعل عاملي الضغط أو الحرارة أو هما معا.

★ **معدن مؤشر:** معدن يظهر في ظروف جد محددة لدرجة الضغط والحرارة، وبذلك فتواجهه في صخرة متحولة يمثل ذاكرة للظروف القسوى للضغط والحرارة التي وصلتها الصخرة، مثلا تواجد والبيجادي في الصخور المتحولة لمناطق الطمر يعد شاهدا على تعرض هذه الأخيرة لضغط عال.

★ **متتالية تحولية:** مجموعة من الصخور المتحولة المنحدرة من نفس الصخرة الأصلية التي خضعت لدرجات تحول متصاعدة مثلا المتتالية الطينية تضم:



② مفهوم سحنة التحول والسلسلة التحولية: أنظر الشكل د وثيقة 7.



← يتبين من معطيات الوثيقة أن هناك اختلاف في التركيب العيداني لكل من الشيبست الأخضر والشيبست الأزرق والاكولوجيت والأمفيبوليت. ويرجع هذا الاختلاف إلى اختلاف ظروف الحرارة والضغط الذي تكون فيه كل منها.

← تعريف كل من سحنة التحول والسلسلة التحولية.

★ **سحنة التحول:** حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة، تتحدد مجالات استقرار مجموعة معدنية معينة تسمى سحنة التحول. وكل صخرة سابقة الوجود خضعت لظروف تحول سحنة معينة، تظهر بها نفس المجموعة المعدنية المميزة لهذه السحنة، رغم اختلاف تركيبها.

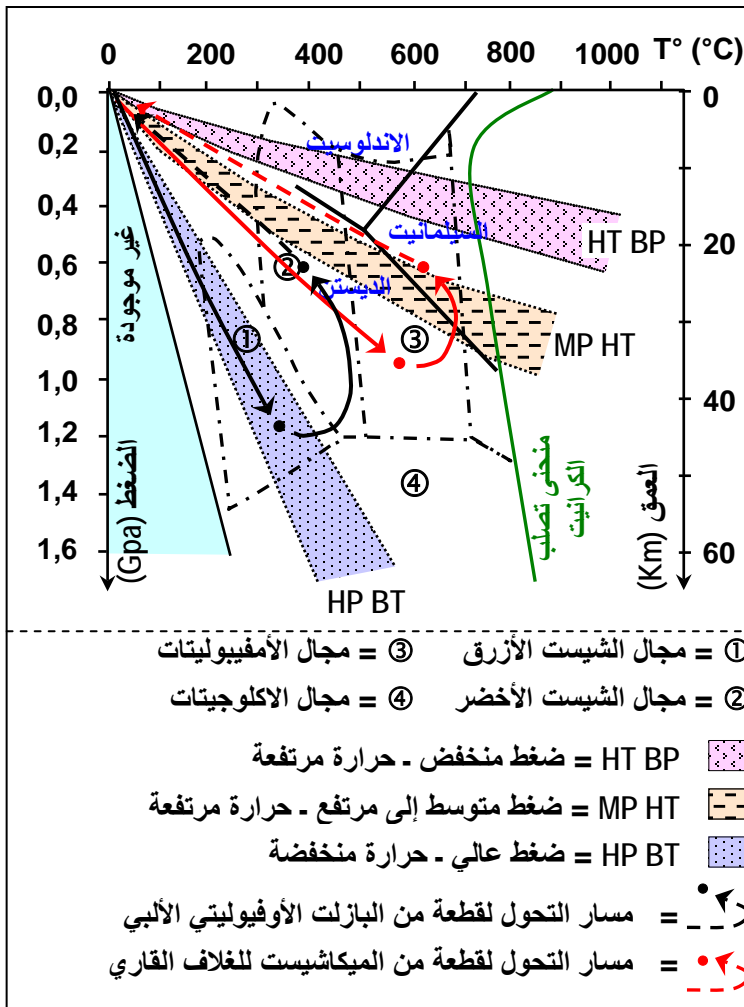
★ **سلسلة التحول:** هي متتالية السحنات المميزة لصخرة أصلية معينة، وذلك حسب تغير ظروف الضغط ودرجات الحرارة. وتمكن من معرفة تطورات الضغط والحرارة التي خضعت لها الصخرة الأصلية في العمق.

③ خلاصة:

لتحديد التركيب العيداني لصخرة متحولة (شيبست، غنايس ...) ننجز صفيحة دقيقة لهذه الصخرة في المختبر، وبعد تحديد المعادن المتحولة، نتعرف على سحنة التحول والمنتالية المنتمية لها الصخرة ومن تم نتعرف على الظروف التكتونية التي تشكلت فيها.

