علوم الحياة والأرض

السنة الثانية من سلك البكالوريا

شعبة العلوم التجريبية

مسلك علوم الحياة والأرض

إعداد: الأستاذ يوسف الأندلسي

2
باك
ع.ح.أ

تقديم

بسم الله الرحمان الرحيم

لقد تم انجاز هذا الكتاب في مادة علوم الحياة والأرض بالسنة الثانية من سلك البكالوريا، مسلك علوم الحياة والأرض، وفقا للوثيقة الإطار الموضوعة من طرف وزارة التربية الوطنية.

نسعى من انجاز هذا العمل، توفير معين بيداغوجي يعتمد من طرف التلاميذ والمدرسين. وذلك بعرض الوحدات الأساسية لمختلف الدروس المقررة، على شكل وثائق بيداغوجية (صور، رسوم تخطيطية، معطيات ونتائج تجريبية، رسوم بيانية، خرائط ومقاطع جيولوجية، نصوص علمية، خطاطات تركيبية ...) هي عبارة عن أنشطة متنوعة تراعي تسلسل الوحدات والفصول للدروس المقررة.

ترمي مختلف الأنشطة المدرجة في هذا العمل، مساعدة كل من الأستاذ والتلميذ على انجاز المقرر في أحسن الظروف، من خلال منهجية تراعي خصوصيات هذا المسلك التعليمي. إلا أن هذه الأنشطة لا يمكنها أن تعوض الملاحظة المباشرة أو المناولة أو التجربة في حالة إمكانية انجازها.

أملنا أن يساهم هذا الكتاب في تدليل الصعاب المرتبطة بتدريس مادة علوم الحياة والأرض في هذا المسلك التعليمي، وتسهيل بلوغ الأهداف وتحقيق كفايات المادة.

الأستاذ يوسف الأندلسي

الفهرس

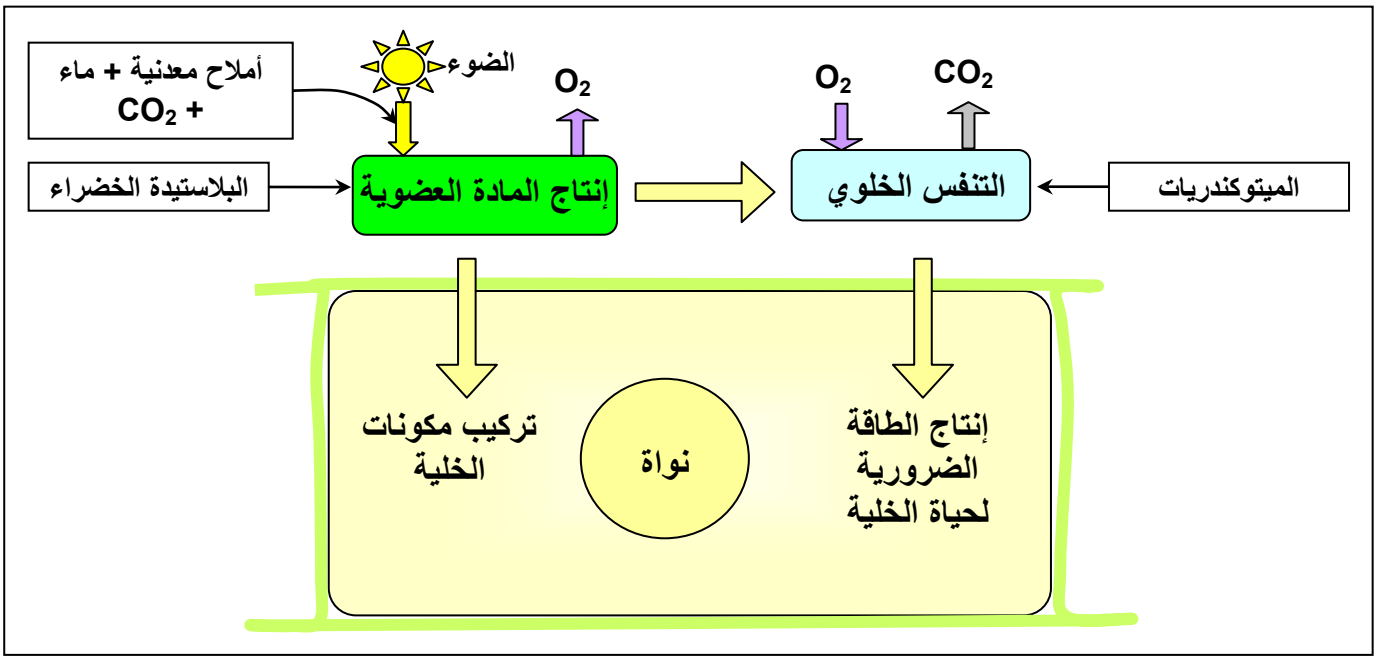
الوحدة الأولى: استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة	الفصل الأول: تحرير الطاقة الكامنة في المواد العضوية	I – الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية: II – انحلال الكليكوز على مستوى الجبلة الشفافة III – التأكسدات التنفسية ودور الميتوكندريات. IV – دور التأكسدات التنفسية في إنتاج ATP: V – مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس والتخمر:	4
	الفصل الثاني: دور العضلة الهيكلية المخططة في تحويل الطاقة	I – الدراسة التجريبية للتقلص العضلي. II – الظواهر التي تصاحب التقلص العضلي. III – بنية وفوق بنية النسيج العضلي. IV – آلية التقلص العضلي. V – كيف يتم تجديد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي ؟	18
الوحدة الثانية: طبيعة الخبر الوراثي وآلية تعبيره – الهندسة الوراثية	الفصل الأول: طبيعة الخبر الوراثي	I – أين يتواجد الخبر الوراثي؟ II – انتقال الخبر الوراثي عبر الانقسام الخلوي. III – الطبيعة الكيميائية للمادة الوراثية. IV – التركيب الكيميائي لجزيئة ADN وبنيتها. V – العلاقة بين الصبغين، الصبغيات، و ADN. VI – آلية مضاعفة جزيئة ADN.	30
	الفصل الثاني: تعبير الخبر الوراثي	I – مفهوم الصفة، المورثة، الحليل، والطفرة. II – آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.	50
	الفصل الثالث: الهندسة الوراثية: مبادئها وتقنياتها	I – مفهوم التغيير الوراثي ؟ II – آليات الهندسة الوراثية. III – أمثلة لتطبيقات الهندسة الوراثية.	61
الوحدة الثالثة: نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي، القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية، علم الوراثة البشرية	الفصل الأول: نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي	I – مراحل الانقسام الاختزالي II – دور الانقسام الاختزالي والإخصاب في تخليط الحليلات.	72
	الفصل الثاني: القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية	I – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة السيادة التامة: الهجونة الثنائية. II – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة تساوي السيادة III – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة المورثة المميتة. IV – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة مورثة مرتبطة بالجنس. V – دراسة انتقال زوجين من الحليلات: الهجونة الثنائية. VI – قياس المسافة بين مورثتين.	81
	الفصل الثالث: علم الوراثة البشرية	I – وسائل دراسة الوراثة عند الإنسان. II – دراسة انتقال أمراض وراثية غير مرتبطة بالجنس. III – دراسة انتقال أمراض وراثية مرتبطة بالجنس. IV – الشذوذات الصبغية عند الإنسان وعواقبها. V – تشخيص الشذوذ الصبغي قبل الولادة:	107

الوحدة الرابعة: علم وراثة الساكنة		I – مفهوم الساكنة والمحتوى الجيني: II – قانون Hardy-Weinberg: III – تطبيق قانون Hardy – Weinberg على ساكنة نظرية مثالية: IV – تطبيق قانون Hardy – Weinberg على انتقال بعض الصفات الوراثية: V – عوامل تغير الساكنة : VI – مفهوم النوع	124
الوحدة الخامسة: علم المناعة	الفصل الأول: تعرف الجسم ما هو ذاتي وما هو غير ذاتي	I – الكشف التجريبي عن التلاؤم بين الأنسجة: II – تعرف الواسمات الرئيسية والثانوية. III – دور CMH في تمييز الذاتي:	154
	الفصل الثاني: وسائل دفاع الجسم عما هو ذاتي	I – وسائل الدفاع غير النوعية: II – وسائل الدفاع النوعية: III – التعاون الخلوي بين الخلايا المناعية: IV – حصيلة تركيبية لمراحل الاستجابة المناعية النوعية:	162
	الفصل الثالث: اضطرابات الجهاز المناعي	I – الاستجابة الأرجية: II – قصور الجهاز المناعي (السيدا):	193
	الفصل الرابع: مساعدات الجهاز المناعي	I – التلقيح II – الاستمصال III – زرع النخاع العظمي	202
الوحدة السادسة: الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح	الفصل الأول: السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح	I – أنواع السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح. II – خصائص السلاسل الجبلية الحديثة. III – التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر والاصطدام.	208
	الفصل الثاني: التحول وعلاقته بدينامية الصفائح	I – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الاصطدام. II – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الطمر. III – عوامل التحول. IV – مفهوما المعدن المؤشر والسلسلة التحولية. V – مفهوم التحول الدينامي والتحول الدينامي الحراري.	220
	الفصل الثالث: الكرانيتية وعلاقتها بظاهرة التحول	I – الكرانيت الاناتيكتي Le granite d'anatexie مثال كرانيت أوريكا العليا: II – الأناتيكتية وعلاقتها بتشكل السلاسل الجبلية: III – اندساس الصهارة الكرانيتية وتحول التماس: IV – مقارنة الكرانيت الأناتيكتي والكرانيت الاندساسي:	230

الوحدة الأولى، الفصل الأول:

استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة

مدخل عام:



★ النباتات اليخضورية هي كائنات حية ذاتية التغذية Autotrophe، تقوم بإنتاج المواد العضوية، من سكريات، دهنيات، وبروتيدات، انطلاقا من الضوء والماء والأملاح المعدنية وثنائي أكسيد الكربون، وذلك 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 Adenosine Triphosphate) حسب التفاعل التالي:

$$ADP + Pi + \text{طاقة} \longrightarrow ATP$$

✓ خلال المرحلة المظلمة، تستعمل الطاقة المخزنة في ATP في تفاعلات تركيب المواد العضوية.

★ تستعمل الكائنات الحية غير ذاتية التغذية Auxotrophe 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 النشيط، 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؟

الوحدة الأولى، الفصل الأول:

تحرير الطاقة الكامنة في المواد العضوية

تمهيد: تحتاج جميع الخلايا إلى طاقة تمكنها من القيام بمختلف الأنشطة الخلوية، هذه الطاقة يتم استخلاصها من المادة العضوية من خلال ظواهر إستقلابية مختلفة.

- **ما هي الظواهر الإستقلابية التي توفر الطاقة للخلايا؟**
- **ما هي العضيات المتدخلة خلال هذه العملية؟**
- **كيف تقوم الخلايا باستخلاص الطاقة الكامنة على مستوى المادة العضوية؟**

I – الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية:

① معطيات تجريبية:

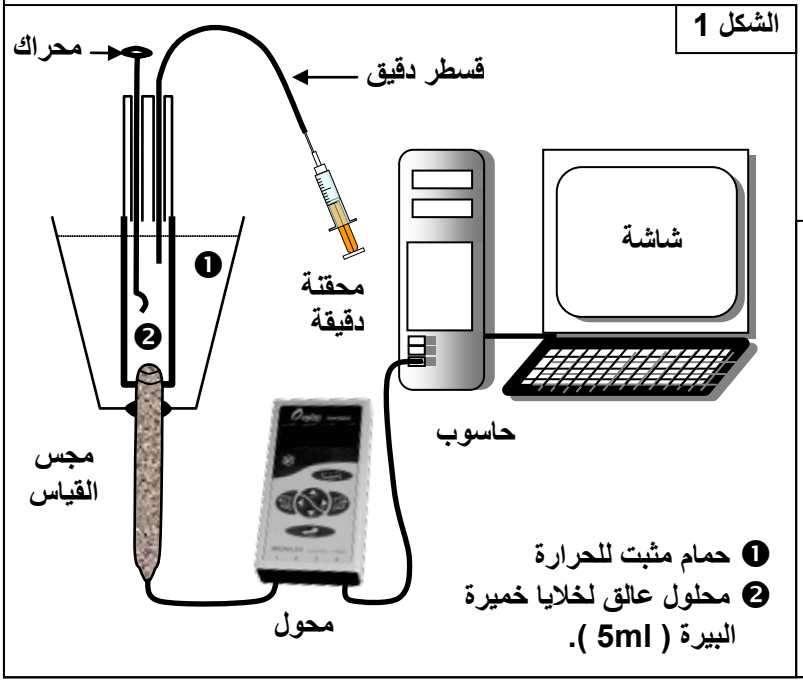
أ – تجربة 1: أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية (تجربة 1):

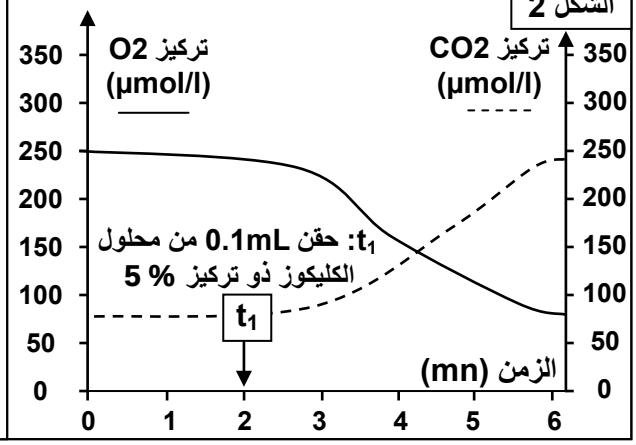
نعرض محلولا عالقا لخلايا الخميرة (10g/l) للتهوية بواسطة مضخة لمدة 30 ساعة. نضع 5ml من هذا المحلول داخل مفاعل حيوي لعدة ExAO (الشكل 1). نتتبع بفضل العدة تطور تركيز الأكسجين (O_2) المذاب داخل المفاعل الحيوي وتركيز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2). ينقل مجس القياس، إشارات كهربائية إلى المرافق البيني (محول) الذي يحولها إلى معطيات رقمية يعالجها الحاسوب ويترجمها إلى مبيان (الشكل 2). في الزمن t_1 نحقن داخل المفاعل 0.1ml من محلول الكليكوز بتركيز 5 %.

1) صف تطور تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون في المفاعل الحيوي، قبل إضافة الكليكوز وبعدها.
2) فسر النتائج المحصل عليها. ماذا تستنتج؟

الشكل 1



الشكل 2



1) قبل إضافة الكليكوز لمحلول الخميرة، يبقى تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون مستقرا. ومباشرة بعد إضافة الكليكوز للمحلول، نلاحظ انخفاضا تدريجيا لتركيز الأكسجين، إلى أن يستقر في قيمة 80 µmol/l، وارتفاعا تدريجيا لتركيز ثنائي أكسيد الكربون، إلى أن يستقر في قيمة 235 µmol/l.

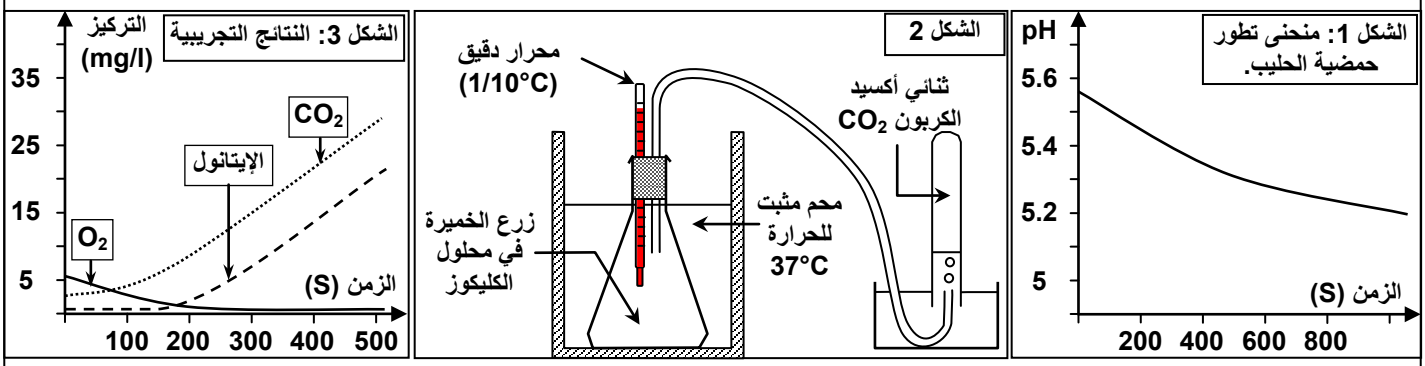
2) إن التغيرات الملاحظة على تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون مباشرة بعد إضافة الكليكوز لمحلول الخميرة، تفسر بكون خلايا الخميرة استهلكت الأكسجين وطرحت ثنائي أكسيد الكربون، أثناء هدمها للكليكوز الذي يعتبر مصدرا للطاقة بالنسبة لهذه الخلايا. أما استقرار تركيز الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون فيُفسر بالهدم الكلي للكليكوز من طرف خلايا الخميرة.
نستنتج من هذه المعطيات، أن خلايا الخميرة تقوم باستهلاك الأكسجين لهدم الكليكوز، مع طرح ثنائي أكسيد الكربون، إنها ظاهرة التنفس الخلوي Respiration cellulaire.

ب – تجربة 2: أنظر الوثيقة 2

الوثيقة 2: الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية (تجربة 2):

قصد دراسة سلوك خلايا الخميرة **La levure de bière** تُجاه المواد العضوية في غياب الأكسجين (وسط حي لا هوائي)، نقوم بالتجارب التالية:

★ نأخذ عينة من الحليب الكامل الطري ونفرغها في بوقال Bocal ذي حجم 250 ml. نحرص على ملء البوقال إلى أخره لطرد الهواء. نضع داخل الحليب مقياس ph الذي نربطه بعدة **ExAO** قصد تتبع تطور حمضية الحليب أثناء عملية التخمر (تحول الكليكوز المكون للاكتوز إلى حمض لبني، ويتم ذلك دون طرح co_2). نترك التحضير لمدة 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (37°C)، بعد ذلك نتتبع تطور قيمة ph بواسطة عدة ExAO، فنحصل على النتائج المبينة على الشكل 1.



1) صف تطور المنحنى واستنتج العلاقة بين هذا التطور وهدم الكليكوز علما أن الوسط أصبح غنيا بالحمض اللبني (Acide lactique).

★ نضع في قارورة محلول الكليكوز (5g/l). نزرع في هذا المحلول خميرة البيرة. ثم نضع التحضير في ماء ساخن (37°C) (يمثل الشكل 2 العدة التجريبية). بعد ذلك استُعملت عُدة ExAO لقياس تغير تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون والكحول الإيتيلي (الإيتانول Ethanol). يمثل الشكل 3، النتائج المحصل عليها.

2) حلل النتائج المحصل عليها خلال هذه التجربة.
3) فسر هذه النتائج ثم استنتج.
4) ماذا تستخلص من كل هذه المعطيات التجريبية؟

1) بعد 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (37°C) نلاحظ انخفاض قيمة ph أي ارتفاع قيمة حمضية الحليب. نستنتج من هذه الملاحظة أنه تم هدم الكليكوز المكون للاكتوز Lactose، وتحوله إلى حمض لبني، وذلك في غياب الأوكسجين. نتكلم ادن عن ظاهرة التخمر، وهو تخمر لبني La fermentation lactique.

2) نلاحظ في بداية التجربة، إن الوسط يتوفر على نسبة ضعيفة من الأكسجين، لكن هذه النسبة انخفضت تدريجيا إلى أن تنعدم بعد حوالي 200s، بالموازاة مع ذلك، ارتفعت نسبة ثنائي أكسيد الكربون طيلة مراحل التجربة، كما ظهر الإيتانول في الوسط ابتداء من الثانية 200 من بداية التجربة.

3) يدل استهلاك الأكسجين في بداية التجربة على أن خلايا الخميرة اعتمدت على ظاهرة التنفس الخلوي لهدم الكليكوز. لكن مباشرة بعد اختفاء الأكسجين في الوسط، بدأت خلايا الخميرة في طرح الإيتانول، واستمرت في طرح ثنائي أكسيد الكربون. نستنتج من هذا أنه تم هدم الكليكوز، وتحوله إلى إيتانول، وذلك في غياب الأوكسجين. نتكلم ادن عن ظاهرة التخمر، وهو تخمر كحولي La fermentation alcoolique.

4) تعمل مختلف الخلايا على استخلاص الطاقة اللازمة لنشاطها من المواد العضوية، وذلك من خلال نوعين من التفاعلات:
- ✓ التنفس الخلوي الذي يتجلى في تفاعلات حي هوائية (تحدث بوجود الأكسجين).
- ✓ التخمر الذي يتجلى في تفاعلات حي لاهوائية (تحدث في غياب الأكسجين).

② حصيلة:

تستعمل الخلايا الكليكوز كمستقلب طاقي، ويمكنها هدمه بطريقتين مختلفتين حسب ظروف الوسط:

- ✓ التنفس: في وسط حي هوائي Aérobie، يتم الهدم الكلي للكليكوز وتحويله إلى CO_2 وماء وهي مواد معدنية دون قيمة طاقية.
- ✓ التخمر: في وسط حي لاهوائي Anaérobie، يخضع الكليكوز لهدم غير تام، وتحويله إلى جزيئات عضوية لا تزال تخزن الطاقة الكيميائية، ونجد نوعين من التخمر:

- التخمر اللبني هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك تكون الحمض اللبني دون طرح CO_2.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3 - CHOH - COOH$$

- التخمر الكحولي هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك كحول هو الإيتانول مع طرح CO_2.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3 - CH_2OH + 2CO_2$$

II – انحلال الكليكوز على مستوى الجبلة الشفافة Le hyaloplasme

① تعرف البنيات الخلوية المتدخلة في التنفس والتخمر

أ - **تجارب وملاحظات:** أنظر الوثيقة 3.

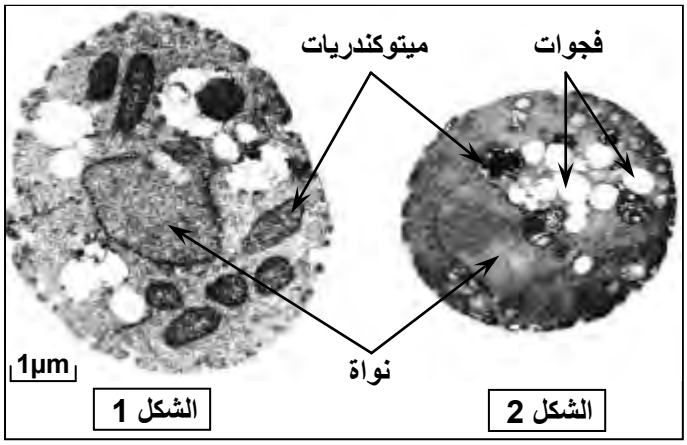
الوثيقة 3: البنيات الخلوية المتدخلة في التنفس والتخمر

خميرة البيرة فطر مجهري وحيد الخلية، يمكن أن يعيش في وسط حي هوائي ووسط حي لاهوائي.

★ توضع الخميرة في وسط غني بالأكسجين يحتوي على الكليكوز، فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر تضاعف كثيرا مع انخفاض كميتي الكليكوز والأكسجين، وارتفاع كميتي CO_2 وH_2O في الوسط. وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر غنية بعضيات خلوية تسمى الميتوكندريات (الشكل 1).

★ توضع الخميرة في وسط يفتقر للأكسجين يحتوي على الكليكوز، فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر زاد نسبيا، مع انخفاض كمية الكليكوز وارتفاع كمية CO_2، مع تكون كحول الايثانول C_2H_5OH في الوسط. وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر تحتوي على ميتوكندريات قليلة وضامرة (الشكل 2).

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



ب- **تحليل واستنتاج:**

يتبين من هذه المعطيات أنه في الظروف الحي هوائية، أي خلال ظاهرة التنفس، يتطلب هدم الكليكوز وجود عضيات خلوية خاصة هي الميتوكندريات (Mitochondries)، بينما في الظروف الحي لاهوائية، أي خلال ظاهرة التخمر، لا يتطلب هدم الكليكوز وجود الميتوكندريات.

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

② مراحل انحلال الكليكوز La glycolyse

أ - التركيب الجزيئي للكليكوز والـ ATP: أنظر الوثيقة 4.

تستخلص الخلايا الحية الطاقة انطلاقا من المدخرات القيتية كالسكريات، خاصة الكليكوز الذي يتعرض للانحلال على مستوى الجبلة الشفافة، لينتج مركبات عضوية كحمض البيروفيك Acide pyruvique، ومركبات طاقية كالأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP Adénosine triphosphate.

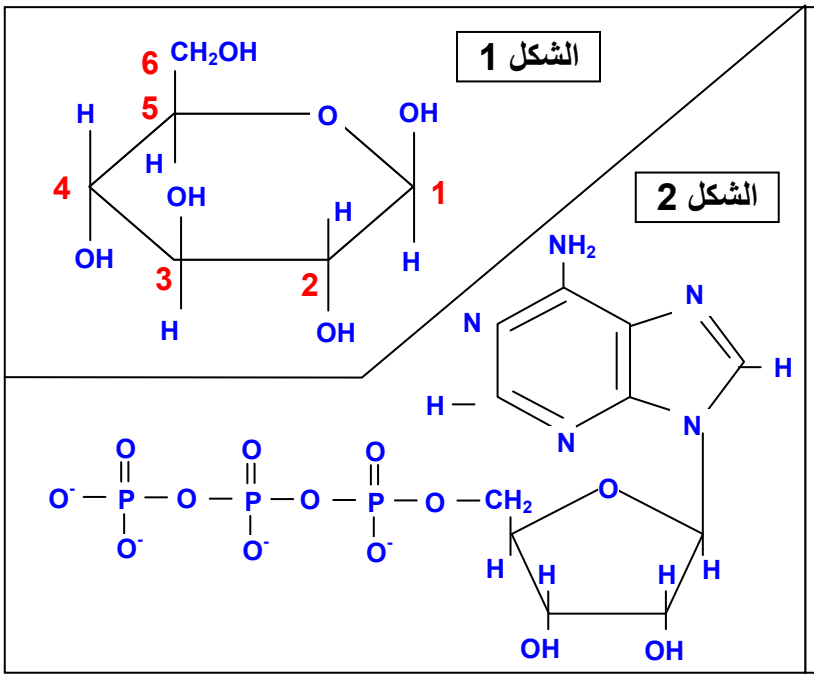
الوثيقة 4:

الشكل 1: التركيب الجزيئي للكليكوز:

الكليكوز $C_6H_{12}O_6$: يتكون من ذرات الكربون والأكسجين والهيدروجين. ترتبط ذرات الكربون فيما بينها بروابط تساهمية.

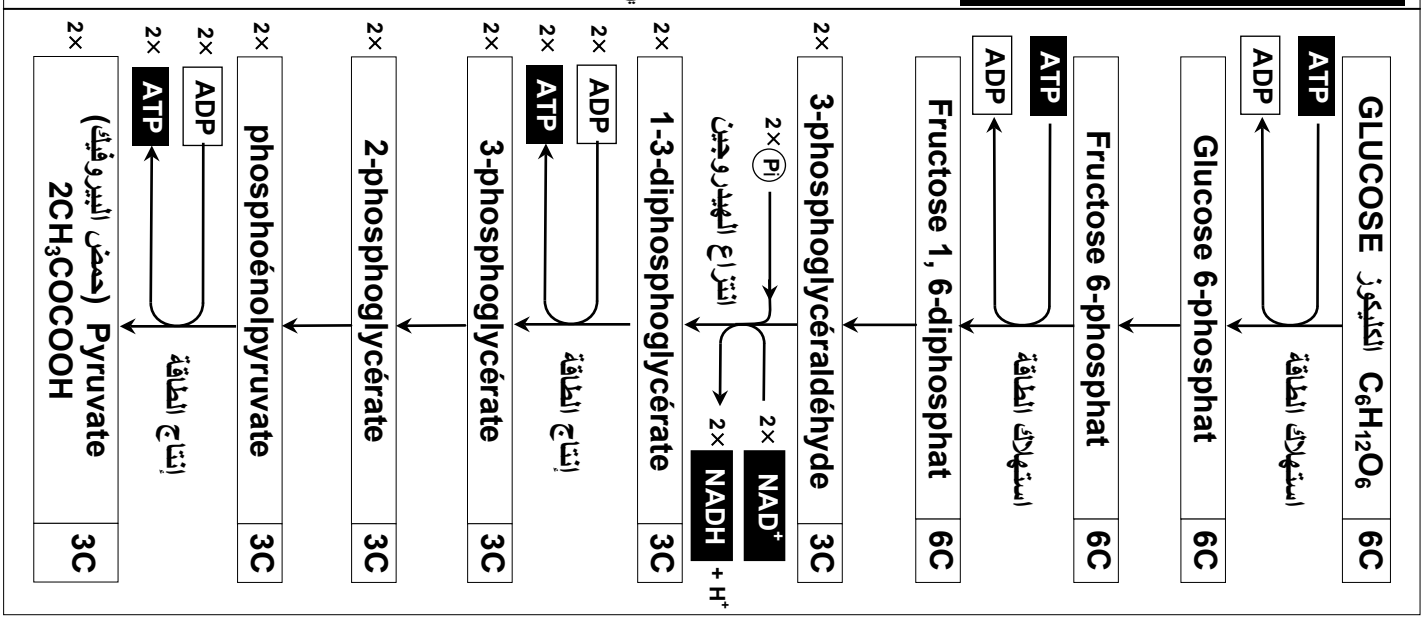
الشكل 2: التركيب الجزيئي لـ ATP:

الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP، جزيئة طاقية تتكون من قاعدة آزوتية وسكر ريبوزي، إضافة إلى ثلاث مجموعات فوسفاتية. تُخزن الروابط التساهمية بين المجموعات الفوسفاتية، طاقة مهمة، يتم توفيرها للخلية للقيام بمختلف أنشطتها وذلك بتحرير إحدى المجموعات الفوسفاتية، فيتحول الـ ATP إلى ADP (أدينوزين ثنائي الفوسفات).



ب- تفاعلات انحلال الكليكوز : أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5 : مراحل انحلال الكليكوز. صف مختلف التحولات التي تتعرض لها جزيئة الكليكوز خلال مراحل انحلالها



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

- **المرحلة الأولى:** هي مرحلة مستهلكة للطاقة، وذلك بحلمأة جزيئتي ATP، حيث يتم تثبيت مجموعات فوسفاتية على مستوى جزيئة الكليكوز، انطلاقا من جزيئتي ATP، لتتشكل في نهاية هذه المرحلة جزيئة فريكتوز 6,1 ثنائي الفوسفات، مع إنتاج جزيئتي ADP.

- **المرحلة الثانية:** خلال هذه المرحلة تنشطر جزيئة فريكتوز 6,1 ثنائي الفوسفات، إلى جزيئتي غليسيرألديهيد 3 فوسفات، تخضع كل من هاتين الجزيئتين لانتزاع الهيدروجين، ليتم اختزال جزيئتي NAD^+ إلى $NADH+H^+$، إضافة إلى تثبيت الفوسفات اللاعضوي Pi على كل جزيئة غليسيرألديهيد 3 فوسفات، لتعطي جزيئتي حمض غليسيري 3,1 ثنائي الفوسفات.

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADH + H^+$$

- **المرحلة الثالثة:** هي مرحلة منتجة للطاقة، حيث يتم تركيب الـ ATP من خلال تفسفر الـ ADP. إذ تسلم جزيئتا الحمض الغليسيري ثنائي الفوسفات، مجموعتيهما الفوسفاتية إلى ADP وتتحولان إلى جزيئتين 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:

انطلاقا من جزيئة واحدة من الكليكوز، يتم الحصول في نهاية انحلاله، على جزيئتين من حمض البيروفيك. مع تشكل جزيئتين $NADH+H^+$، وهي عبارة عن جزيئات ناقلة للإلكترونات يتم استغلالها لاحقا لإنتاج الطاقة. كما تتشكل أربع جزيئات ATP، و في المقابل، يتم استهلاك جزيئتي ATP، مما يجعل الحصيلة الطاقية لانحلال الكليكوز إيجابية، تتجلى في تركيب جزيئتي ATP بالنسبة لكل جزيئة كليكوز.

ويمكن كتابة التفاعل الكيميائي العام لانحلال الكليكوز كما يلي:

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi + 2NAD^+ \longrightarrow 2CH_3COCOOH + 2ATP + 2(NADH+H^+)$$

III – التأكسدات التنفسية ودور الميتوكندريات.

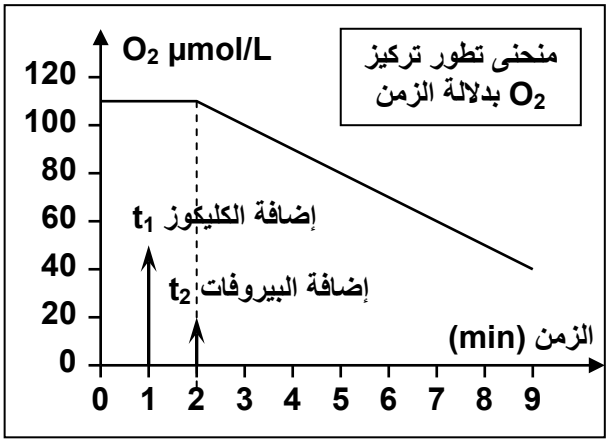
① ماذا يحدث على مستوى الميتوكندري؟

أ - معطيات تجريبية:

لمعرفة مصير حمض البيروفيك الناتج عن انحلال الكليكوز، أنجزت التجارب المبينة على الوثيقة 6.

الوثيقة 6 : مصير حمض البيروفيك بعد انحلال الكليكوز.

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

ب- تحليل واستنتاج:

1) قبل إضافة الكليكوز إلى المفاعل الإحيائي في الزمن t_1، يكون تركيز الأكسجين مستقرا، وعند إضافة الكليكوز في الزمن t_1 لا يتغير تركيز الأكسجين. أما عند إضافة حمض البيروفيك فإننا نلاحظ انخفاضا في تركيز الأكسجين في المفاعل الإحيائي.

2) يدل تغير كمية الأوكسجين في الوسط على استهلاكه من طرف الميتوكندريات خلال نشاطها.

3) استهلاك الأكسجين يدل على أن الأمر يتعلق بظاهرة التنفس الخلوي، والتي تتم على مستوى الميتوكندريات.

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

إن التفاعلات الكيميائية التي تطرأ على حمض البيروفيك بوجود الأوكسجين، داخل الميتوكندري، تشكل التأكسدات التنفسية وهي تفاعلات حي هوائية.

ت- حصيلة:

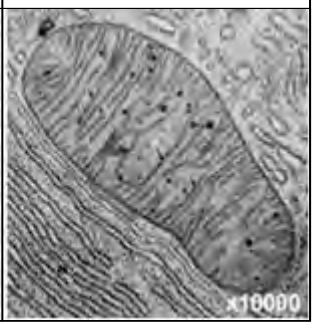
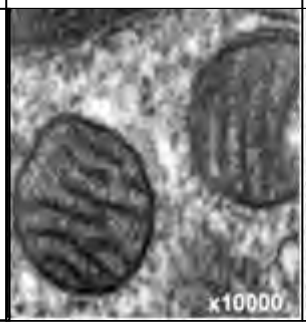
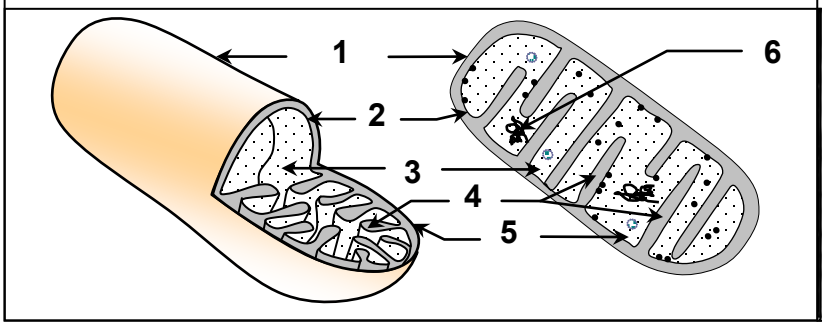
يتعرض مستقلب الكليكوز إلى تفككين:

- الأول خارج الميتوكندري على مستوى الجبلة الشفافة، ولا يحتاج إلى الأوكسجين، ويسمى انحلال الكليكوز.
- الثاني على مستوى الميتوكندري ويحتاج إلى الأوكسجين ويسمى التأكسدات التنفسية. ويعتبر حمض البيروفيك هو المستقلب الذي يتعرض للتأكسدات التنفسية.

② بنية ومكونات الميتوكندريات:

أ - فوق بنية الميتوكندري: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: فوق بنية الميتوكندري. تظهر الوثيقة صورا الكترونوغرافية للميتوكندريات ورسوما تفسيرية لها. اعتمادا على هذه المعطيات تعرف بنية الميتوكندري.

شكل 1	شكل 2	شكل3
		

الشكل 1 = ملاحظة الكترونغرافية لمقطع طولي للميتوكندري.
الشكل 2 = ملاحظة الكترونغرافية لمقطع عرضي للميتوكندري.
الشكل 3 = رسم تخطيطي تفسيري لفوق بنية الميتوكندري.

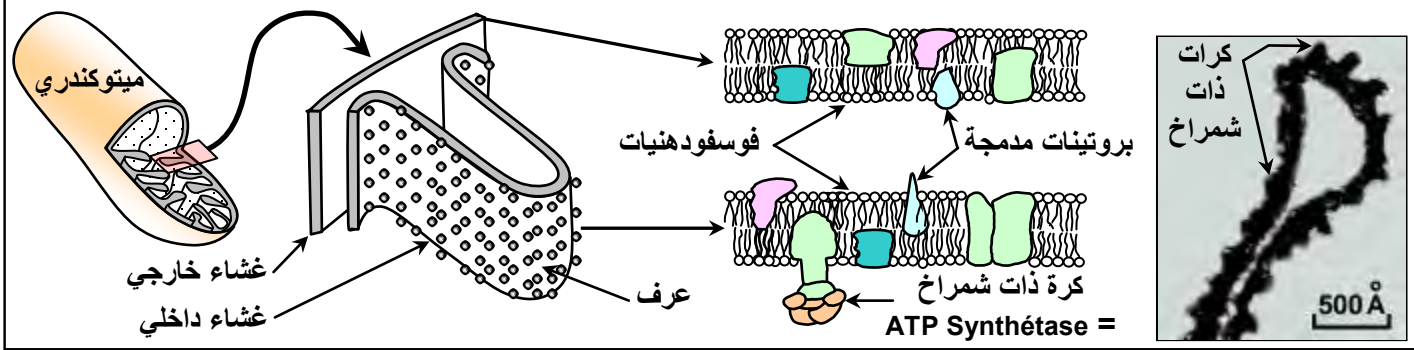
عناصر الشكل 3 من الوثيقة: 1= غشاء خارجي. 2= غشاء داخلي. 3= ماتريس. 4= أعراف. 5= حيز بيغشائي. 6= ADN.

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

ب- **التركيب البيوكيميائي للميتوكندري:** أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: التركيب البيوكيميائي للميتوكندري.

★ يعطي الشكل أسفله من الوثيقة صورة الكترونغرافية للغشاء الداخلي للميتوكندري، بالإضافة إلى رسم تفسيري للبنية الجزيئية للغشاءين الداخلي والخارجي للميتوكندري.



1) ماذا تستخلص من مقارنة البنية الجزيئية للغشاءين الداخلي والخارجي للميتوكندري؟

★ يعطي الجدول التالي بعض مميزات أهم مكونات الميتوكندري:

الغشاء الخارجي	الغشاء الداخلي	الماتريس
▪ بروتينات 62 %. ▪ دهنيات 38 % ذات طبيعة شبيهة بتلك الموجودة بالغشاء السيتوبلازمي.	▪ بروتينات 80 %. ▪ دهنيات 20 %، طبيعتها مختلفة عن الجزيئات الموجودة بالغشاء السيتوبلازمي. ▪ أنزيمات تساهم في تفاعلات أكسدة اختزال. ▪ ATP سنتتاز.	▪ جزيئات صغيرة كربونية. ▪ أنزيمات متنوعة. ▪ ناقلات الالكترونات والبروتونات. ▪ ATP و ADP و Pi.

2) قارن التركيب الكيميائي لكل من الغشاء الداخلي والخارجي للميتوكندري والماتريس، واربط بين هذه المعطيات وبنية الميتوكندري.

1) و2) من خلال معطيات الوثيقة يتبين أن هناك اختلاف في التركيب بين الغشاء الخارجي، والداخلي، والماتريس، إذ تكون الماتريس غنية بالأنزيمات المزيلة للهيدروجين والمزيلة للكربون، غنية بناقلات البروتونات والالكترونات وATP، أما الغشاء الداخلي فيتميز بوجود مركبات أنزيمية مسؤولة عن تفسفر ADP إلى ATP. وتدخل هذه الأنزيمات في تركيب الكرات ذات شمراخ (sphère pédonculée).

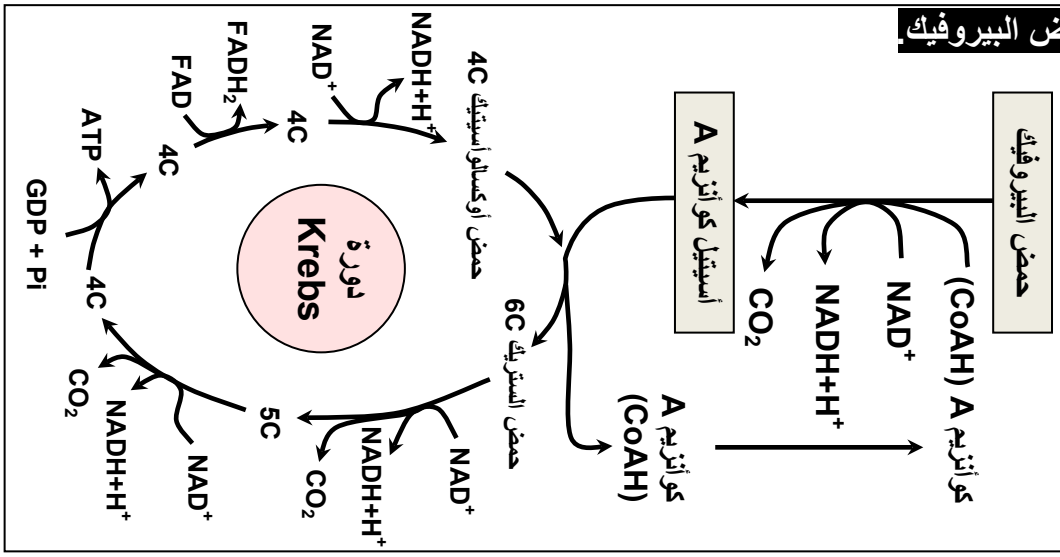
IV – دور التأكسدات التنفسية في إنتاج ATP:

① تفاعلات هدم حمض البيروفيك: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: تفاعلات هدم حمض البيروفيك.

يتعرض حمض البيروفيك داخل الميتوكندري للهدم عبر مجموعة من التفاعلات. تلخص الوثيقة أمامه مراحل هذه التفاعلات.

صف من خلال هذه الوثيقة، مختلف التفاعلات التي تتعرض لها جزيئة حمض البيروفيك على مستوى الميتوكندري.



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

أ - المرحلة الأولى: تكون الأسيتيل كوأنزيم A.

تحت تأثير أنزيمات نوعية، مزيلة للهيدروجين ومزيلة للكربون، يتكون الأسيتيل كوأنزيمA في الماتريس، انطلاقا من حمض البيروفيك. مع تشكل جزيئة واحدة من $NADH+H^+$، وطرح جزيئة واحدة من CO_2.

$$CH_3CO-COOH + Co\text{-}AH + NAD^+ \longrightarrow CH_3CO-CoA + NADH_2 + CO_2$$

حمض البيروفيك — كوأنزيم A — أسيتيل كوأنزيم A

ب- المرحلة الثانية: دورة Krebs.

هي دورة بيوكيميائية تتكون من سلسلة من تفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين.