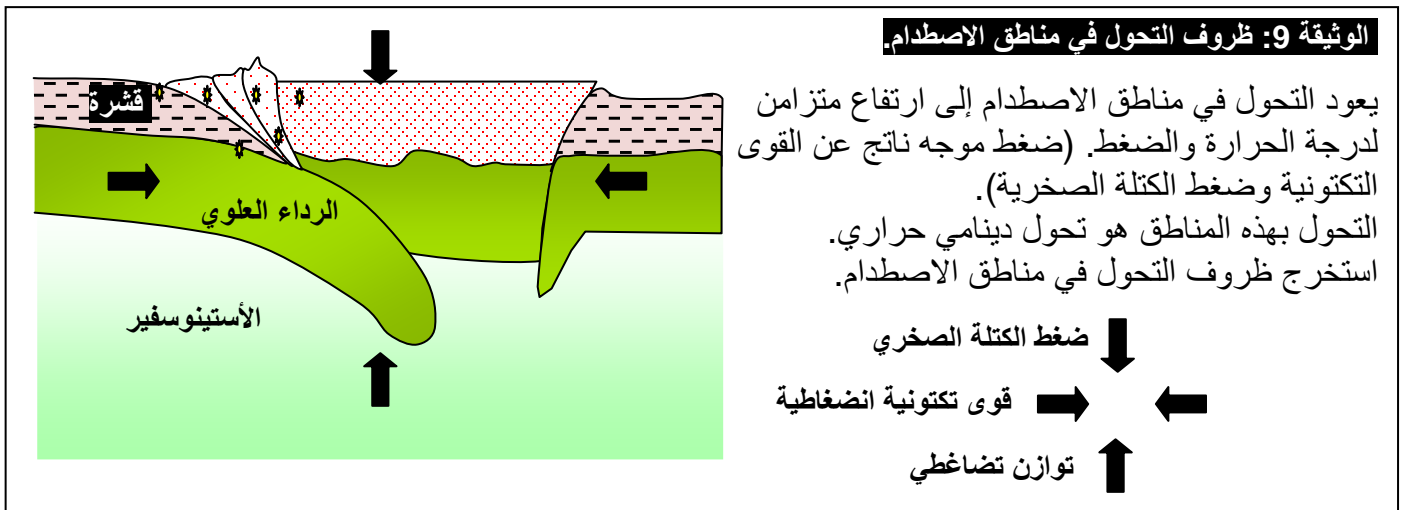
V - مفهوم التحول الدينامي والتحول الدينامي الحراري.

① مجالات التحول في الطبيعة: أنظر وثيقة 8.



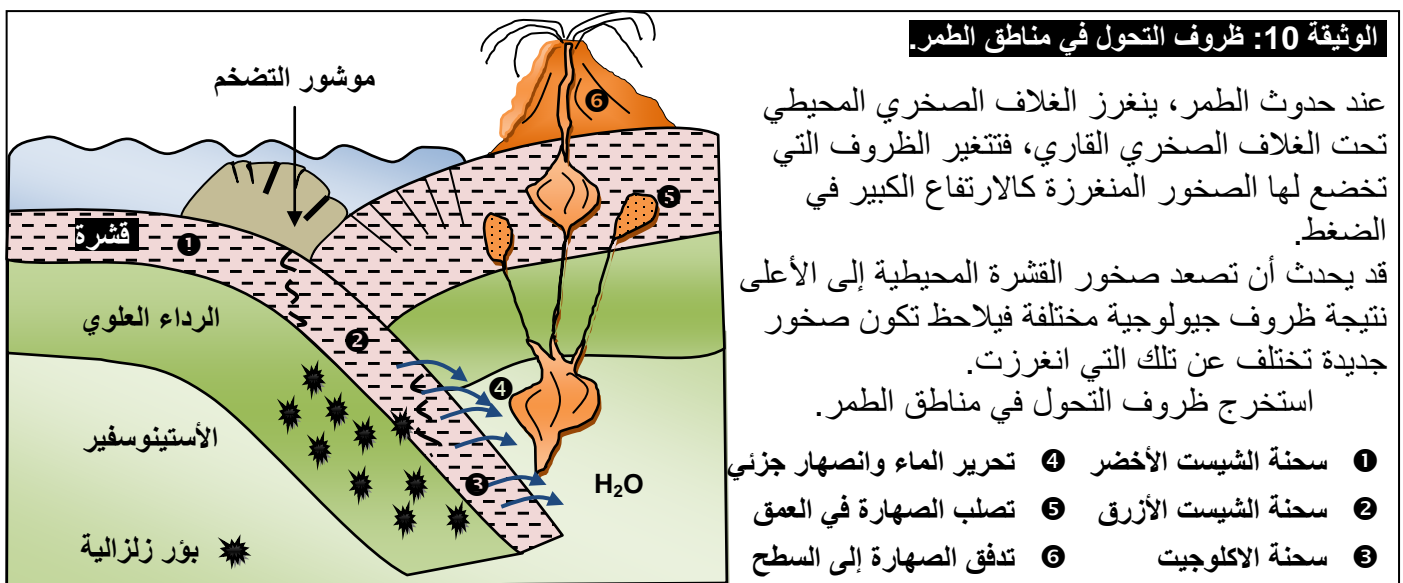
يتبين من معطيات هذه الوثيقة أن تحول الصخور مرتبط بتغير عاملي الضغط والحرارة، وهذه الأخيرة ترتبط بدينامية الصفائح. وهكذا يمكن تحديد عدة مجالات للتحول: التحول الدينامي Dynamique والتحول الدينامي الحراري Thermo-dynamique والتحول الحراري Thermique.

② ظروف التحول في مناطق الاصطدام: أنظر وثيقة 9.



في مناطق الاصطدام تخضع الصخور لارتفاع متزامن لكل من الضغط والحرارة نتيجة اصطدام صفيحتين قاريتين، فيحصل تحول دينامي حراري (تحول إقليمي Métamorphisme régional).

③ ظروف التحول في مناطق الطمر: أنظر وثيقة 10.



في مناطق الطمر تخضع الصخور المنغرزة لضغط عال، نتيجة طمر غلاف صخري محيطي تحت الغلاف الصخري القاري، في حين يكون ارتفاع درجة الحرارة منخفضا، فيحصل تحول دينامي.

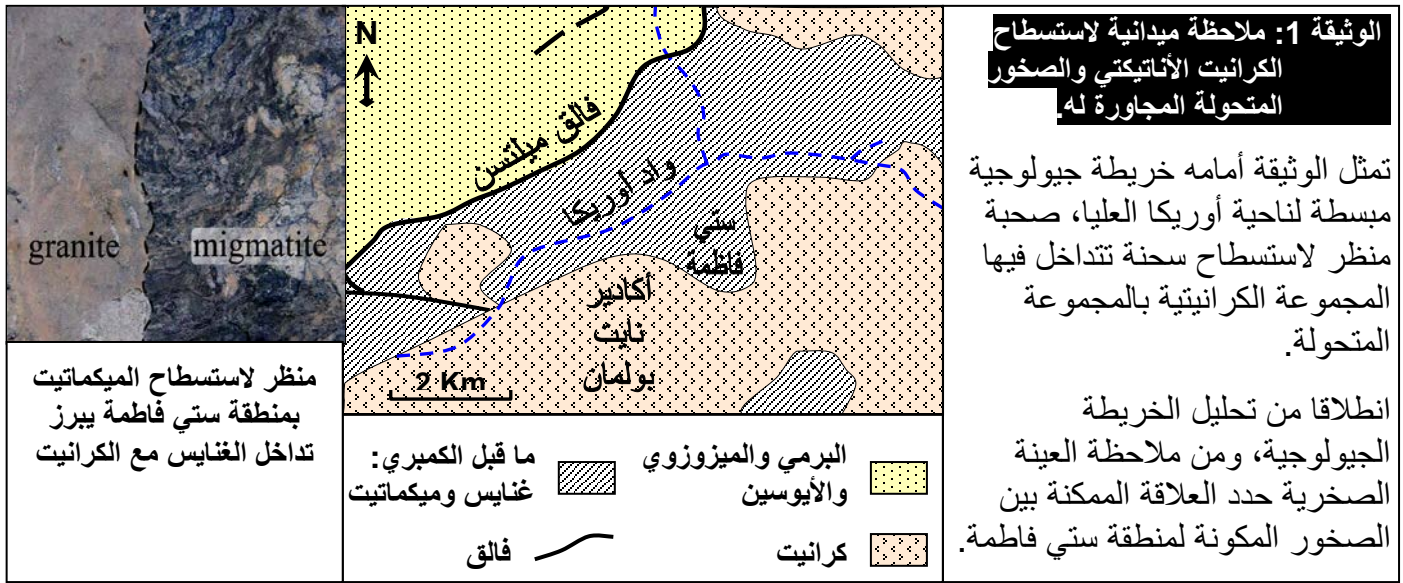
ملاحظة: أثناء صعود الصهارات، تتعرض الصخور المحيطة بالغرفة الصهارية لارتفاع مفاجئ في درجات الحرارة، فيحصل بذلك تحول للصخور المحيطة، يسمى بالتحول الحراري.

الكرانيتية و علاقتها بظاهرة التحول

مقدمة: تعتبر الصخور الكرانيتية صخورا صهارية بلوتونية، ناتجة عن تبريد وتصلب صهارة في العمق. وهي المكون الأساسي للقشرة القارية. فما هي ظروف تشكل الصخور الكرانيتية؟ وما هي علاقتها بظاهرة التحول؟

1 - الكرانيت الاناتيكتي Le granite d'anatexis مثال كرانيت أوريكيا العليا:

① ملاحظات ميدانية: وثيقة 1.




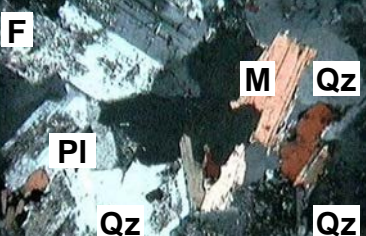
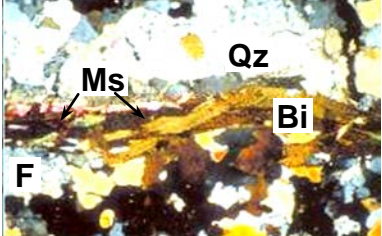
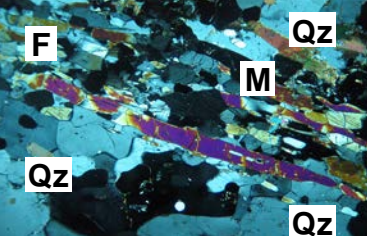

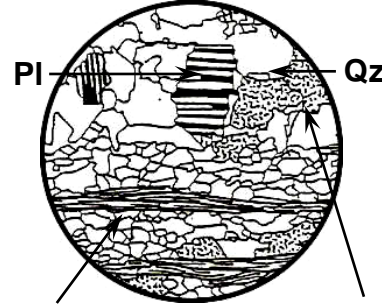
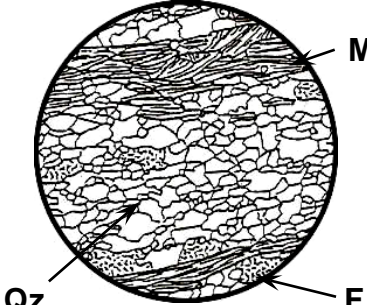


يرتبط كرانيت سني فاطمة بصخور شديدة التحول مثل الغنايس وبعده تشوهات على شكل فوالق أساسا. لا توجد حدود واضحة بين استساح الكرانيت والصخور المتحولة المجاورة، حيث تتشكل منطقة المرور من الكرانيت إلى الصخور المجاورة (الغنايس) من تشكيلات وسيطة عبارة عن خليط من الكرانيت والغنايس تسمى بالميكمايت (خليط = migma = mélange). وهي تدل على نهاية المتتالية التحولية مرورا من ظروف التحول إلى ظروف الانصهار.