- ينضم أستيل كوأنزيم A إلى حمض أوكسالوأسيتيك (4C) ، ليعطي حمض السيتريك (6C).
- يحرر الكوأنزيم A، قصد تثبيت شق أستيل جديد.
- يخضع حمض السيتريك لتفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين، بتواجد أنزيمات خاصة، لنحصل في الأخير على حمض الأوكسالوأسيتيك، هذا الأخير يعاود التفاعل مع أستيل كوأنزيمA.
- خلال دورة Krebs يتم تحرير CO_2، واختزال NAD^+ وFAD، وتركب ATP انطلاقا من أكسدة GDP.

$$NAD^+ + 2(H^+ + e^-) \longrightarrow NADH + H^+$$

$$FAD + 2(H^+ + e^-) \longrightarrow FADH_2$$

التفاعل الإجمالي لهدم حمض البيروفيك في الماتريس:

$$CH_3\text{-}CO\text{-}COOH + 4NAD^+ + FAD + GDP + P_i + 3H_2O \longrightarrow 4NADH+H^+ + ATP + 3CO_2 + FADH_2$$

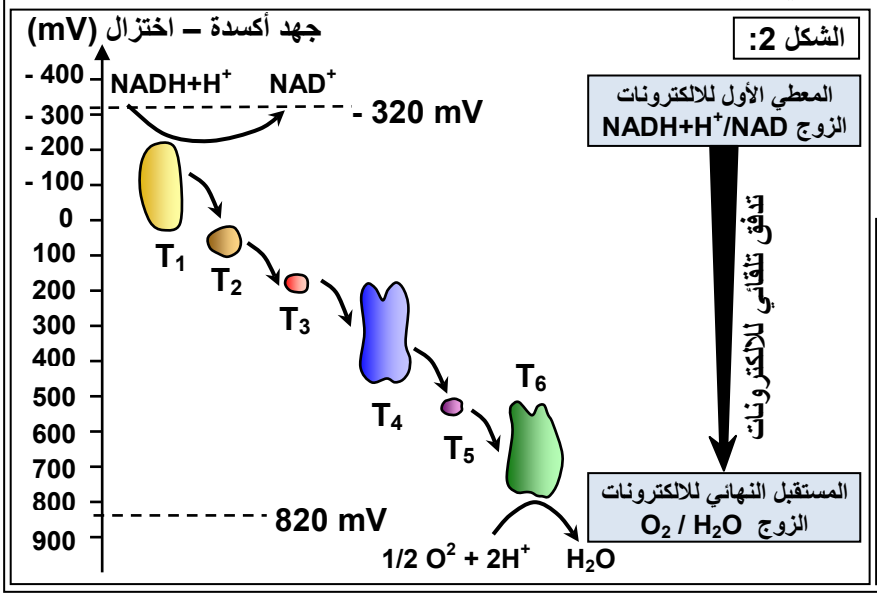
② مصير جزيئات $NADH+H^+$ و$FADH_2$:

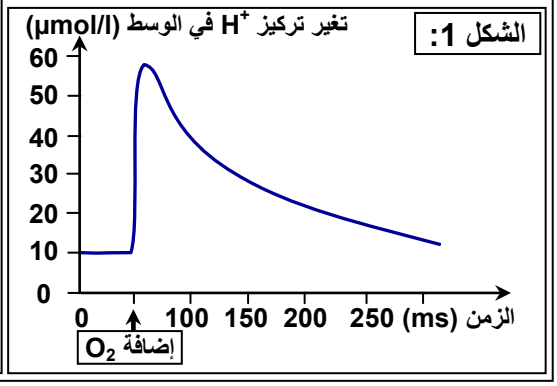
ينتج عن تفاعلات انحلال الكليكوز على مستوى الجبلة الشفافة، وهدم حمض البيروفيك على مستوى الماتريس، عدد كبير من النواقل المختزلة $NADH+H^+$، و$FADH_2$. فما مصير هذه الجزيئات التي تعتبر مُخزِّنة للطاقة؟

الوثيقة 10: دور بروتينات السلسلة التنفسية في أكسدة النواقل المختزلة.

للتعرف على الدور الذي تلعبه بروتينات السلسلة التنفسية، نقترح دراسة المعطيات التجريبية التالية:
تم وضع ميتوكندريات في شكل محلول عالق في وسط مغلق خال من الأكسجين O_2، ثم تم تتبع تغير تركيز البروتونات H^+ قبل وبعد إضافة الأكسجين (الشكل 1). كما نعطي قيم جهد الأكسدة اختزال لدى بروتينات السلسلة التنفسية (T).

انطلاقا من هذه المعطيات، ومعطيات الوثيقة 11 ، وضح كيف تحصل الأكسدة التنفسية، وأبرز أهميتها في تكون ممال البروتونات H^+ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكندري.





★ **الشكل 1:**

⇦ قبل إضافة الأكسجين إلى الوسط، كان تركيز البروتونات H^+ ثابت لكن مباشرة بعد إضافة الأكسجين إلى الوسط، عرف تركيز البروتونات H^+ ارتفاعا سريعا ليبدأ بالانخفاض من جديد بشكل تدريجي.

⇦ يفسر ارتفاع تركيز البروتونات H^+ في الوسط بعد إضافة O_2، بعملية أكسدة النواقل المختزلة على مستوى الماتريس، الشيء الذي يؤدي إلى تحرير H^+ ونقله إلى الحيز البيغشائي ومنه إلى الوسط (الغشاء الخارجي نفوذ لـ H^+).

$$TH_2 \text{ ----------> } T + 2H^+ + 2e^-$$

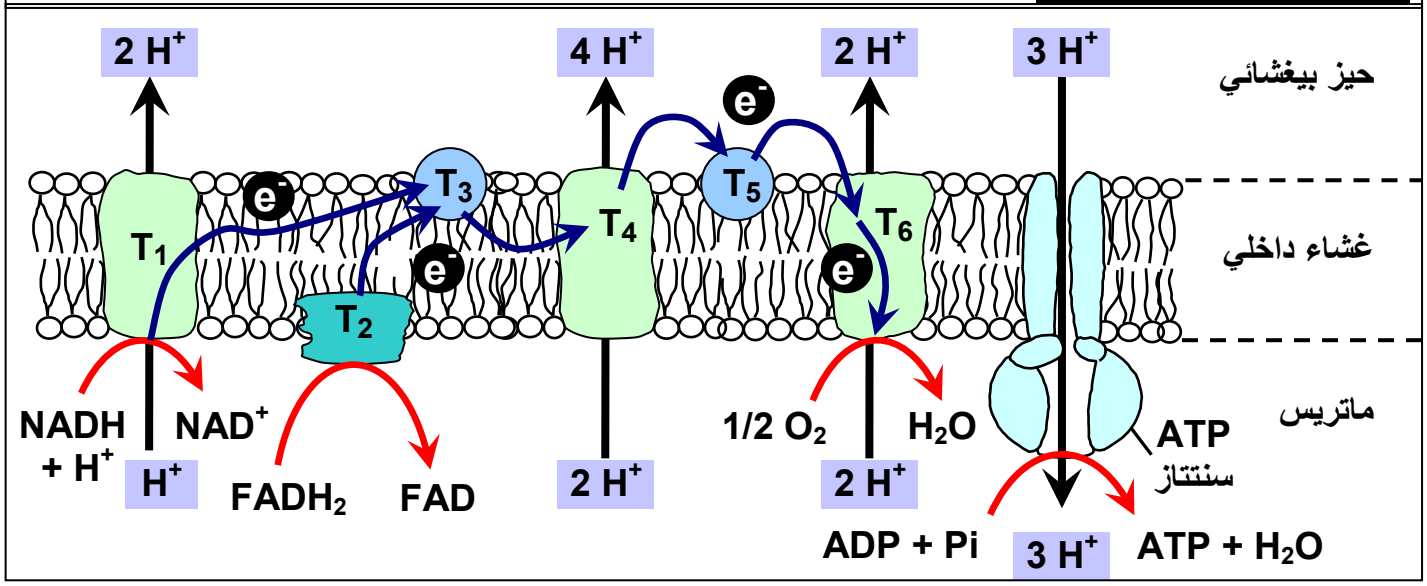
بعد ذلك يفسر الانخفاض التدريجي لـ H^+ بعودة هذه البروتونات إلى داخل الماتريس، لكن بشكل بطيء.

★ **الشكل 2:**

⇦ يتميز الغشاء الداخلي للميتوكندري بوجود بروتينات شكل السلسلة التنفسية، تتميز هذه الجزيئات باختلاف جهد الأكسدة اختزال الخاص بها، الشيء الذي يمكنها من تقبل وإعطاء الإلكترونات.

⇦ إن بروتينات السلسلة التنفسية تتميز بجهد أكسدة اختزال مختلف، الشيء الذي يمكن الجزيئات ذات الجهد أكسدة اختزال الأكبر من انتزاع الإلكترونات من الجزيئات ذات جهد الأكسدة اختزال الأقل، وبالتالي فالإلكترونات تنتقل من الناقل ذي جهد الأكسدة اختزال الأضعف (الزوج $NADH+H^+/NAD^+$)، باتجاه البروتين T_1، ثم T_2 ثم T_3 إلى أن تصل إلى آخر متقبل للإلكترونات ذي جهد الأكسدة اختزال الأكبر (الزوج O_2/H_2O)، والذي يتم اختزاله إلى جزيئة الماء H_2O وتتم هذه العملية داخل الماتريس: $1/2\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \text{ ----------> } H_2O$
يسمى هذا التدفق للالكترونات بالأكسدة التنفسية (أنظر الوثيقة 11).

الوثيقة 11: الأكسدة التنفسية.



⇦ يمكن كتابة التفاعل الإجمالي على الشكل التالي:

$$TH_2 + 1/2\ O_2 \text{ ----------> } T + H_2O$$

⇦ خلال مرور الالكترونات من أول معط $NADH+H^+$ إلى أخر 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.

③ اختزال الأكسجين والتفسفر المؤكسد: la phosphorylation oxydative

أ - معطيات تجريبية:

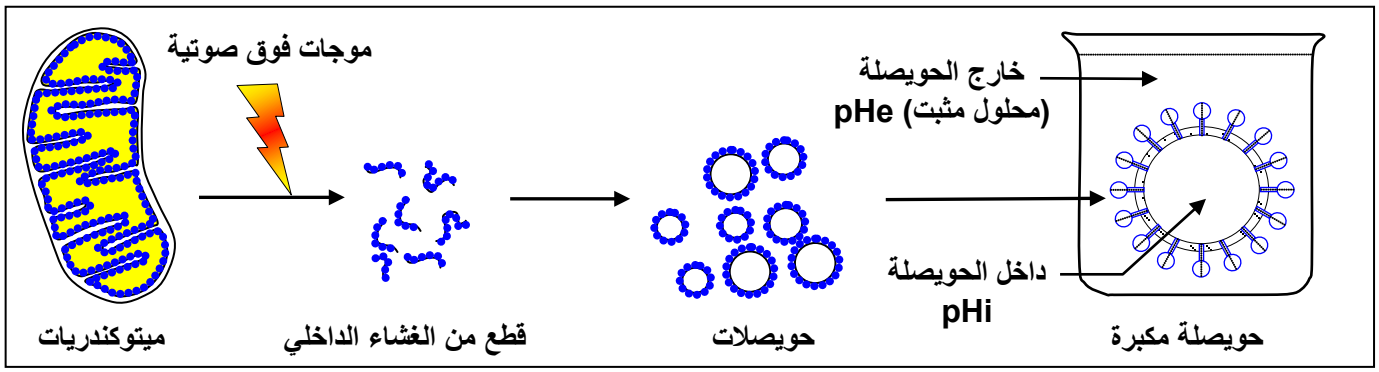
للكشف عن شروط إنتاج ATP على مستوى الكرات ذات شمراخ، نقوم بالتجارب المبينة على الوثيقة 12.

الوثيقة 12: الكشف عن دور الكرات ذات شمراخ. (نقل البروتونات والتفسفر المؤكسد لجزيئة ATP).

✱ التجربة a:

بعد عزلها، تخضع الميتوكندريات لفعل الموجات فوق الصوتية مما يؤدي إلى تقطيعها وجعل أعراف الغشاء الداخلي تنقلب وتكون حويصلات مغلقة، تكون الكرات ذات شمراخ المرتبطة بها موجهة نحو الخارج. توضع هذه الحويصلات بحضور ADP وPi 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 للميتوكندري نفوذا للبروتونات، في هذه الحالة يلاحظ أن اختزال الأكسجين يتم بصفة عادية بينما يتوقف تفسفر ADP.

انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية استخرج شروط تركيب ATP داخل الميتوكندري. ثم أبرز العلاقة بين اختزال الأوكسجين والتفسفر المؤكسد.

ب- تحليل واستنتاج:

✓ تبين التجربة a أن فسفرة ADP إلى ATP، يتم على مستوى الكريات ذات شمراخ، 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 للميتوكندري ضروري لإنتاج ATP، فهو المسئول 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.

ت- خلاصة:

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

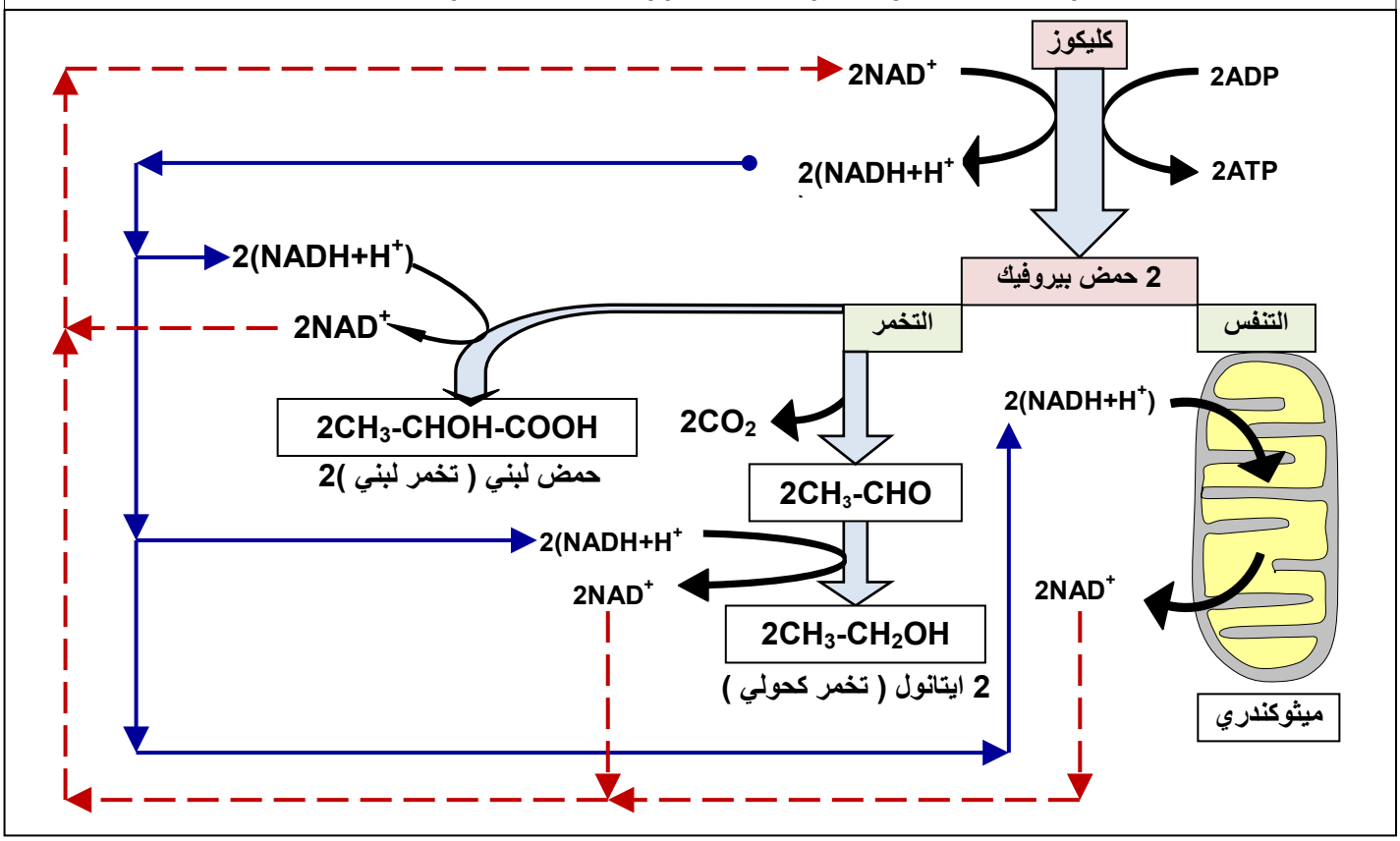
إن أكسدة جزيئة واحدة من $NADH+H^+$، تؤدي إلى إنتاج ثلاث جزيئات من ATP.

تحدث نفس المراحل بالنسبة للناقل المختزل $FADH_2$، ويتجلى الاختلاف فقط بكون البروتين T2 من السلسلة التنفسية هو الذي يقوم بأكسدة الناقل المختزل $FADH_2$، الشيء الذي ينتج عنه تركيب جزيئتين فقط من ATP.

ملاحظة: مصير حمض البيروفيك خلال التخمر. أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: مصير حمض البيروفيك بعد انحلال الكليكوز.

انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة، بين ما هو مصير حمض البيروفيك خلال التخمر.



بعد انحلال الكليكوز الذي ينتج عنه جزيئتين $NADH+H^+$ وجزيئتين ATP وجزيئتين حمض البيروفيك، وفي غياب الأكسجين، تقوم بعض الخلايا بتفاعلات حي لاهوائية على مستوى الجبلة الشفافة للخلية، تقوم بالهدم الجزئي لحمض البيروفيك، ينتج عنه جزيئات عضوية صغيرة، إضافة إلى كمية ضعيفة من الطاقة. هذه التفاعلات هي:

- ✓ التخمر اللبني: تتحول جزيئتي حمض البيروفيك، إلى جزيئتين من الحمض اللبني **$2CH_3$-CHOH-COOH** مع أكسدة $NADH+H^+$، إلى NAD^+ الضروري لاستمرار انحلال الكليكوز.
- ✓ التخمر الكحولي: تتحول جزيئتي حمض البيروفيك إلى جزيئتين من كحول إيتيلي **$2CH_3$-CH_2OH** (إيثانول)، مع أكسدة $NADH+H^+$، إلى NAD^+، إضافة إلى طرح CO_2.

V – مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس والتخمر:

① قياس مردودية التنفس والتخمر :

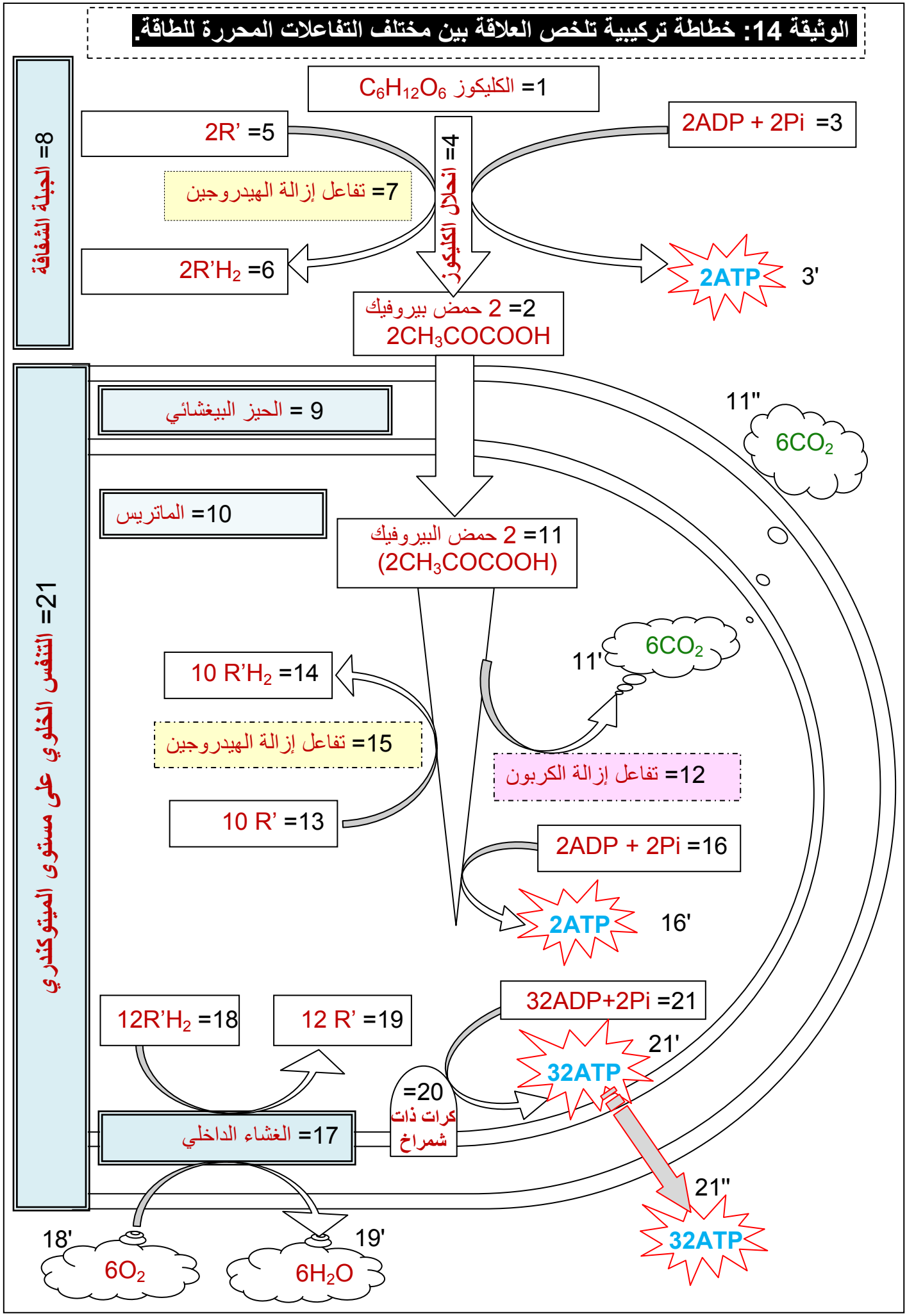
أ - المردود الطاقي للتنفس:

اعتمادا على ما سبق وعلى معطيات الوثيقة 14 بعد إتمامها:

1) حدد عدد جزيئات ATP المنتجة انطلاقا من الأكسدة الكاملة لجزيئة واحدة من الكليكوز، في حالة التنفس علما أن أكسدة جزيئة واحدة من $NADH+H^+$، تمكن من تركيب ثلاث جزيئات من ATP. وأكسدة جزيئة واحدة من $FADH_2$، تمكن من تركيب جزيئتين من ATP. وأكسدة جزيئة واحدة من GDP تمكن من تركب جزيئة واحدة من ATP.

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

الوثيقة 14: خطاطة تركيبية تلخص العلاقة بين مختلف التفاعلات المحررة للطاقة.



1) إن الأكسدة الكاملة لجزيئة الكليكوز، تعطي:

- خلال انحلال الكليكوز نحصل على $2(NADH+H^+)$ + 2ATP + جزيئتين من حمض البيروفيك.
- خلال دورة Krebs يتكون $3(NADH+H^+)$ + $1(FADH_2)$ + 1ATP. ادن بالنسبة لجزيئتين من حمض البيروفيك، الناتجتين عن انحلال جزيئة واحدة من الكليكوز، يتكون $8(NADH+H^+)$ + $2(FADH_2)$ + 2ATP.

إذن عدد ATP المركبة عند استهلاك جزيئة واحدة من الكليكوز هو:

4 ATP	←----------	4 ATP
30 ATP	←----------	10 $(NADH+H^+)$
4 ATP	←----------	$2(FADH_2)$

المجـــمـــوع:
38 ATP

ملاحظة: نظريا نحصل على 38 ATP، لكن في الواقع نحصل على ATP36 فقط لأن نواقل $NADH+H^+$ الناتجة في الجبلة الشفافة لا تدخل إلى الميتوكندري، ولكن تعوض بنواقل $2FADH_2$، باستثناء خلايا القلب والكبد حيث تعوض بنواقل $NADH+H^+$.

2) حساب المردود الطاقي للتنفس:

بما أن مول واحد من الكليكوز يركب 38 ATP، وكل ATP يؤدي إلى تحرير طاقة تساوي 30.5KJ. فالطاقة التي يحررها مول واحد من الكليكوز هي: 1159 KJ = (30.5 x 38)

ادن المردود الطاقي للتنفس هو:

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

ب- المردود الطاقي للتخمر:

علما أن استهلاك جزيئة واحدة من الكليكوز في حالة التخمر اللبني، يحرر فقط جزيئتين من ATP، فان المردود الطاقي للتخمر هو:

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

② مقارنة وتفسير:

- أثناء التنفس يتحلل المستقلب (الكليكوز) كليا، فيطرح مجموع الطاقة الكامنة فيه، على شكل طاقة كيميائية (1159KJ)، وطاقة حرارية (1701KJ)، مع تكوين حثالة معدنية ($CO_2 + H_2O$) خالية من الطاقة.

- أثناء التخمر، لا يتحلل المستقلب (كليكوز) كليا، وبالتالي لا يطرح إلا جزء من الطاقة الكامنة (167 KJ). جزء منها على شكل طاقة كيميائية (61KJ)، وجزء على شكل طاقة حرارية (106KJ)، مع حثالة عضوية (حمض لبني)، مازالت تحتوي على طاقة كامنة. ((2860 – 167)/2 = 1346.5 KJ/acide lactique).

الوحدة الأولى، الفصل الثاني:
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 إذن من الظواهر المستهلكة للطاقة.

- **كيف يتم التقلص العضلي؟ وما هي البنيات المسئولة عنه؟**
- **كيف يتم تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية؟**
- **كيف يتم تجديد الـ ATP على مستوى العضلة؟**

I – الدراسة التجريبية للتقلص العضلي.

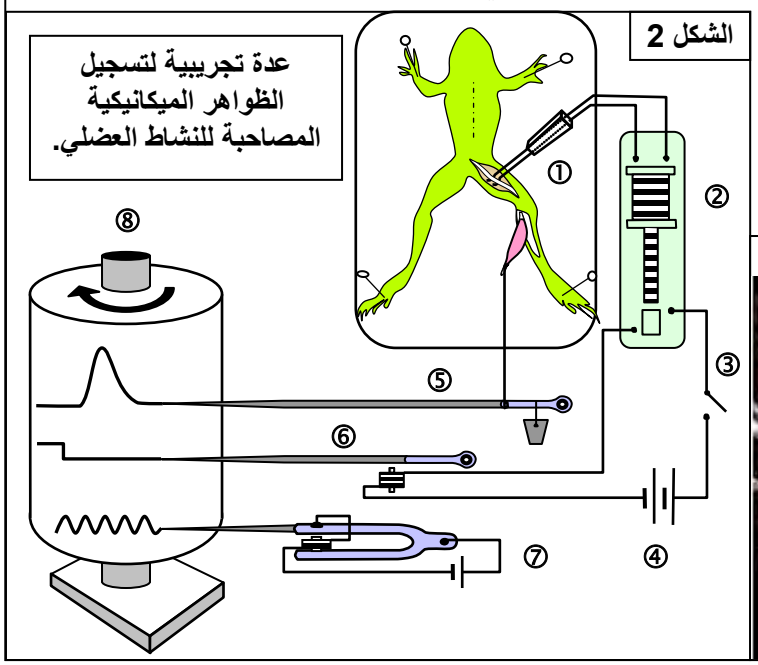
① تسجيل التقلص العضلي عند الضفدعة: أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تسجيل التقلص العضلي للطرف الخلفي لضفدعة.

لدراسة التقلص العضلي، نأخذ ضفدعة، نخرب دماغها ونخاعها الشوكي،لإزالة كل ردود الفعل الإرادية واللاإرادية. بعد تثبيتها على لوحة خشبية، نشرح الطرف الخلفي لإبراز العصب الوركي (الشكل 1)، نقطع وتر العقب لعضلة بطن الساق، ونوصله بجهاز تسجيل التقلص العضلي (الشكل 2). 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.

انطلاقا من تحليل معطيات الوثيقة، استخرج الشروط التجريبية لتسجيل التقلص العضلي.



الشكل 1: تحضير عضلة بطن ساق ضفدعة

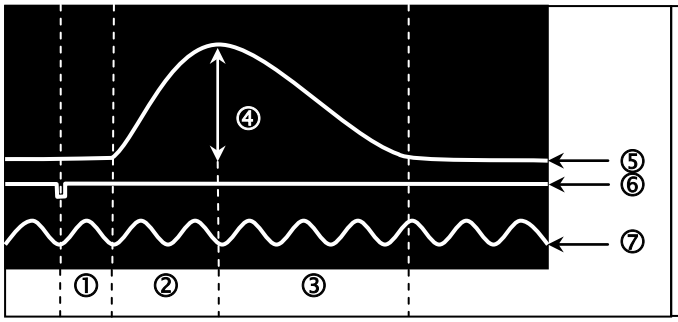
① = مساري التهييج، ② = مهيج، ③ = قاطع التيار الكهربائي، ④ = مصدر التيار الكهربائي، ⑤ = قلم مسجل، ⑥ = مسجل إشارة التنبيه، ⑦ = شوكة رنانة لتسجيل إشارة الزمن، ⑧ = أسطوانة مسجلة

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.
- ✓ التهييج يكون إما مباشرا على مستوى عضلة بطن الساق، أو عن طريق عصبها الوركي.
- ✓ يجب ضبط شدة التهييج أو التنبيه، المدة، وتردد التهييج وكذلك سرعة دوران الأسطوانة.

② استجابة العضلة للتهييج الكهربائي:

أ - استجابة العضلة لاهاجة منفردة: أنظر الوثيقة 2.



الوثيقة 2: استجابة العضلة لتهييج وحيد.

تعطي الوثيقة أمامه تسجيلا لرعشة 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 التهييج ⑦ = إشارة الزمن

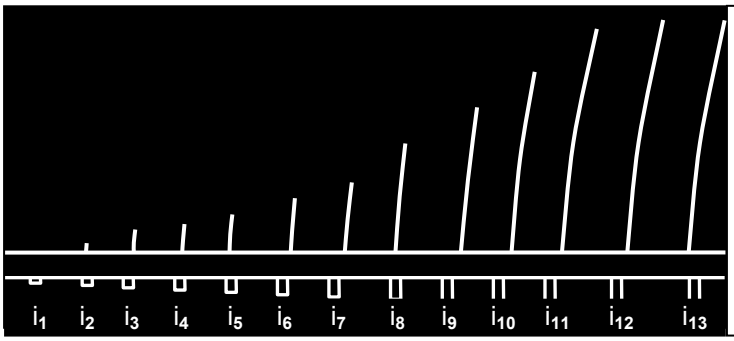
★ عند تسليط اهاجة فعالة، تستجيب العضلة للاهاجة، فنقول أنها هيوجة (Excitable)، ولها خاصية الاهتياجية. كما تستجيب بالتقلص، فنقول أنها قلوصة Contractile، وتسمى هذه الخاصية بالقلوصية La contractilité.

★ عند تطبيق اهاجة منفردة، نحصل على تقلص قصير الأمد، معزول، وبسيط، نتكلم عن رعشة عضلية (Secousse musculaire). والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاث مراحل:

- فترة الكمون: هي الفترة الزمنية الفاصلة بين لحظة الاهاجة (حادث التنبيه) وبداية الاستجابة.
- مرحلة التقلص: خلالها يتم تقلص العضلة، حيث ينخفض طول العضلة ويرتفع توترها (زيادة الوسع).
- مرحلة الارتخاء: خلالها تسترجع العضلة أبعادها الأولية (انخفاض الوسع).

ملحوظة: يتغير شكل التخطيط العضلي حسب سرعة الأسطوانة المسجلة.

ب- استجابة العضلة لاهاجات متباعدة ذات شدة متصاعدة: أنظر الوثيقة 3.



الوثيقة 3: استجابة العضلة لاهاجات منفردة.

عندما نعرض العضلة لسلسلة تهييجات منعزلة ومتباعدة ومتزايدة الشدة (i_1,i_2...i_{13})، نحصل على المخطط العضلي أمامه. (تدار الأسطوانة المسجلة يدويا بين التنبيهات).

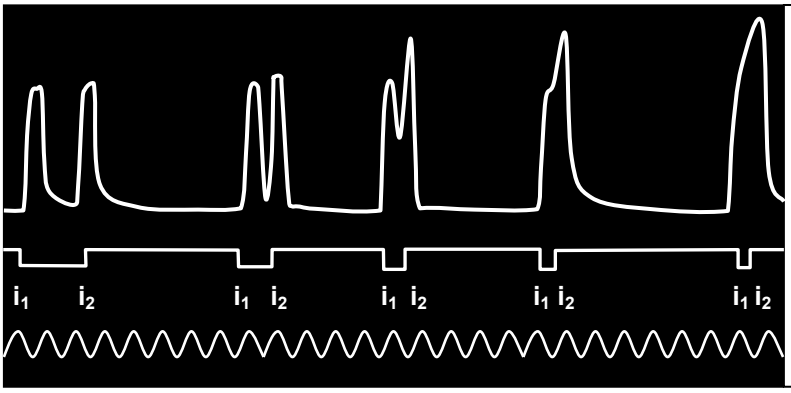
انطلاقا من تحليل هذه المعطيات، اربط العلاقة بين شدة التهييج ووسع الاستجابة العضلية.

★ **التحليل:** بعد التهييج i_1، لا نحصل على أي استجابة عضلية، لكن ابتداء من التهييج i_2 نحصل على استجابات، تتمثل في رعشات عضلية، يزداد وُسعها تدريجيا مع زيادة شدة التهييج. لكن ابتداء من التهييج i_{12} يبقى وسع الاستجابة ثابتا رغم زيادة شدة التهييج.

★ **التفسير:**

- بعد التهييج i_1، ليس هناك تسجيل عضلي لكون هذه الشدة تعتبر غير فعالة (تحت بدئية). لكن الإهاجة i_2 تُحدث رعشة عضلية، فتسمى بذلك عتبة التهييج (Seuil d'excitation) أو الريوباز (Rhéobase)، وهي أقل شدة إهاجة تُسبب حدوث التقلص العضلي.
- بعد الإهاجة i_2، وكلما ازدادت شدة الإهاجة، يزداد وُسع الرعشات العضلية، مما يُفسَّر بكون العضلة تتكون من وحدات بنيوية قابلة للتقلص، حيث يزداد عدد الوحدات المتقلصة كلما ازدادت شدة الاهاجة، فيكون تقلص العضلة أقوى.
- ابتداء من الإهاجة i_{12} يبقى وُسع الرعشات ثابتا، الشيء الذي يُفسَّر بكون كل الوحدات المُكونة للعضلة أصبحت مُتقلصة.

ت- **استجابة العضلة لاهاجتين متتاليتين:** أنظر الوثيقة 4



الوثيقة 4: استجابة العضلة لاهاجتين متتاليتين.

نعرض العضلة لاهاجتين فعالتين متتاليتين من نفس الشدة، مع تغيير المدة الفاصلة بينهما (المدة الفاصلة من اليسار إلى اليمين: 90ms, 50ms, 40ms, 30ms, 20ms).

يعطي الشكل أمامه، المخططات العضلية المحصل عليها.

حلل التسجيل المحصل عليه، واربط العلاقة بين المدة الفاصلة بين الاهاجتين المتتاليتين ومظهر الرعشات العضلية.

★ **الحالة الأولى:** إذا وقع التهييج الثاني بعد انتهاء الاستجابة الأولى، نحصل على رعشتين عضليتين متماثلتين ومستقلتين لهما نفس الوسع.

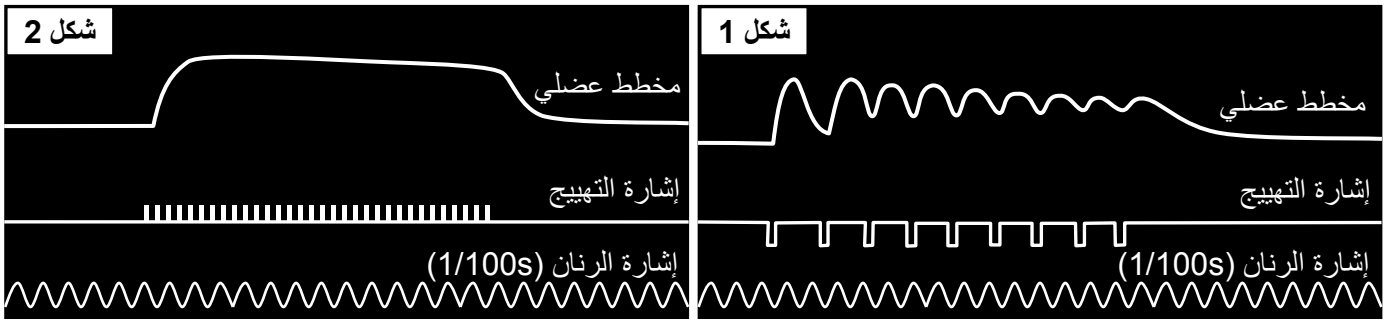
★ **الحالة الثانية:** إذا وقع التهييج الثاني خلال مرحلة ارتخاء الاستجابة الأولى، يكون وسع الاستجابة الثانية أكبر من وسع الاستجابة الأولى، كما يبقى المنحنيان منفصلان. نتكلم عن الالتحام غير التام.

★ **الحالة الثالثة:** إذا وقع التهييج الثاني خلال مرحلة تقلص الاستجابة الأولى، يلاحظ تراكب المنحنيين. نتكلم عن الالتحام التام، يكون فيه وسع التوتر الاجمالي أكبر من وسع التوتر خلال رعشة معزولة.

ث- **استجابة العضلة لاهاجات متتالية:** أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: استجابة العضلة لاهاجات متتالية.

نعرض العضلة إلى سلسلة اهاجات فعالة من نفس الشدة، متباعدة زمنيا (الشكل 1)، أو متقاربة (الشكل 2).
صف التسجيلين المحصل عليهما، ثم استنتج مفهوم الكزاز التام والكزاز الناقص.

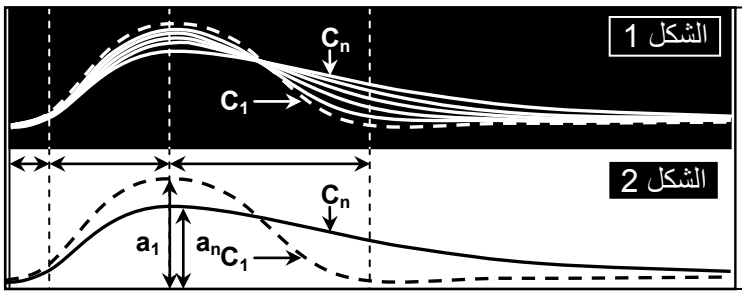


عندما نعرض العضلة لسلسلة من الاهاجات المتتالية، نلاحظ حالتين حسب تردد الاهاجات:

الشكل 1: عندما يكون تردد التهييجات ضعيفة نحصل على تسجيل مكون من ذبذبات متتالية، نسمي هذا التقلص الكزاز الناقص (Tétanos imparfait)، والذي يفسر بالتحام غير تام للرعشات العضلية، لأن كل تهييج يحدث خلال فترة الارتخاء للاستجابة السابقة.

الشكل 2: عندما يكون تردد التهييجات قوي، نحصل على تسجيل منبسط مستقيم، نسمي هذا التقلص الكزاز التام (Tétanos parfait)، والذي يفسر بالتحام تام للرعشات العضلية، لأن كل تهييج يأتي في فترة التقلص للاستجابة السابقة.

ملاحظة: استجابة العضلة المتعبة. أنظر الوثيقة 6.



الوثيقة 6: استجابة العضلة المتعبة.

نخضع العضلة لسلسلة اهاجات من نفس الشدة، لمدة طويلة، فنسجل التخطيط العضلي الممثل على الشكل 1 (C_1 إلى C_n هي رعشات عضلية). أما الشكل 2 فيمثل رسما للرعشة الأولى C_1، والرعشة الأخيرة C_n.
حدد من خلال الشكلين فيم يتمثل العياء العضلي؟

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

II – الظواهر التي تصاحب التقلص العضلي.

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.

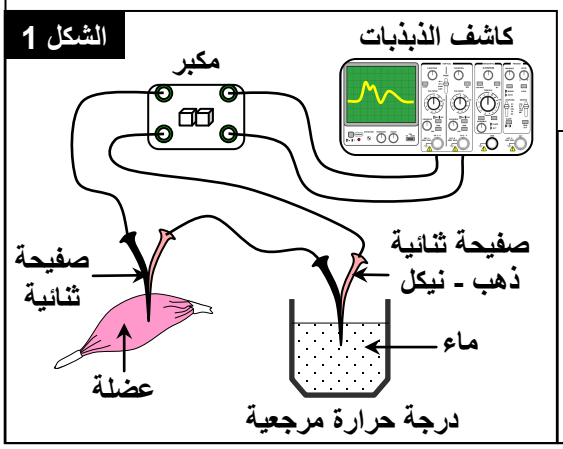
أ - **التركيب التجريبي والنتائج المحصلة:** أنظر الوثيقة 7

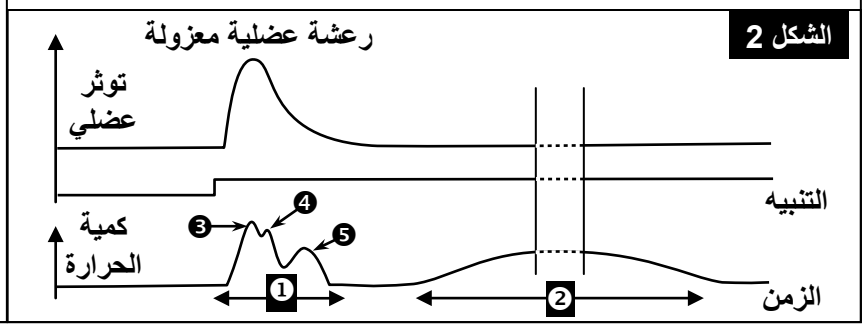
الوثيقة 7: الظواهر الحرارية المرافقة للتقلص العضلي.

نستعمل في هذه الدراسة تقنية العمود الحراري **Thermopile** (شكل1)، إذ يتكون العمود الحراري من إبرتين كهروحراريتين، تتكون كل إبرة من معدنين مختلفين (نحاس و نيكل أو ذهب ونيكل).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 2 التسجيل المحصل عليه.

استخرج أنواع الحرارة المحررة من طرف العضلة في حالة نشاط.





ب- **تحليل واستنتاج:**

خلال التقلص العضلي تنتج الحرارة، ويتوزع إنتاجها على مرحلتين أساسيتين:

- الحرارة الأولية: هي الحرارة الابتدائية، كميتها كبيرة، لكنها لا تدوم مدة طويلة. 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.

ملاحظة: بغياب الأكسجين، نلاحظ طرح الحرارة الأولية فقط، مما يدل على أن الحرارة الأولية مرتبطة بتفاعلات حي لاهوائية (التخمر)، بينما الحرارة المؤخرة مرتبطة بتفاعلات حي هوائية (التنفس).

② الظواهر الكيميائية والطاقية:

أ - **ملاحظات:**

تبين الملاحظة المجهرية للنسيج العضلي، أنه غني بالشعيرات الدموية. يبرر إذن هذا التعرق الشديد للنسيج العضلي، أن النشاط العضلي يرفع من حاجيات العضلة من القيت والأوكسجين، والتي تصل إلى العضلة عن طريق الدم.

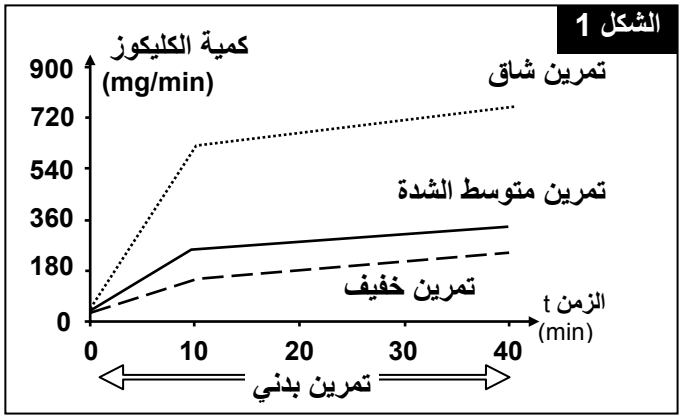
ب- **نتائج تجريبية:** أنظر الوثيقة 8 والوثيقة 9.

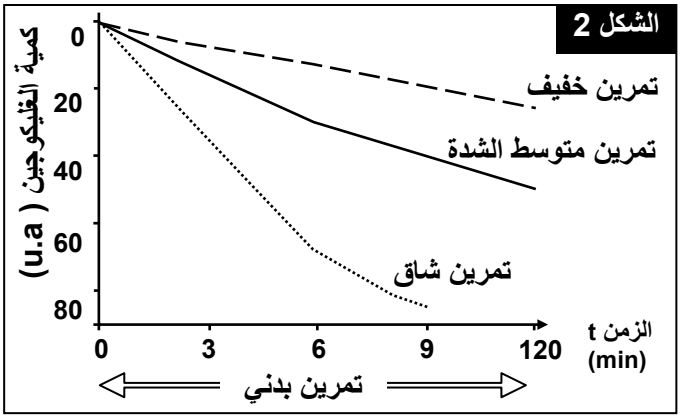
الوثيقة 8: الظواهر الطاقية المصاحبة للتقلص العضلي.

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 الشكلين1 و2.

الشكل 1: كمية الكليكوز المستعملة من طرف عضلات الطرفين السفليين عند شخص خلال مجهود عضلي متزايد الشدة. الشكل 2: كمية استهلاك الغليكوجين بعضلات الطرفين السفليين عند شخص خلال مجهود عضلي متزايد الشدة.