② بعض خصائص الصخور المستسحة بمنطقة سني فاطمة: وثيقة 2.

تتميز الميجماتيت بتعاقب مناطق فاتحة (كرانيتية ذات بنية محببة) تتكون من المرو والفلدسبات، ومناطق داكنة (متحولة) عبارة عن مستويات مسطحة تتميز بوجود الميكا السوداء (البيوتيت). يتبين من الملاحظة المجهرية أنه كلما اقتربنا من الكتلة الكرانيتية، إلا وتم الانتقال من بنية مورقة مميزة للغنايس، نحو بنية محببة مميزة للكرانيت. إن للكرانيت والغنايس نفس التركيب العيداني، مع اختلاف في البنية وقد البلورات. ومن تم يمكن القول بأن هذه الصخور لها نفس الأصل.

الوثيقة 2: التعرف على بعض خصائص الصخور المستسطة بمنطقة ستي فاطمة (أوريكا العليا).

الكرانيت	الميكمايت	الغنايس	العينة الصخرية
			ملاحظة الصخرة بالعين المجردة
			ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب
			رسم تفسيري للملاحظة المجهرية
QZ = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. PI = فيلدسبات بلاجيوكلاز. M = ميكا سوداء.	QZ = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. PI = فيلدسبات بلاجيوكلاز. M = ميكا سوداء.	QZ = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. M = ميكا سوداء.	التركيب العيادي
محببة	مورقة - محببة	مورقة	البنية

قارن بين العينات الصخرية. تعبر هذه العينات عن مرور تدريجي نحو الكرانيت. أبرز ذلك معتمدا المعطيات الخاصة بالميكمايت.

③ خلاصة:

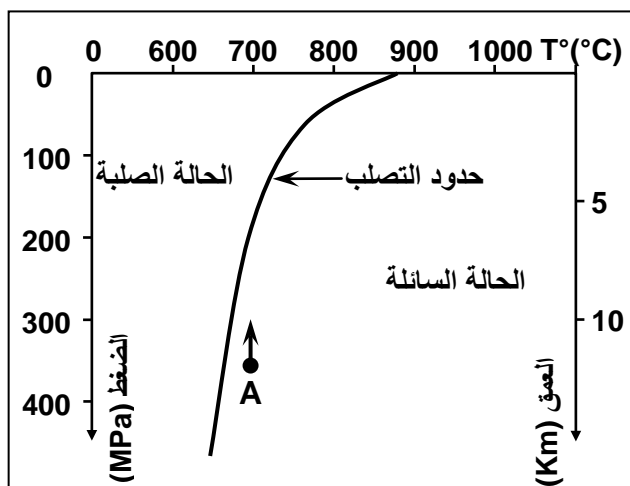
★ إن المرور التدريجي من الصخور المتحولة (الغنايس) إلى الكرانيت ووجود صخرة وسيطة (الميكمايت) يجعلنا نفترض أن الكرانيت يشكل حلقة قصوى من حلقات التحول: يعني نتج عن تحول صخرة سابقة الوجود بفعل ارتفاع عامل الضغط أو الحرارة أو هما معا.

★ بما أن توجيه المعادن يفقد في صخرة الكرانيت، فيمكن أن نفترض أن المرور من الغنايس إلى الكرانيت يتم بظهور حالة سائلة: يعني أن الصخرة الأصلية تنصهر بفعل الضغط والحرارة فتعطي عند تبردها الكرانيت. نسمي هذا النوع من الكرانيت بالكرانيت الأنايكتي.

II – الأنايكتية وعلاقتها بتشكيل السلاسل الجبلية:

① ظروف تصلب الصهارة الكرانيتية: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: ظروف تبلور الصهارة الكرانيتية. يمثل البيان أسفله منحنى التصلب الذي يعبر عن الحد الفاصل بين الحالة السائلة والحالة الصلبة للصهارة الكرانيتية حسب الضغط ودرجة الحرارة.



(1) كيف تتغير درجة حرارة التصلب بدلالة الضغط؟

* لنعتبر صهارة كرانيتية A تكونت تحت ضغط 370 MPa ودرجة حرارة 700°C.

(2) حدد الضغط والعمق اللذين تتصلب فيهما هذه الصهارة في حالة صعودها دون أن تغير من درجة حرارتها.

(3) كيف تفسر ظهور الكرانيت في السطح إذن؟

* في حالات استثنائية تصل الصهارة الكرانيتية إلى السطح، لتعطي بعد تصلبها صخرة الريوليت **Rhyolite**.

(4) اعتماداً على المبيان جانبه، حدد درجة الحرارة الدنيا اللازمة لصهارة كرانيتية لكي تصل إلى السطح.

(1) كلما ازدادت درجة الضغط (كلما زاد العمق) كلما انخفضت درجة حرارة تصلب الصهارة الكرانيتية (لاحظ مثلاً أن صهارة كرانيتية تتصلب في حرارة = 700°C عندما يكون عمقها 6Km، أما في عمق 2Km فهي تتبلور في حرارة 800°C).

(2) عند صعودها، تتبلور هذه الصهارة ولو لم تفقد بعضاً من حرارتها ويحدث هذا التبلور في عمق = 6Km وضغط يقدر ب 160MPa.

(3) تتبلور الصهارة الكرانيتية في الأعماق قبل وصولها إلى السطح لذلك نقول أن الكرانيت صخرة صهارية بلوتونية أي صخرة داخلية النشأة، وتظهر في السطح بفعل عوامل التعرية.

(4) لكي تصل الصهارة السائلة يلزم أن تتوفر على حرارة تفوق 900°C، وهذا لا يتوفر إلا نادراً فتعطي الصهارة حينئذ بعد تصلبها صخرة الريوليت.

خلاصة: عندما تبلغ درجة حرارة الصخور 700 °C وتحت الضغوط السائدة في أعماق المناطق غير المستقرة، تخضع لانصهار جزئي لتعطي سائلاً ذا تركيب كرانيتي (الأنايتيكتية).
تتركز القطرات الأولى من السائل الناتج على شكل أكوام، وتعطي بتبلورها مادة كرانيتية حديثة التكون، تبقى مرتبطة بمادة لم تنصهر بعد، الشيء الذي يفسر تكون صخور الميكمايت. وعندما تزداد نسبة السائل الناتج، يمكنه أن يتصلب في موقعه ليعطي الكرانيت الأنايتيكتي.

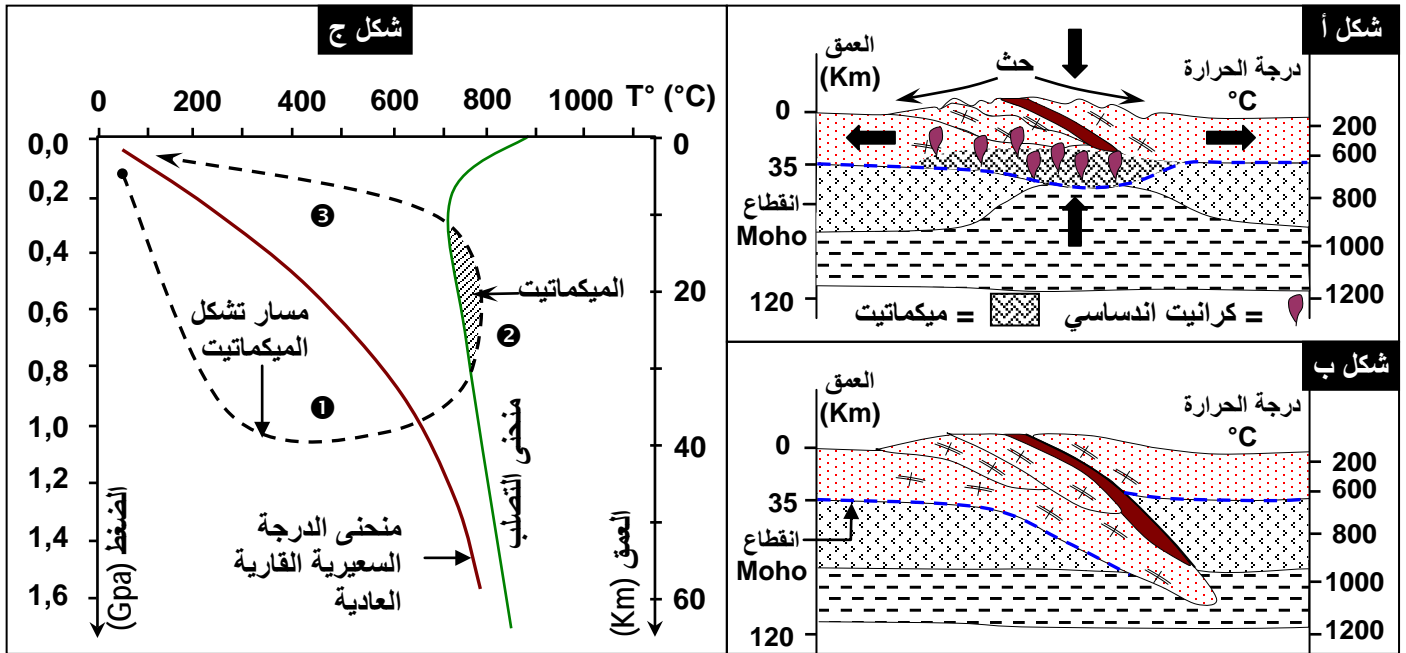
② علاقة الكرانيتية بالسلاسل الجبلية: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: علاقة الكرانيت الأنايتيكتي بسلاسل الاصطدام.

في مناطق الاصطدام، يؤدي غور بعض الوحدات الصخرية للقشرة القارية إلى خضوعها لدرجات حرارة وضغط مرتفعين. أثناء صعود هذه الوحدات نتيجة الحركات التكتونية، ينخفض الضغط، بينما تظل الحرارة مرتفعة مما يؤدي إلى انصهار جزئي للصخور، وتشكل السائل الأنايتيكتي الذي يعطي صهارة كرانيتية أناتيكيتية تتبرد في مكانها. يعطي الشكل أ والشكل ب، رسوم تخطيطية لتوضيح أصل الكرانيت الأنايتيكتي خلال تشكل سلاسل الاصطدام. يعطي الشكل ج مسار تشكل الميكمايت حسب تغير كل من الضغط والحرارة خلال تشكل سلاسل الاصطدام.