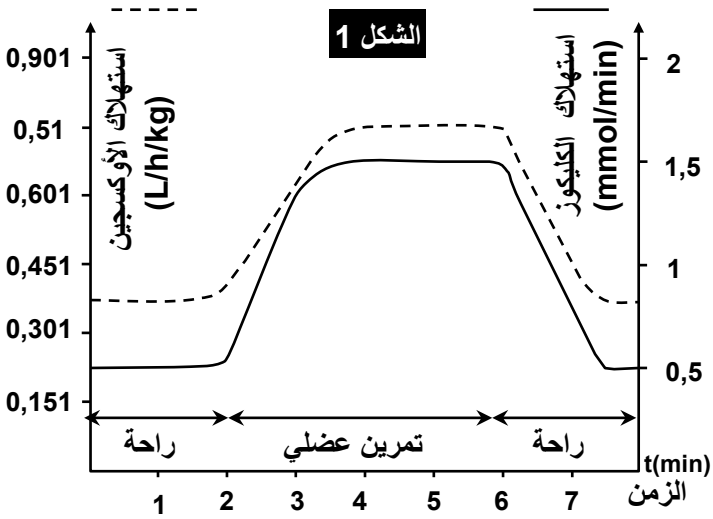
حلل الرسوم البيانية، واستنتج متطلبات العمل العضلي.





الوثيقة 9: تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة قبل وبعد التقلص العضلي.

يعطي الشكل 1 من الوثيقة تطور استهلاك ثنائي الأوكسجين والكليكوز. والشكل 2، تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، خلال الراحة وخلال المجهود العضلي. حلل واستنتج.



الشكل 2

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

ت -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 الأكسجين، مع طرح المزيد من ثاني أكسيد الكربون. انطلاقا من هذه المعطيات، نستنتج أن الطاقة اللازمة للنشاط العضلي، تأتي من تفاعل أكسدة الكليكوز، الناتج عن حلمأة الغليكوجين.

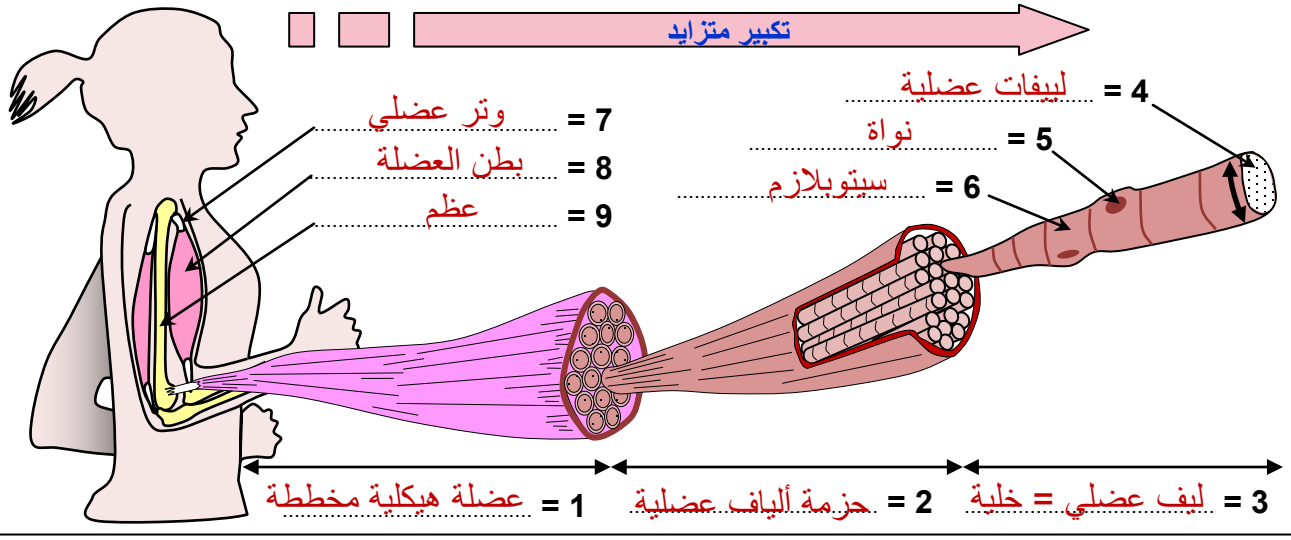
III – بنية وفوق بنية النسيج العضلي.

① بنية العضلة الهيكلية المخططة:

أ - ملاحظات بالعين المجردة: أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: بنية العضلة المخططة الهيكلية.

يتطلب النشاط العضلي تقلص عدة عضلات وفق آلية محددة. لفهم هذه الآلية، ينبغي أولا معرفة بنية و فوق بنية هذه العضلات ثم التعرف على أبرز مكوناتها. تعطي الوثيقة أسفله رسما تفسيريا لبنية العضلة الهيكلية المخططة.
تعرف بنية العضلة الهيكلية المخططة، مع إعطاء الأسماء المناسبة للأرقام الممثلة في الوثيقة.



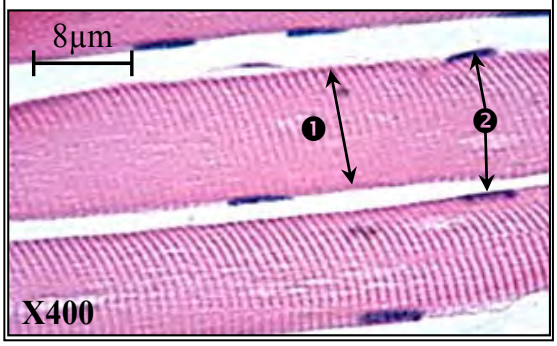
تكون العضلات مثبتة على العظام، وتظهر جزأين: جزء أحمر مرن، يسمى بطن العضلة، وهو أحمر بوجود بروتين خاص يسمى الخضاب العضلي (Myoglobine)، وجزء أبيض لؤلئي (nacré)، يوجد في نهايتي العضلة، ويسمى وتر عضلي (Tendon).
تبين ملاحظة المقطع العرضي للعضلة أنها تتكون من كتل مفصولة عن بعضها بواسطة نسيج ضام، هي الحزم العضلية (Faisceau musculaire). كما أن تأريب العضلة (Délacération) يبين أنها ذات بنية ليفية.
تتشكل إذن العضلة الهيكلية المخططة من عدة ألياف عضلية متجمعة على شكل حزم، هذه الألياف عبارة عن خلايا عملاقة متعددة النوى ومُكونة بدورها من لُييفات عضلية.

ب- ملاحظات مجهرية: أنظر وثيقة 11.

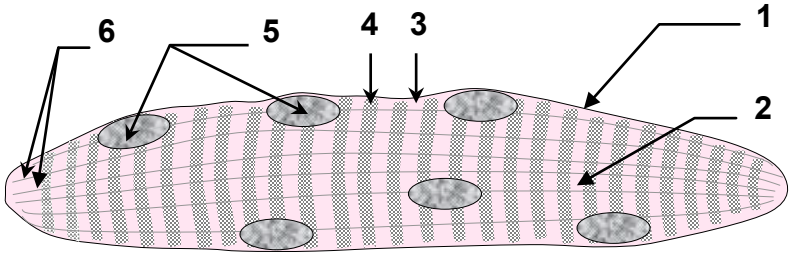
الوثيقة 11: ملاحظات مجهرية للنسيج العضلي.

يعطي الشكل 1 من الوثيقة، ملاحظة بالمجهر الضوئي لمقطع طولي لعضلة هيكلية مخططة. و الشكل 2، رسما تفسيريا لبنية ليف عضلي. بعد ملاحظة معطيات هذه الوثيقة، أعط الأسماء المناسبة لأرقام الوثيقة، ثم صف البنية المجهرية لليف العضلي، وبرر تسمية العضلة الهيكلية بالمخططة.

الشكل 1: ❶= ليف عضلي ❷ = نوى



الشكل 2:



الطول يصل إلى 35 cm، والقطر يصل إلى 10 à 120 µm

1= غشاء سيتوبلازمي = ساركوليم، 2 = سيتوبلازم = ساركوبلازم، 3 = شريط فاتح،
4 = شريط قاتم، 5 = نوى، 6 = ليفات عضلية.

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 محاطا بغشاء سيتوبلازمي (ساركوليم)، ويحتوي على سيتوبلازم (ساركوبلازم).

تظهر الخلية العضلية (الليف العضلي) مخططة طوليا، لوجود لييفات عضلية داخل الساركوبلازم. وتظهر هذه الخلية مخططة عرضيا، لكون اللييفات العضلية تتكون من تناوب أشرطة قاتمة وأشرطة فاتحة.

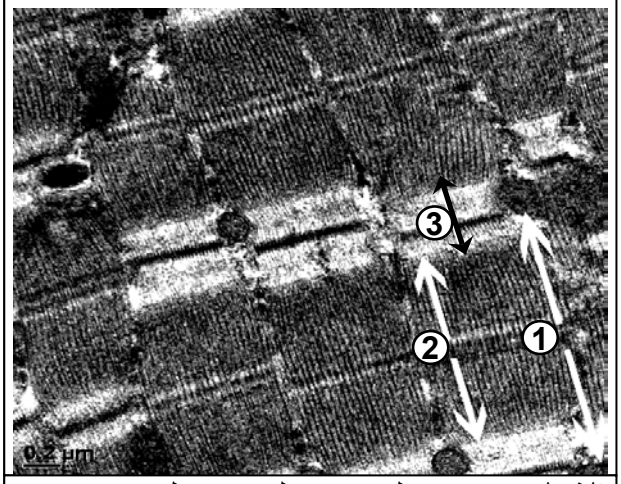
② فوق بنية العضلة الهيكلية المخططة:

أ - ملاحظات بالمجهر الالكتروني: أنظر الوثيقة 12.

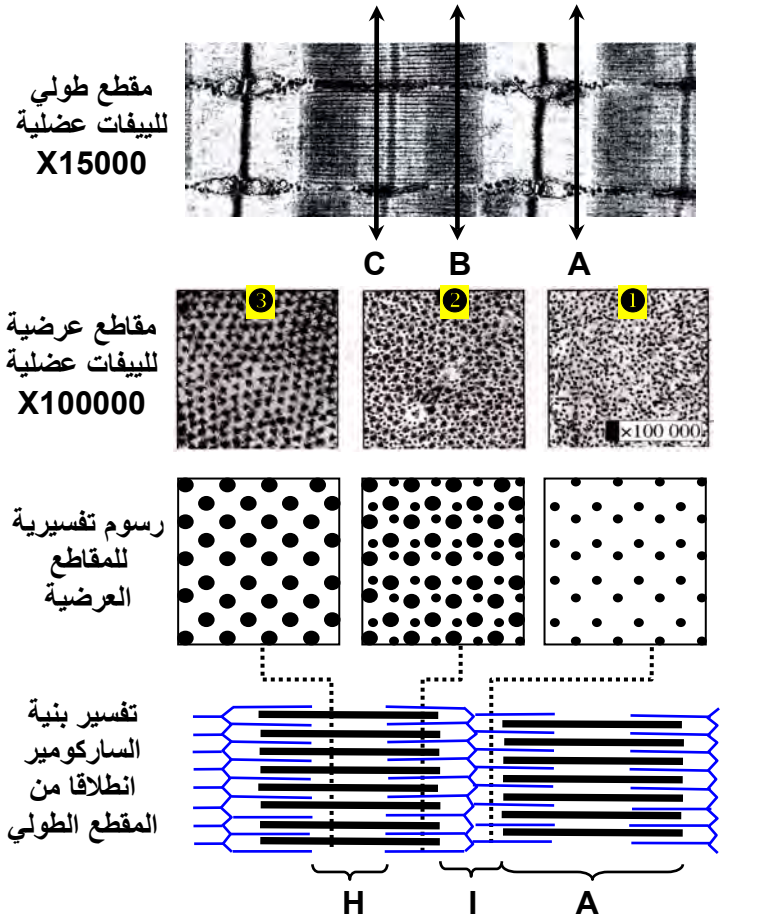
الوثيقة 12: فوق بنية النسيج العضلي.

قصد التمكن من تحديد العناصر المتدخلة خلال التقلص العضلي، نقترح استثمار معطيات الوثائق أسفله.
انطلاقا من هذه المعطيات، صف البنية المجهرية لليف العضلي مع تحديد الخييطات المتواجدة في كل منطقة.

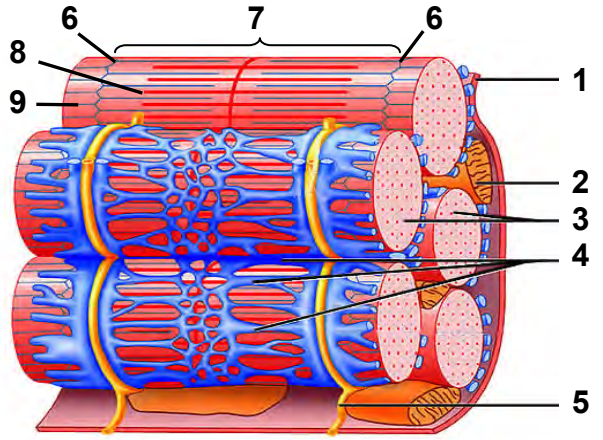
الشكل 1: ملاحظة الكترونغرافية لنسيج عضلي.



الشكل 2: نقوم بمقاطع مستعرضة لليف عضلي على المستويات: A , B , C. فنحصل بالتتالي على الملاحظات ❶، ❷، و❸.



الشكل 3: مجسم لجزء من ليف عضلي.



- أسماء عناصر الشكل 3 من الوثيقة:

1= ساركوليم، 2= ميتوكندري، 3= ليفان عضليان، 4= شبكة سيتوبلازمية داخلية،
5= أنيبيات مستعرضة، 6= حز Z، 7= ساركومير، 8= ميوزين، 9= أكتين

- يتبين من معطيات الوثيقة أن اللييفات العضلية تتكون من تناوب نوعين من الأشرطة:

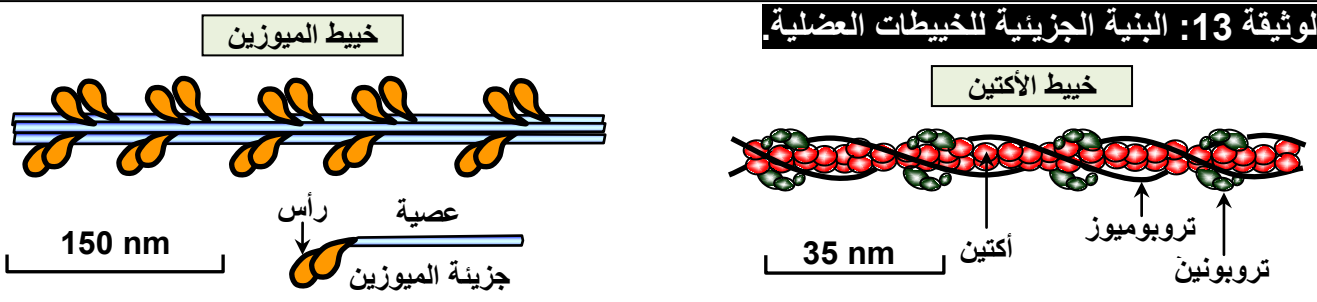
✓ أشرطة فاتحة (Isotropique=I) تتكون من خييطات دقيقة من بروتين يسمى الأكتين (Actine)، ويتوسطها الحز Z. (Strie Z) (de l'allemand zwischen, signifiant "entre")

✓ أشرطة قاتمة (Anisotropique=A)، تتكون من خييطات الأكتين، وخييطات سميكة من بروتين يسمى الميوزين (Myosine)، وتتوسطها المنطقة H (de l'allemand heller, plus pâle) . التي تحتوي على خييطات الميوزين فقط.

- يتكون كل ليف عضلي من وحدات متتالية تسمى الساركوميرات (Sarcomère)، توجد بين حزي Z. ويعتبر الساركومير الوحدة البنيوية لليف العضلي.
- يحتوي الساركوبلازم على عدد كبير من الميتوكندريات، وعلى شبكة ساركوبلازمية وافرة، وقد بينت دراسات أخرى أن الساركوبلازم يتوفر على كمية هامة من الغليكوجين، كما أن الشبكة الساركوبلازمية تحتوي على كمية كبيرة من الكالسيوم.

ب- البنية الجزيئية للخييطات العضلية: أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: البنية الجزيئية للخييطات العضلية.



يتكون كل خييط دقيق، أو خييط الأكتين من بروتين يدعى الأكتين، وهو الطاغي، 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.

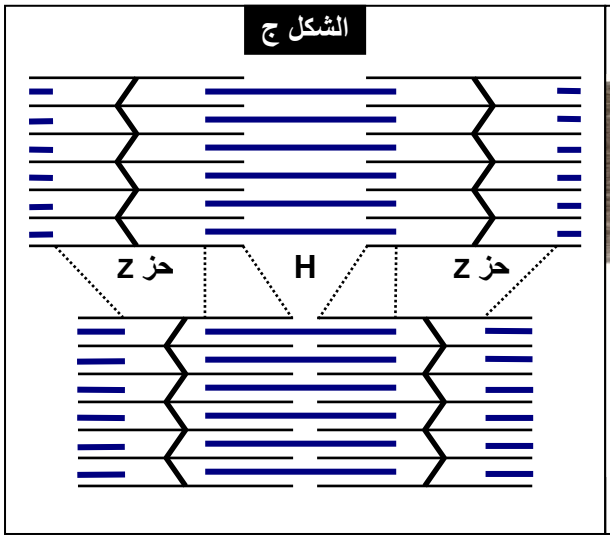
① ماذا يحدث أثناء التقلص العضلي؟

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.

الوثيقة 14: آلية التقلص.

تعطي الوثيقة أمامه ملاحظة مجهرية لساركومير مرتخ (شكل أ) وآخر متقلص (شكل ب)، مصحوبة برسم تفسيري (شكل ج).
قارن الشكلين أ وب واستخرج مختلف التغيرات التي تطرأ على الليف خلال التقلص العضلي، ثم فسر هذه التغيرات.



نلاحظ أن تقلص العضلة يصاحبه :
- تقصير على مستوى الساركوميرات (تقارب حزي Z).
- ينقص طول الشريط الفاتح I، والمنطقة H.
- يبقى طول الشريط القاتم A ثابت.

ب- تفسير واستنتاج:

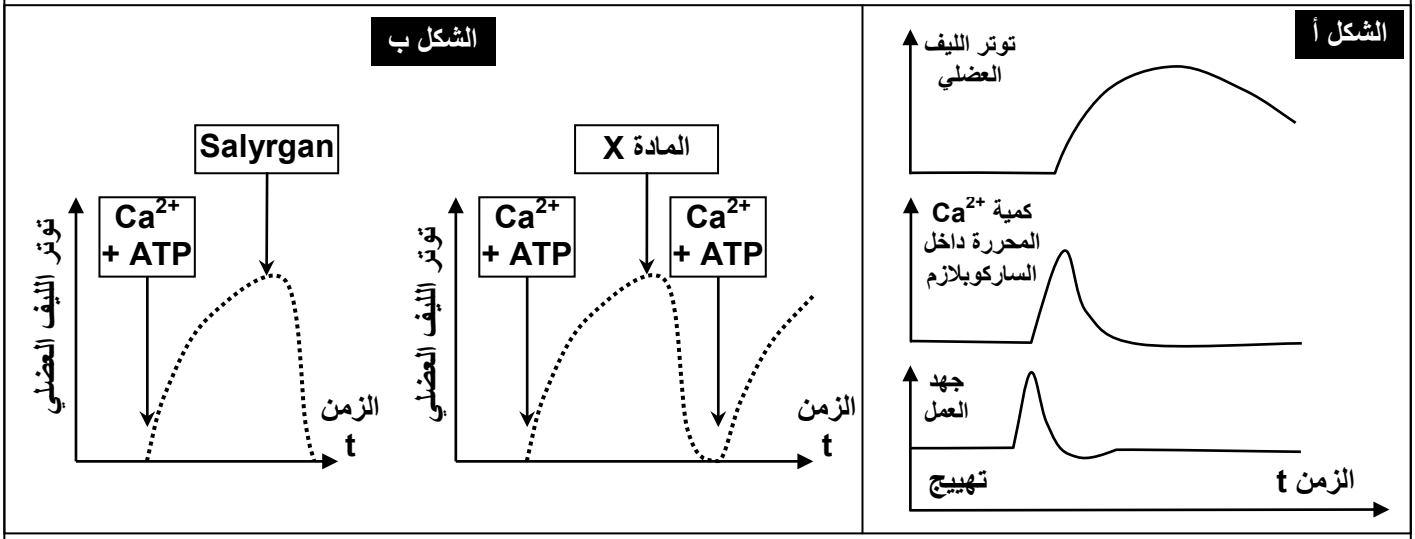
بما أن طول الأشرطة القاتمة يبقى ثابت، نستنتج أن التقصير الملاحظ في الساركومير ليس ناتجا عن تقصير في الخييطات العضلية، بل عن انزلاق الخييطات بعضها بالنسبة لبعض، في اتجاه مركز الساركومير (انزلاق الأكتين على الميوزين)، فينتج عن ذلك اقتراب حزي Z، واختزال المنطقة H. نتكلم عن آلية انزلاق الخييطات. **Glissement 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 أ، نتائج قياس كل من كمية Ca^{2+} داخل ساركوبلازم الخلية العضلية وتوترها بعد تهييجها.
يعطي مبيان الشكل ب، 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 لحلمأة ATP).
حلل هذه المنحنيات، واستنتج دور ATP وايونات الكالسيوم في حدوث التقلص العضلي.



★ لقد بينت الدراسات وجود تالف بين رؤوس الميوزين والأكتين. وبوجود ايونات 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 ايونات الكالسيوم ونشوء القناطر المستعرضة.

ب- تحليل واستنتاج:

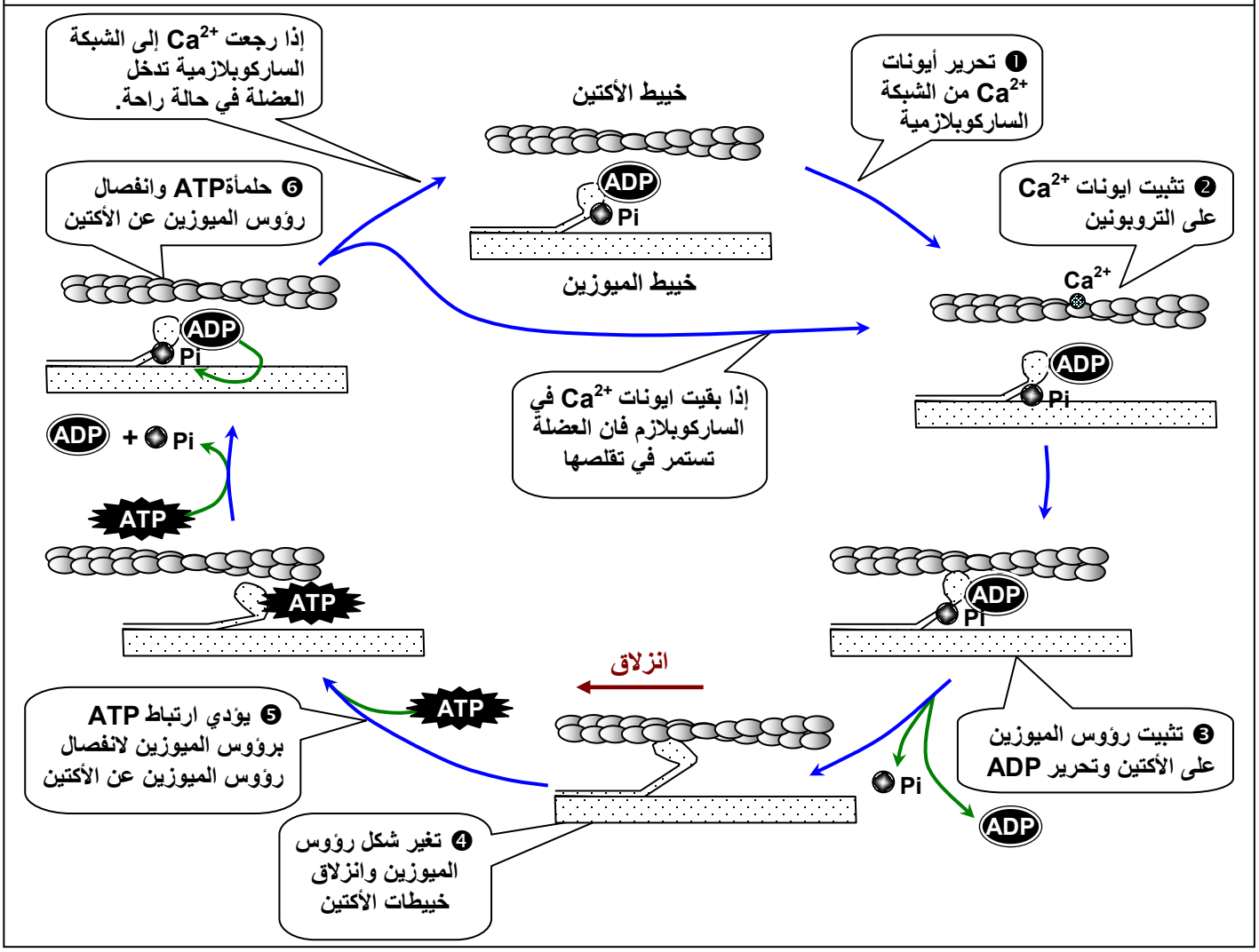
- الشكل أ : بعد تهييج العضلة مباشرة، نلاحظ ارتفاع تركيز الكالسيوم داخل سيتوبلازم الخلية العضلية، متبوعا بارتفاع توتر الليف العضلي.
- الشكل ب : نلاحظ أن الليفات العضلية تتقلص بسرعة عند وجود ATP، وايونات الكالسيوم. وعندما نمنع حلمأة ATP بفعل Salyrgan، يختفي توتر الليف.
أما عندما نمنع فعل Ca^{++} ، يختفي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

ت- خلاصة: آلية التقلص العضلي.

يعتمد التقلص العضلي على تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة على مستوى الـ ATP إلى طاقة ميكانيكية، تتجلى في انزلاق خييطات الأكتين على خييطات الميوزين وِفق آلية التقلص العضلي. تمر هذه الآلية عبر مراحل تلخصها الوثيقة16.

الوثيقة 16: خطاطة تبين التفاعل بين خيطات الميوزين والأكتين خلال التقلص العضلي.

حول الخطاطة التالية إلى نص تفسر من خلاله آلية التقلص العضلي.



يتطلب التقلص العضلي وجود ATP، وايونات الكالسيوم، ويتم كما حسب المراحل التالية:

- ترتبط جزيئات الـ ATP برؤوس الميوزين، فيتشكل مركب الميوزين-ATP. وبوصول السيالة العصبية يتم تنبيه الليف العضلي، فتحرر الشبكة الساركوبلازمية ايونات الكالسيوم Ca^{2+}.
- بحضور Ca^{2+}، يتم تحرير مواقع ارتباط رؤوس الميوزين على الأكتين، والتي كانت محجوبة ببروتينات التروبوميوزين، فتتكون بذلك قناطر الأكتوميوزين.
- تلعب مركبات الأكتوميوزين دور أنزيم محفز لحلمأة ATP إلى ADP + Pi + طاقة. و بذلك يتشكل مركب أكتين-ميوزين-ADP+Pi.
- بتحرير Pi وadp يتم تحرير طاقة، تؤدي إلى دوران رؤوس الميوزين في اتجاه مركز الساركومير، وهذا ما يؤدي إلى تقلصه.
- ترتبط جزيئة ATP من جديد برؤوس الميوزين مسببة انفصالها عن الأكتين، ثم تتم حلمأتها. وفي حالة استمرار وجود الكالسيوم بتركيز ملائم (استمرار التنبيه)، ترتبط من جديد خييطات الميوزين بخييطات الأكتين وتدور رؤوس الميوزين، فيستمر انزلاق الخييطات، ويحدث بالتالي تقلص الليف العضلي، ومعه تقلص العضلة.
- عند انتهاء التنبيه، يضخ Ca^{2+} داخل الشبكة الساركوبلازمية، وبارتباط جزيئة أخرى لـ ATP برؤوس الميوزين، ينفصل الأكتين عن الميوزين، وتحجب مواقع ارتباط رؤوس الميوزين على الأكتين، فيحدث الارتخاء.

V – كيف يتم تجديد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي ؟

① **معطيات تجريبية:** أنظر الوثيقة 17

الوثيقة 17: تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة قبل وبعد التقلص.

تعطي الجدول أسفله، تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، قبل وبعد التقلص.
قارن معطيات هذا الجدول، واقترح تفسيرا للتغيرات الملاحظة قبل التقلص وبعده. ثم استنتج طرق تجديد ATP.

التجارب	الملاحظات	المواد المعايرة	نتائج المعايرة		تحليل وتفسير
			قبل التقلص	بعد التقلص	
اهاجة العضلة كهربائيا	تقلص العضلة لمدة 3 دقائق	غليكوجين	1.62	1.21	①
		حمض لبني	1.5	1.95	
		ATP	2	2	
		فوسفوكرياتين	1.5	1.5	
اهاجة العضلة بوجود الحمض الأيودي الأسيتيك (مادة توقف انحلال الكليكوز)	تقلص العضلة في نفس ظروف التجربة السابقة	غليكوجين	1.62	1.62	②
		حمض لبني	1.5	1.5	
		ATP	2	2	
		فوسفوكرياتين	1.5	0.4	
اهاجة العضلة بوجود الحمض الايودي الأسيتيك ومادة مانعة للفوسفوكرياتين كيناز (أنزيم ضروري لانحلال الفوسفوكرياتين)	العضلة تتقلص بصفة عادية ثم تتوقف	غليكوجين	1.62	1.62	③
		حمض لبني	1.5	1.5	
		ATP	2	0	
		فوسفوكرياتين	1.5	1.5	

② **تحليل وتفسير:**

- **التجربة 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 حلمأة الغليكوجين إلى كليكوز، يخضع هذا الأخير للتخمر ليعطي حمض لبني + ATP.

- **التجربة 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:

ADP + CP (الفوسفوكرياتين) $\xrightarrow{\text{أنزيم خاص}}$ C (الكرياتينين) + ATP

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

③ **استنتاج: طرق تجديد ATP:**

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

أ - الطرق اللاهوائية السريعة:

في أقل من 30 ثانية ينطلق تفاعلان لتجديد ATP:

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

$$ADP + ADP \xrightarrow[MK]{} ATP + AMP$$

- بواسطة الفوسفوكرياتين:

$$ADP + CP\ (\text{الفوسفوكرياتين}) \xrightarrow[\text{أنزيم خاص}]{} C\ (\text{الكرياتينين}) + ATP$$

يكون هذا التفاعل مصحوبا بتحرير حرارة، هي الحرارة الأولية.

ب -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.

$$\underset{\text{غليكوجين}}{(C_6H_{11}O_5)_n} + n\,H_2O \xrightarrow[\text{حلمأة الغليكوجين}]{} \underset{\text{كليكوز}}{n\,(C_6H_{12}O_6)}$$

$$\underset{\text{كليكوز}}{C_6H_{12}O_6} + 2ADP \xrightarrow[\text{التخمر اللبني}]{} \underset{\text{حمض لبني}}{2CH_3 - CHOH - COOH} + \underset{\text{طاقة}}{2ATP}$$

ت -الطرق الهوائية البطيئة:

تتمثل في التنفس الخلوي، حيث تتم حلمأة الغليكوجين العضلي إلى كليكوز، يتم هدمه بشكل تام بوجود الأوكسجين، ليتحول إلى CO2 وماء، مع تحرير كمية كبيرة من الطاقة (ATP)، مع تحرير طاقة على شكل حرارة، هي الحرارة المؤخرة.

الوحدة الثانية

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 ؟**

الوحدة الثانية: الفصل الأول:

طبيعة الخبر الوراثي

تمهيد:

يَنتُج 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 التوأمين يدل على أنهما تلقيا نفس الخبر من الخلية الأصلية (البيضة). وبالتالي فللصفات 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؟

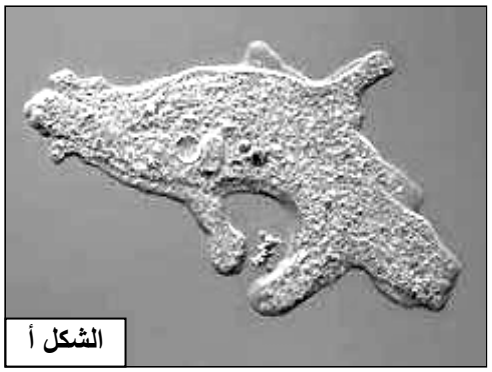
I – أين يتواجد الخبر الوراثي؟

① الكشف عن تموضع الخبر الوراثي داخل الخلية

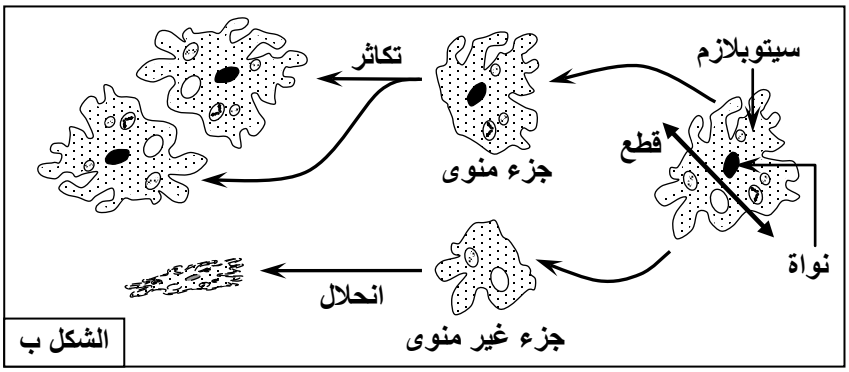
أ – تجربة القطع عند الأميبة Amibe : أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تجربة القطع عند الأميبة Amibe.

الأميبة(الشكل أ) كائن حي وحيد الخلية، وهي عبارة عن كتلة بروتوبلازمية مجهرية يتراوح قطرها بين 127 و340µm، غير منتظمة الشكل تحتوى على نواة حقيقية واحدة، وتتحرك حركة انزلاقية بطيئة باستخدام الأرجل الكاذبة (Pseudopodes).
يبين الشكل ب من الوثيقة رسوما تخطيطية لمراحل تجربة القطع عند هذه الأميبة.



الشكل أ



الشكل ب

ماذا تستخلص من تحليل نتائج هذه التجربة؟

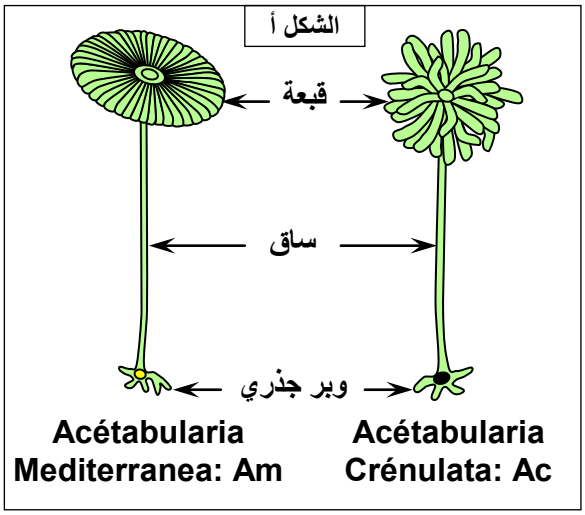
نلاحظ أن الجزء الذي يحتوي على النواة يستمر في الحياة، ويتكاثر. نستنتج أن النواة ضرورية لحياة الخلية وتكاثرها.

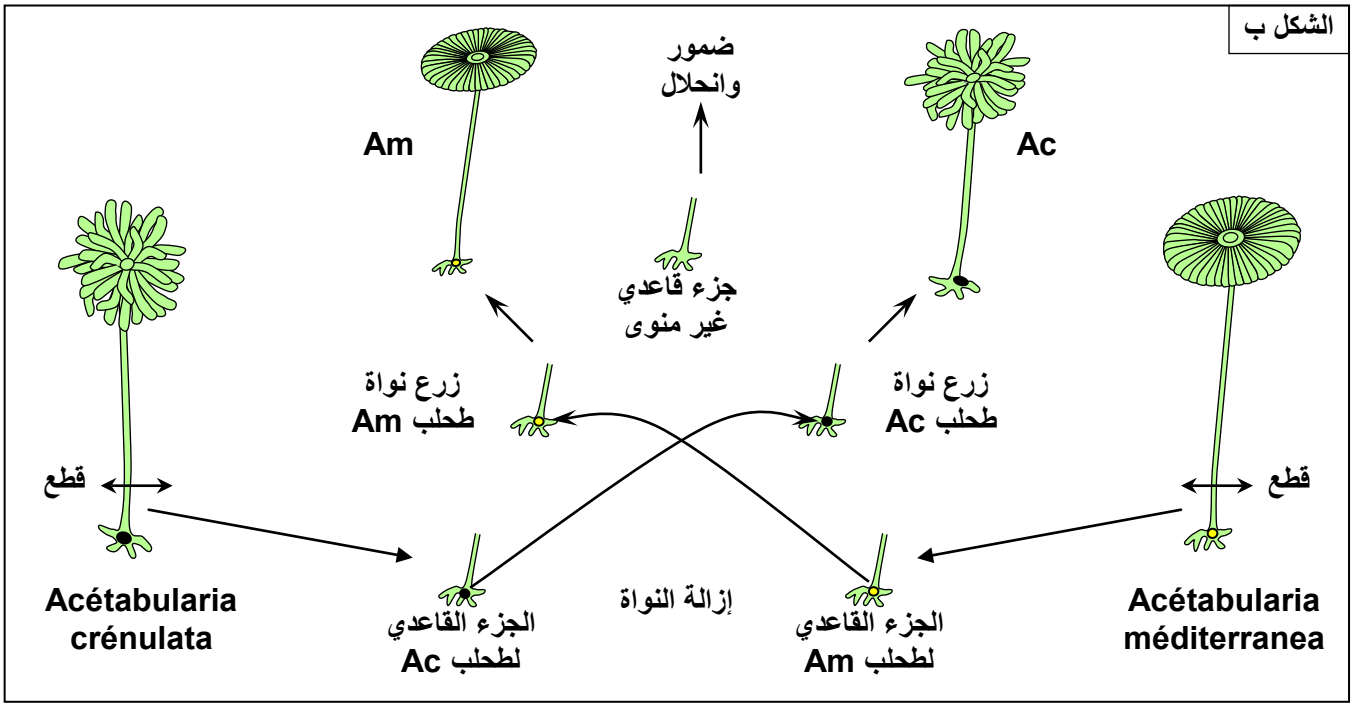
ب – تجارب القطع والتطعيم عند الأسيتابولاريا Acetabularia: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: تجارب القطع والتطعيم عند الأسيتابولاريا.

تعد الأسيتابولاريا Acétabularia 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 الأسيتابولاريا.
يبين الشكل ب من الوثيقة ظروف ونتائج هذه التجربة.

1) حدد الهدف من هذه التجربة.
2) ضع فرضية تفسر بواسطتها تشكل القبعة.



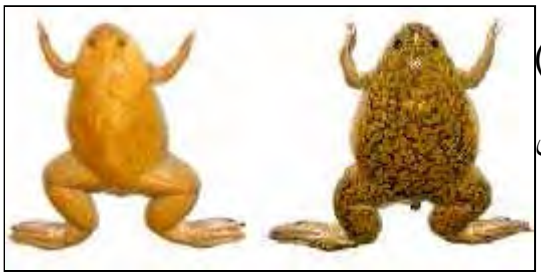


1) الهدف من هذه التجربة هو تحديد دور النواة في حياة الخلية.

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 القبعة مرتبط بنوع النواة. انطلاقا من هذا يمكن افتراض أن النواة هي المسؤولة عن تشكل القبعة، إذن هي الحاملة للخبر الوراثي.

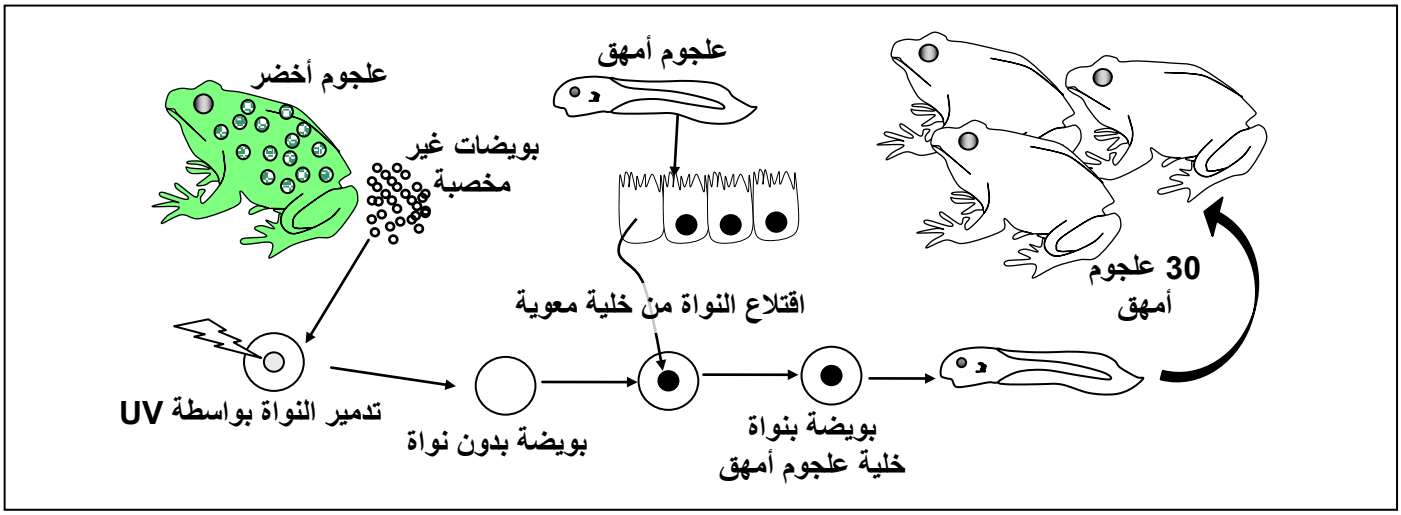
ج – تجربة الاستنساخ عند العلجوم Xénopes (Crapaud) : أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: تجربة الاستنساخ عند العلجوم Xénope (Crapaud)



قصد تحديد تموضع الخبر الوراثي داخل الخلية، قام العالم Gurdon سنة 1960 بتجربة على سلالتين من العلاجم: 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.

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



لقد أدى زرع نواة شرغوف أمهق داخل بويضة بدون نواة لعلجوم عادي، إلى إعطاء علاجم مهقاء.
يتبين من هذا أن العلاجم الناتجة عن الاستنساخ، لها صفات العلجوم الذي أخذت منه النواة، وبالتالي فالصفة أمهق انتقلت من نواة العلجوم الأمهق وليس سيتوبلازم العلجوم 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.

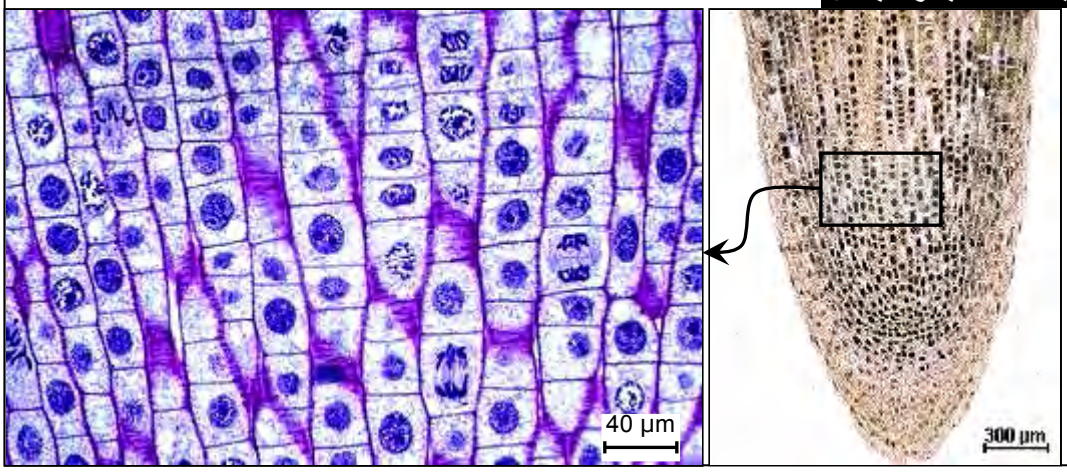
II – انتقال الخبر الوراثي عبر الانقسام الخلوي.

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.

الوثيقة 4: ملاحظة مجهرية لحافة جذر البصل.



تعطي الأشكال أمامه صور الكترونوغرافية لملاحظات مجهرية لحافة جذر البصل.

انطلاقا من تحليل هذه الوثائق بين كيف يتم التكاثر الخلوي؟

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 الخييطات النووية تسمى الصبغين كما تحتوي على نويات، تعتبر هذه الخلايا في طور السكون، بعض الخلايا تلاشت بها النواة وعوضت ببنيات على شكل خييطات تسمى الصبغيات Chromosomes، وتعتبر في حالة انقسام غير مباشر.