★ وظف معطيات المبيان على الشكل ج لتفسير تشكل الكرانيت الأنايتيكتي في مناطق تشكل السلاسل الجبلية.

★ أبرز دور العوامل التكتونية في تشكل الكرانيت الأنايتيكتي المصاحب للسلاسل الجبلية.



★ في مناطق الاصطدام، تؤدي القوى الانضغاطية إلى طمر بعض الوحدات الصخرية للقشرة القارية مما يعرضها لدرجات حرارة وضغط مرتفعين (الجزء 1 من السهم الممثل في الشكل "أ" والمرحلة a في الشكل "ب").

★ في نهاية التقارب، تشهد السلسلة الجبلية قوى تكتونية تمددية فتصعد الوحدات الصخرية، ينخفض ضغطها بينما تظل درجة حرارتها مرتفعة، مما يؤدي إلى انصهارها الجزئي وتشكل سائلا أناتيكتي يتبرد في موقع نشأته ليعطي ميكمايتيت وكرانيت اندساسي (الجزء 2 من السهم الممثل في الشكل "أ" والمرحلة b في الشكل "ب").

★ لا يستسحق تي ناركلا إلا بعد حث الصخور التي كانت تلوه وذلك بعد ملايين السنين من تشكله.

III - اندساس الصهارة الكرانيتية وتحول التماس:

1 دراسة كتلة كرانيت زعير: أنظر الوثيقة 5.

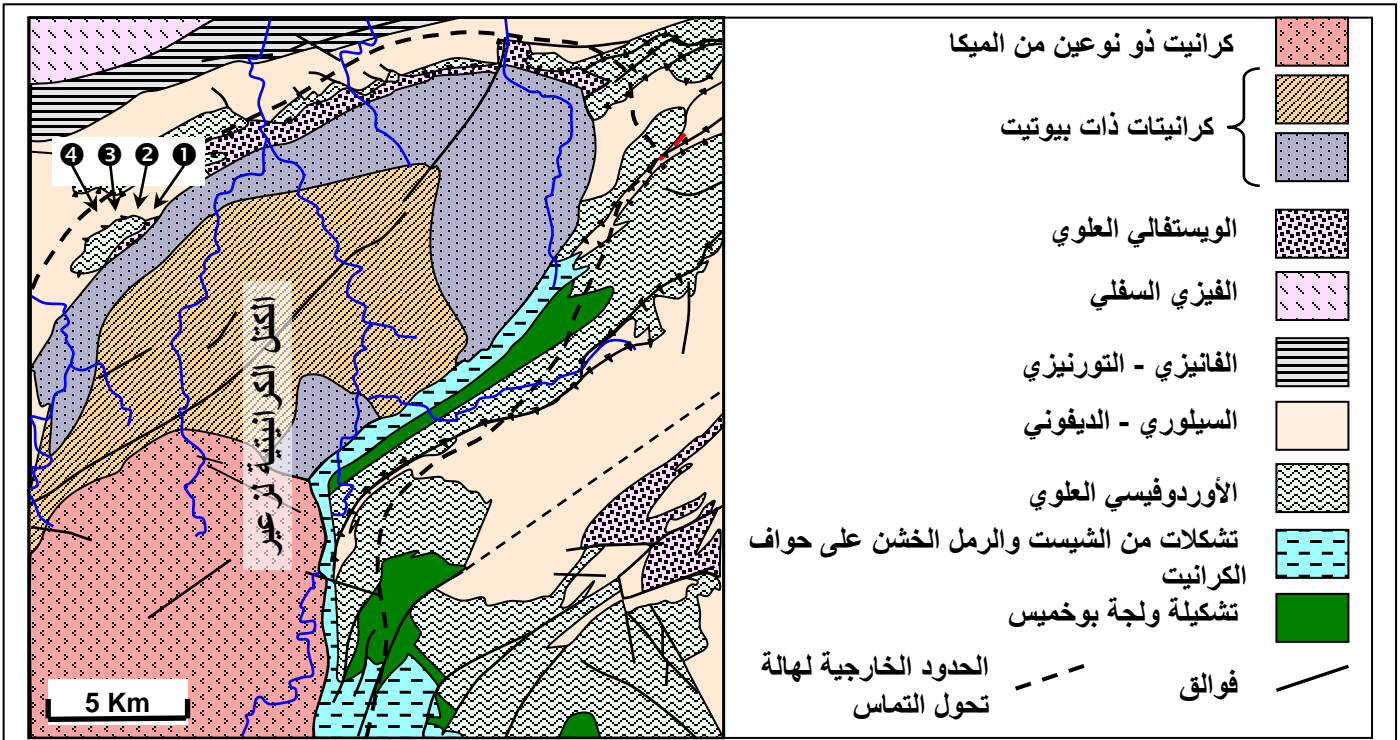
الوثيقة 5: علاقة الكرانيت الأناتيكتي بسلاسل الاصطدام.

تعطي الوثيقة أسفله خريطة جيولوجية مبسطة تظهر كرانيت زعير وتموضع هالة التحول مع مواقع أخذ العينات الصخرية المميزة لهذه الهالة.

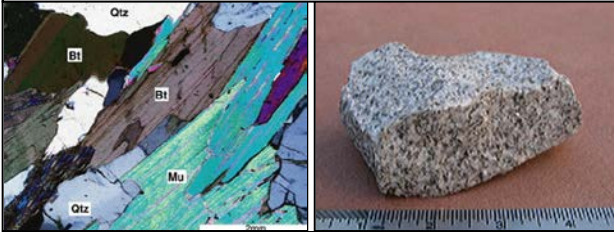
الصخرة	1	2	3	4
المميزات العيدانية	فلدسبات بوتاسي	كوردبيريت + أندلوسيت	أندلوسيت + بيوتيت	بيوتيت (كلوريت) + سيريسيت

نعطي كذلك بعض العينات الكرانيتية صعبة صفائح دقيقة ملاحظة بالضوء المستقطب.

- (1) انطلاقاً من تحليل الخريطة الجيولوجية حدد خاصيات كرانيت زعير وعلاقته بالصخور المتحولة.
- (2) قارن بين مختلف العينات الصخرية المقترحة. فسر اختفاء الشيسيتية عند الاقتراب من كتلة الكرانيت واختفاء وظهور معادن جديدة كالأندلوسيت (معدن مميز للضغط المنخفض والحرارة المرتفعة).
- (3) انطلاقاً من مختلف المعطيات حدد نمط التحول الذي خضعت له الصخور المجاورة لكتلة الكرانيت.



كرانيت ذي نوعين من الميكا مع الملاحظة المجهرية



=Mu موسكوفيت

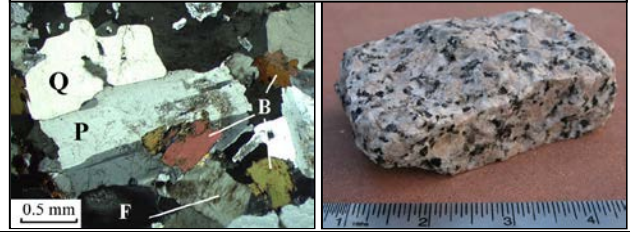
=F فيلدسبات بوتاسي

=P فيلدسبات بلاجيوكلاز

=Q=Qtz مرو

=Bt = B بيوتيت

كرانيت ذي بيوتيت مع الملاحظة المجهرية

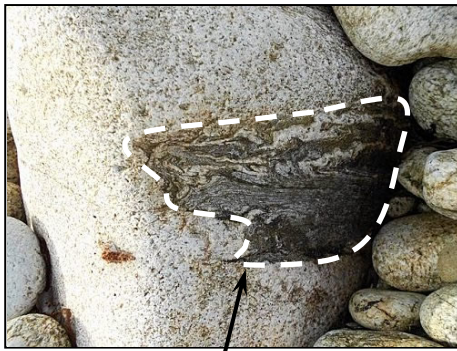


توجد في حدود الكتلة الكرانيتية لزعر حبيبات تختلف من حيث البنية والتركيب العيداني عن الكرانيت الذي يضمها (الصورة أمامه). ويمكن التعرف على أصلين أساسيين للحبيبات:

* أصل عميق (حبيبات تحتوي على الكوراندون والسبينيل وهي معادن تتشكل في ظروف $5Kb = 16Km$).

* أصل من الصخور المحيطة بالكرانيت (حبيبات ذات أندلوسيت، سليمانيت وبيوتيت وهي معادن تتشكل في ظروف $2.5Kb = 8Km$).

(4) فسر وجود الحبيبات على جوانب الكتل الكرانيتية محددًا أهميتها في تعرف أصل الصهارة الكرانيتية.



حبيسة من الميكاشيست داخل الكرانيت

(1) انطلاقًا من الخريطة الجيولوجية يظهر كرانيت زعر:

- بحدود واضحة حيث أن منطقة تماسه مع الصخور المجاورة صريحة.
- متجانس (منطقة المرور من الكرانيت إلى الصخور المجاورة لا تتضمن صخرة الميكمايت).
- في وضع متنافر مع الصخور المجاورة حيث يقطعها ويتموضع وسطها كما لو أنه أراح جزءًا منها وحل محله.
- يحيط به حزام من صخور متحولة تسمى بهالة التحول، لها امتداد جغرافي ضيق (لا تتعدى $2Km$). نستخلص من هذه المميزات أن الصهارة الكرانيتية التي أعطت هذا الكرانيت لم تنشأ في هذا الموضع، بل صعدت من الأعماق واندست بين الصخور السابقة الوجود: فنقول كرانيت اندسائي (Granite intrusif).

(2) كلما اقتربنا من الكتلة الكرانيتية:

- يختفي توجيه المعادن.
- يزداد قطر البلورات.
- تختفي بعض المعادن المميزة لتحول ضعيف (مثل السيريسيت) وتظهر معادن دالة على تحول شديد (مثل الفلدسبات) وعلى حرارة مرتفعة (مثل الأندلوسيت).
- شدة التحول تزداد كلما اقتربنا من الكتلة الكرانيتية.

(3) تشير الخاصيات المسجلة في الجواب السابق أن التحول تم بفعل الحرارة العالية التي تحررها الصهارة الكرانيتية الصاعدة أثناء تبريدها وفي غياب ضغوط موجهة، يعني يتعلق الأمر بتحول حراري = تحول التماس Métamorphisme de contact.

(4) قد تصادف داخل الكرانيت الانداسي بعض الحبيسات، وهي بقايا الصخرة الأصلية التي لم تهضم من طرف الصهارة الكرانيتية.