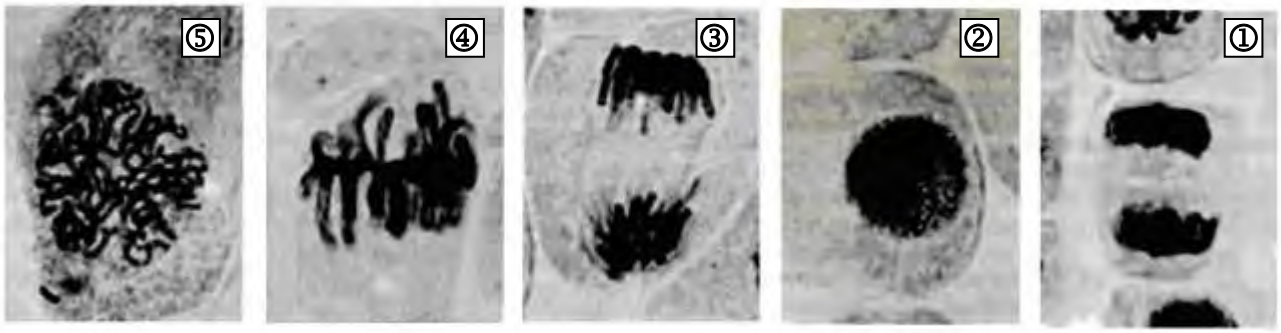
ب – مراحل الانقسام غير المباشر. أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: مراحل الانقسام غير المباشر.

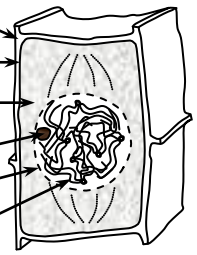
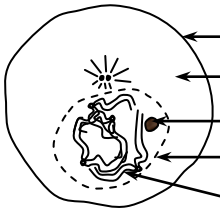
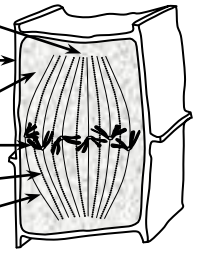
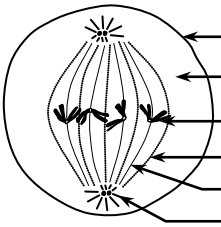
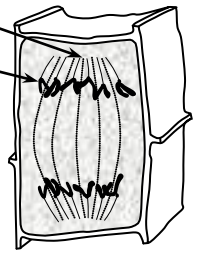
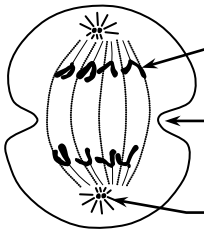
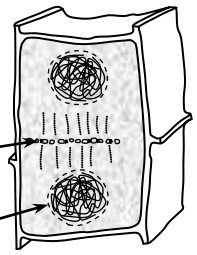
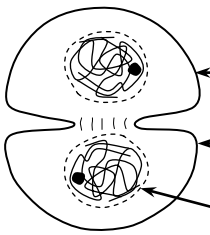
★ يعطي الشكل أ من الوثيقة 5 صورا الكترونوغرافية لبعض الخلايا في طور الانقسام.
1) أعط عنوانا مناسبا لكل صورة من الصور 1، 2، 3، 4، و5 بعد ترتيبها زمنيا والتعليق عليها.

★ يعطي الشكل ب من الوثيقة 5 رسوما 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: رسوم تخطيطية لملاحظات مجهرية لخلايا نباتية وحيوانية في طور الانقسام

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

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 الخييطات النووية هي الصبغين. نقول أن الخلية في مرحلة السكون Interphase.
- ✓ الصورة ⑤: يختفي الصبغين الذي يتجمع على شكل خييطات تسمى الصبغيات Chromosomes. نقول أن الخلية في المرحلة التمهيدية 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 خييطات 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 بانشطار الجزيء المركزي، ليعطي جزيئين مركزيين، يتصل كل منهما بصبيغي، ليتضاعف عدد الصبغيات. تتكون مجموعتين متساويتين من حيث عدد الصبغيات، فتتم 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 كثلة من الصبغين، ويتكون الغشاء النووي و النويات، ويختفي 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 الجسيم المركزي Le centrosome، مكون من مريكزين 2Centrioles، يشكل كل واحد منهما نجيمة قطبية Aster، يتكون بينهما المغزل اللالوني أثناء الانقسام الخلوي.

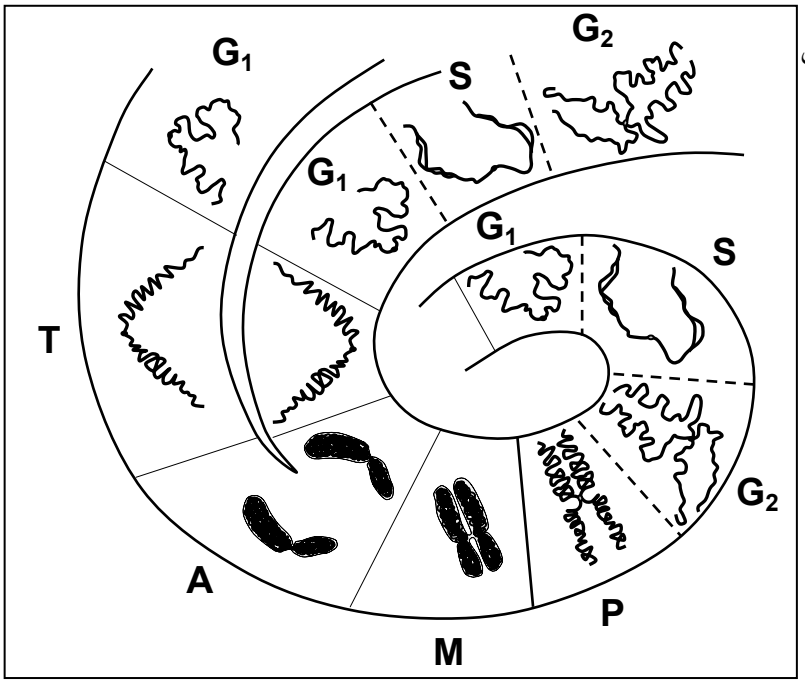
- خلال الطور النهائي، يتم انفصال الخليتين البنتين، بواسطة حلقة قلوصة تظهر على مستوى استواء الخلية، تنقبض فتفصل الخلية إلى جزأين متساويين، وتسمى هذه الظاهرة بالاختناق الاستوائي L'étranglement équatorial.

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 مسبوقا 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): يتلولب الصبغين لتظهر الصبغيات.
- ✓ في المرحلة الاستوائية (M): تظهر الصبغيات أقصى تلولب.
- ✓ في المرحلة الانفصالية (A): تنفصل صبيغيات كل صبغي لتعطي صبغيين متماثلين.
- ✓ في المرحلة النهائية (T): يزال تلولب 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 بنتين جديدتين . تأخذ كل خلية نفس الصبغيات أي نفس الخبر الوراثي كأختها، وهذا ما يفسر التشابه بين الخليتين البنتين من جهة وبين الخليتين البنتين والخلية الأم من جهة أخرى.

ادن تنتقل الذخيرة الوراثية من جيل إلى أخر 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 الرئوية Les pneumocoques، وهي بكتريا تسبب التهاب الرئة، وتوجد على شكلين مختلفين:
- ✓ شكل يحتوي على محفظة (عليبة) ويكون لمات ملساء، نرمز لها بالحرف S (Smooth). يتميز هذا الشكل بكونه حاد (ممرض).
- ✓ شكل بدون محفظة ويكون لمات حرشة (خشنة)، نرمز لها بالحرف R (rough). وهذا الشكل غير حاد.

الوثيقة 7: تجربة Griffith .

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

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

ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج أبحاث Griffith ؟

ب – تحليل واستنتاج:

★ التحليل:

- عند حقن فأر سليم بالمكورات الرئوية S حية، يلاحظ موت هذا الفأر. (S بكتيريات حادة).
- عند حقن فأر آخر سليم بالمكورات R حية، يلاحظ بقاء هذا الفأر حيا. (R بكتيريات غير حادة).
- بعد تدمير المكورات S وحقنها لفأر سليم، يلاحظ بقاء هذا الفأر حيا. إذن، فالمكورات S الميتة فقدت قدرتها الممرضة، بفعل فقدانها للمحفظة.
- عند حقن فأر سليم بالمكورات S الميتة (غير الممرضة)، 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 Principe transformant.

ج – التحقق من فرضية Griffith:

a – تجربة Avery و مساعدوه: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: أبحاث Avery ,MacLeod ,McCarthy (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 ل ARN = تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل ل ADN = عدم تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- حقن ADN بكتيريا S لبكتيريا R حية ثم حقن هذه الأخيرة للفأر = موت الفأر ويبين تحليل دمه وجود بكتيريا S حية.

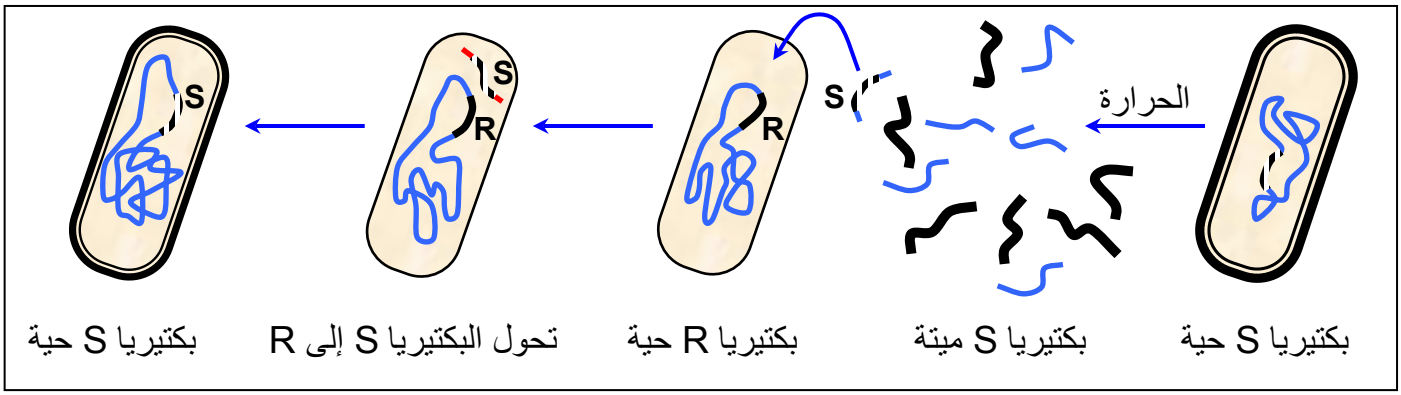
ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج تجربة Avery ومساعدوه؟

b – تحليل واستنتاج:

- نلاحظ أن العلة المحولة لا تتأثر بالأنزيمات المُحللة للبروتينات، والمحللة للدهون، والمحللة ل ARN.
- نلاحظ أن التحول البكتيري لا يحدث عند استعمال أنزيمات محلل ل 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.

د – دورة حياة العاثية Bactériophage: أنظر الوثيقة 9

الوثيقة 9: آلية تكاثر العاثيات.

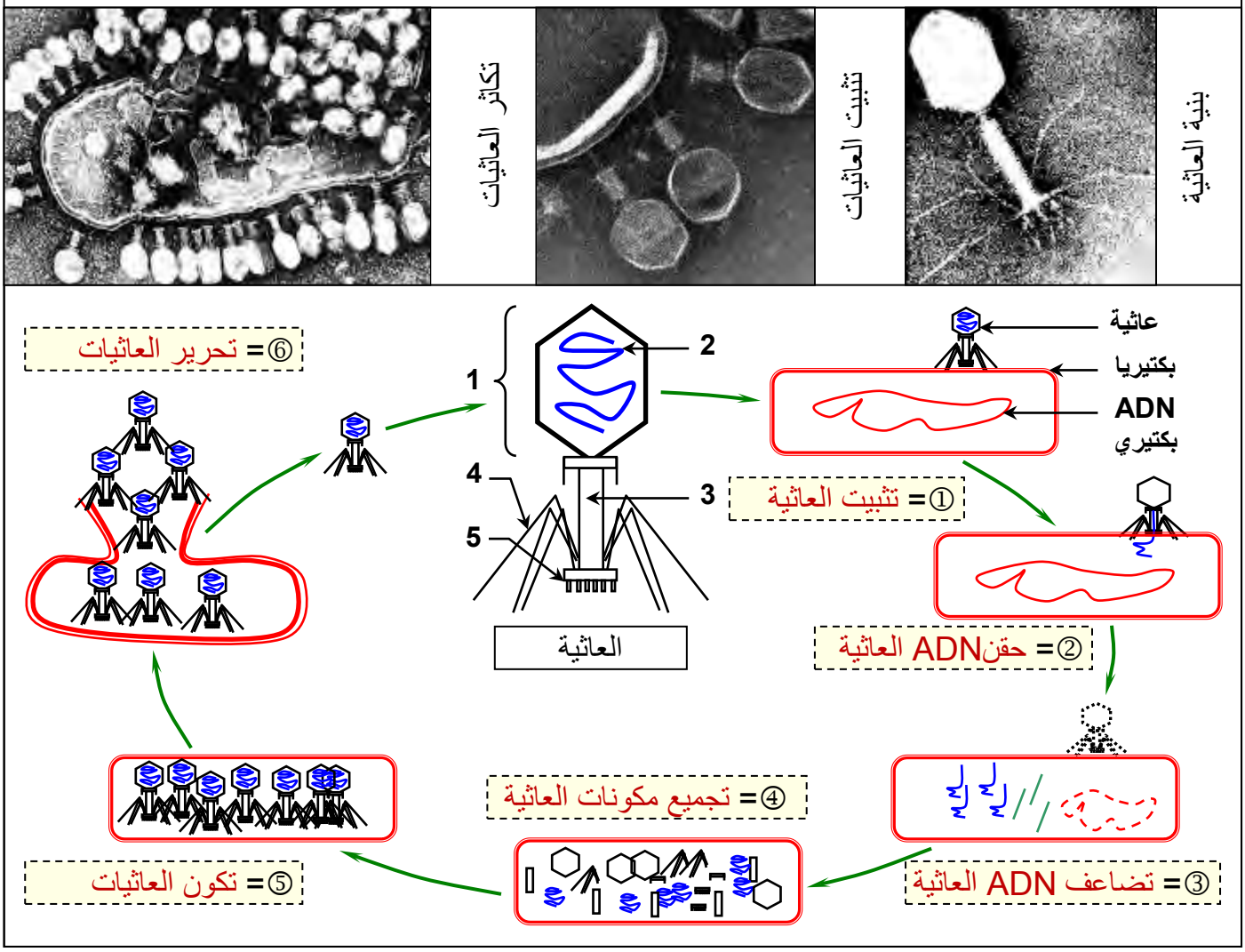
بعد تجارب Avery ومساعديه، واقتراحهم لطبيعة العلة المحولة، تمكن العالمين Alfred Hershey وChase Martha (1952)، من تأكيد الطبيعة الكيميائية للخبر الوراثي.

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

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

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

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 خيطات (4) ومُسطح به أشواك (5) يُسهل عملية تثبيتها على البكتيريات.

★ 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 تحقن فقط خبرها الوراثي، المتمثل في جزيئة ADN، ليتم تركيب عاثيات جديدة مشابهة للعاثية الأصلية. وبذلك يتأكد أن ADN يمثل الخبر الوراثي.

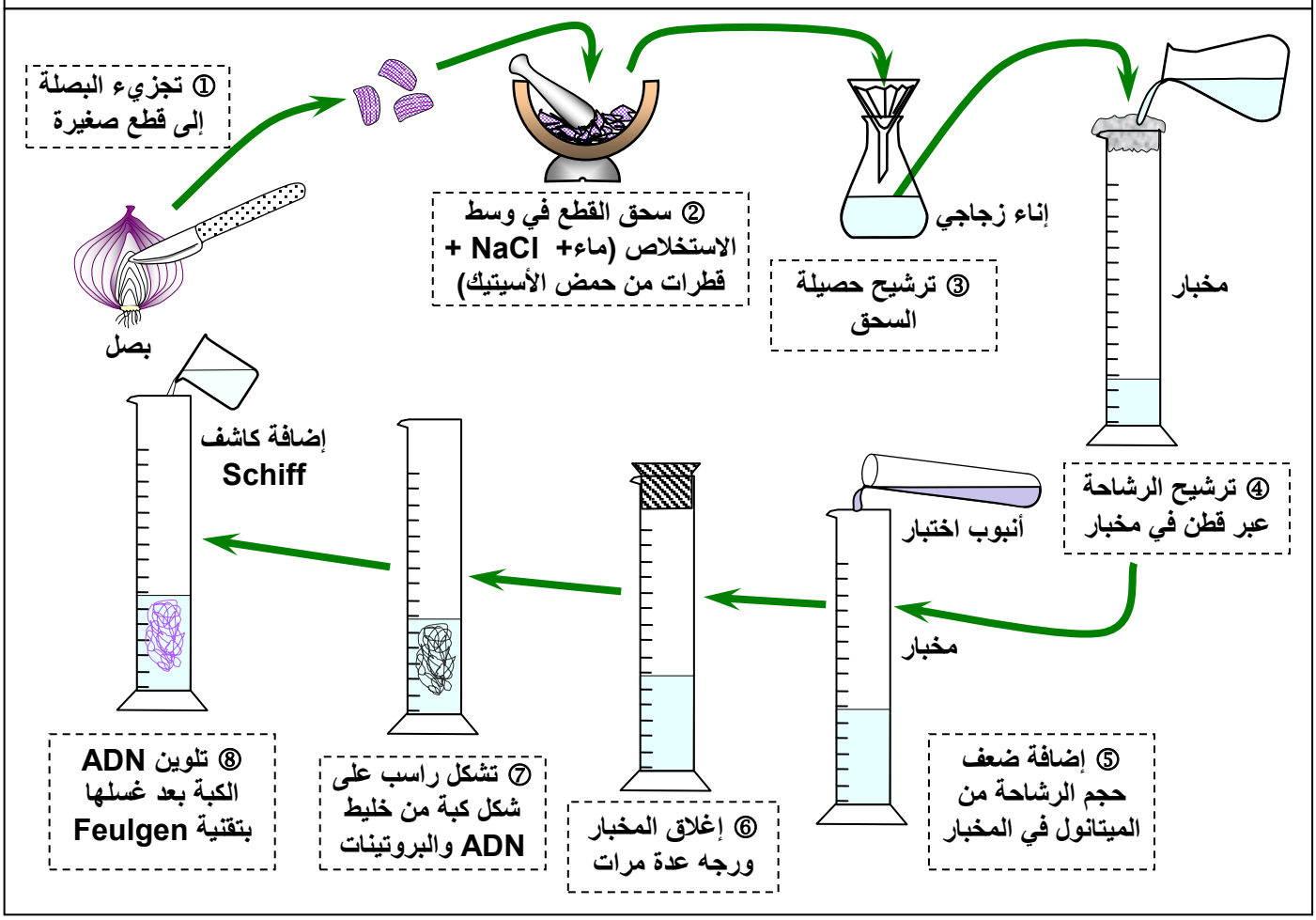
ه – خلاصة:

انطلاقا من تجارب Griffith وAvery ومساعديه، إضافة إلى تجارب العالِمين Hershey وChase يمكننا استخلاص أن المادة الوراثية الحاملة للخبر الوراثي هي عبارة عن جزيئة ADN، تتموضع 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 تتلون 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 وADN 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 الميتوكندري والبلاستيدة الخضراء، لكنها تتحكم فقط في بعض خصائص هذه العضيات.

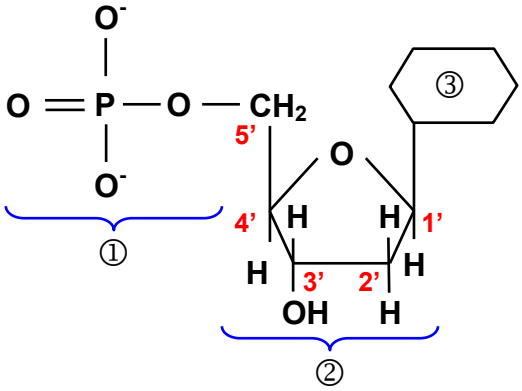
IV – التركيب الكيميائي لجزيئة ADN وبنيتها.

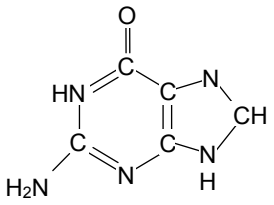
① المكونات الكيميائية لجزيئة ADN. أنظر الوثيقة 11

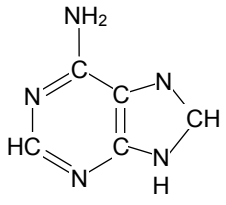
الوثيقة 11: التركيب الكيميائي لجزيئة ADN.

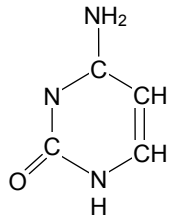
اعتمادا على الحلمأة الأنزيمية، أمكن عزل مختلف مكونات جزيئة ADN، إذ تعتبر جزيئة ADN جزيئة كبيرة تتكون من ثلاثة عناصر هي:

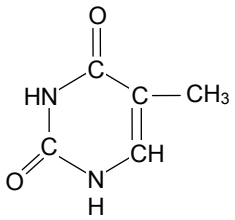
① حمض فسفوري Acide phosphorique.
② سكر الريبوز ناقص الأكسجين Désoxyribose.
③ قاعدة ازوتية Base azotée وهي إما:
★ الأدنين (A) Adénine، ★ الغوانين (G) Guanine، ★ التيمين (T) Thymine،
★ السيتوزين (C) Cytosine.











تكون الأجزاء الثلاثة (الحمض الفوسفوري+السكر+القاعدة الازوتية)، الوحدة الأساسية ل ADN، ونسميها نيكليوتيد Nucléotide وبذلك نقول أن جزيئة ADN هي عبارة عن عديد النيكليوتيدات.

بينت حلمأة جزيئات ADN، ذات مصادر مختلفة أنها تتكون من ثلاثة عناصر هي:

- حمض فوسفوري H_3PO_4 .
- سكر خماسي هو الريبوز ناقص أوكسجين $C_5H_{10}O_4$.
- 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 الأزوتية الأربع، A, T, C, G، في جزيئات ADN ذات مصادر مختلفة، فحصل على النتائج الممثلة في الجدول أسفله.

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

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

ب – تحليل واستنتاج.

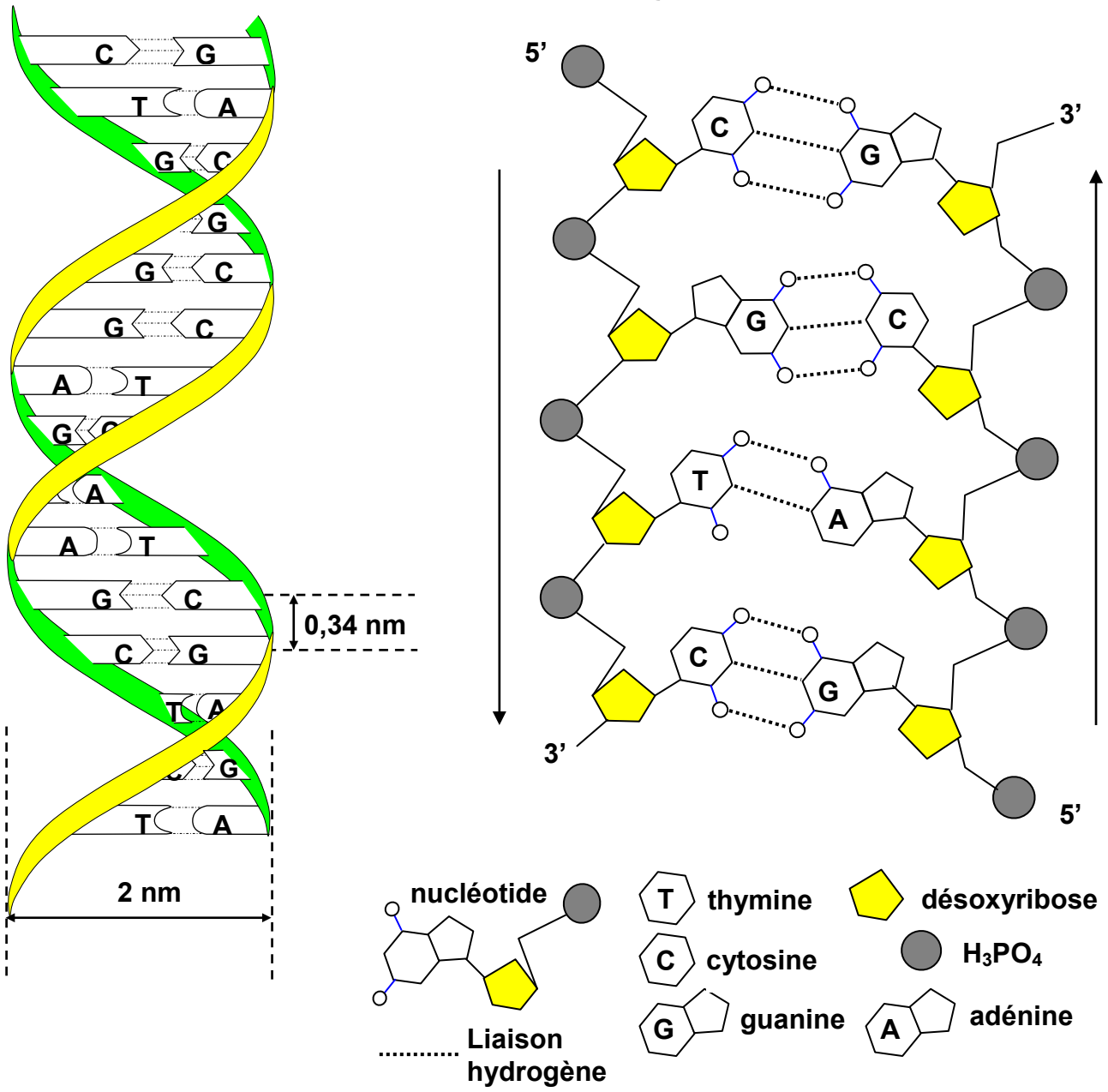
نلاحظ بالنسبة لجميع المتعضيات أن العلاقة A/T = G/C = 1، كما أن (A + G) / (T + C) = 1، وذلك لأن مقدار A يساوي مقدار T، ومقدار C يساوي مقدار G. هذه المعطيات تدعو للافتراض أن هناك تكامل بين A وT من جهة وبين C وG من جهة أخرى. كما يمكن الإفتراض أن هذه القواعد الآزوتية مرتبطة فيما بينها (A معT وC مع G).

ج – أنموذج WATSON وCRICK أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: نموذج Watson وCrick 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 الـADN.



انطلاقا من نموذج Watson وCrick، 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 اللولبين يجب أن يكونا متضادا القطبية. نقول إن لولبي ADN مضادا التوازي.

يرتبط اللولبان بعضهما ببعض، بروابط هيدروجينية على مستوى القواعد الازوتية.

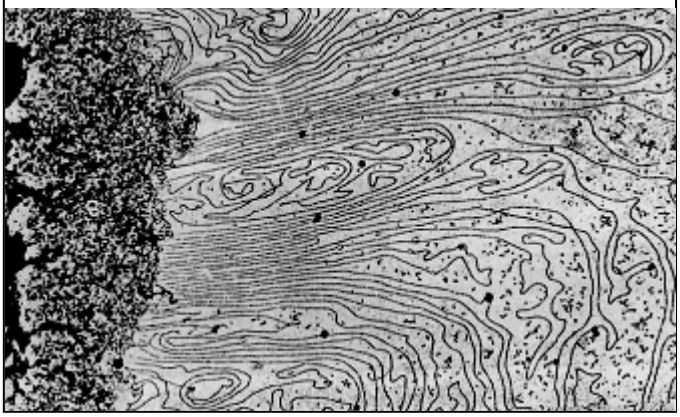
V – العلاقة بين الصبغين، الصبغيات، و ADN.

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

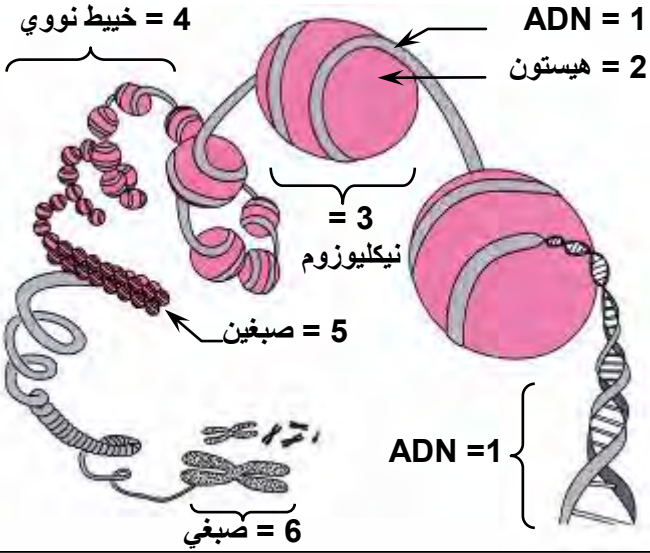
☒ يعطي الشكل أ من الوثيقة 14، ملاحظة بالمجهر الالكتروني لصبغي استوائي، تمت معالجته بواسطة أنزيمات نوعية تحلل البروتينات. انطلاقا من هذه الملاحظة استخرج بنية الصبغين.

الوثيقة 14: العلاقة بين الصبغين الصبغيات وADN.

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



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



انطلاقا من تحليل معطيات هذه الوثيقة، استخرج بنية الصبغين والصبغيات وحدد العلاقة البنيوية بين الصبغين الصبغيات وADN.

☑ تبين الملاحظة المجهرية لصبغين خلية أنه يتكون من خييطات متشابكة، يبلغ قطر الواحد منها30nm، 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: هيستونات 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 هيستونات، 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، و ADN.

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

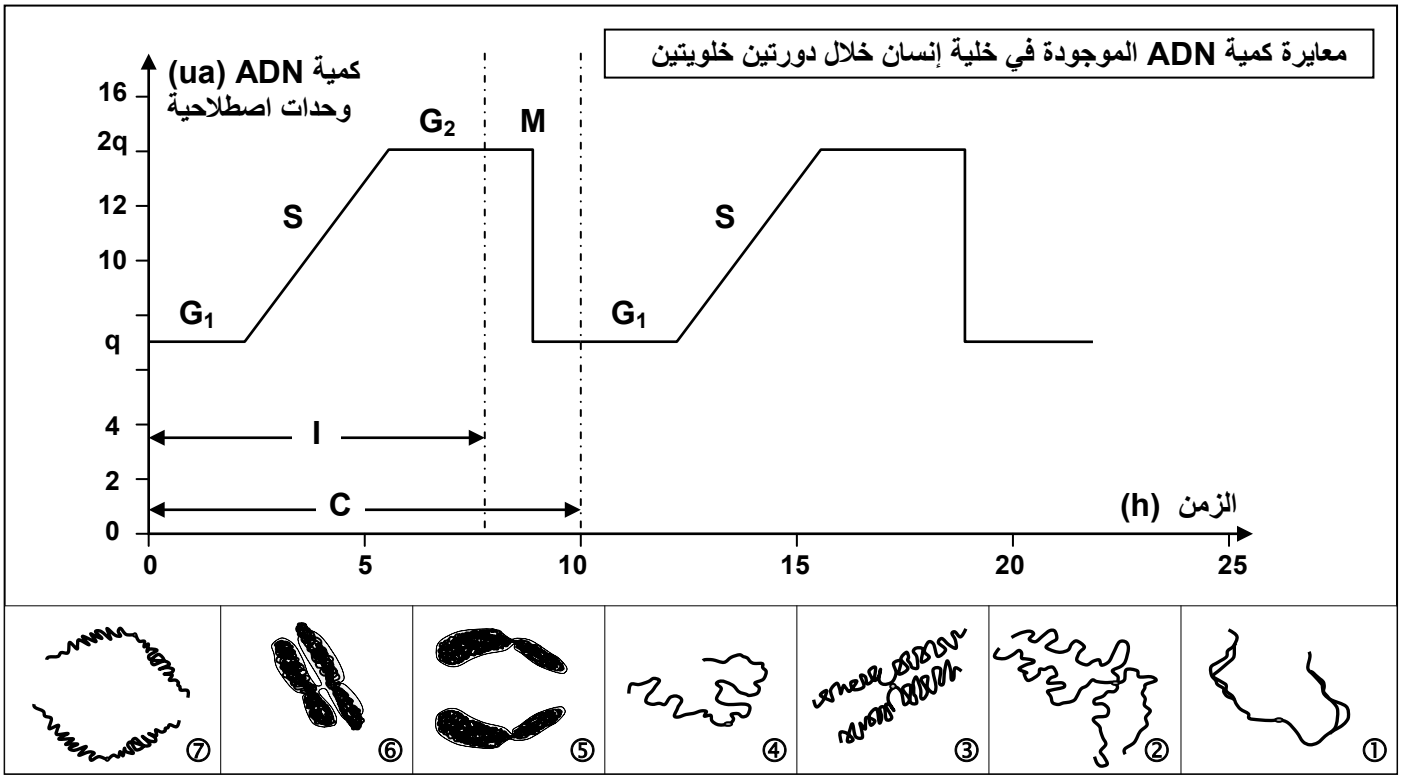
VI – آلية مضاعفة جزيئة ADN.

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 الـ ADN خلال دورة خلوية (أنظر الصفحة الموالية).

1) سم المراحل المشار إليها بحروف على الوثيقة. ثم حدد المدة الزمنية التقريبية للمراحل: I، وC ، وM.
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, G_2, S, G_1).
4) بين العلاقة بين كمية ADN في الخلية وشكل الصبغي في مختلف مراحل الدورة الخلوية.



1) تسمية المراحل:

I = مرحلة السكون، تدوم 8 ساعات، وتتكون من ثلاث فترات هي:

G_1 = فترة النمو الأولى، S = فترة التركيب / التضاعف. G_2 = فترة النمو الثانية.

M = الانقسام غير المباشر، ويدوم ساعتين.

C = M+I = دورة خلوية، وتدوم 10 ساعات.

2) تتغير كمية ADN في نواة الخلية خلال الدورة الخلوية على النحو التالي:

★ خلال الفترة G_1 من مرحلة السكون تبقى كمية ADN مستقرة في القيمة q، لتتضاعف خلال الفترة S وتمر من القيمة q إلى القيمة 2q. فتبقى مستقرة في القيمة 2q خلال الفترة G_2.

★ خلال الانقسام غير المباشر، تنخفض كمية ADN، لتمر من القيمة 2q إلى القيمة q، بحيث أنه خلال المرحلة التمهيدية والاستوائية، كمية ADN مستقرة في القيمة 2q، وفي المرحلة الانفصالية والنهائية، تصبح كمية ADN مستقرة في القيمة q.

3) ننسب للمرحلة G_1، الشكل 4. وللمرحلة S، الشكل 1. وللمرحلة G_2، الشكل 2. أما الأشكال 3، 5، 6، 7، فتنسب المرحلة M، أي الانقسام غير المباشر، (3 للمرحلة التمهيدية، 5 للمرحلة الانفصالية، 6 للمرحلة الاستوائية، 7 للمرحلة النهائية).

4) تتكون الدورة الخلوية من مرحلتين:

★ مرحلة السكون، خلالها تتضاعف كمية ADN في نواة الخلية، ومع تضاعف ADN تتضاعف الصبغيات حيث يصبح كل صبغي مكونا من صبيغيين.

★ مرحلة الانقسام غير المباشر، خلالها تنشطر الصبغيات على مستوى الجزيء المركزي، فتتشكل مجموعتان متماثلتان من الصبغيات، تحتوي كل واحدة على الكمية q من ADN.

يتبين من هذا أن الخلية تضاعف كمية ADN التي تتوفر عليها، لتصل إلى القيمة 2q، أثناء فترة السكون، ثم تعود بعد ذلك كمية ADN إلى القيمة الأصلية q أثناء المرحلة الانفصالية للانقسام غير المباشر.

② آلية مضاعفة ADN.

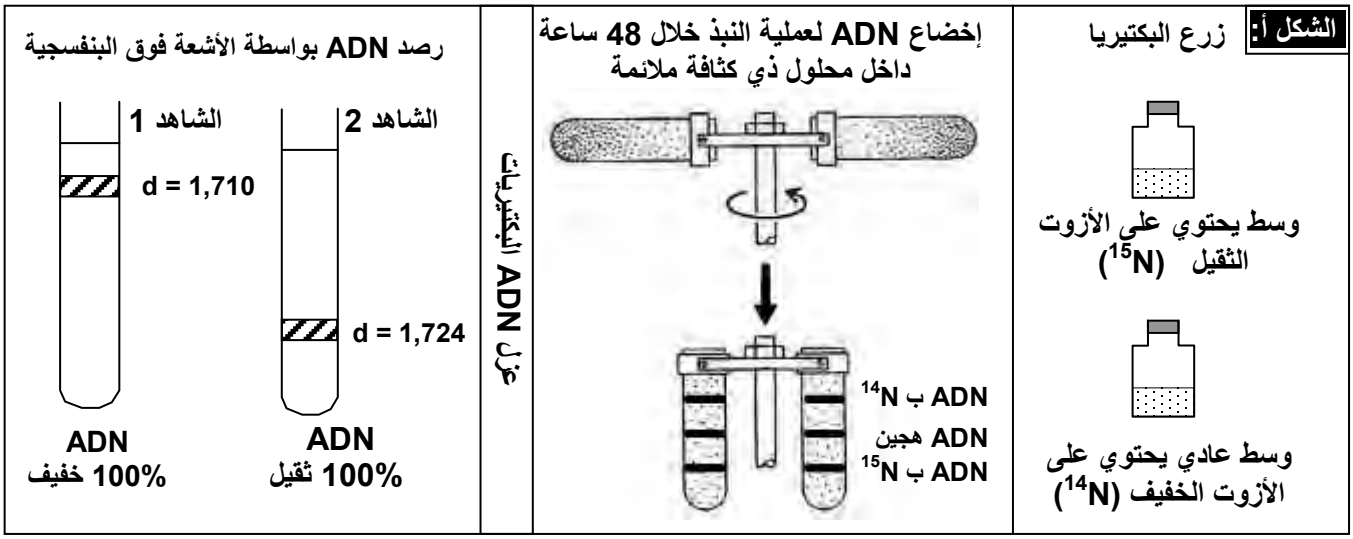
أ – تجربة Meselson و Stahl. أنظر الوثيقة 16.

الوثيقة 16: تجربة Meselson وStahl 1957.

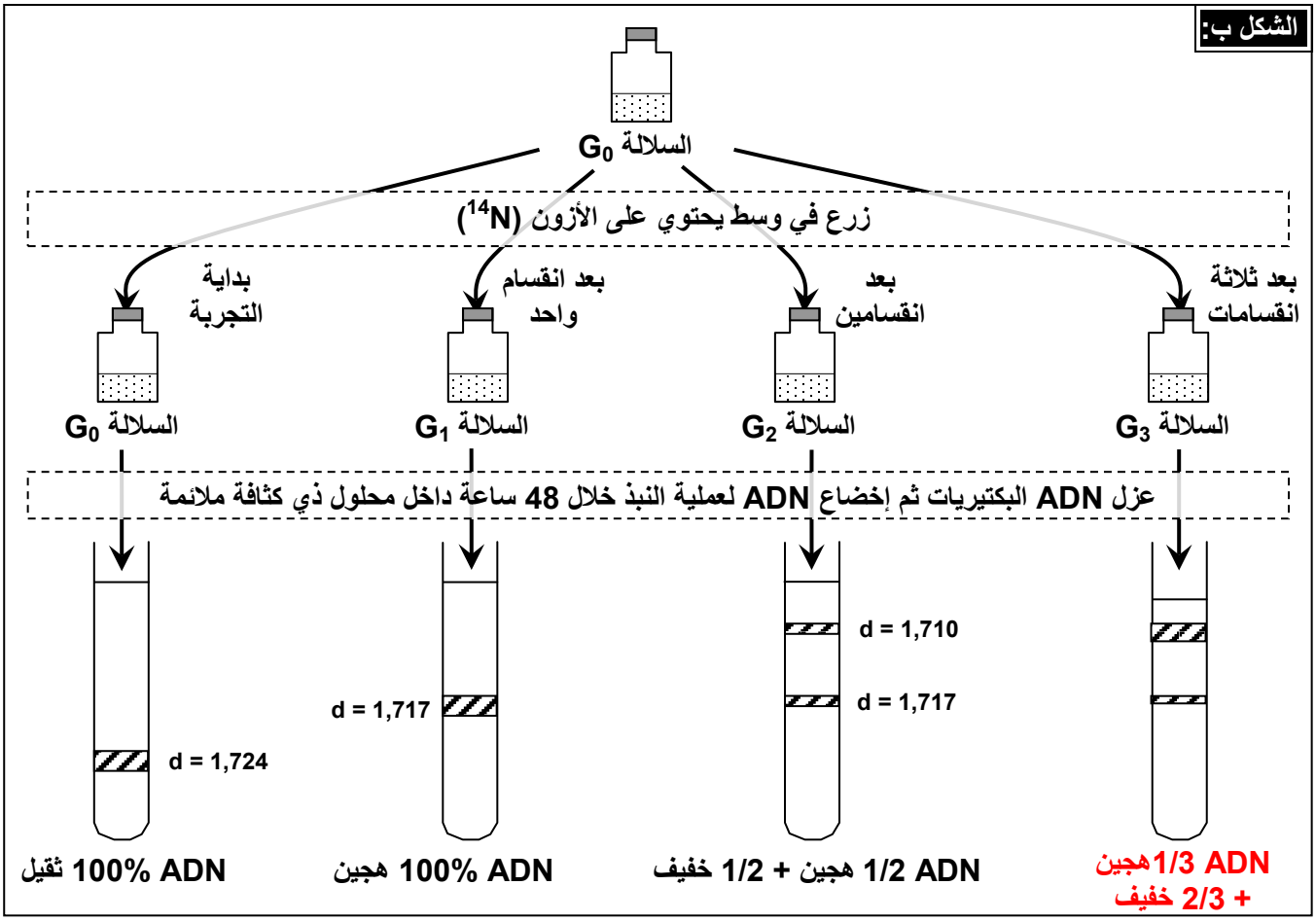
بهدف تحديد الكيفية التي تتم بها مضاعفة ADN، قام العالمان Meselson وStahl بإجراء التجارب التالية:

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

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



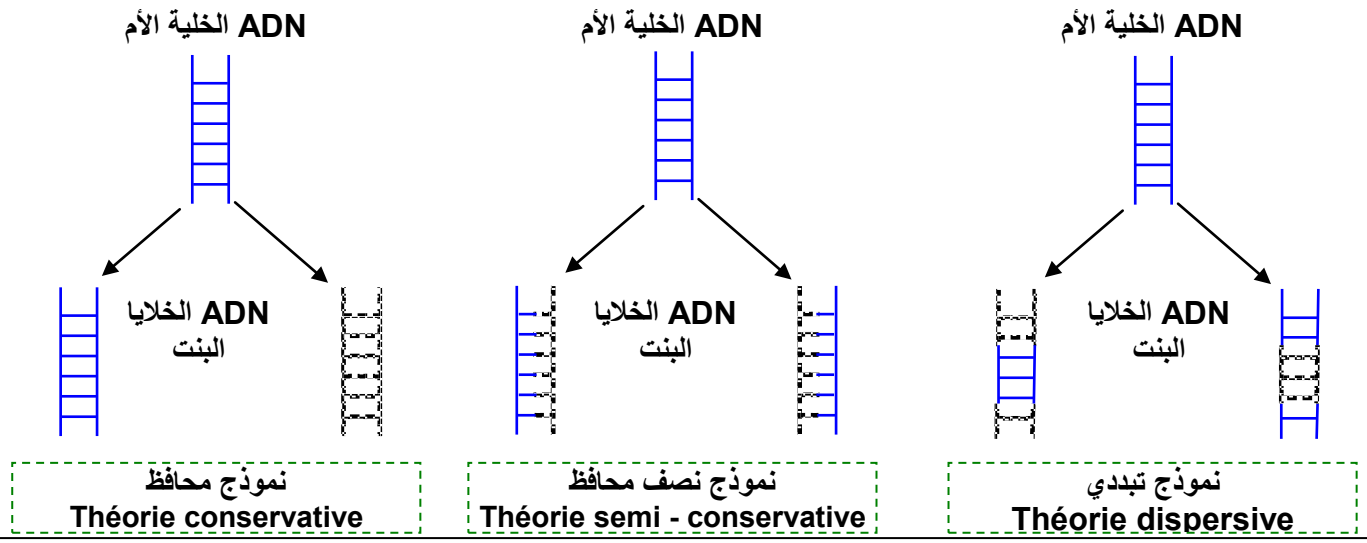
★ وضع العالمان عينة من بكتيريات الجيل G_0 في وسط اقتياتي به آزوت خفيف ^{14}N، و قاما بقياس كثافة ADN هذه البكتيريات بواسطة تقنية النبذ Centrifugation، بعد انقسام واحد G_1، ثم بعد انقسام ثان G_2، ثم بعد انقسام ثالث G_3. يمثل الشكل ب من الوثيقة النتائج التجريبية المحصل عليها.



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

الوثيقة 17: النماذج المقترحة لتفسير آلية مضاعفة ADN.

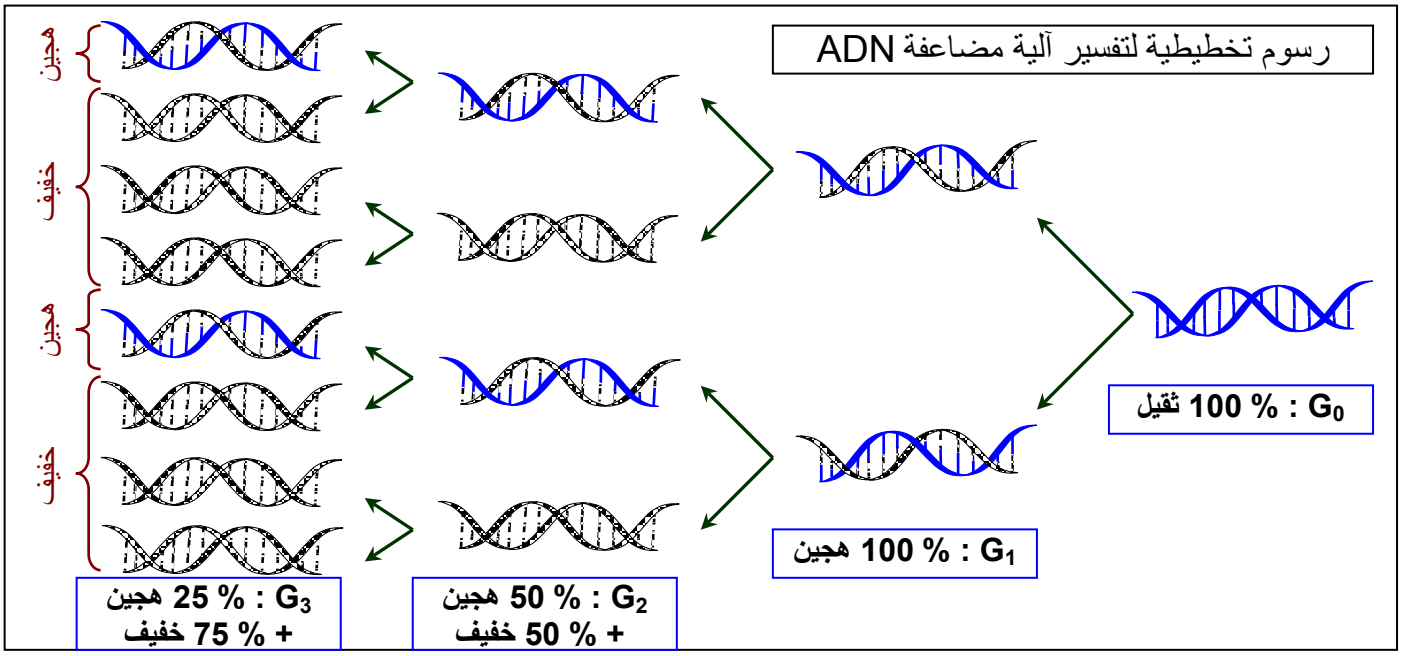
لتحديد الكيفية التي تتم بها مضاعفة ADN تم اقتراح ثلاثة نماذج يمكن أن تتم بها هذه المضاعفة. تمثل الوثيقة أسفله رسوما تخطيطية للنماذج الثلاثة المقترحة: الشريط القديم الشريط الجديد



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 هجينا.
- ✓ الجيل G2: 50% من الخلايا لها ADN هجين و 50 % لها AND خفيف.
- ✓ الجيل G3: 25% من الخلايا لها ADN هجين و 75 % لها AND خفيف.

بناءا على هذه النتائج، فان 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 Meselson وStahl، يتبين أن النموذج نصف المحافظ هو الملائم لتفسير آلية مضاعفة ADN. أنظر الرسم أسفله:



ب – تجربة Taylor. أنظر الوثيقة 18

الوثيقة 18: تجربة Taylor.

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

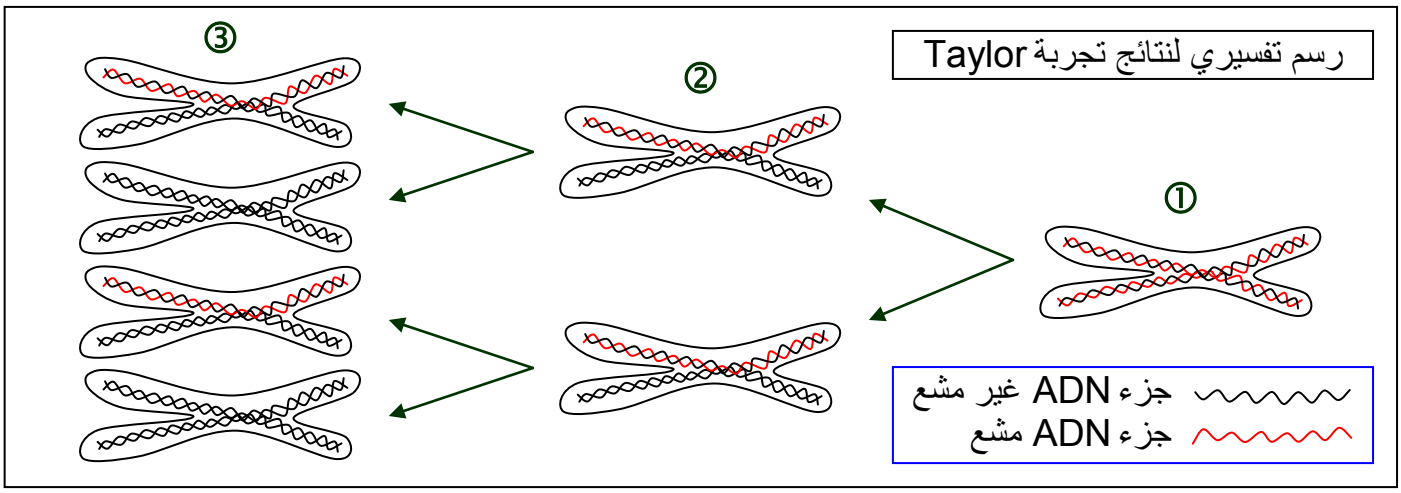
الوثيقة 3		
① مظهر الصبغيات بوجود التريتيوم	② مظهر الصبغيات بعد وضعها في وسط محايد خلال مدة تقابل دورة خلوية	③ مظهر الصبغيات بعد وضعها في وسط محايد خلال مدة زمنية تقابل دورتين خلويتين

1) بين أهمية توظيف التيميدين 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) التيميدين 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 بالتيميدين المشع، نلاحظ أن كل الصبغي يظهر نشاطا إشعاعيا.
بعد مدة زمنية من المعالجة تقابل دورة خلوية، نلاحظ أن أحد صبيغيي الصبغي يكون مشعا، والأخر غير مشع.
بعد مدة زمنية تقابل دورتين خلويتين، نلاحظ أن نصف الصبغيات يكون غير مشع، والنصف الأخر 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.



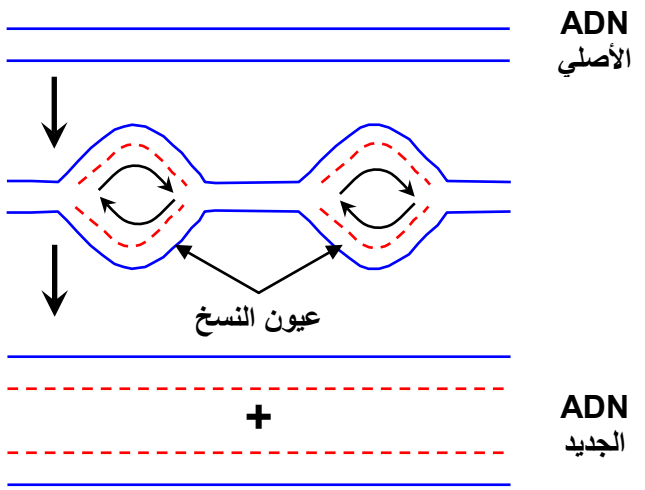
ج – التضاعف النصف محافظ لجزيئة ADN. أنظر الوثيقة 19

الوثيقة 19: آلية التضاعف نصف المحافظ لجزيئة ADN.

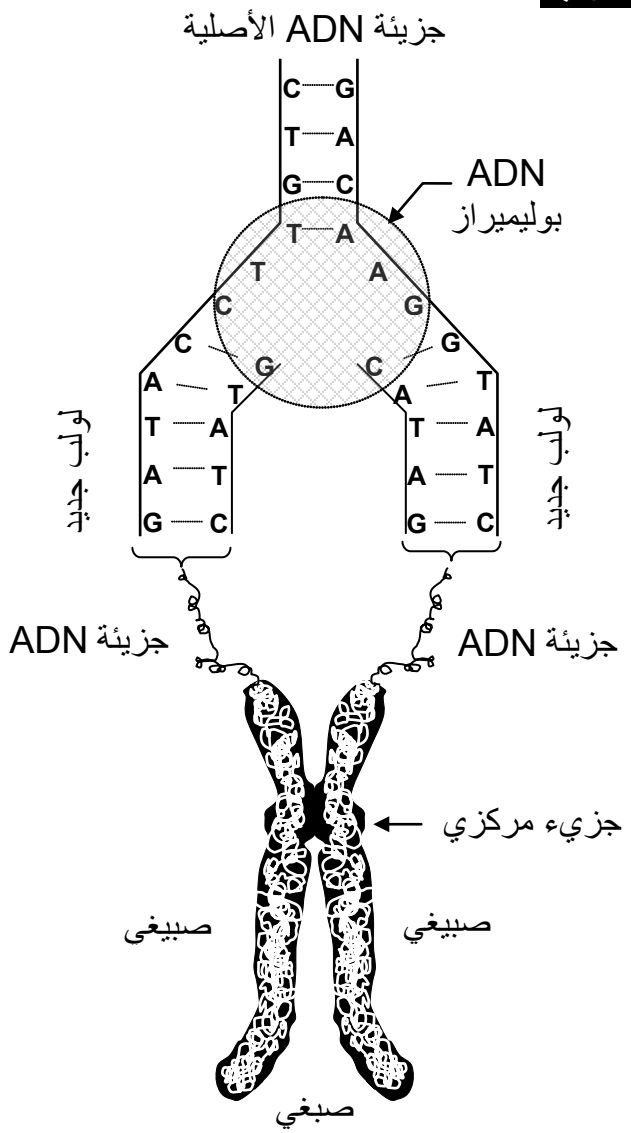
يعطي الشكل أ من الوثيقة ملاحظة الكترونوغرافية لصبغي في الفترة S من مرحلة السكون.
تعطي الأشكال ب، ج، د من الوثيقة رسوما تخطيطية توضيحية لآلية المضاعفة نصف المحافظة لجزيئة ADN.
من خلال معطيات هذه الوثيقة، صف كيف تتم مضاعفة الـ ADN .

الشكل أ: ملاحظة الكترونوغرافية لصبغي في الفترة S من مرحلة السكون

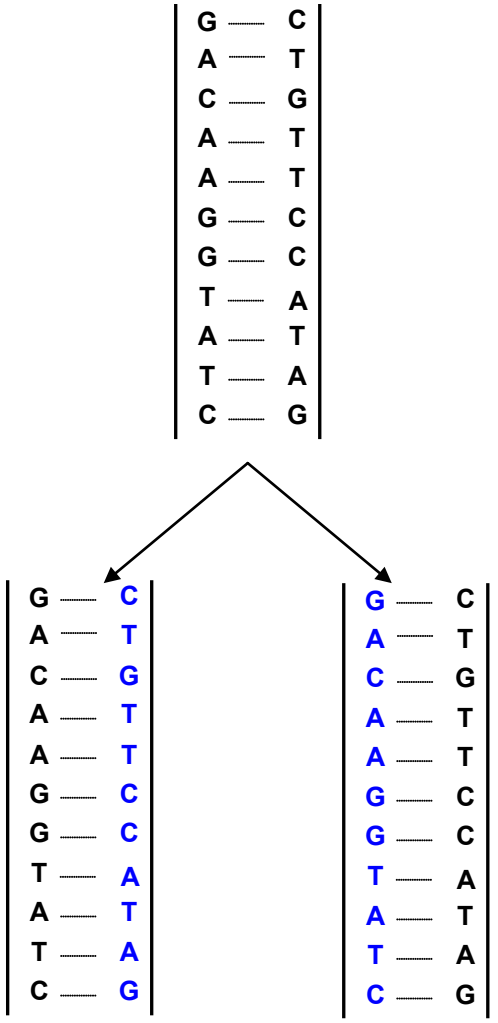
الشكل ج:



الشكل ب:



الشكل د:



يتطلب تركيب ADN جزيئة أصلية، ونيكليوتيدات حرة، وأنزيمات، وطاقة. ويتم التركيب الإحيائي لـADN على الشكل التالي:

- ❖ تحت تأثير أنزيم خاص، يتم تفريق اللولبين المكملين، بانفصال الروابط الهيدروجينية الرابطة بين القواعد الازوتية، وبذلك تظهر مناطق افتراق اللولبين على شكل عيون النسخ (الشكل أ).
- ❖ بلمرة تدريجية للنكليوتيدات تحت تأثير أنزيم ADN بوليميراز، حيث يستعمل كل شريط قديم كنموذج لتشييد شريط جديد، وذلك مع احترام تكامل القواعد الازوتية مع تلك المتواجدة في اللولب الأصلي،A مع T وC 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 جزيئتين بنتين من ADN، كل واحدة تتكون من شريط قديم، ورثته من الجزيئة الأصلية، مع شريط جديد (الشكل د).

ملحوظة:

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

معلومات إضافية

النوع	ذبابة الخل	الضفدعة	الحصان	الحمار	الكلب	القط	القرد	الدجاجة	البقرة
عدد الصبغيات	8	26	64	62	78	38	48	32	60

الوحدة الثانية، 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، الحليل، والطفرة.

① مفهوم الصفة الوراثية.

الصفة الوراثية هي ميزة نوعية (مثل اللون) أو كمية (مثل الطول)، تميز فردا عن باقي أفراد نفس النوع، وتنتقل من جيل لأخر، 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.

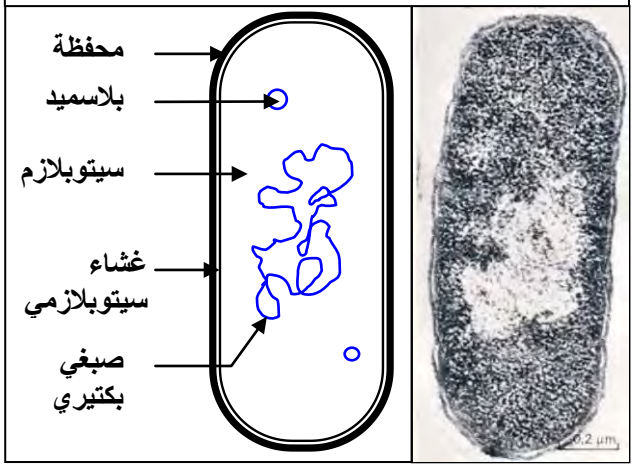
الوثيقة 1: التحول البكتيري عند Escherichia coli.

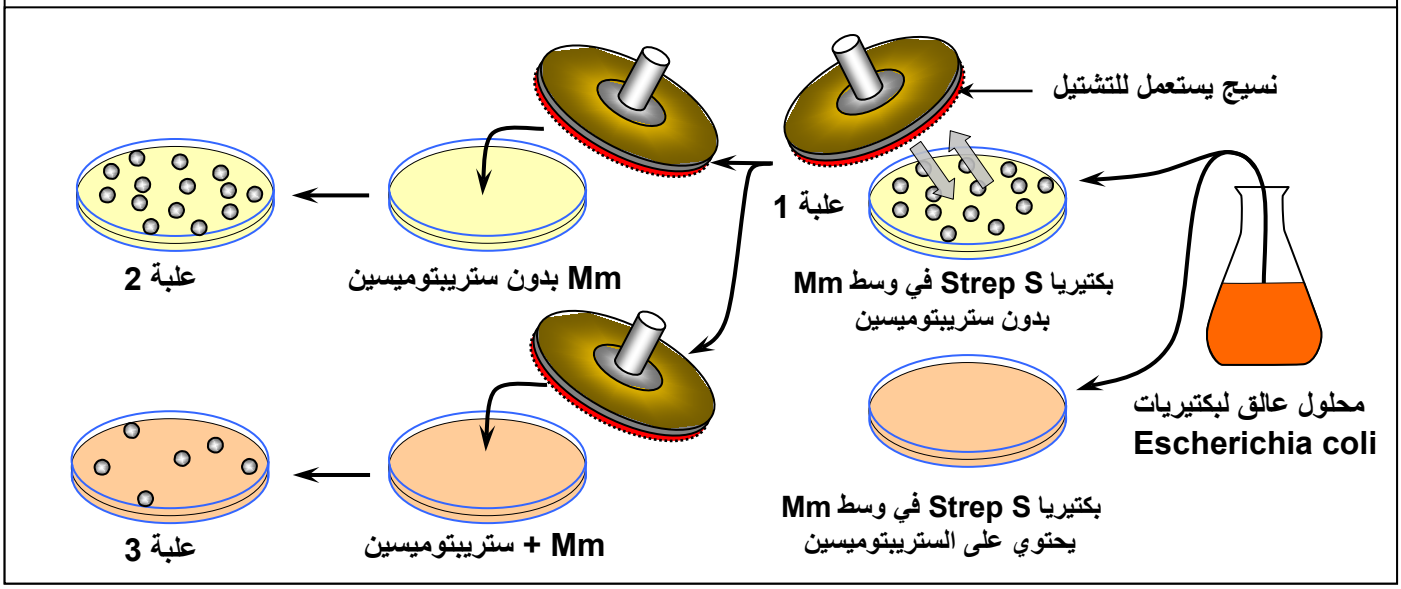
نقوم بتجربة عند إحدى الكائنات الحية التي لها بنية بسيطة ودورة نمو قصيرة زمنيا مثل بكتريا Echerichia-Coli (الشكل أمامه).
E.coli هي بكتيريا تكون عادة حساسة للمضاد الحيوي Antibiotique ستريبتوميسين Streptomycine، ويصطلح على تسميتها Strep S.

التجربة الأولى:

➤ نزرع بكتيريا حساسة للستريبتوميسين (Strep S) في وسط أدنى (أملاح معدنية + غراء + سكر) = (Mm) بدون ستريبتوميسين (علبة بيتري 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:

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





1) انطلاقا من معطيات هذه التجربة، أعط تعريفا للمة.
2) صف هذه التجربة، ثم حدد ما هو المشكل الذي تطرحه هذه النتائج؟
3) اقترح تفسيرا 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^-)، ادن 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 التجربتين وبنية جزيئة ADN ثم استخلص مفهوم المورثة Le gène ومفهوم الحليل.

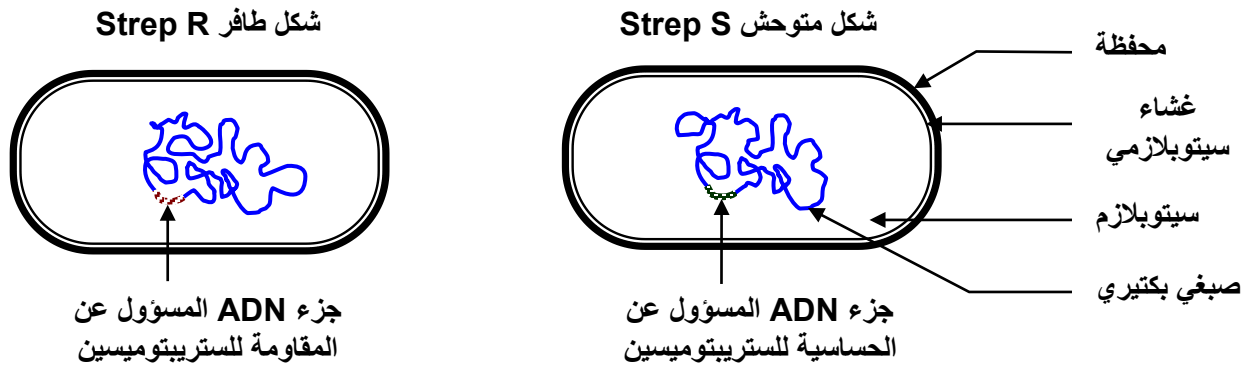
ب – تحليل واستنتاج.

1) اللمة هي مجموعة من الأفراد لهم نفس الخبر الوراثي، ومن تم نفس الصفات.

2) نلاحظ أن البكتيريا لا تتكاثر عند وجود الستريبتوميسين (Strep S)، لكن تظهر تلقائيا بكتيريات أخرى في هذا الوسط، مقاومة للستريبتوميسين، نصطلح 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، فان المتحكم فيهما هو ADN.
لا يمكن ادن 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. ونسمي 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 بالستريبتوميسين: 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 وTatum:

النوروسبورا Neurospora عفن مجهري على شكل غزل فطري، ينمو عادة على الخبز. يمكن للسلالة المتوحشة أن تعيش في وسط أدنى يحتوي على سكر + ماء + أملاح الأمونيوم. بينما توجد سلالة طافرة غير قادرة على العيش في هذا الوسط.

نقوم بزرع السلالة الطافرة في وسط أدنى + الحمض ألأميني التريبتوفان L'acide aminé Tryptophane فنلاحظ أن هذه السلالة 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:

أملاح الأمونيوم (وسط أدنى) ⟸ أنزيم E_1 ⟸ حمض أنترانيليك Antranilique ⟸ أنزيم E_2 ⟸ أندول Indole ⟸ أنزيم E_3 ⟸ تريبتوفان Tryptophane

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

1) نلاحظ أن السلالة الطافرة غير قادرة على تركيب التريبتوفان في وسط أدنى يتكون من أملاح الأمونيوم فقط. لذا نرمز لهذه السلالة ب Try^-، ونقول أنها سلالة غير ذاتية التركيب للتريبتوفان **Auxotrophe pour la tryptophane**.
بينما السلالة المتوحشة Try^+ فهي ذاتية التركيب للتريبتوفان **Autotrophe pour la tryptophane**.
نستنتج من هذه الملاحظة أن الصفة مرتبطة بالقدرة على تركيب بروتيني معين.

2) إن السلالة الطافرة Try^- غير قادرة على تحديد التحول أملاح الأمونيوم ← حمض الأنترانيليك، لغياب الأنزيم E_1.

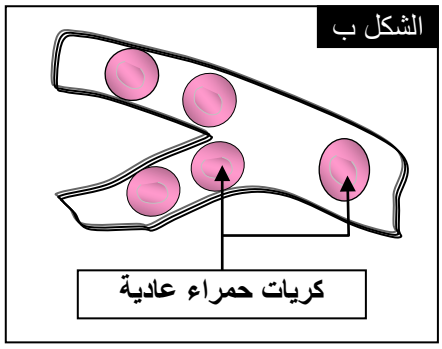
نستخلص ادن أن كل صفة مرتبطة بتركيب بروتيني معين، والذي يرتبط بدوره بتركيب أنزيمي معين.

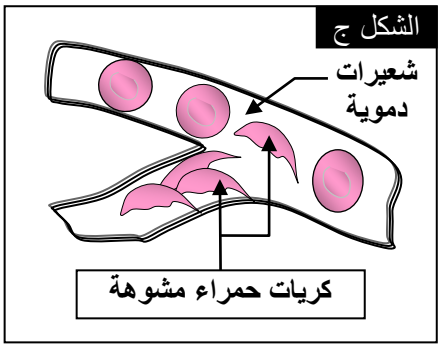
ب – مثال ثاني : فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme.

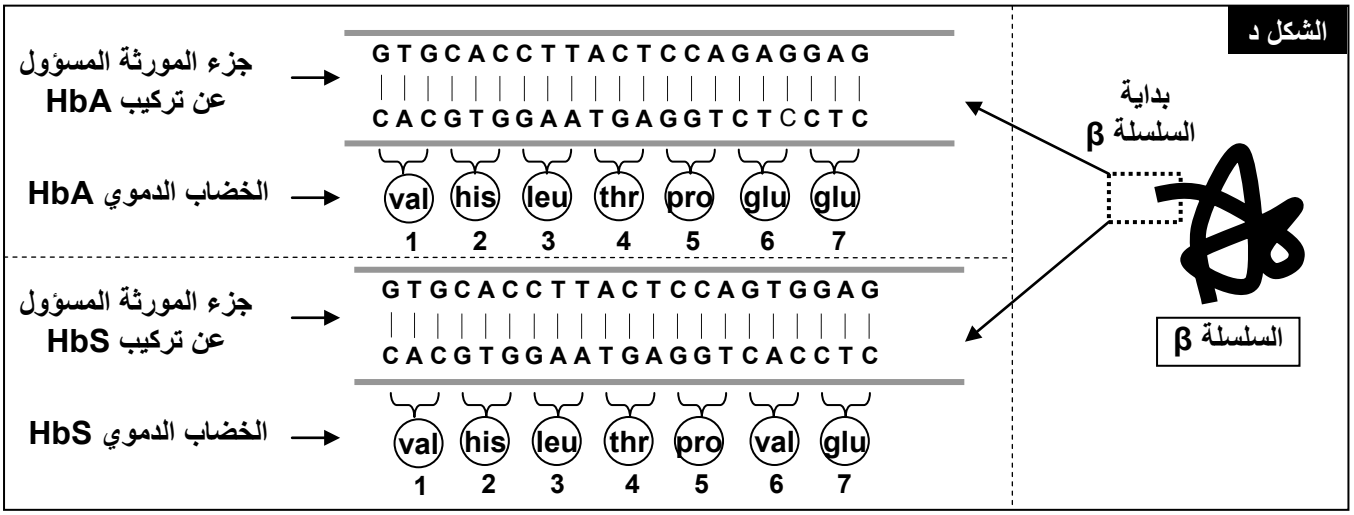
الخضاب الدموي L'hémoglobine، بروتين يوجد داخل الكريات الحمراء وله دورين: دور وظيفي يتجلى في نقل الغازات التنفسية، ودور بنيوي يتجلى في إعطاء الشكل الكروي المقعر للكريات الحمراء.
فقر الدم ألمنجلي مرض استقلابي ناتج عن تركيب خضاب دموي غير عادي (تشوه الكريات الحمراء تصبح منجلية الشكل) يرمز له ب (HbS)، بينما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

الشكل أ: ملاحظة مجهرية لكريات دموية عند شخص مصاب بفقر الدم المنجلي





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



1) قارن سلسلتي HbA وHbS من جهة ومورثة HbA وHbS من جهة أخرى.
2) ماذا تستنتج؟

1) يكمن 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 الازوتية لجزء المورثة HbS، إذ استبدل الزوج النيكليوتيدي رقم 17، حيث تم استبدال A – T في HbS بـ T – A في HbA.

2) إن استبدال متتالية القواعد الازوتية 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 بنيوي، أو نشاط بروتيني مختص، وأن كل تغير في تعاقب القواعد الازوتية (النيكليوتيدات) داخل جزيئة ADN، ينتج عنه تغير 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، فان 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.

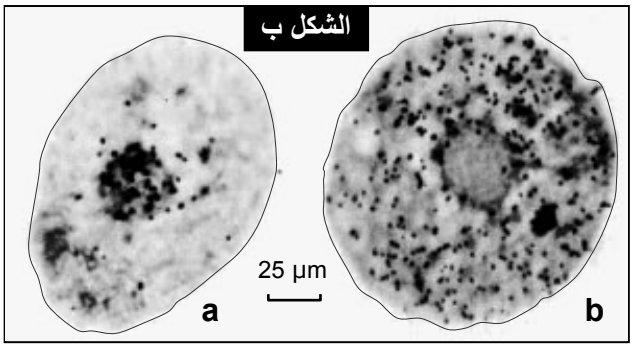
II – آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.

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.



تضم الخلايا جزيئات يقارب تركيبها الكيميائي تركيب ADN، وتسمى ARN. نكشف عن تموضع الجزيئتين 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 لجزيئة 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.

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

ب – تحليل واستنتاج.

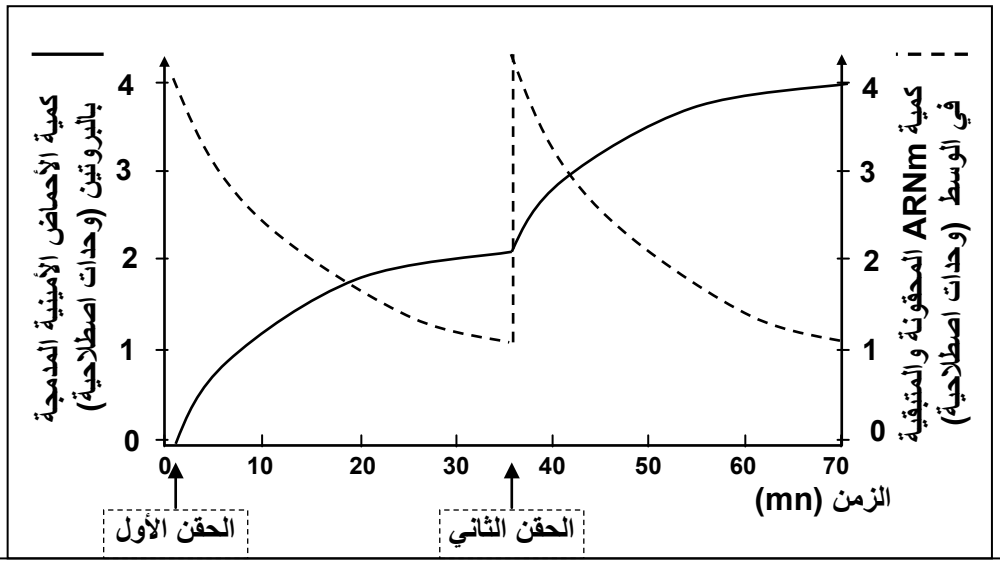
★ انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة يتبين أن اللون الأزرق يتركز في النواة، بينما السيتوبلازم يظهر ملونا بالوردي.
نستنتج من هذا أن ADN يتواجد بالنواة، بينما جزيئة ARN تتواجد بالسيتوبلازم.

★ انطلاقا من الشكل ب 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.
انطلاقا مما سبق يمكن افتراض أن الوسيط بين المورثات في النواة، والبروتينات في السيتوبلازم، هو ARN، لذلك سمي ARN الرسول، ونرمز له ب ARNm. (ARN messager).

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.

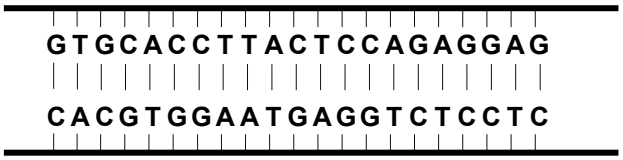
② بنية جزيئة ARN. أنظر الوثيقة 6 والوثيقة 7.

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 الجزيئتين وبالاعتماد على معطيات الوثيقة 7، استنتج بنية جزيئة ARN.

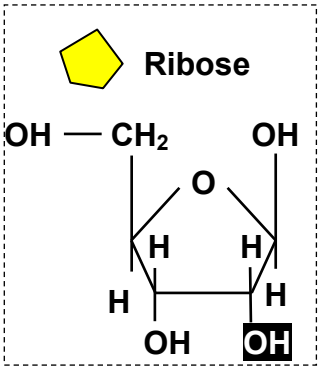
ARNm المناسب لـ ADN المسؤول عن تركيب HbA

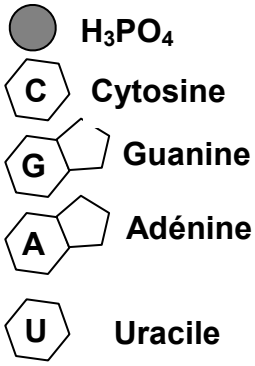
U = قاعدة ازوتية هي الأوراسيل (Uracile)

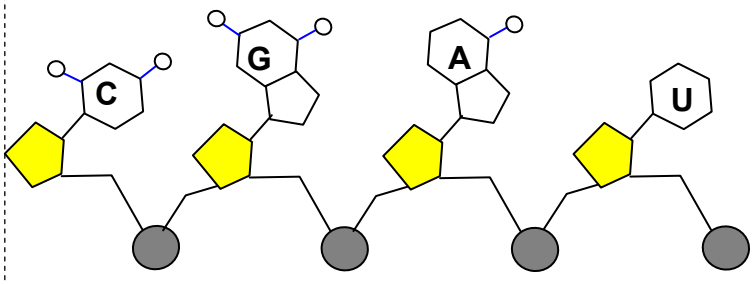


جزء من ADN المسؤول عن تركيب HbA

الوثيقة 7: بنية جزيئة ARN.







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 الأدنين A، أو الغوانين G، أو السيتوزين C، أو الأوراسيل U.

③ مراحل تعبير المورثة.

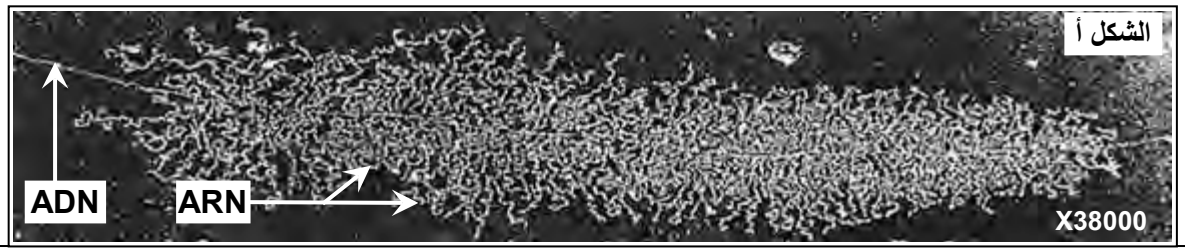
أ – مرحلة نسخ ARN: من المورثة إلى ARNm. أنظر الوثيقة 8

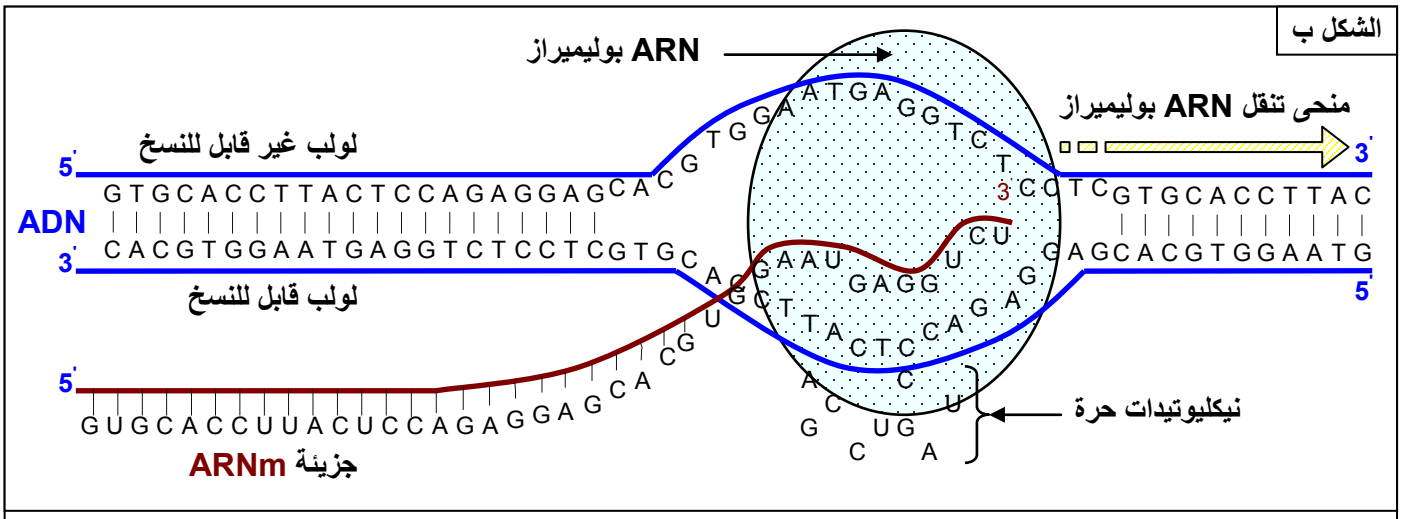
الوثيقة 8: بنية جزيئة ARN.

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 الكترونوغرافية لنواة خلية بيضية عند الضفدعة أثناء عملية النسخ.

★ يعطي الشكل ب رسما تخطيطيا توضيحيا لآلية نسخ جزيئة ARN الرسول (ARNm).





اعتمادا على معطيات هذه الوثيقة حدد مراحل تركيب جزيئة ARNm انطلاقا من ADN.

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 المتاكملة 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 أمينين 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 ؟

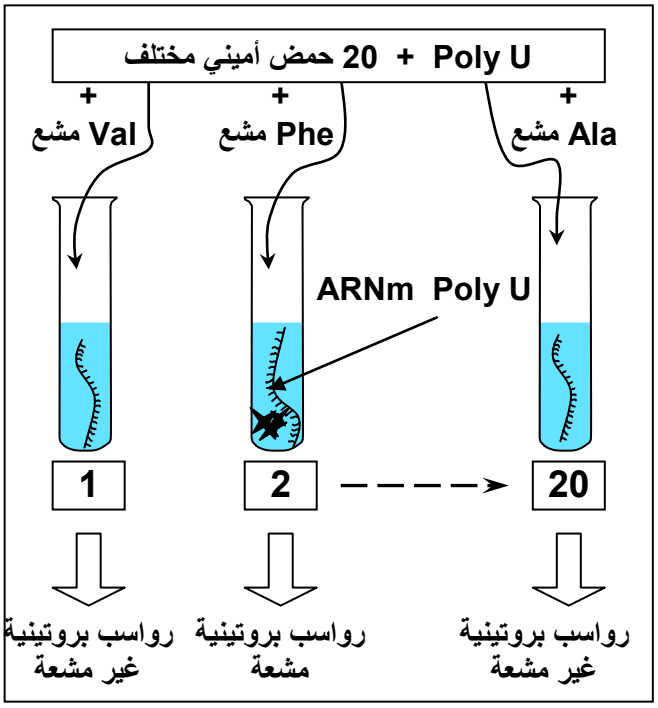
تبين هذه المعطيات ما يلي:

- 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 بلمرة النيكليوتيدات وتركيب جزيئة مشابهة لجزيئة ARNm (عديد نيكليوتيد اصطناعي)، الشيء الذي مكن Nirenberg وMatthaei من انجاز التجارب التالية:
عزل مستخلص خلوي من بكتيريا E.coli يتوفر على كل العناصر السيتوبلازمية اللازمة لتركيب البروتينات (أنزيمات، ريبوزومات، ATP، GTP، وMg^{2+}) لكن بدون ADN وبدون ARNm.



وضع المحتوى الخلوي تحت حرارة 37°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 نيكليوتيدية معروفة، مثلا متتالية مكونة من نيكليوتيدات 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 النيكليوتيدات، 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 نيكليوتيدي 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 النيكليوتيدات، 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 الأول		الحرف الثاني: U		C		A		G		الحرف الثالث
	U	UUU	الفينيلالنين Phe	UCU	سيرين Ser	UAU	تيروزين Tyr	UGU	سيستيين Cys	U
		UUC		UCC		UAC		UGC		C
		UUA	لوسين Leu	UCA		UAA	بدون معنى STOP	UGA	بدون معنىSTOP	A
		UUG		UCG		UAG		UGG	تريبتوفان Trp	G
	C	CUU	لوسين Leu	CCU	بروولين Pro	CAU	هستدين His	CGU	أرجينين Arg	U
		CUC		CCC		CAC		CGC		C
		CUA		CCA		CAA	غلوتامين Gln	CGA		A
		CUG		CCG		CAG		CGG		G
	A	AUU	ازولوسين Ileu	ACU	تريونين Thr	AAU	أسبارجين Asn	AGU	سيرين Ser	U
		AUC		ACC		AAC		AGC		C
		AUA		ACA		AAA	ليزين Lys	AGA	أرجينين Arg	A
		AUG	ميثيونين Met	ACG		AAG		AGG		G
	G	GUU	فالين Val	GCU	ألنين ala	GAU	حمض أسبارتيك Asp	GGU	غليسين Gly	U
		GUC		GCC		GAC		GGC		C
		GUA		GCA		GAA	حمض الغلوتاميك Glu	GGA		A
		GUG		GCG		GAG		GGG		G

c – مراحل الترجمة:

✸ **العناصر اللازمة للترجمة:** أنظر الوثيقة 12.

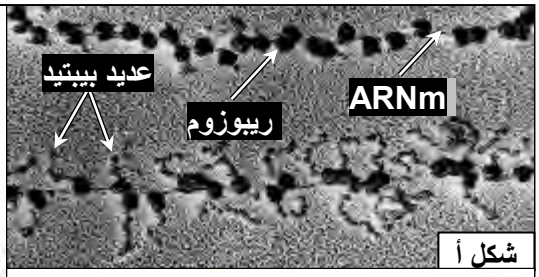
الوثيقة 12: العناصر المتدخلة في تركيب البروتينات:

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

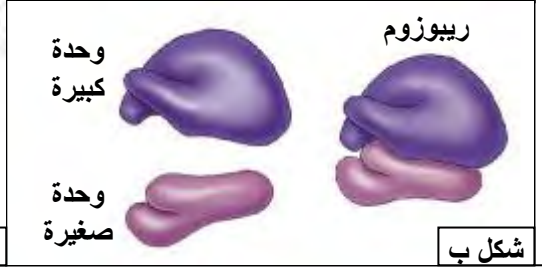
★ الشكل أ: ملاحظة الكترونوغرافية تظهر ارتباط الريبوزومات ب ARNm.

★ الشكل ب: رسم تخطيطي يوضح بنية الريبوزوم.

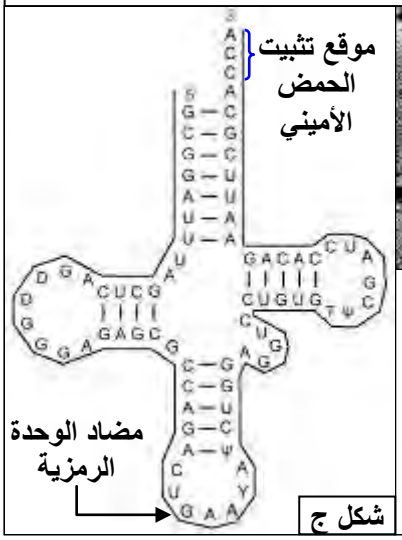
★ الشكل ج: جزيئة ARNt



شكل أ



شكل ب



شكل ج

يحتاج تركيب البروتينات بالإضافة إلى ARNm والمورثة إلى:

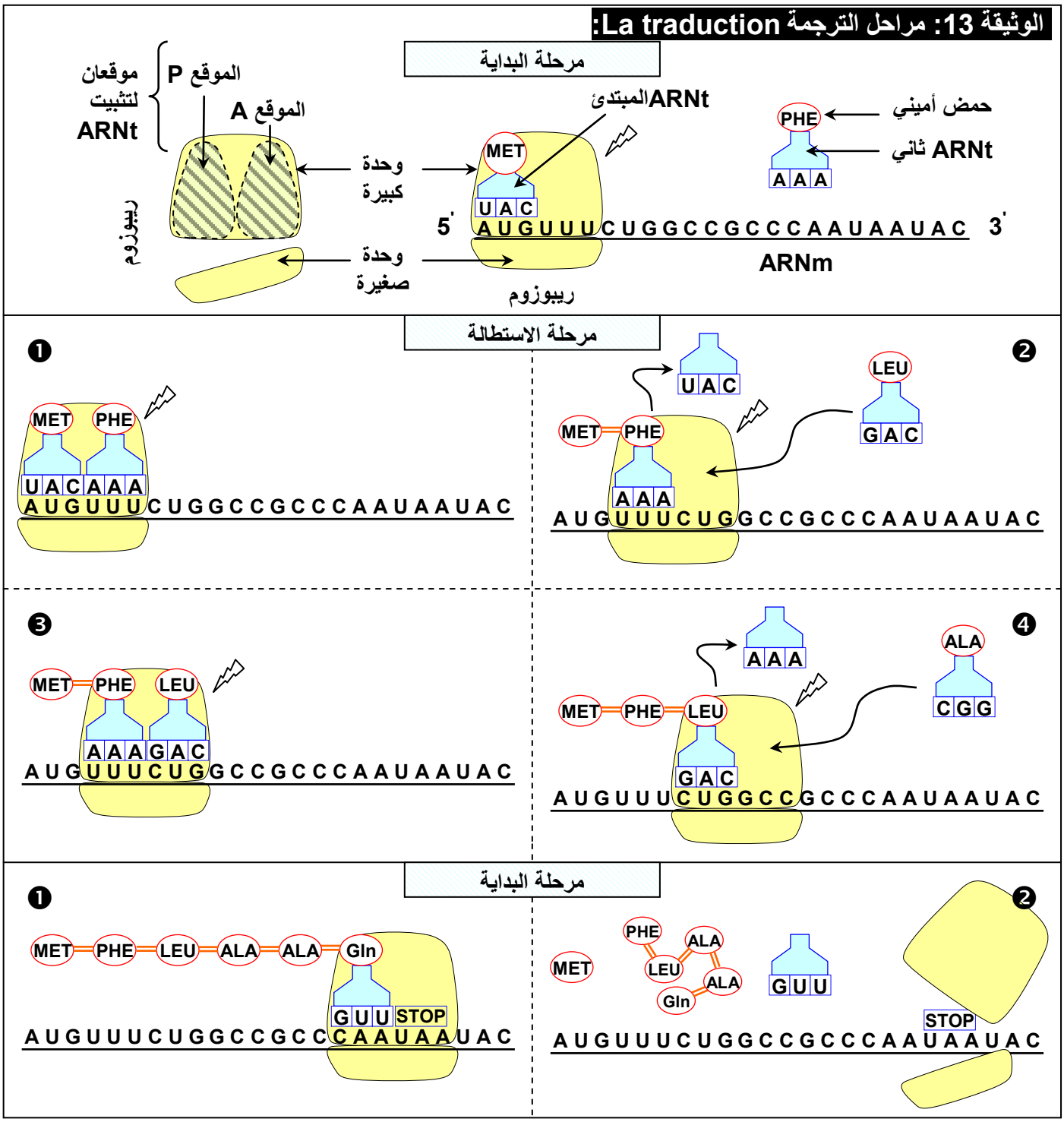
⇦ ريبوزومات (شكل أ)، وهي عضيات سيتوبلازمية صغيرة يتشكل كل واحد منها من وحدة صغيرة ووحدة كبيرة، (شكل ب)، وتتكون كل وحدة من ARN ريبوزومي (ARNr) ومن بروتينات. وتتشكل الريبوزومات داخل النوية.