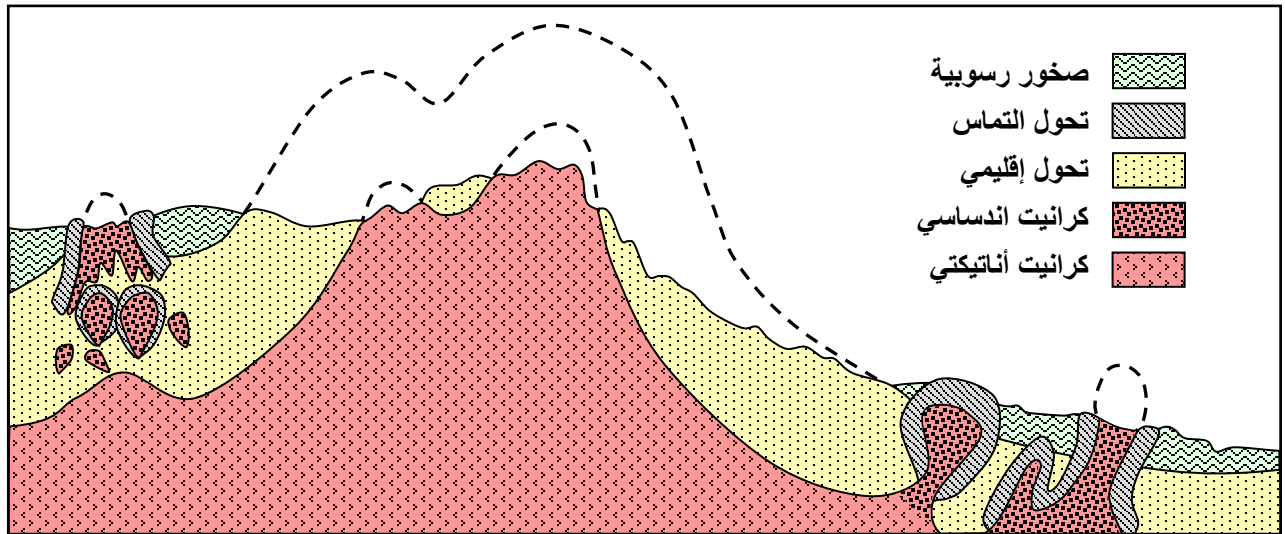
② خلاصة:

في بعض الحالات يمكن للصهارة الأنايتيكية الساخنة أن تصعد إلى الأعلى، فتخترق صخورا سابقة الوجود، وتتصلب وسطها. ونظرا للحرارة المرتفعة، تتعرض الصخور المجاورة لتغيرات بنيوية وعيدانية، يصطلح عليها تحول التماس أو التحول الحراري، لأن عامل الحرارة هو العامل الرئيسي في هذه الحالة.

IV – مقارنة الكرانيت الأنايتيكي والكرانيت الانداسي: أنظر الوثيق 3 لوحة 2.

الوثيقة 4 : العلاقة بين التحول الإقليمي والكرانيت الأنايتيكي من جهة وتحول التماس والكرانيت الانداسي من جهة أخرى.

يمثل المقطع التالي رسما للتصور العام للعلاقة بين كل من الكرانيت الأنايتيكي والتحول الإقليمي من جهة، والكرانيت الانداسي وتحول التماس من جهة أخرى. انطلاقا من هذه المعطيات، استنتج العلاقة بين الكرانيت الانداسي والكرانيت الأنايتيكي. لخص ذلك في جدول موضحا العلاقة بين كل من الكرانيت الأنايتيكي والكرانيت الانداسي والتحول الإقليمي وتحول التماس.



يُدرج الجدول التالي العلاقة بين نوعي الكرانيت ونوعي التحول المرتبطين بهما:

الكرانيت الأنايتيكي وعلاقته بالتحول الإقليمي	الكرانيت الانداساسي وعلاقته بتحول التماس	
صهارة ناتجة عن ظاهرة الأنايتيكية تتبلور في موقع تشكلها.	صهارة ناتجة عن ظاهرة الأنايتيكية تغادر موقعها الأصلي، تصعد عبر الصخور التي تعلوها وتحل محلها.	أصل الكرانيت
يدخل الكرانيت الأنايتيكي ضمن متتالية التحول العام (يشكل حلقة قصوى من درجات "التحول").	الكرانيت الانداساسي هو المسؤول عن حدوث التحول الذي حوله (هالة التحول).	العلاقة بين الكرانيت والتحول
انتقال تدريجي من الصخور المتحولة إلى الكرانيت الأنايتيكي، الحدود غير صريحة تتميز بظهور صخرة الميكمايت، الصخرة المزيج بين الكرانيت والغنايس.	حدود صريحة بين الكرانيت الانداساسي والصخور المتحولة التي تحيط به. تتميز الحدود بتواجد حبيسات مؤشرة على بقايا صخور أصلية لم تهضم بفعل الصهارة الكرانيتية المندسة.	المميزات الميدانية للحدود بين الكرانيت والصخور المتحولة.
● امتداد جغرافي شاسع (تحول إقليمي = عام) ● تضم الصخور المتحولة معادن موجهة مؤشرة على ضغط وحرارة مرتفعين. (تحول دينامي - حراري)	● امتداد جغرافي جد محدود. ● تضم هالة التحول معادن غير موجهة مؤشرة على حرارة مرتفعة وضغط منخفض. (تحول حراري)	مميزات الصخور المتحولة