⇦ 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 الطاقي.
- ⇦ عوامل منشطة.

✸ **مراحل الترجمة:** أنظر الوثيقة 13.



يمكن تلخيص ظاهرة تركيب البروتينات في ثلاثة مراحل أساسية وهي:

⇦ المرحلة الأولى: البداية L'initiation

خلال هذه المرحة تلتصق وحدتي الريبوزومات بـ ARNm، على مستوى الوحدة الرمزية AUG، التي تمثل إشارة البدء، وترمز للحمض الأميني الميثيونين الذي يرتبط بـ ARNt خاص يسمى ARNt المبتديء، 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 بيبتيدية بين الميثيونين (Met) والحمض الأميني الموالي، فتنفصل الرابطة بين Met وARNt المبتدئ الذي يغادر الريبوزوم.
يتحرك الريبوزوم بوحدة رمزية واحدة (حسب المنحى 5' ← 3' لشريط الـ ARNm المقروء)، ليصل ARNt ثالث، وهكذا تتضاعف الأحماض الأمينية في السلسلة البيبتيدية.

⇦ المرحلة الثالثة: النهاية La terminaison

عندما يصل الريبوزوم إلى الوحدة الرمزية قف (UAA أوUAG أوUGA) 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 البيبتيدية. كما ينفصل الحمض الأميني Met عن باقي السلسلة البيبتيدية.

ملحوظة:

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

الوحدة الثانية، 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؟

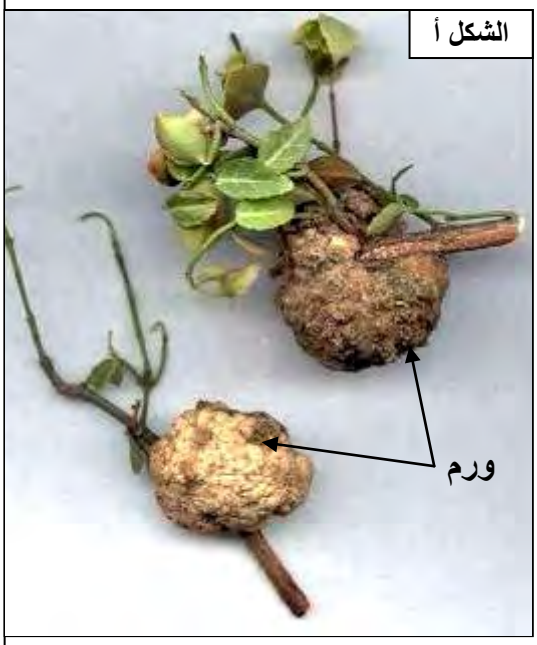
I – مفهوم التغيير الوراثي ؟

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 البكتريا في فتحة حديثة (أقل من يومين) أنجزت على نبات سليم، فلوحظ ظهور الورم السرطاني في النبتة.

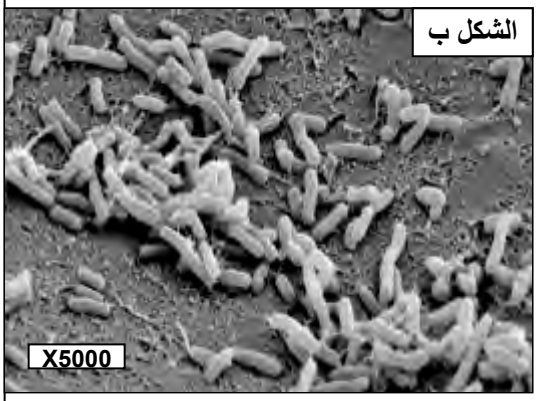
1) ماذا يمكنك استنتاجه من معطيات هذه التجربة؟

★ 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 متطلبة 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 بكتيريات At: A) وB) وهذان النمطان يسببان المرض (يؤديان إلى تكون ورم). حيث يؤدي النمط A إلى تكون ورم تركب خلاياه النوبالين Nopaline بينما يؤدي النمط B إلى تكون ورم تركب خلاياه الأكتوبين Octopine (النوبالين والأكتوبين عبارة عن مشتقات من مستقلبات مشتركة تتكون في معظمها من أحماض أمينية وأحماض سيتونية مختلفة أو سكريات).

4) ما مكمل الفرضية الذي يمكنك إعطاؤه حول التغيير الذي أصاب سلوك هذه الخلايا؟

★ **التجربة الثالثة:**

تمكن باحثون من عزل البكتيريا At وبعد دراسة مكوناتها وجدوا ADN حلقية تدعى البلاسميد Ti. نزرع في درجة حرارة 37°C أصل ذرية لبكتيريا At من النمط A حساسة للحرارة، فنحصل على أصل ذرية A_1. يبين الشكل ج بقية التجربة.

5) فسر النتائج المحصل عليها.

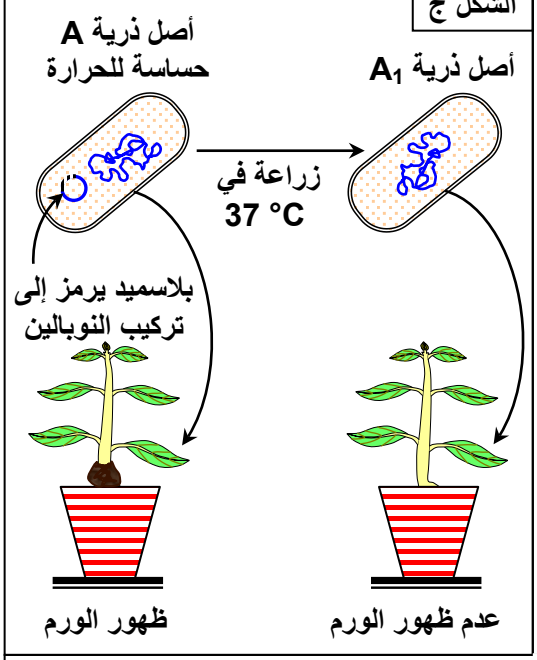
★ **التجربة الرابعة:**

لتوضيح دور البلاسميد (حلقة صغيرة من ADN تحمل مورثات إضافية)، ننجز التجربة التالية:

ندخل في نبات سليم بكتيريات A_1 لا تسبب المرض ومقاومة للمضادات الحيوية، وبكتيريات B مسببة للمرض وحساسة للمضادات الحيوية، فيتكون ورم (أنظر الجزء ① من الشكل د).

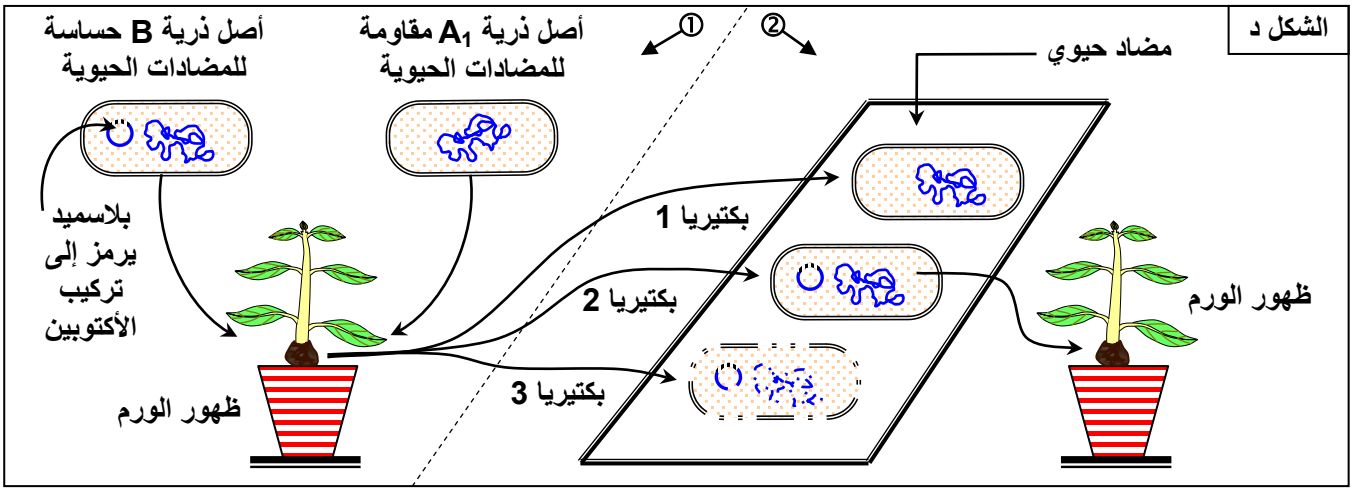
6) ما التفسير الذي تقترحه بالنسبة لنتيجة هذه التجربة؟

الشكل ج



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

الشكل د



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

8) هل يمكنك تحديد دور البلاسميد؟

9) انطلاقا من نتائج التجارب السابقة وباعتمادك 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 أصلا عن نمو خلايا السنخ.

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

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

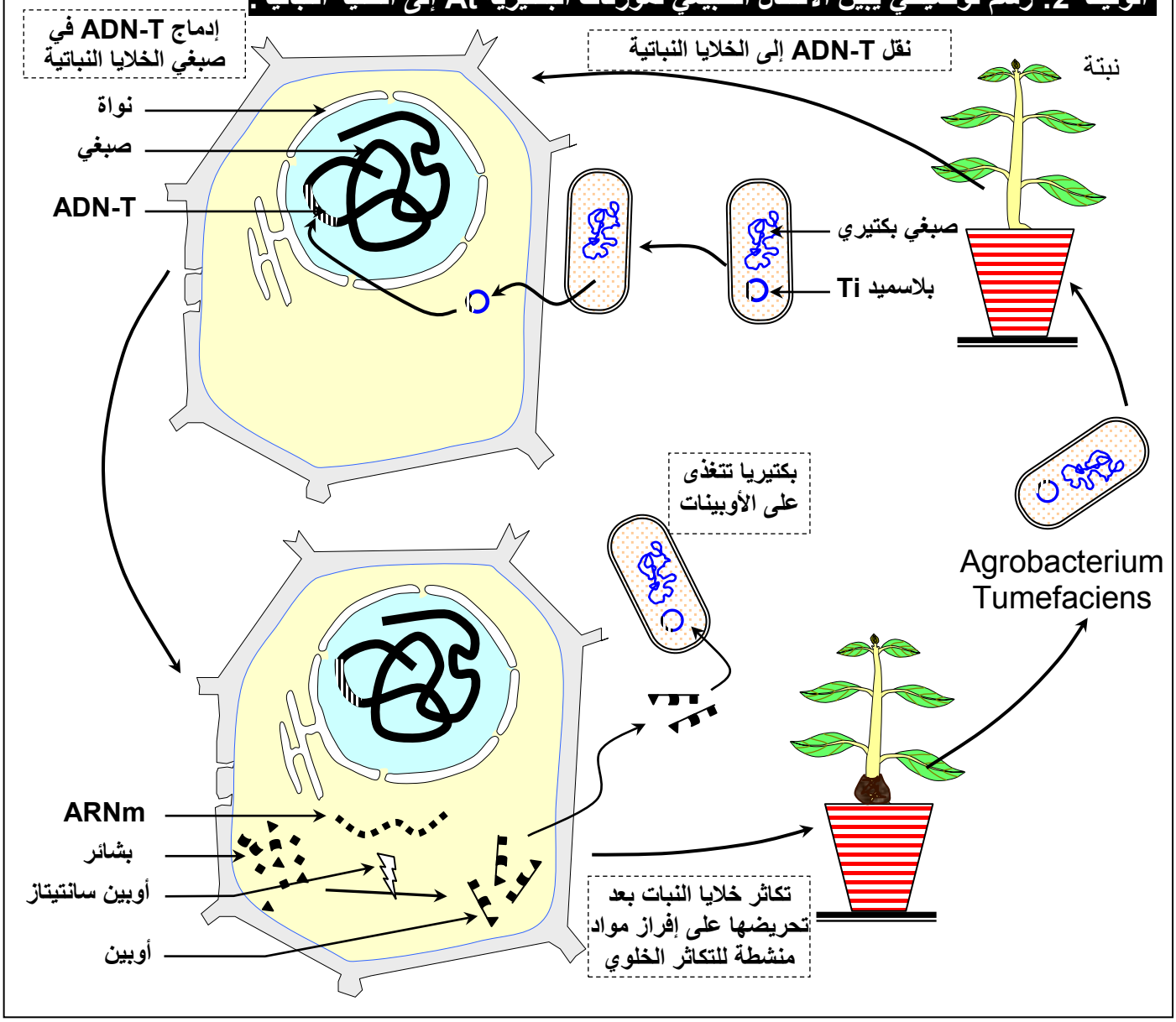
5) نلاحظ أنه تحت تأثير الحرارة، يتم تفكيك البلاسميد المسؤول عن تركيب النوبالين، وينتج عن هذا التفكك عدم إصابة النبتة بالورم، فالبلاسميد ادن هو المسؤول عن القدرة الممرضة للبكتيريا.

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، ادن هي البكتيريا A1.
البكتيريا 2 تحتوي على بلاسميد ومقاومة للمضادات، ادن هي نمط هجين يحمل صفات A1 و B.
البكتيريا 3 هي حساسة للمضادات الحيوية، ادن 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.

الوثيقة 2: رسم توضيحي يبين الانتقال الطبيعي لمورثات البكتيرية At إلى الخلية النباتية:



9) يظهر جرب السنخ على مراحل هي:

✓ المرحلة الأولى: تنفد 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.

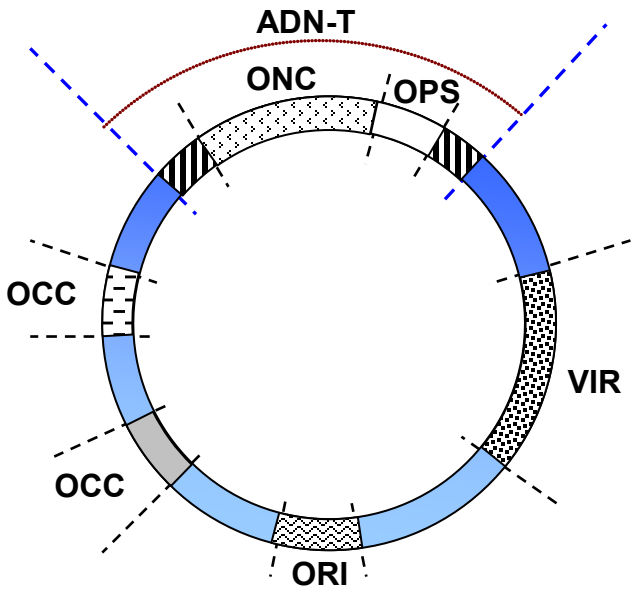
✓ المرحلة الثالثة: تستنسخ ARNm من مورثات ADN-T، وتترجم إلى بروتين في سيتوبلازم الخلية النباتية. هذا البروتين هو أنزيم أوبين سانتيتاز الذي يحفز تفاعل تركيب الأوبين من طرف الخلية.

✓ 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.

الوثيقة 3: الخريطة الوراثية للبلاسميد Ti عند البكتيريا At.



يرمز لهذا البلاسميد بـ Ti، نسبة لـ Tumor inducing أي محرض للورم.

- Transferred ADN = ADN-T الجزء الذي ينتقل إلى الخلايا النباتية ويندمج مع ذخيرتها الوراثية. ويرمز للمورثات المسؤولة عن تركيب الأوبينات (OPS)، والمسؤولة عن التكاثر العشوائي (ONC).
- الوظيفة VIR مسؤولة عن إدماج ADN-T في المادة الوراثية للخلية النباتية.
- الوظيفة OCC مسؤولة عن هدم الأوبينات المحررة من طرف النبتة.
- الوظيفة ORI مسؤولة عن النسخ الذي يمكن البلاسميد من التكاثر.

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:

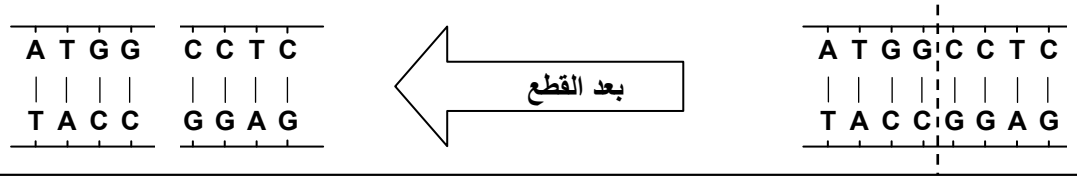
تعتبر العصية الكولونية La Colibacille E.coli، الكائن المفضل عند العلماء المهتمين بميدان الهندسة الوراثية وذلك لعدة اعتبارات، أهمها القدرة الكبيرة لهذا الكائن على التكاثر (تنقسم في الظروف المثلى كل 20 دقيقة)، وكذلك لتوفره بالإضافة للصبغي الأساسي على عدة بلاسميدات يمكن استغلالها كناقلات للمورثات، كما أن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

ب – أنزيمات الفصل وأنزيمات الربط :

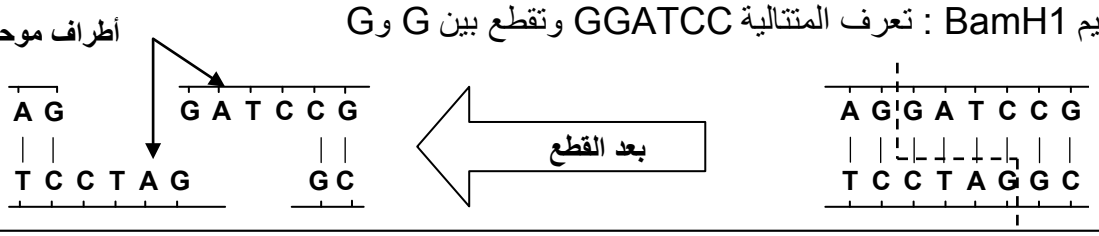
a - أنزيمات الفصل les enzymes de restriction

★ أنزيمات الفصل وأنزيمات الربط Les enzymes de restriction et les Ligases
في سنة 1965 اكتشف W.arber أن البكتيريات المعفنة بالحمات تستطيع مقاومة هذه الطفيليات بتقطيع ADN الحمة 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.

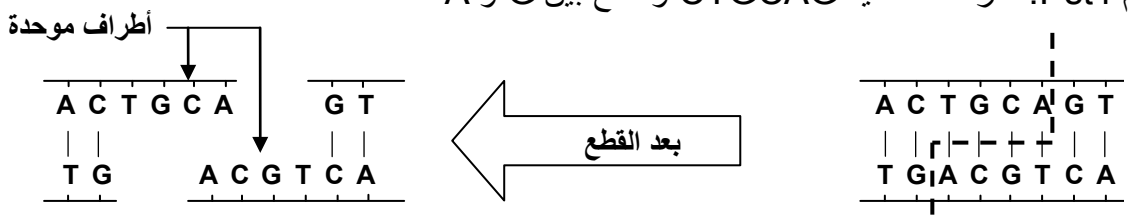
⇦ أنزيم HaeIII : تعرف المتتالية GGCC وتقطع بين G وC



⇦ أنزيم BamH1 : تعرف المتتالية GGATCC وتقطع بين G وG



⇦ أنزيم Pst1: تعرف المتتالية CTGCAG وتقطع بين G و A



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

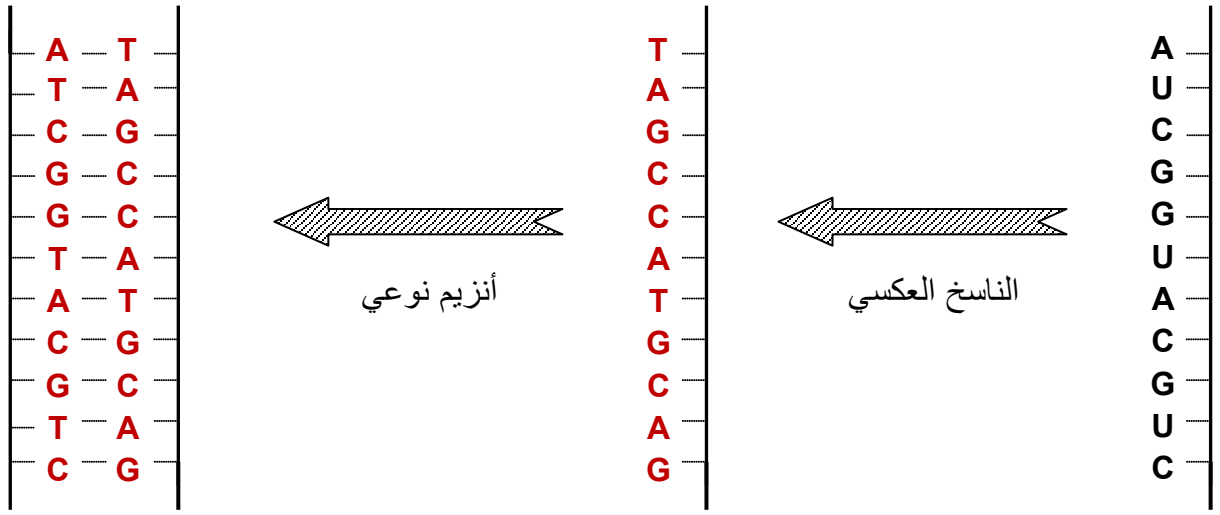
هي أنزيمات نوعية قادرة على ربط أجزاء ADN مقطوعة (بواسطة أنزيمات الفصل)، وذلك بربط الأطراف الموحدة مع بعضها حسب مبدأ تكاملية القواعد الازوتية.

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 خيط ADN المنفرد الناتج عن النسخ العكسي، ثم حدد جزيئة ADN المزدوجة والتي تمثل المورثة المرغوبة.

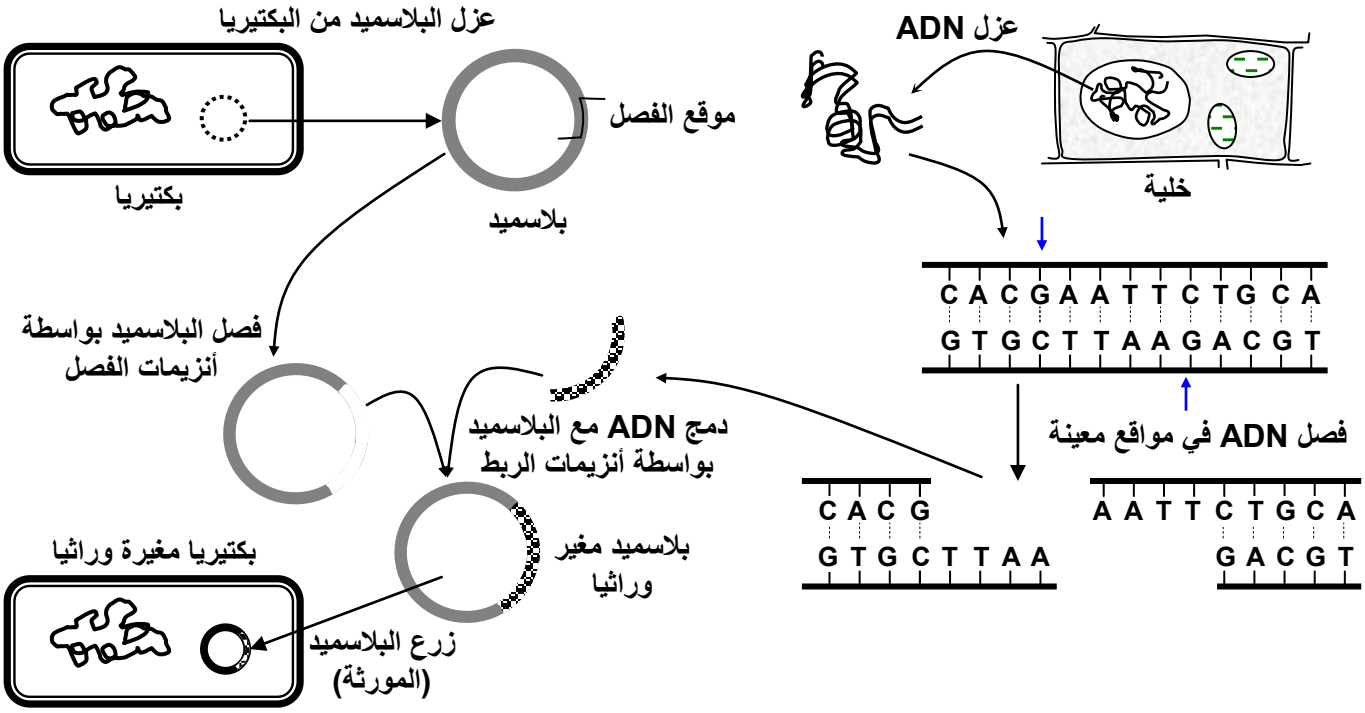


② مراحل عزل ونقل مورثة من خلية إلى بكتيريا : أنظر الوثيقة 4.

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 (خلية E.coli).

③ تلميم المورثة ورصد البكتيريا المغيرة وراثيا:

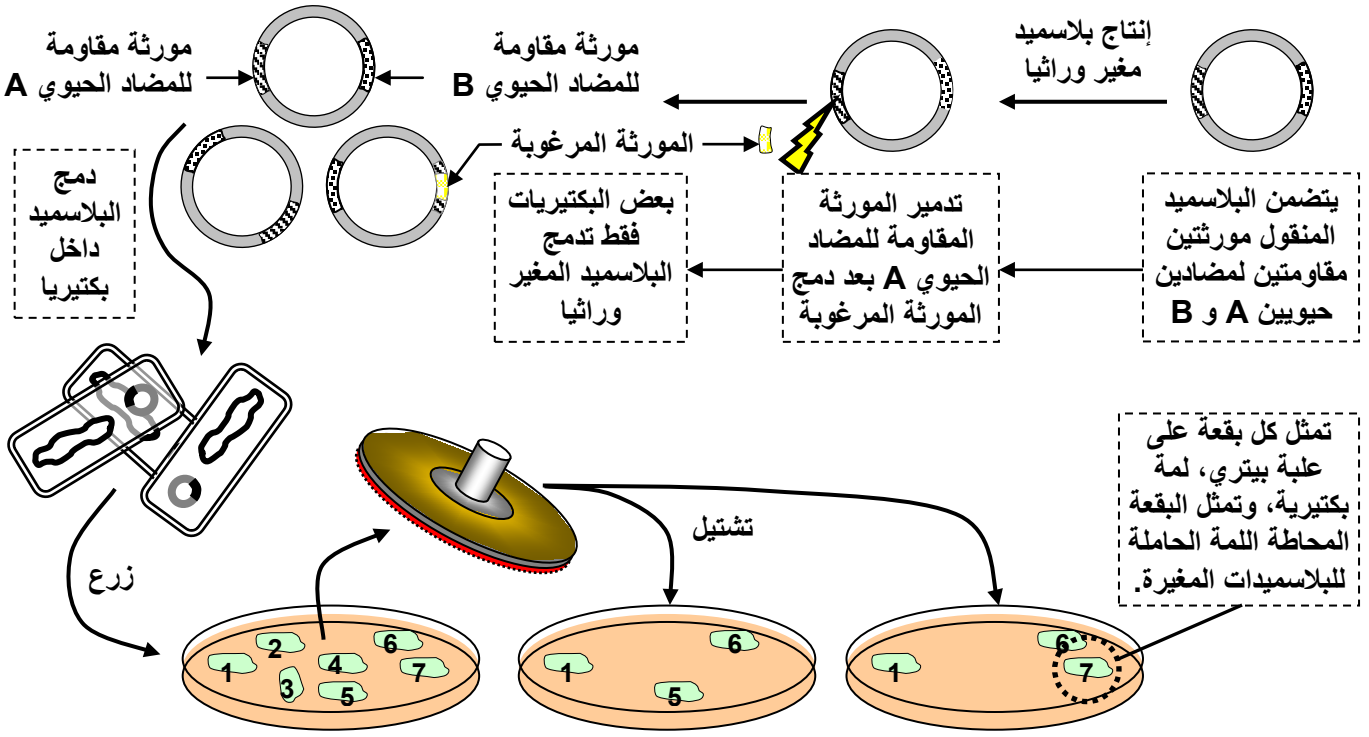
أ – رصد البكتيريات المغيرة وراثيا بواسطة المضادات الحيوية. أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: رصد البكتيريات المغيرة وراثيا من خلال استعمال المضادات الحيوية:

بعد دمج البلاسميد في البكتيريات العائلة، يتم زرعها داخل علبة بيتري في وسط ملائم، بحيث تتكاثر مكونة مستعمرات على شكل لمات. بعد ذلك يتم نقل هذه اللمات إلى علب جديدة، فنحصل بذلك على عدة لمات، فنتكلم بذلك عن التلميم. بعض هذه اللمات 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 اللمات 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 دمجه للمورثة الجديدة، فقد البلاسميد المورثة A دون أن يفقد المورثة B. ادن البكتيريا الحاملة للبلاسميد المغير ستكون حساسة للمضاد الحيوي A ومقاومة للمضاد الحيوي B. وهكذا يتم رصدها باستعمال هذه المضادات الحيوية كما يلي:

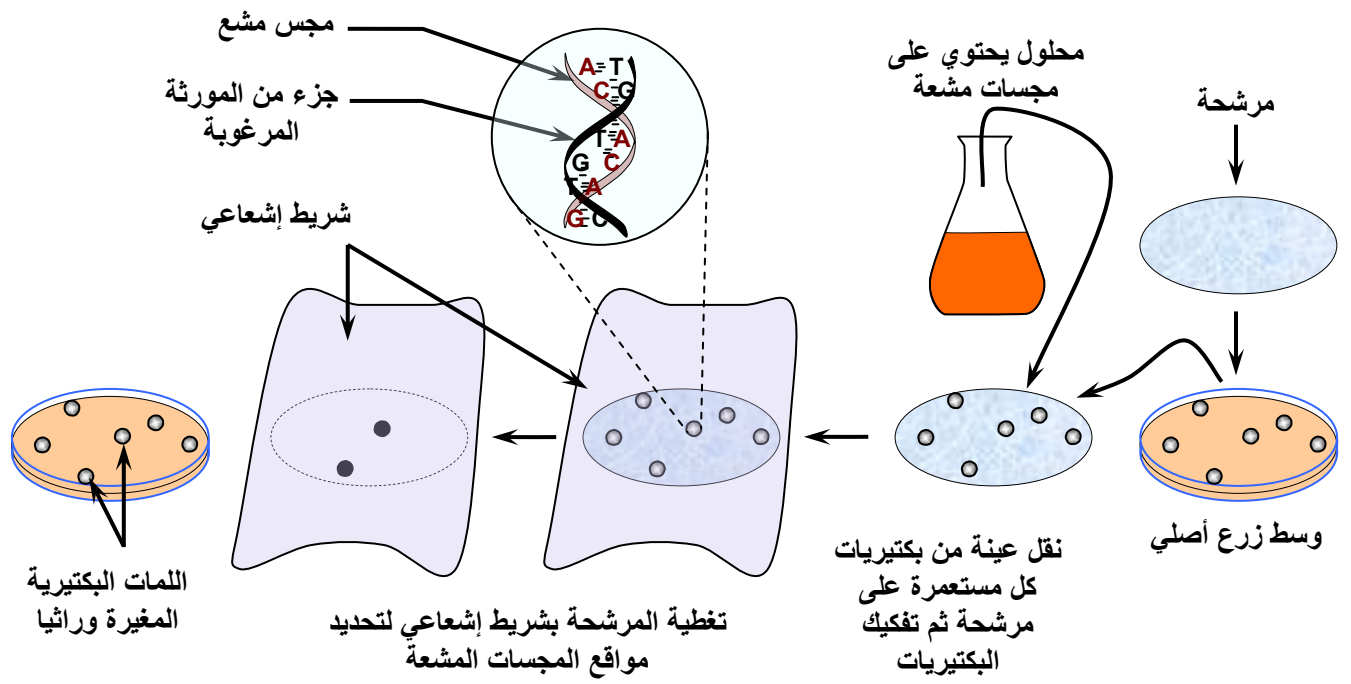
- ⇦ عند زرع البكتيريا في وسط زرع يضم المضاد الحيوي A، ستنمو فقط البكتيريات التي تتوفر على المورثة المقاومة لـ A، وتختفي التي لا تتوفر على مورثة المقاومة لـ A. هذه الأخيرة هي 2، 3، 4، 7.
- ⇦ عند زرع البكتيريا في وسط زرع يضم المضاد الحيوي B، تنمو فقط البكتيريات التي تتوفر على المورثة المقاومة لـ B، وهي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

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 ومكملة لمتتالية الـ ADN لجزء مميز من المورثة المستهدفة. يتم بعد ذلك تحديد تموضع الإشعاع باستعمال شريط إشعاعي.
يدل الإشعاع في الشريط، على موقع تواجد المجسات المشعة، وبالتالي موقع تواجد البكتيريات الحاملة للمورثة المرغوبة.
تمثل الوثيقة 7 أهم مراحل هذا التقنية.

الوثيقة 7: رصد البكتيريات المغيرة وراثيا من خلال استعمال المجسات المشعة:



④ تعبير المورثة.

بعد الحصول على اللمات 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، وزرعه 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.

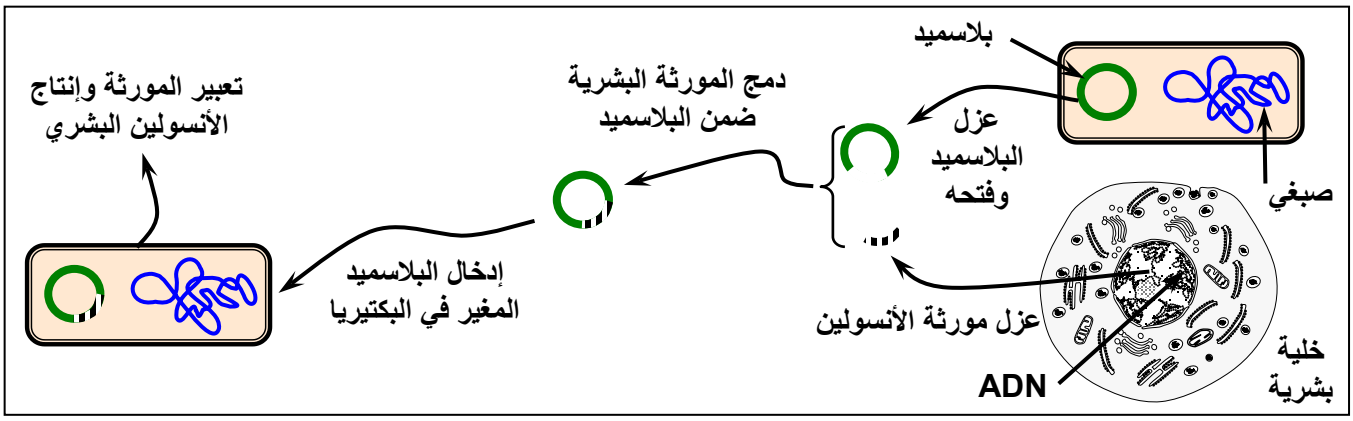
III – أمثلة لتطبيقات الهندسة الوراثية.

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 لجزيرات 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.



انطلاقا 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 أطرافا موحدة).
+ استخراج البلاسميد (ناقل) من بكتيريا.
+ قطع ADN البلاسميد بواسطة أنزيم الفصل. (يملك ADN البلاسميد المقطوع أطرافا موحدة، والتي تتكامل مع أطراف ADN البشري المعزول).
+ دمج المورثة على البلاسميد بواسطة أنزيم الربط.
+ نقل البلاسميد إلى داخل البكتيريا.
+ رصد البكتيريات المغيرة وراثيا.
+ تلميم البكتيريات للحصول على لمات تتوفر على المورثة المراد نقلها.
+ حث البكتيريات المغيرة وراثيا على إنتاج الأنسولين.

② نقل القدرة على محاربة الحشرات الضارة أنظر وثيقة 9 والوثيقة10.

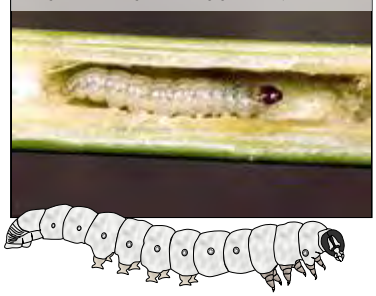
الوثيقة 9: الإنتاج الصناعي لبروتينات سامة ضد الحشرات الضارة .

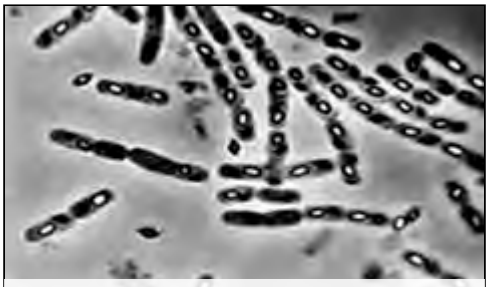
تعتبر الذرة من النباتات البالغة الأهمية، إذ تدخل في التغذية البشرية والحيوانية. إلا أن زراعة هذا النبات تعرف خسارات في الكمية والجودة بسبب تطفل أسروعات الفراشات النارية **La pyrale du maïs**، (***Ostrinia nubilalis***) (الشكل أ وب)، إذ بعد انفقاس البييضات، تتوغل الأسروعات داخل ساق النبتة لتتغذى على أنسجتها، كما تحدث أضرارا على مستوى السنابل والبذور، فيصبح النبات المصاب ضعيف النمو.

لمقاومة هذه الأسروعات، اكتشف بعض العلماء نوعا 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 أ: الفراشة النارية

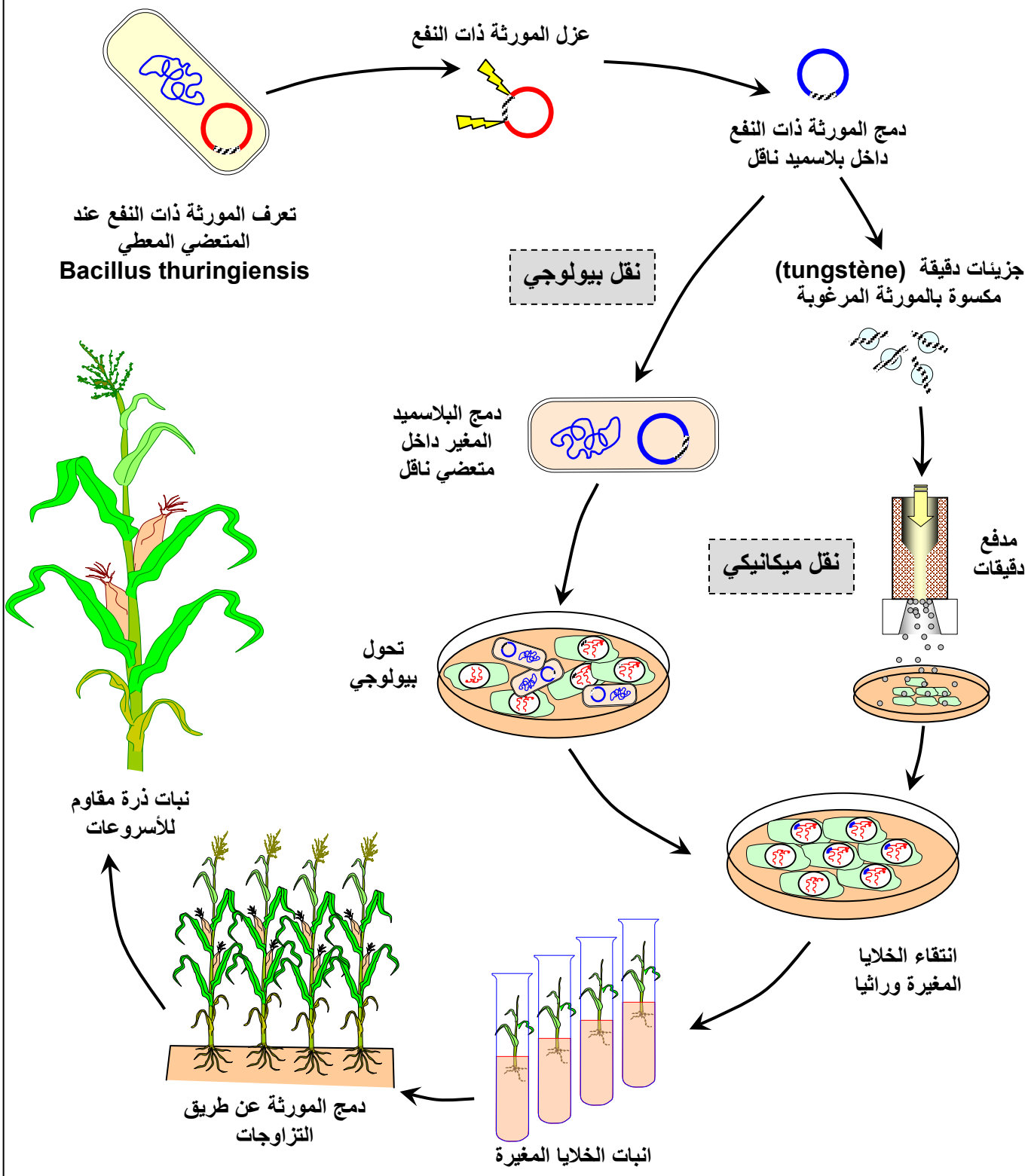
الشكل ب: أسروعة الفراشة النارية





الشكل ج: Bacillus thuringiensis

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 نبتات 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 نبتات 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 فانه توالد يستلزم تدخل خليتين جنسيتين، ذكرية وأنثوية.
يمكن التوالد الجنسي من نقل الخبر الوراثي من جيل لآخر، ويتميز بحدثين هامين:

- ✓ **الانقسام الاختزالي** الذي يساهم في تشكل الأمشاج، حيث يؤدي الى 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؟**

الوحدة الثالثة، الفصل الأول:

نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي

تمهيد : أنظر الوثيقة 1

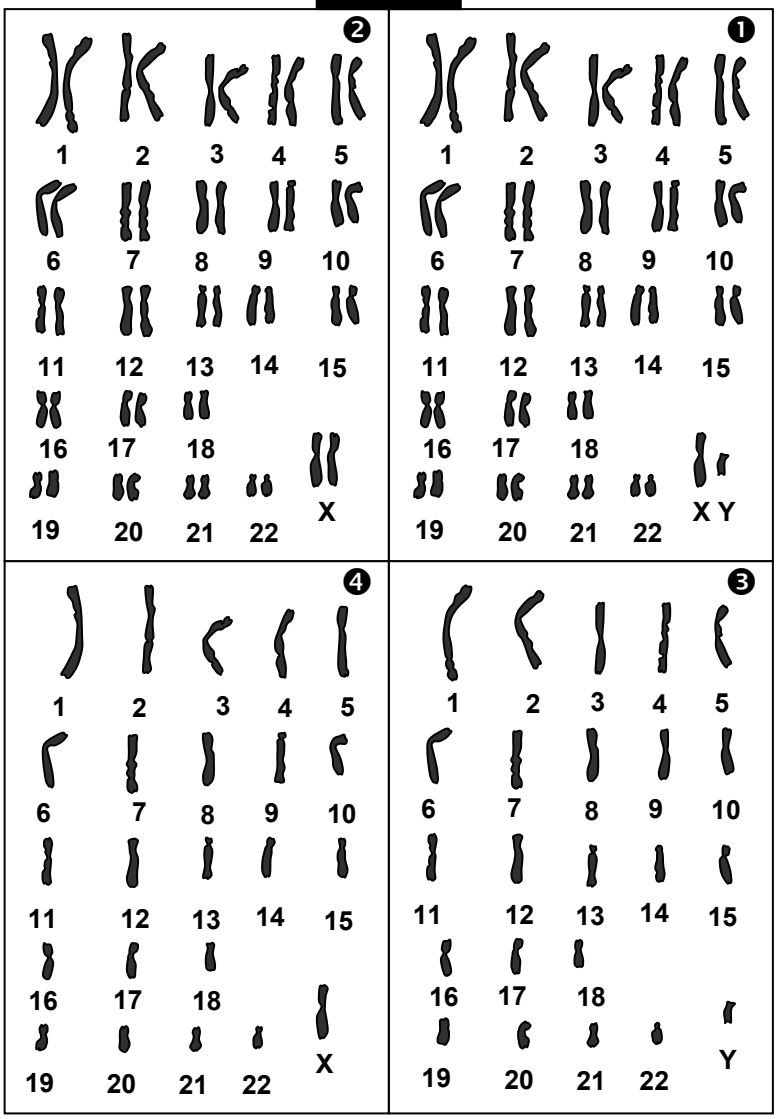
الوثيقة 1: دور التوالد الجنسي في ثبات عدد الصبغيات عند نفس النوع.

★ خلال الانقسام غير المباشر، تنشطر الصبغيات و تنتقل من خلية إلى أخرى، ممايوحي 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	
حيوانـــــات		نباتـــــــــات			
ذبابة الخل	08	البصـــــل	16	فطر نوروسبورا	07
الضفدعة	26	الخميـــــرة	18	فطر صورداريا	07
القـــــط	38	الأسيتابولاريا	20		
الفـــــأر	40	الأرز	24	فطر البينسيليوم	04
الإنســـان	46	الفاصوليا	22		
الحصـــان	64	التبغ	48	البكتيريا	01
الدجـــاجة	78	البطاطس	48		

الشكل ب



★ 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:

❶ = خلية جسدية عند الرجل.
❷ = خلية جسدية عند المرأة.
❸ = خلية جنسية ذكرية.
❹ = 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 ب 2n حيث يمثل n عدد الأزواج أي عدد الصبغيات المتماثلة. مثلا عند ذبابة الخل 2n = 8 ← n = 4، يعني
⇦ هناك كائنات أخرى أحادية الصيغة الصبغية = Haploïde مثلا البينيسيليوم: 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. عند ترتيب وتصنيف هذه الصبغيات حسب البنية وحسب تموضع الجزيء 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 نرمز لهما ب X، بينما الرجل يتوفر على صبغين 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؟**

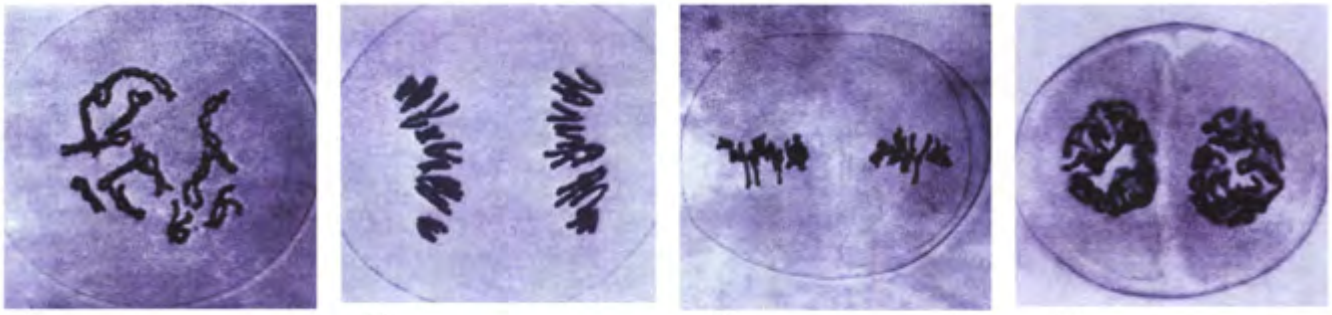
I – مراحل الانقسام الاختزالي La méiose

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.

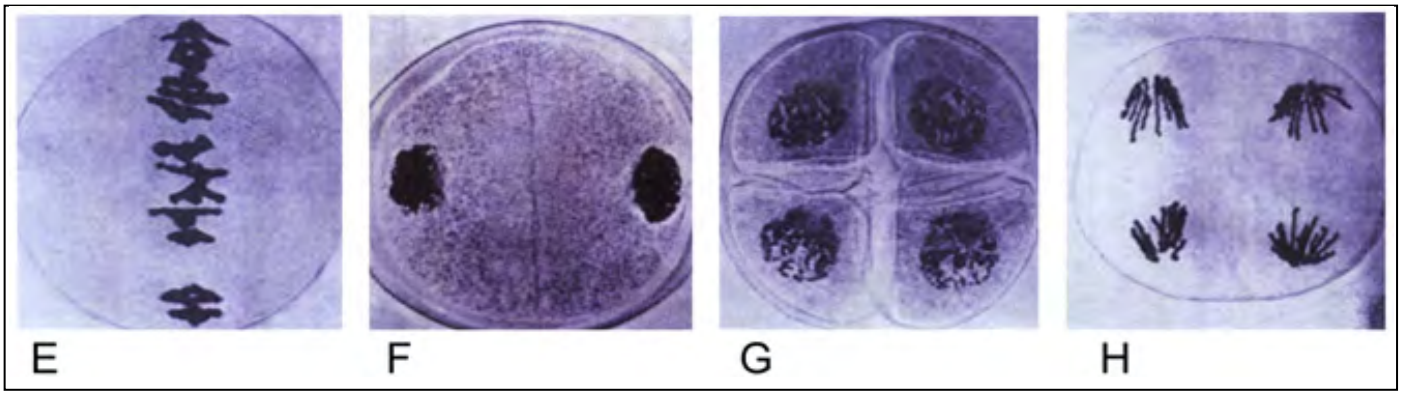
① ملاحظات مجهرية لمراحل الانقسام الاختزالي. أنظر الوثيقة 2.

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 مناسبا لكل صورة بعد ترتيبها ترتيبا زمنيا.



A B C D



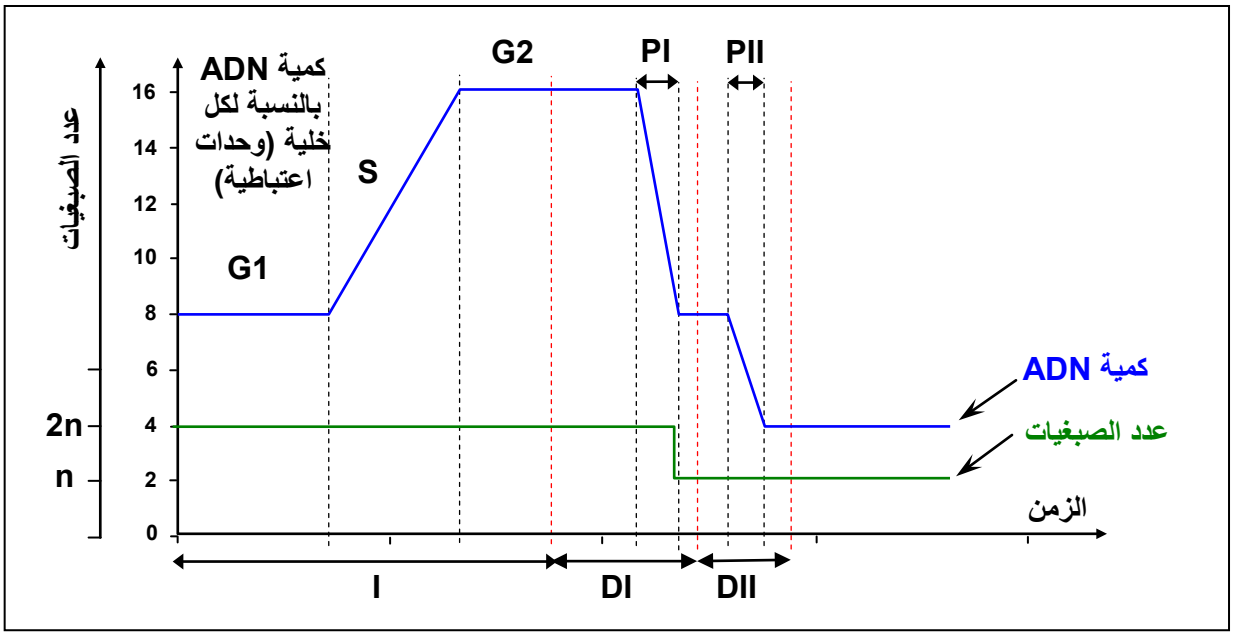
يتبين من هذه الملاحظة أن الانقسام الاختزالي يتم عبر انقسامين متتاليين، يتضمن كل واحد منهما المراحل المعتادة للانقسام غير المباشر.

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 التغيُّرات 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.

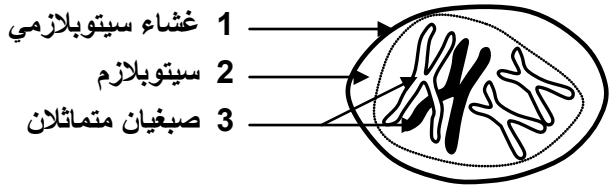
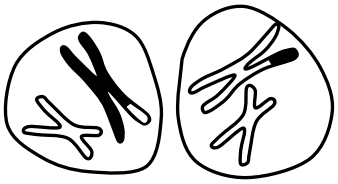
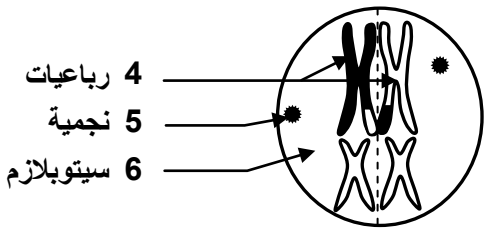
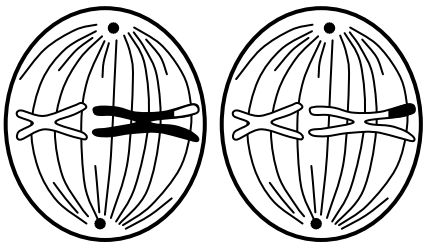
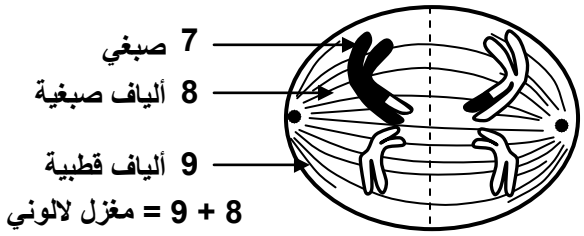
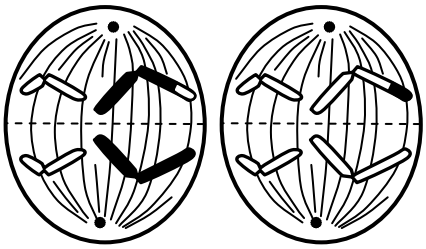
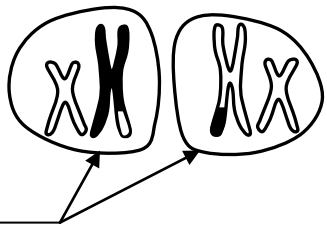
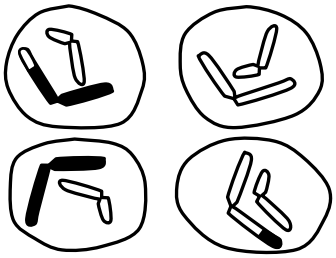
★ خلال الانقسام التعادلي (DII) تنفصل صبيغيات الصبغي الواحد فتحصل كل خلية على q/2 من كمية ADN. بينما يبقى عدد الصبغيات ثابت.

نستخلص من تحليل هذه الوثيقة أن الانقسام الاختزالي يمكننا من الحصول على خلايا أحادية الصيغة الصبغية انطلاقا 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 .

حلل هذه الرسوم محددا مختلف أطوار الانقسام الاختزالي.

I = الانقسام الأول = الانقسام المنصف	II = الانقسام الثاني = الانقسام التعادلي
	
① الطور التمهيدي I يتميز بتكثيف الصبغيات، وباقتران الصبغيات المتماثلة ، مشكلة أزواجا تسمى الرباعيات. اختفاء الغشاء النووي والنويات	**⑤ الطور التمهيدي II** تبتدئ مباشرة بعد الطور النهائي I في كل خلية، تبقى الصبغيات منشطرة طوليا، و يظهر المغزل اللالوني في كل خلية.
	
② الطور الاستوائي I تتموضع الصبغيات المتماثلة في المستوى الاستوائي للخلية، تتكون النجميتين ويبدأ تشكل المغزل اللالوني.	**⑥ الطور الاستوائي II** بعد اكتمال تشكل المغزل اللالوني، تتموضع الصبغيات على مستوى وسط الخلية مشكلة صفيحة استوائية.
	
③ الطور الانفصالي I انفصال الصبغيات المتماثلة بعضها عن بعض، وهجرتها نحو القطب الخلوي القريب منها، كل صبغي مكون من صبيغيين.	**⑦ الطور الانفصالي II** انشطار الجزيء المركزي لكل صبغي بفعل تقلص خيوط المغزل اللالوني، فنحصل على صبغيات مُشكلة من صبيغي واحد، تهاجر في اتجاه قطبي الخلية.
	
④ الطور النهائي I تتجمع الصبغيات المكنة من صبيغيين في كل قطب، ونحصل على خليتين بنتين أحاديتا الصيغة الصبغية.	**⑧ الطور النهائي II** تنقسم كل خلية مُشكلة خليتين، وبذلك نحصل علي أربع خلايا أحادية الصيغة الصبغية.

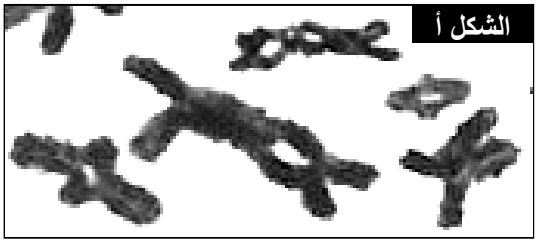
أ – الانقسام المنصف :

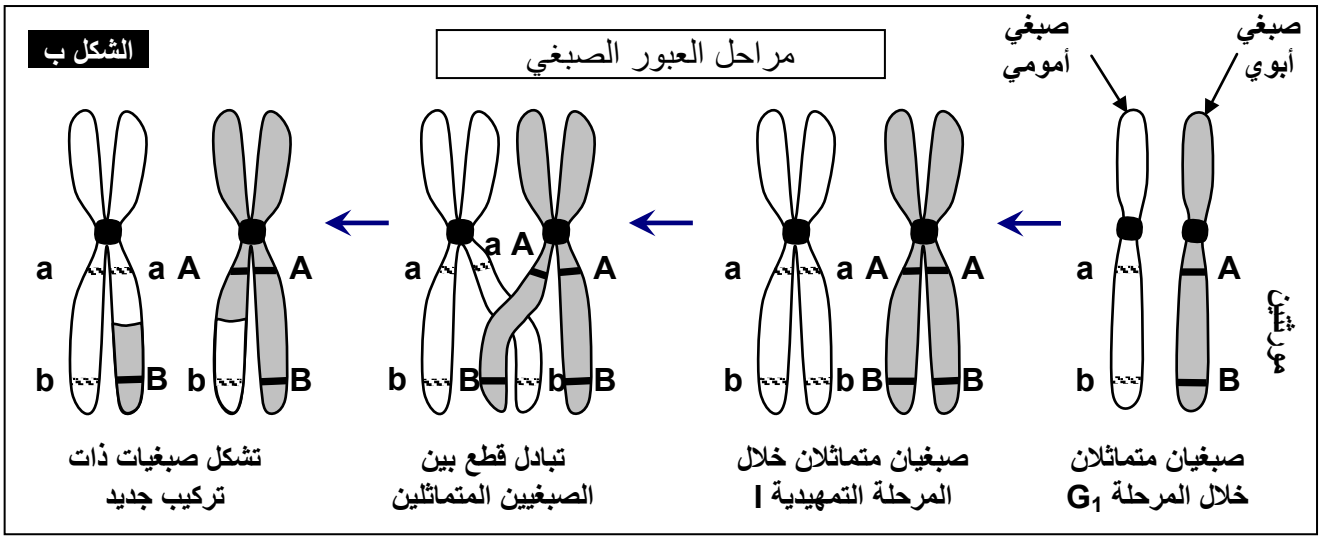
a – المرحلة التمهيدية I :

تتميز هذه المرحلة بتكثيف الصبغيات واقتران الصبغيات المتماثلة لتشكل أزواجا 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 الالكتروني لصبغيات أثناء المرحلة التمهيدية 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 دورا هاما في تنوع الأمشاج الناتجة عن الانقسام الاختزالي، حيث تساهم في تنوع التركيبات الوراثية بين مختلف الحليلات.

b – المرحلة الاستوائية I:

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

c – 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.

d – المرحلة النهائية I:

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

ب – الانقسام التعادلي :

a – المرحلة التمهيدية II:

قصيرة جدا تبتدئ مباشرة بعد النهائية I، تبقى الصبغيات منشطرة طوليا، و يظهر المغزل اللالوني في كل خلية.

b – المرحلة الاستوائية II:

تتموضع الصبغيات لكل خلية في المستوى الاستوائي مشكلة الصفيحة الاستوائية.

c – 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 تلولبها و يتشكل الغشاء النووي وتظهر النويات، ويختفي مغزل الانقسام، وينقسم السيتوبلازم لتتكون في النهاية أربع خلايا أحادية الصيغة الصبغية (n)، كل صبغي مكون من صبيغي واحد.

II – دور الانقسام الاختزالي والإخصاب في تخليط الحليلات.

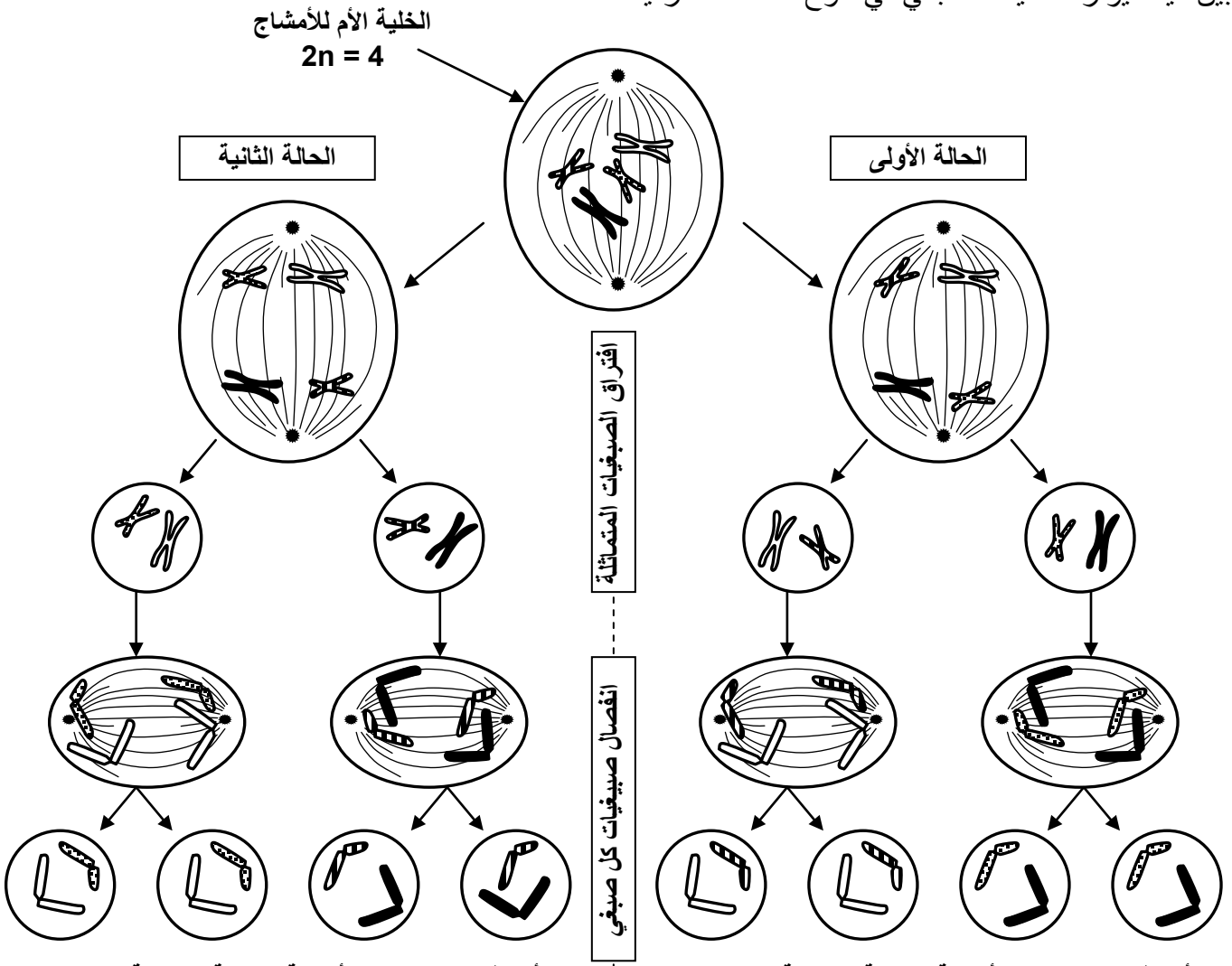
① – دور الانقسام الاختزالي:

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 البيصبغي والتخليط الضمصبغي.

أ – التخليط البيصبغي Brassage interchromosomique: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: التخليط البيصبغي ودوره في تنوع الأمشاج.

بين كيف يؤثر التخليط الصبغي في تنوع الصفات الفردية؟



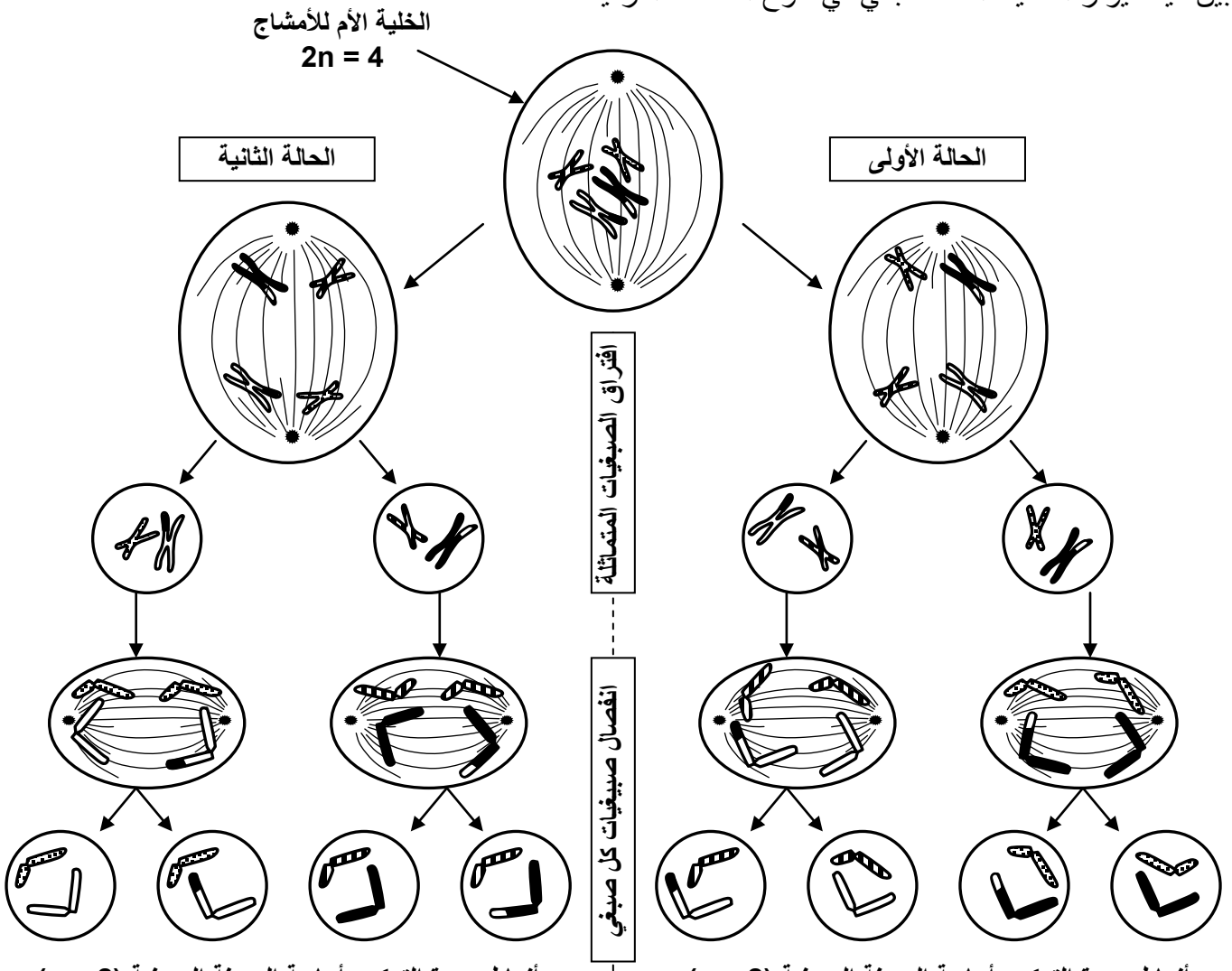
يتبين من معطيات الوثيقة أن مجموع التركيبات الجديدة المختلفة للأمشاج يساوي 4، وهذا راجع إلى الهجرة العشوائية للصبغيات أثناء الطور الانفصالي I، حيث أن هناك احتمالين لتموضع كل صبغي، مما يرفع عدد التركيبات الجديدة الممكنة. باستعمال الصيغة 2^n، وبما أن لدينا فقط زوجين من الصبغيات (2n=4)، فإن عدد التركيبات 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 مشيج مختلف، وهو عدد كبير جدا على الرغم من عدم الأخذ بعين الاعتبار ظاهرة التخليط الضمصبغي، والتي ترفع كثيرا من هذا العدد.

ب – التخليط الضمصبغي Brassage intrachromosomique: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: التخليط الضمصبغي ودوره في تنوع الأمشاج Le brassage intrachromosomique.

بين كيف يؤثر التخليط الضمصبغي في تنوع الصفات الفردية؟



في نهاية الطور التمهيدي I 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 التركيباتالوراثية بين مختلف الحليلات، نتكلم إذن عن التخليط الضمصبغي.

② – دور الإخصاب:

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

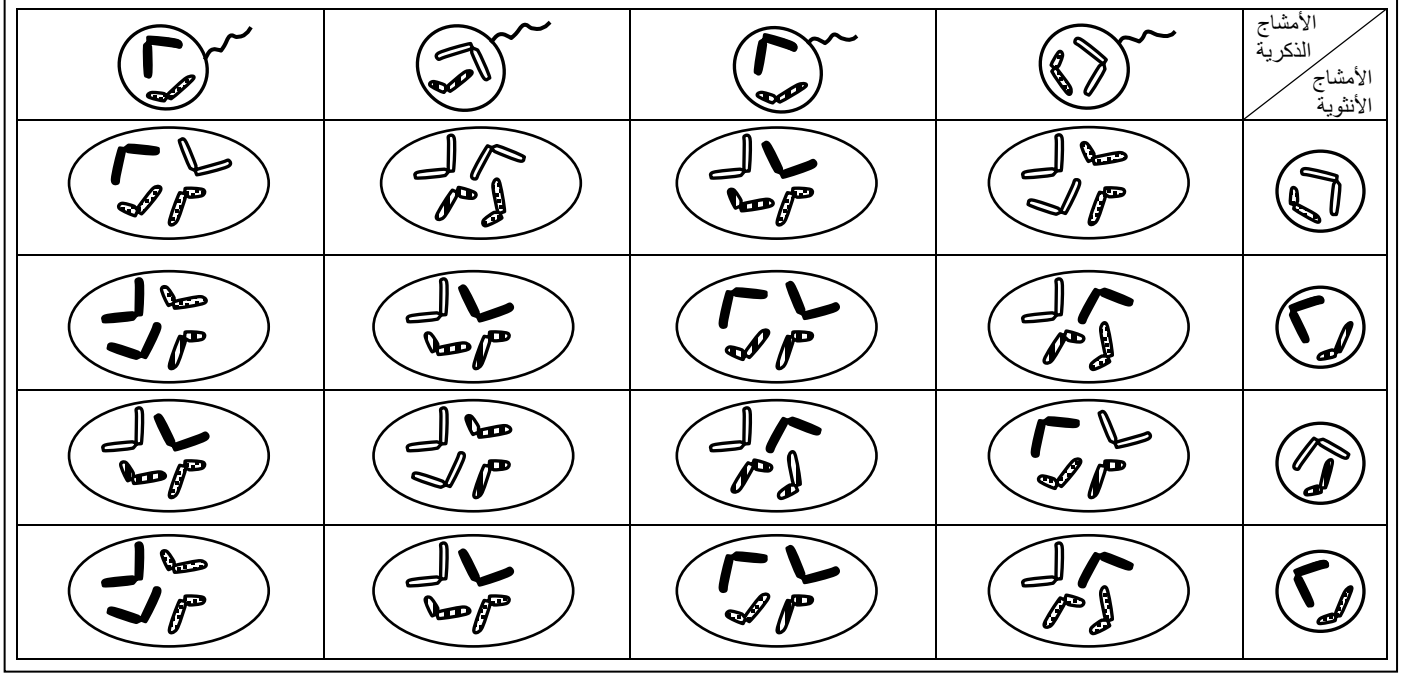
تختلف معظم الحليلات المتواجدة في المشيج الذكري عن الحليلات المتواجدة في المشيج الأنثوي، مما يفسر التنوع الهائل في أصناف البيضات المحصل عليها بعد الإخصاب.

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 الضمصبغي (أنظر الوثيقة 6).

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

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

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



- عند الأب لدينا 4 احتمالات أمشاج مختلفة، وعند الأم لدينا كذلك 4 احتمالات أمشاج مختلفة، مما يجعل عدد البيضات المختلفة الممكنة يساوي (4x4) أي 16 بيضة.
- لحساب عدد البيضات الممكن تشكلها عند الإنسان، نحدد أولا عدد الأمشاج المختلفة الممكن تشكلها عند الأبوين وهو 2^{23} بالنسبة لكل أب. وهكذا فعدد البيضات الممكنة هو:(2^{23}x2^{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 أفرادا بصفات مختلفة. وهكذا فان الإخصاب يعمق التخليط البيصبغي. كما أن الإخصاب يساهم في استرداد حالة ثنائية الصيغة الصبغية (2n) أثناء تشكل البيضة، نتيجة اندماج مشيجين بـ (n) صبغي لكل واحد.

الوحدة الثالثة، الفصل الثاني:

القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية

تمهيد :

تعتبر الكائنات الثنائية الصيغة الصبغة 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 المتحكمة في انتقال الحليلات عبر الأجيال؟**

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

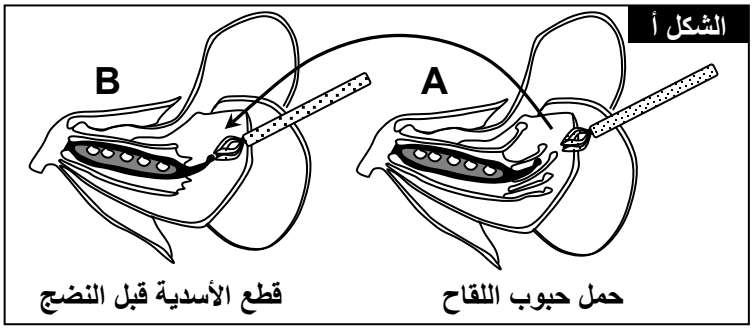
① تجارب Mendel وتأويلها الصبغي:

أ - تجارب Mendel. أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تجارب ماندل Mendel.

JOHANN GREGOR 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 المستقبلة لحبوب اللقاح من أزهار أخرى (أنظر الشكل أ).
نتج عن هذا التزاوج تشكل بذور كلها ملساء تكون الجيل الأول الذي سوف نرمز له بـF_1.

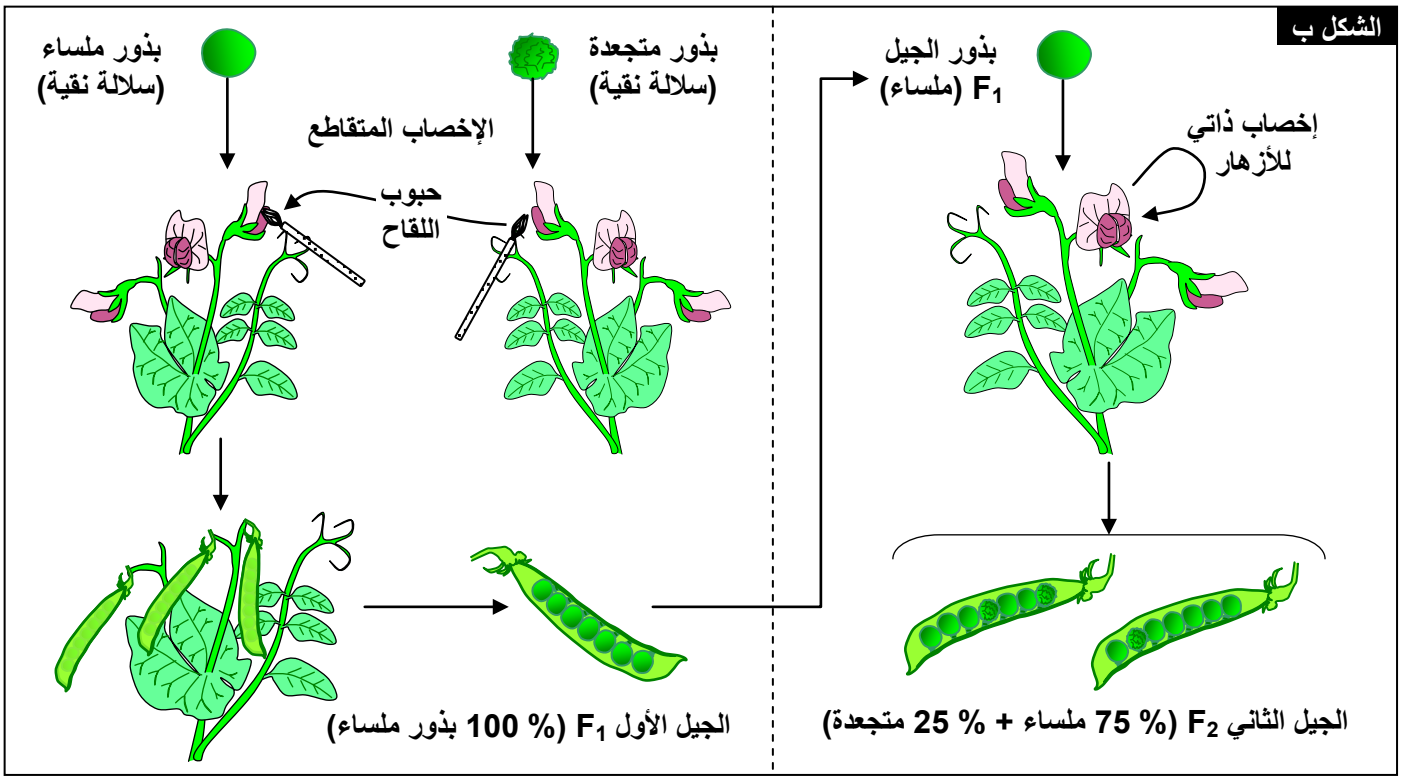


★ قام Mendel بإحداث تزاوج بين أفراد الجيل الأول (F_1XF_1) بنفس الطريقة السابقة فحصل على الجيل الثاني F_2 مكون من 75 % من بذور ملساء، و25 % من بذور متجعدة. (أنظر الشكل ب).
قام Mendel بعد ذلك بزرع بذور الجيل F_2 تاركا أزهارها تلقح ذاتيا.

حصل ماندل على النتائج التالية:

- ✓ البذور المتجعدة F_2 تعطي 100 % من البذور المتجعدة.
- ✓ 25 % من البذور الملساء أفراد الجيل F_2 تعطي 100 % من البذور الملساء.
- ✓ 50 % من البذور الملساء أفراد الجيل F_2 يعطون 75 % من البذور الملساء و25 % من البذور المتجعدة.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج تجربة ماندل؟
2) أعط التأويل الصبغي لنتائج تجربة ماندل، آخذا بعين الاعتبار معطيات جدول الوثيقة2 حول الترميز.



الوثيقة 2: معطيات حول الترميز.

⇦ نرمز 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 متجعدة [r] .

⇦ نرمز للحليلات المسئولة عن صفة ما كما هو الشأن بالنسبة للمظهر الخارجي بالحرف الأول اللاتيني من التسمية الفرنسية لهذه الصفة.

⇦ نرمز للنمط الو راثي بالشكل التالي: L//L حيث يمثل الخطآن الزوج الصبغي الذي يحمل الحليلين كما نرمز لكل حليل بحرفه.

مثال: النمط الو راثي للبذور المتجعدة هو : r//r والنمط الو راثي 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 حضورا في الطبيعة.
- ✓ التهجين: تزاوج طبيعي أو اصطناعي بين حيوانات أو نباتات من أنواع أو سلالات مختلفة، ينتج عنه أفراد هجناء.
- ✓ 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.

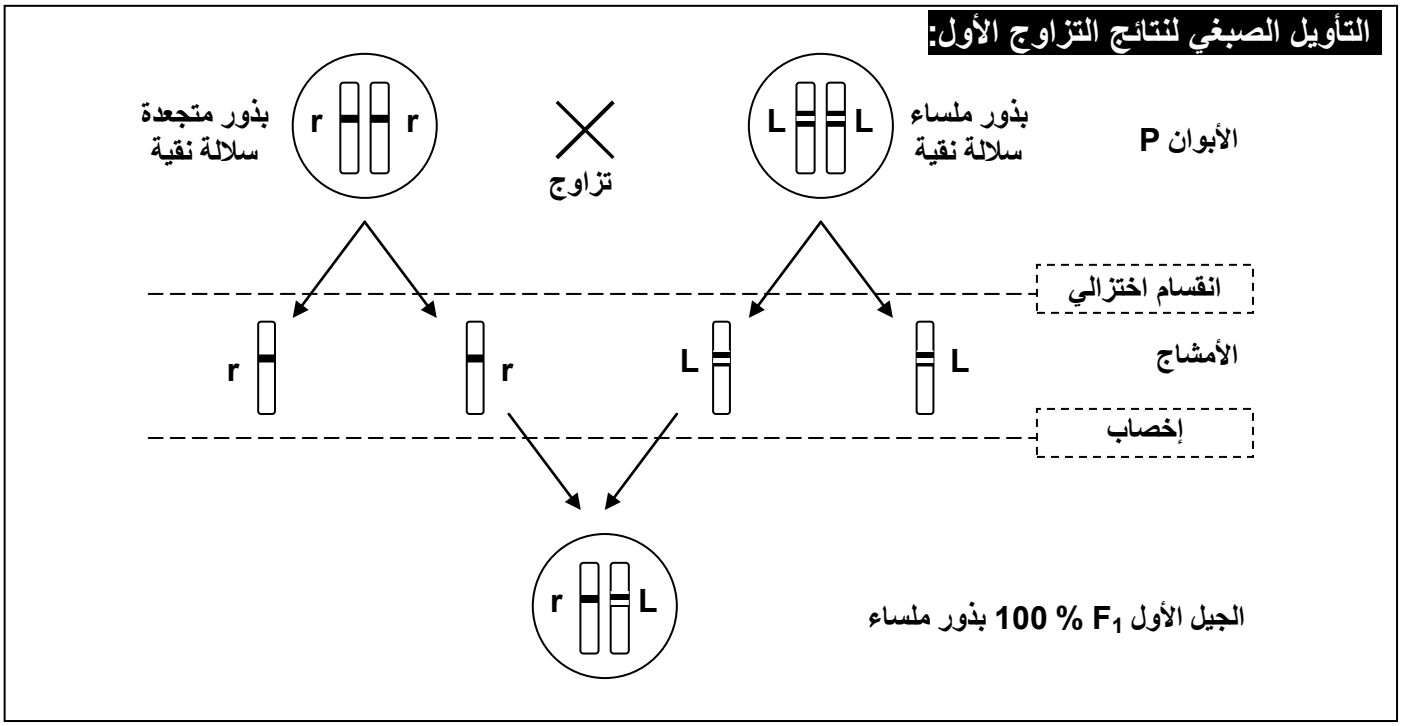
ب – تحليل نتائج تجارب Mendel.

1) نتج عن تزاوج نبتتين من سلالة نقية، لإحداهما بذور ملساء والأخرى بذور متجعدة (جيل الآباء P)، جيل أول F_1 يتكون من أفراد متجانسون ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي الشكل الأملس، مع غياب الشكل متجعد. نعلم أن الأبوين من سلالة نقية، إذن سيكونان متشابها الاقتران، حيث ستكون النبتة ذات البذور الملساء، حاملة لحليلي الشكل الأملس، بينما النبتة ذات البذور المتجعدة، ستكون حاملة لحليلي الشكل متجعد. أما النبتات الناتجة عن هذا

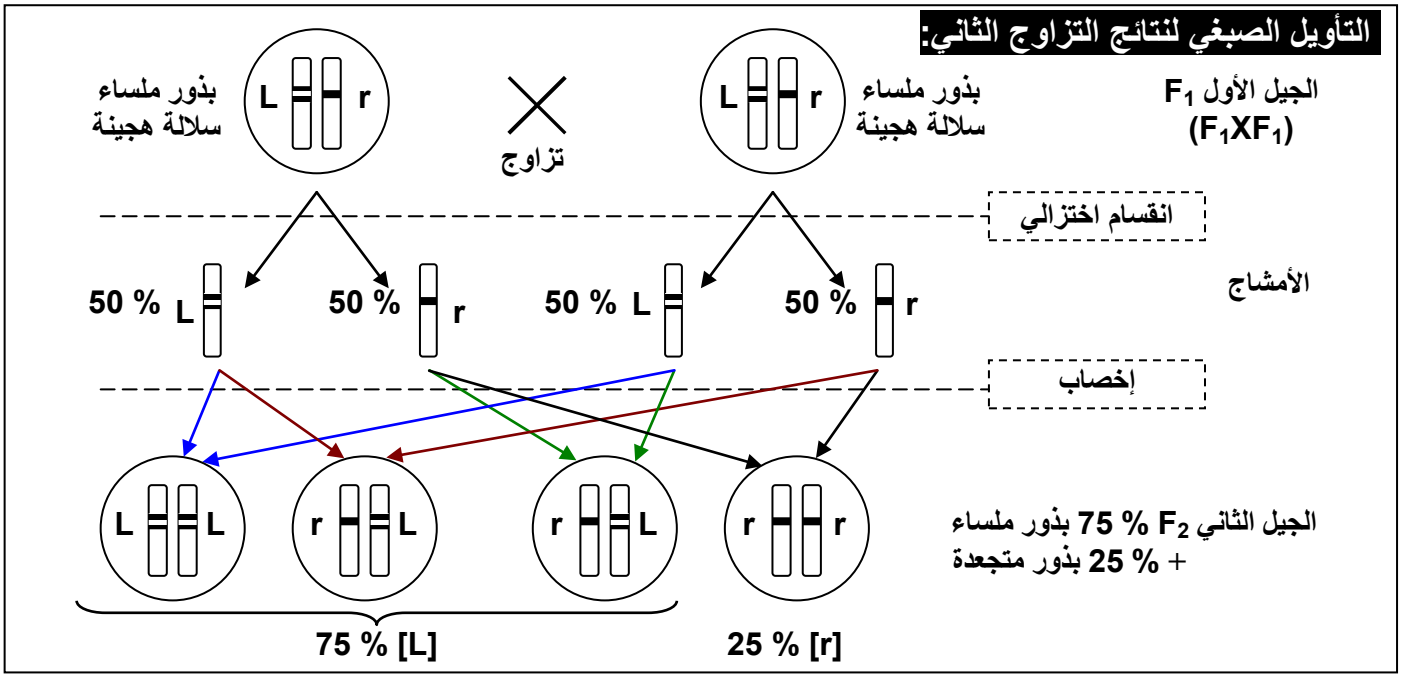
التزاوج، ورغم إبدائها للمظهر بذور ملساء، إلا أنها حاملة لحليل الشكل أملس وحليل الشكل متجعد، أي أنها مختلفة الاقتران بالنسبة لهذه الصفة، فنقول أنها هجينة. ورغم أن بذور نبتات الجلبانة للجيل F_1 تتوفر على حليل الشكل أملس وحليل الشكل متجعد، إلا أنها تبرز الشكل أملس فقط. نستنتج إذن، أنه يتم فقط تعبير أحد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

2) لدينا حليل مسؤول عن الشكل أملس Lisse سائد، وحليل مسؤول عن الشكل متجعد Ridé متنحي، إذن سنرمز لأملس بالحرف L، وللمتجعد بالحرف r. وهكذا نفسر 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 متجعد.



★ عند التزاوج الثاني (F_1 X F_1)، يظهر جيل ثاني F_2، مكون من أفراد غير متجانسين (25 % متجعدة + 75 % ملساء). هذا يعني أن أفراد الجيل الأول F_1 كانت تحمل الشكل متجعد 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 متنحي. 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 F2 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، ادن هو نقي.

② انتقال صفة لون الفرو عند الفئران:

أ – معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 3.

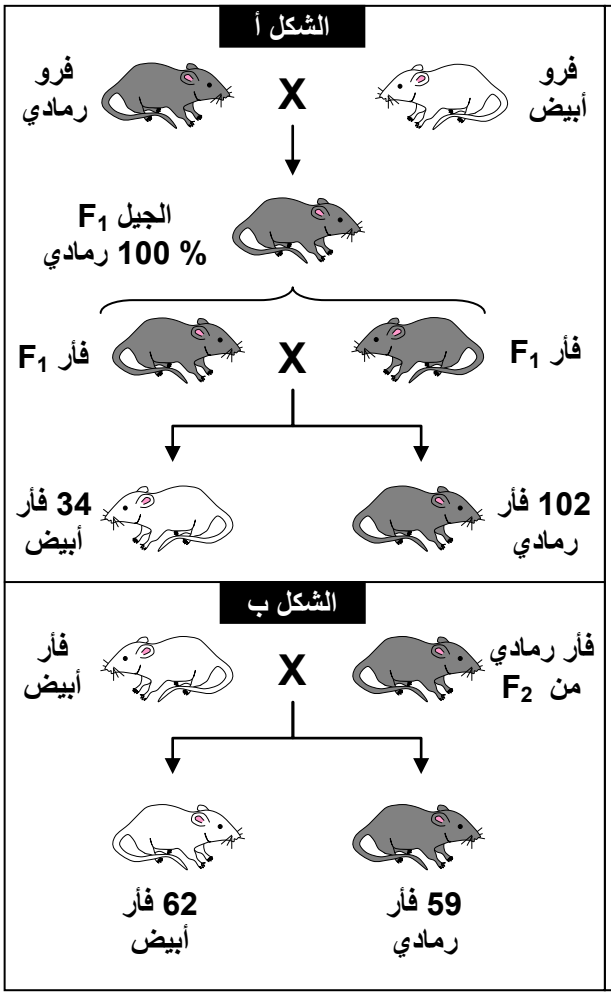
الوثيقة 3: دراسة تجريبية لانتقال صفة لون الفرو عند الفئران:

عند ظهور نتائج Mendel (1866)، حاول هذا الباحث تطبيق مبادئه على الحيوانات، فدرس انتقال صفة لون الفرو عند الفئران. لدينا سلالتين من الفئران تختلفان بلون الفرو، أحدهما ذو فرو أبيض والثاني ذو فرو رمادي. يعطي التزاوج بين فئران إحداها 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 وF_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. ادن نمط التزاوج هو عبارة عن هجونة أحادية.

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

3) إن جميع أفراد الجيل F_1 متجانسون فيما بينهم، ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي اللون الرمادي. اعتمادا 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 ب G، وأبيض متنحي سنرمز له ب b.

★ **التزاوج الأول: عند الآباء P:** المظاهر الخارجية لـ P ..... : [G] X [b]

الأنماط الوراثية ..... G//G X b//b

الأمشاج ..... G X b

الإخصاب ..... G//b الجيل F_1 [G] 100 %

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

★ **التزاوج الثاني: F1 X F1.** المظاهر الخارجية لـ F_1 ..... : [G] X [G]

الأنماط الوراثية ..... G//b X G//b

الأمشاج ..... G ، b X b ، s ، f

الإخصاب ..... الجيل F_2

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 الأنثوية ونسبها، وفي المدخل الأفقي، مختلف أصناف الأمشاج الذكرية ونسبها.

شبكة التزاوج

♂ / ♀	G 50 %	b 50 %
G 50 %	G//G 25 %	G//b 25 %
b 50 %	G//b 25 %	b//b 25 %

يتكون الجيل الثاني F_2 من :

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

★ 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 أنظر الوثيقة 4.

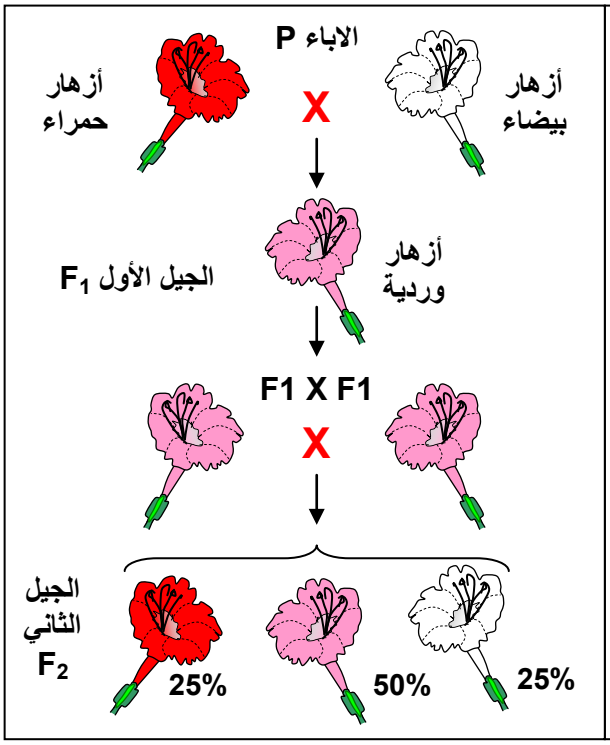
الوثيقة 4: التهجين عند نبات شب الليل:

قصد دراسة مظهر آخر لكيفية انتقال الصفات الوراثية وتعبيرها، تم إجراء تزاوج عند نبات شب الليل Mirabilis jalapa، حيث تم إنجازه 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) حلل هذه النتائج، ثم استنتج.

يعطي تزاوج نباتات F_1 فيما بينها جيل ثاني F_2 غير متجانس ومكون من 25 % نباتات ذات أزهار بيضاء و25 % نباتات ذات أزهار حمراء و50 % نباتات ذات أزهار وردية.

2) فسر صبغيا النتائج المحصل عليها في F_1 و في F_2.



② تحليل نتائج التزاوج:

1) إن تزاوج سلالتين نقيتين من شب الليل تختلفان بصفة لون الأوراق التويجية أعطىجيل أول F_1 يتكون من أفراد متجانسون، إذن الجيل F_1 سيكون هجينا (تحقق القانون الأول لماندل). إلا أن صفةأفراد الجيل F_1 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:

★ **التزاوج الأول : عند الآباء P:** المظاهر الخارجية لـ P: [B] X [R]

الأنماط الوراثية: B//B X R//R

الأمشاج: B X R

الاخصاب: الجيل F1 [RB] 100 %

كل أفراد الجيل الأول F_1 لهم النمط الوراثي R//B، وبما أن هناك تساوي السيادة، فان كل أفراد F_1 سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [RB].

★ **التزاوج الثاني : F1 X F1.** المظاهر الخارجية لـ F1: [RB] X [RB]

الأنماط الوراثية: R//B X R//B

الأمشاج: R , B X R , B

الإخصاب: الجيل F_2

في F_2 يمكن تلخيص إمكانية الإخصاب، في شبكة التزاوج التالية:

♂ / ♀	R	B
R	50 % R//R	50 % R//B
R	25 % R//R	25 % R//B
B	50 % R//B	25 % B//B

يتكون الجيل الثاني F_2 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 المميتة.

① انتقال صفة مرتبطة بمورثة مميتة عند الفئران

أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: دراسة صفة مرتبطة بمورثة مميتة 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 صبغيا هذه النتائج علما أنه لوحظ في رحم الأم فئران صفراء ميتة

② تحليل نتائج التزاوج:

1) تحليل واستنتاج:

★ لقد تم التزاوج بين فئران صفراء، فحصلنا في الخلف على فئران غير متجانسة (صفراء ورمادية)، إذن لم يتحقق القانون الأول لمندل، 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 (هجناء).

2) نسب الأنماط المحصل عليها:

نسبة الفئران الصفراء هي: (2/3) 67.33 % = 100 x ((202 + 98) / 202)

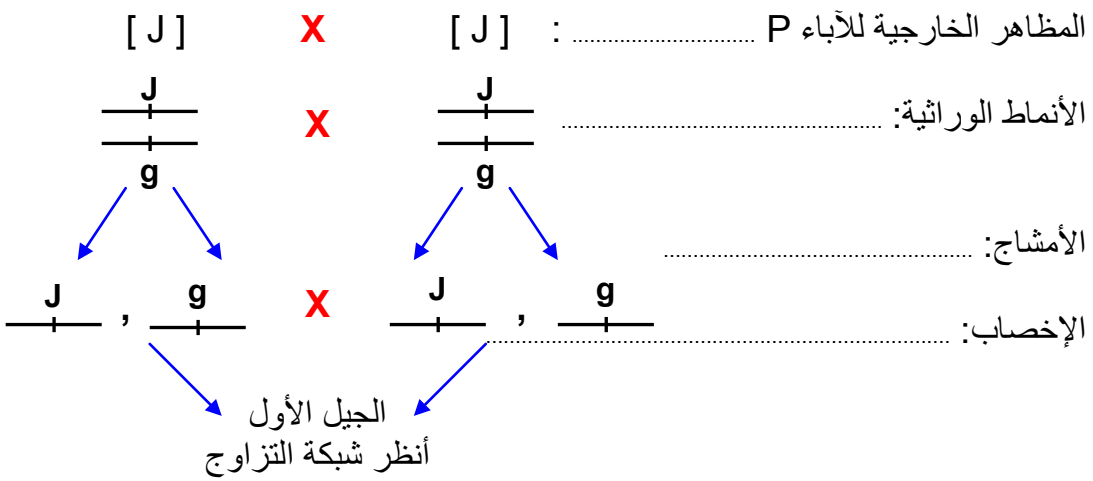
نسبة الفئران الرمادية هي: (1/3) 32.66 % = 100 x ((202 + 98) / 98)

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

♂ / ♀	J	g
J	50 %	50 %
J	25 %	25 %
g	50 %	25 %

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، والثلثين بلون أصفر.
من خلال هذا التفسير الصبغي، يتضح أن النتائج النظرية تطابق النتائج التجريبية، وبالتالي، فنحن فعلا أمام حالة مورثة مميتة Gène létale.

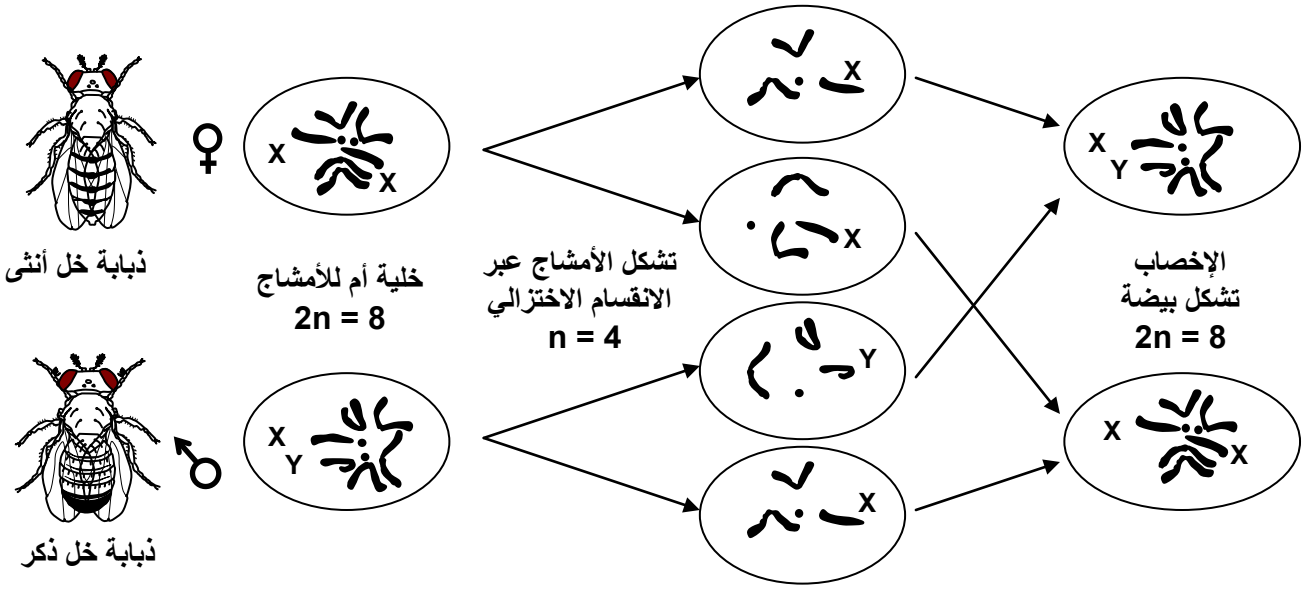
IV – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة مورثة مرتبطة بالجنس.

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 صبغيان جنسيان. عند الذكر يكون الصبغيان الجنسيان مختلفين فنقول أنه متغاير الأمشاج ونرمز له ب XY. عند الأنثى يكون الصبغيان الجنسيان متشابهين فنقول أنه متشابه الأمشاج ونرمز له بـXX.

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 بـZ وW ، 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 صبغيين 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.

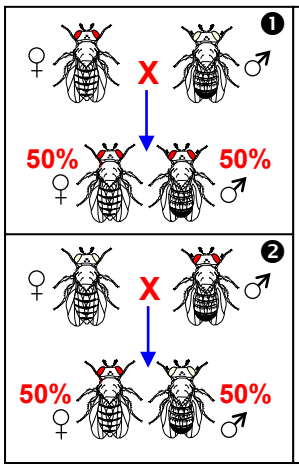
★ **التزاوج الأول ❶:** تم بين أنثى ذات عيون حمراء وذكر ذو عيون بيضاء فحصلنا في الجيل الأول F_1 على أفراد كلهم بعيون حمراء.

1) ماذا تستخلص من نتائج هذا التزاوج؟

★ **التزاوج الثاني ❷:** 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. طبقا للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن الحليل المسؤول عن اللون الأحمر للعيون سائد، والحليل 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، لان هذه الصفة تظهر عند الذكور و الإناث.

3) التفسير الصبغي للنتائج المحصل عليها:

الحليل المسؤول عن لون العيون الحمراء Rouges سائد، نرمز له بالحرف R، أما الحليل المسؤول عن لون العيون البيضاء Blanches متنح، نرمز له بالحرف 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، فتُستعمل نفس الطريقة المعتمدة في حالة الصبغيات اللاجنسية.

خلال التزاوج الأول، سيكون النمط الوراثي للأنثى X^RX^R ، بمظهر خارجي [R] ، والذكر X^bY بمظهر خارجي [b]، وخلال التزاوج الثاني، سيكون النمط الوراثي للأنثى X^bX^b ، بمظهر خارجي [b] ، والذكر X^RY بمظهر خارجي [R]

★ التزاوج الأول:

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

الأنماط الوراثية: ..... ♀ R X / R X X ♂ b X / Y

الأمشاج: ..... R X X b X Y

الإخصاب: .....

الجيل F_1: R X / R X X b X / R X / Y

الجيل F_1 100 % [R]، 50 % إناث X^RX^b + 50 % ذكور X^RY

★ التزاوج الثاني = التزاوج العكسي:

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

الأنماط الوراثية: ..... ♀ b X / b X X ♂ R X / Y

الأمشاج: ..... b X X R X Y

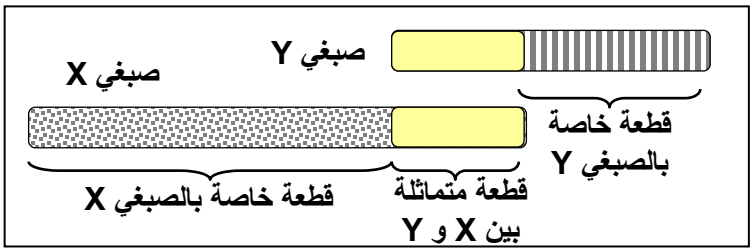
الإخصاب: .....

الجيل F_1: R X / b X X b X / Y

الجيل F_1 50 % إناث [R] + 50 % ذكور [b] : 50 % إناث X^RX^b + 50 % ذكور X^bY

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.

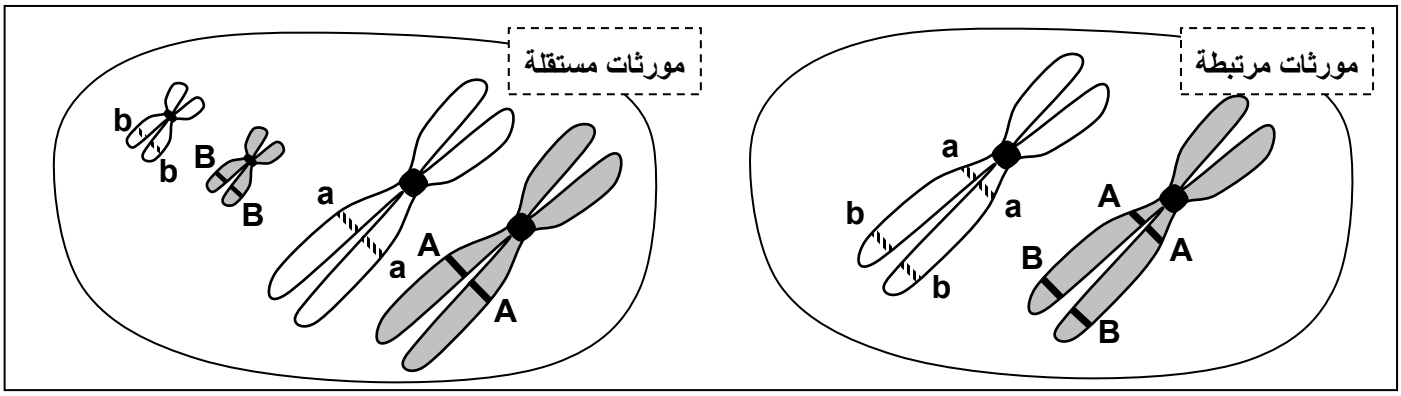


ادن التموضعات الممكنة للمورثة عند الصبغي الجنسي:

- ✓ 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. ادن صفة خاصة بالذكور.

V – دراسة انتقال زوجين من الحليلات: الهجونة الثنائية.

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

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

2) أحسب النسب المئوية المحصل عليها في الجيل F2.

3) فسر صبغيا نتائج F1 و F2 ، مستعملا الرموز: أخضر(V,v)، اصفر (J,j) ، أملس (L,l) ، متجعد (R,r) .

b - حل التمرين:

1) تحليل واستنتاج:

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

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

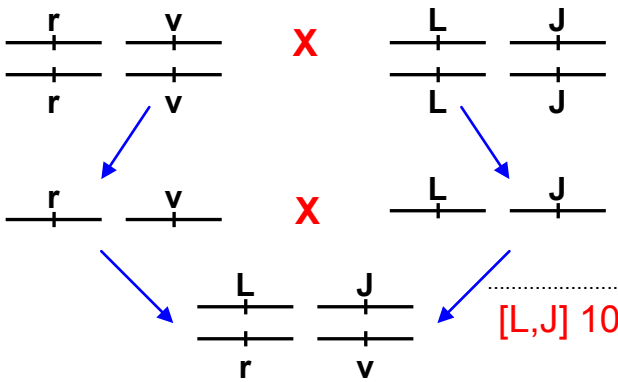
- نسبة المظهر الخارجي [L,J] : (315 / 556) x 100 = 56.6 %
- نسبة المظهر الخارجي [r,v] : (32 / 556) x 100 = 5.75 %
- نسبة المظهر الخارجي [L,v] : (101 / 556) x 100 = 18.16 %
- نسبة المظهر الخارجي [r,J] : (108 / 556) x 100 = 19.4 %

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

★ عندما يتعلق الأمر بمورثتين محمولتين على صبغيين 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.

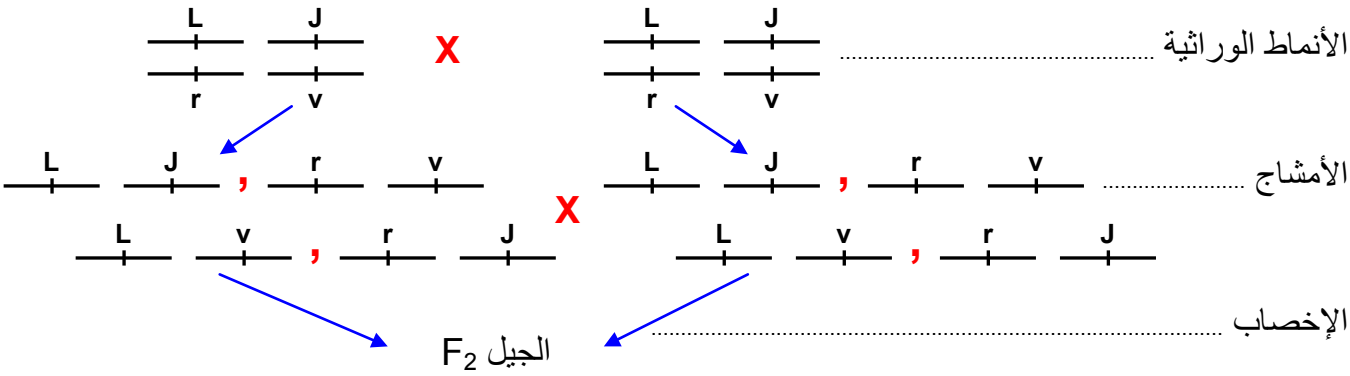
3) التأويل الصبغي لنتائج التزاوج:

★ **التزاوج الأول: عند الآباء P** المظاهر الخارجية لـ P ..... : [L,J] X [r,v]



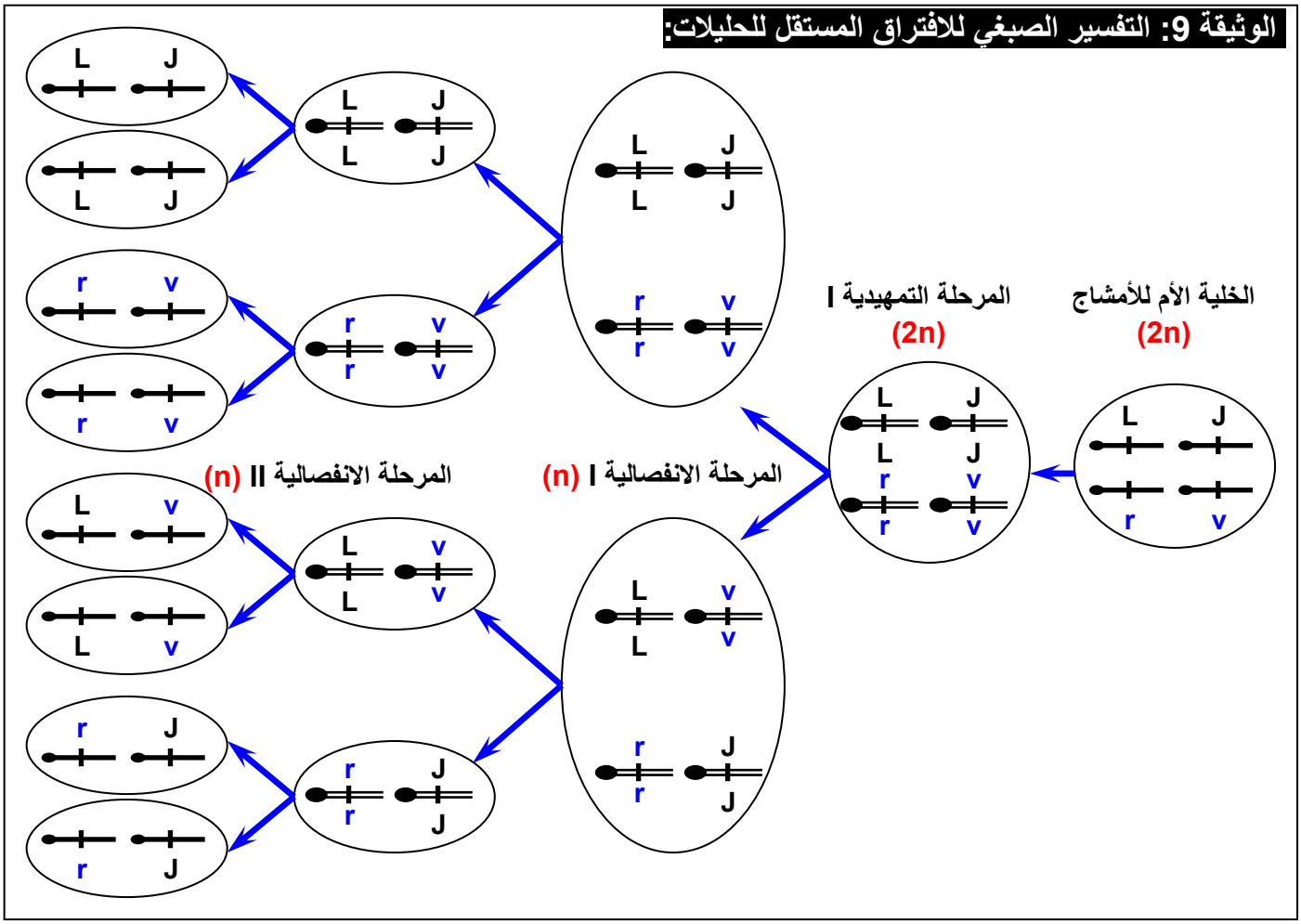
كل أفراد الجيل الأول F_1 لهم النمط الوراثي L//r,J//v، وبما أن L و J سائدين، فان كل أفراد F_1 سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [L,J].

★ **التزاوج الثاني : F1 X F1** المظاهر الخارجية ..... : [L,J] X [L,J]



بفعل التخليط البيصبغي 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 للحليلات:



الوثيقة 10: شبكة التزاوج:

♂ / ♀	L J	L J	L v	r J	r v
L J	[L,J]	[L,J]	[L,J]	[L,J]	[L,J]
L v	[L,J]	[L,J]	[L,v]	[L,J]	[L,v]
r J	[L,J]	[L,J]	[L,J]	[r,J]	[r,J]
r v	[L,J]	[L,J]	[L,v]	[r,J]	[r,v]

في الجيل الثاني F2 نحصل على المظاهر الخارجية التالية:

- أفراد لهم المظهر الخارجي [L,J] ، يشكلون 9/16 من F_2 أي 56.25 %.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [L,v] ، يشكلون 3/16 من F_2 أي 18.75 %.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [r,J] ، يشكلون 3/16 من F_2 أي 18.75 %.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [r,v] ، يشكلون 1/16 من F_2 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.

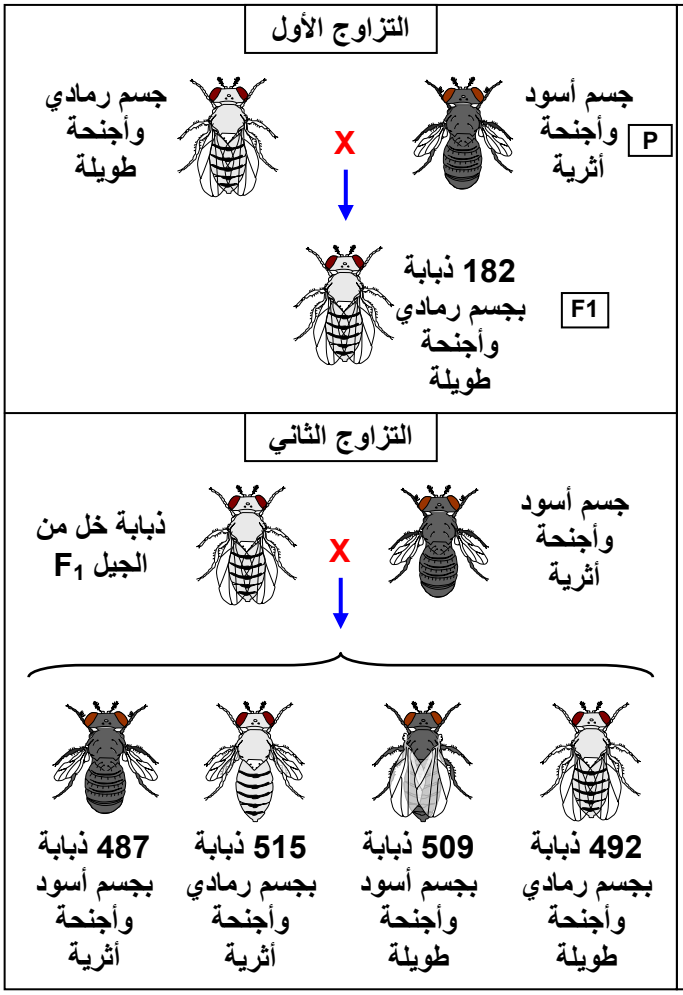
الوثيقة 11: دراسة الهجونة الثنائية عند ذبابة الخل:

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 F_1 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 F_1 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 للأنواع المحصل عليها في F_2. 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 F_1 متجانسون بالنسبة للصفتين، ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو الجسم الرمادي والأجنحة الطويلة. ادن طبقا للقانون الأول لـMendel 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 F2:

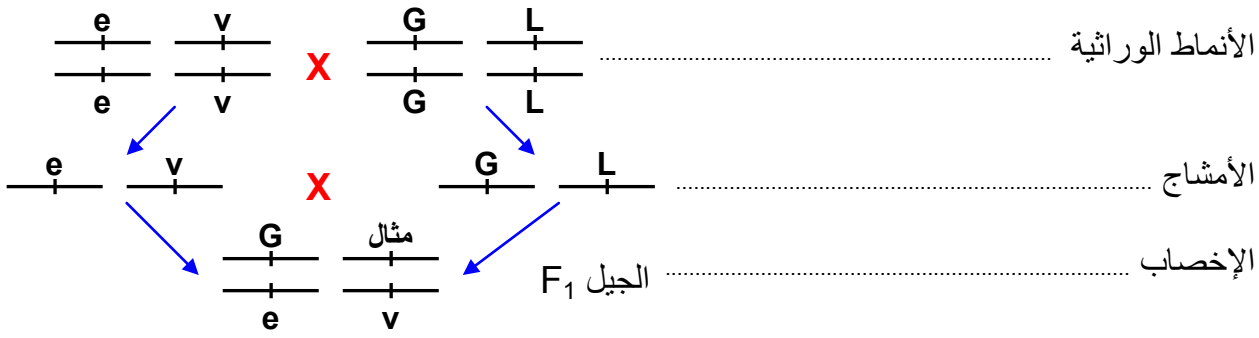
- المظهر الخارجي (رمادية، أجنحة طويلة): % 24.56 = (492/(487+509+515+492))x100
- المظهر الخارجي (سوداء، أجنحة طويلة): % 25.41 = (509/(487+509+515+492))x100
- المظهر الخارجي (رمادية، أجنحة أثرية): % 25.71 = (515/(487+509+515+492))x100
- المظهر الخارجي (سوداء، أجنحة أثرية): % 24.31 = (487/(487+509+515+492))x100

★ 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.

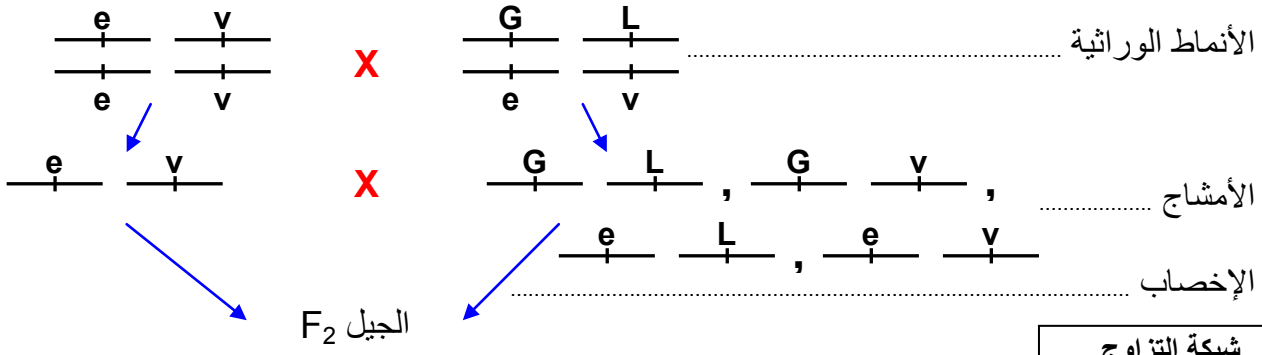
★ تدل النسب المحصل عليها في F2: (% 25 + % 25 + % 25 + % 25) على أنه خلال تشكل الأمشاج عند الفرد الهجين، يجتمع كل حليل من زوج حليلي معين بلا تميز مع أحد حليلي الزوج الحليلي الآخر (القانون الثالث لماندل). نستنتج من ذلك أن الحليلان (G,e) و(L,v) محمولان على زوجين مختلفين من الصبغيات. أي أن المورثات مستقلة.

4) التأويل الصبغي لنتائج التزاوجين:

★ **التزاوج الأول: عند الآباء P** المظاهر الخارجية عند P : ..... [G,L] X [e,v]



★ **التزاوج الثاني = التزاوج الراجع:** المظاهر الخارجية لـ F_1..... : [G,L] X [e,v]



شبكة التزاوج ♂ / ♀	G L	G v	e L	e v
e v	G L / e v 1/4	G v / e v 1/4	e L / e v 1/4	e v / e v 1/4
e v	G L 1/4	G v 1/4	e L 1/4	e v 1/4

نحصل في F_2 على % 25 [G,L] + % 25 [G,v] + % 25 [e,L] + % 25 [e,v].
نلاحظ أن النتائج النظرية تطابق النتائج التجريبية، ادن 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 عاديةNormal وعيون حمراء Rouge والأخرى ذات أجنحة مقورة Tronqué وعيون بنية Brun. نحصل في الجيل الأول F_1 على خلف متجانس ذو مظهر خارجي بأجنحة عادية وعيون 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 وعيون بنية. ★ 109 ذبابة خل ذات أجنحة عادية وعيون بنية

★ 111 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة وعيون حمراء. ★ 410 ذبابة خل ذات أجنحة عادية وعيون 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 تفسيرا صبغيا لهذه النتائج.

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

★ 170 ذبابة خل ذات أجنحة عادية وعيون حمراء ★ 175 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة وعيون 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 للصفتين، ويشبه في مظهره الخارجي الأب ذو أجنحة عادية وعيون حمراء. طبقا للقانون الأول لـMendel نستنتج أن حليل الأجنحة العادية سائد على حليل الأجنحة المقورة، وحليل العيون الحمراء سائد على حليل 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 وعيون حمراء بـ[N,R] ، والمظهر أجنحة مقورة وعيون 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))x100
- نسبة المظهر الخارجي [t,b] هي: 38.83 % = (400/(410+400+111+109))x100
- نسبة المظهر الخارجي [N,b] هي: 10.58 % = (109/(410+400+111+109))x100
- نسبة المظهر الخارجي [t,R] هي: 10.78 % = (111/(410+400+111+109))x100

نلاحظ أن هذه النتائج تخالف القانون الثالث لـMendel (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.

4) التأويل الصبغي لنتائج التزاوجات:

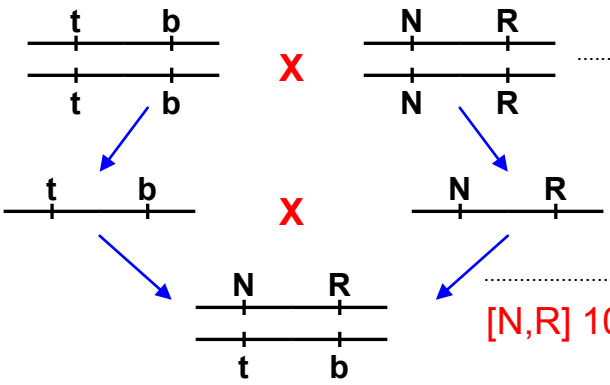
★ **التزاوج الأول : عند الآباء P .** المظاهر الخارجية لـ P ..... : [N,R] X [t,b]

الأنماط الوراثية .....

الأمشاج .....

الإخصاب .....

الجيل F_1 [N,R] 100 %



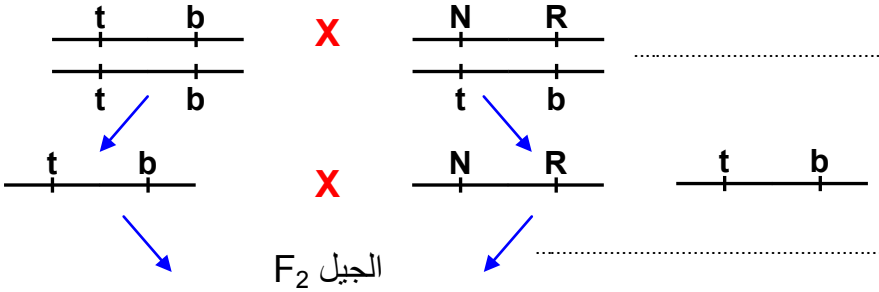
★ **التزاوج الثاني : التزاوج الراجع.** المظاهر الخارجية ..... : [N,R] X [t,b]

الأنماط الوراثية .....

الأمشاج .....

الإخصاب .....

الجيل F_2



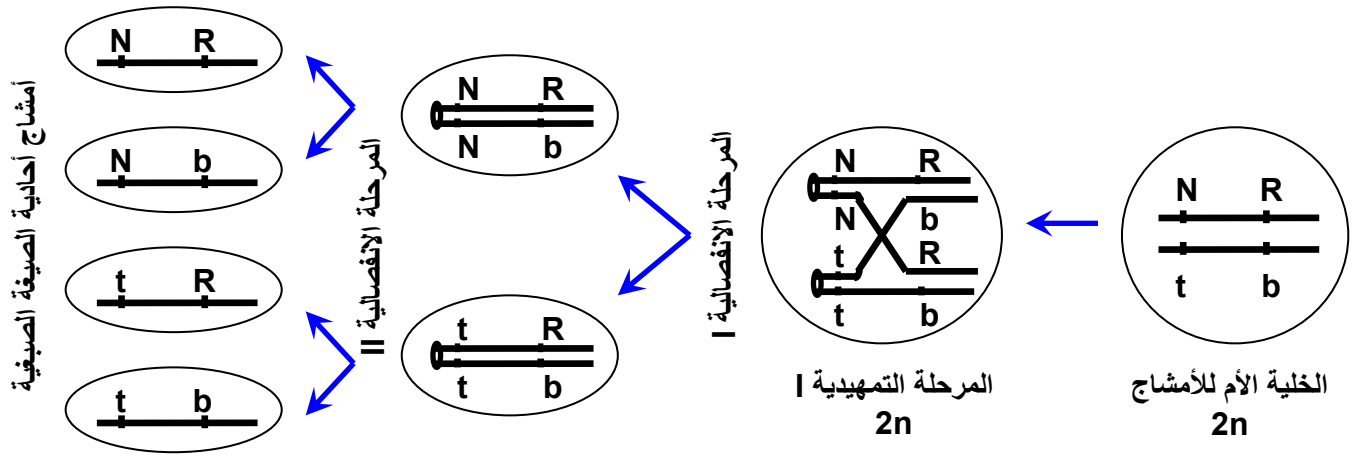
يعطي الإخصاب جيل F_2، أنظر شبكة التزاوج

♀ / ♂	N R	t b
t b	50 %	50 %
t b / t b	50 %	100 %
N R / t b	50 %	

نلاحظ أن النتائج النظرية تخالف النتائج التجريبية حيث نحصل في F_2 على مظاهر خارجية أبوية فقط، [N,R] بنسبة 50% و[t,b] بنسبة 50%.

إن ظهور مظاهر خارجية جديدة التركيب في F_2، يفسر بافتراض وجود تركيبات جديدة في أمشاج الأنثى الهجينة، وذلك لحدوث تبادل أجزاء صبغية بين الصبغيات المتماثلة خلال الانقسام الاختزالي. (أنظر الوثيقة13).

الوثيقة 13 : كيفية إنتاج الأمشاج عند أنثى ذبابة الخل الهجينة:



وبالتالي تكون شبكة التزاوج على الشكل التالي:

♀ / ♂	N R	N b	t R	t b
t b	39.81 %	10.58 %	10.78 %	38.83 %
t b / t b	39.81 %	10.58 %	10.78 %	38.83 %
t b	100 %			

5) التزاوج الثالث هو تزاوج عكسي (تزاوج راجع)، لنحسب نسب المظاهر الخارجية في F'_2:

- نسبة مظهر الخارجي [N,R] هي: 49.27 % = (170/(170+175))x100
- نسبة مظهر الخارجي [t,b] هي: 50.73 % = (175/(170+175))x100

★ نلاحظ أن هذا التزاوج يعطي فقط مظاهر خارجية أبوية بنسبة 50 % + 50 %.
★ نلاحظ اختلاف نتائج التزاوجين الراجعين الأول الثاني (= 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 علي 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 نقيتين 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 و ما هي الغاية منه ؟
3) ماذا تستنتج من النسب المحصل عليها في هذا التزاوج ؟
4) أعط تفسيرا صبغيا لهذه النتائج.

b - حل التمرين:

1) ★ بدراستنا لكل صفة على حدة، نلاحظ أن الجيل الأول F_1 متجانس بالنسبة للصفتين، ويشبه في مظهره الخارجي الأب ذو طماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي. طبقا للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن حليل الطماطم صعبة الجني سائد على حليل الطماطم سهلة الجني، وحليل الطماطم المقاومة للطفيلي سائد على حليل 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 ب[D,R] ، والمظهر الطماطم سهلة الجني وحساسة للطفيلي ب[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 أبويين [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 .**

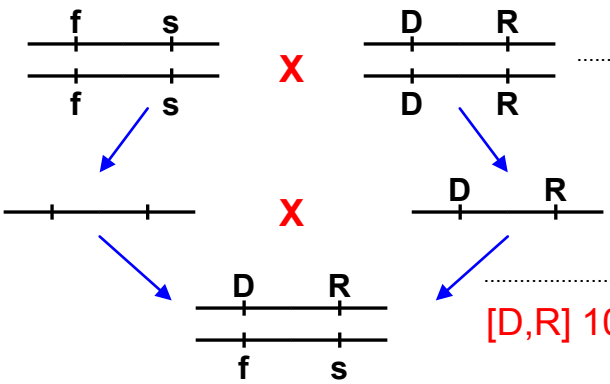
المظاهر الخارجية لـ P ..... : [D,R] X [f,s]

الأنماط الوراثية .....

الأمشاج .....

الإخصاب .....

الجيل F_1 [D,R] 100 %



★ **التزاوج الثاني : التزاوج الراجع.** المظاهر الخارجية ..... : [N,R] X [t,b]

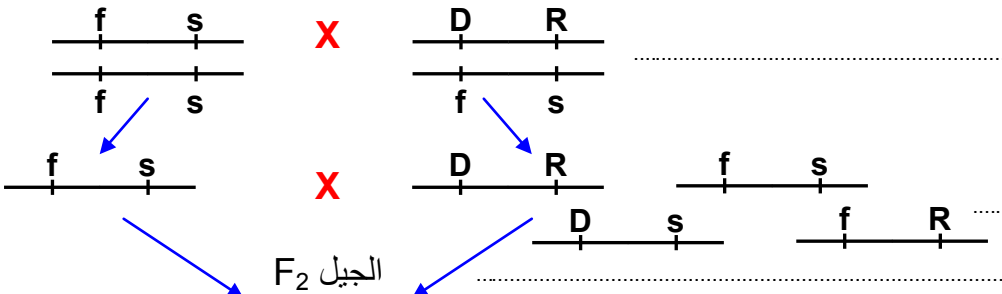
الأنماط الوراثية .....

الأمشاج .....

الإخصاب .....

الجيل F_2

أنظر شبكة التزاوج أسفله



♀ / ♂	D R	D s	f R	f s
	39 %	11 %	11 %	39 %
f s	D R / f s	D s / f s	f R / f s	f s / f s
	39 %	10.58 %	11 %	39 %
f 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، مرتبطتان ارتباطا مطلقا (دون حدوث عبور صبغي)، أما إذا حصلنا على مظاهر خارجية جديدة التركيب بنسبة تقل بكثير عن 37,5% (16/6)، فإن المورثتان المدروستان مرتبطتان ارتباطا غير مطلق (حدوث عبور صبغي).

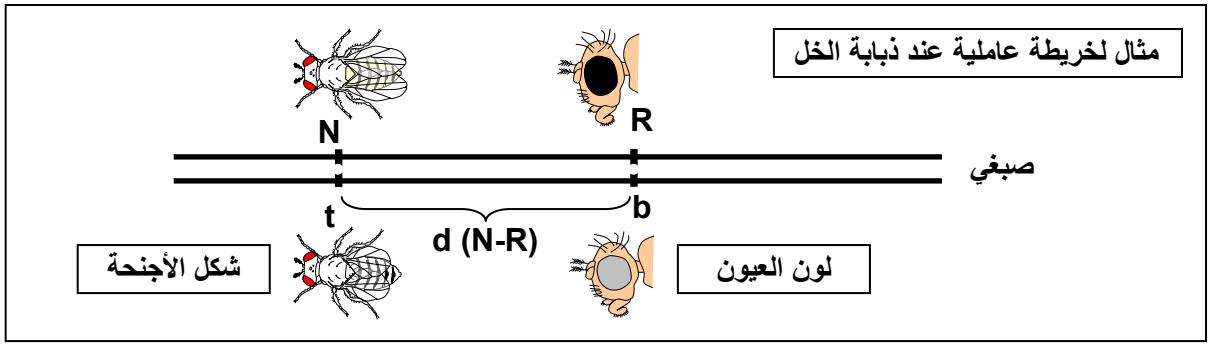
★ عندما نحصل بعد التزاوج الراجع على مظاهر أبوية فقط، فإن المورثتان المدروستان، مرتبطتان ارتباطا مطلقا (دون حدوث عبور صبغي)، أما إذا حصلنا على مظاهر خارجية جديدة التركيب بنسبة تقل بكثير عن 50%، فإن المورثتان المدروستان مرتبطتان ارتباطا غير مطلق (حدوث عبور صبغي).

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 العاملية (La carte factorielle).

لقد لاحظ العالم الأمريكي Thomas Hunt Morgan أنه في حالة تزاوج سلالتين تختلفان بصفتين في حالة مورثتين مرتبطتين، فان نسبة التركيبات الجديدة الناتجة عن هذا التزاوج تكون دائما ثابتة.
انطلاقا من هذه الملاحظة افترض Morgan أن موقع المورثة فوق الصبغي يكون دائما ثابتا. 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 التركيات الجديدة. ومنه فان نسبة التركيبات الجديدة تمكننا من تحديد المسافة الفاصلة بين مورثتين، وبالتالي انجاز الخريطة العاملية.



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

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

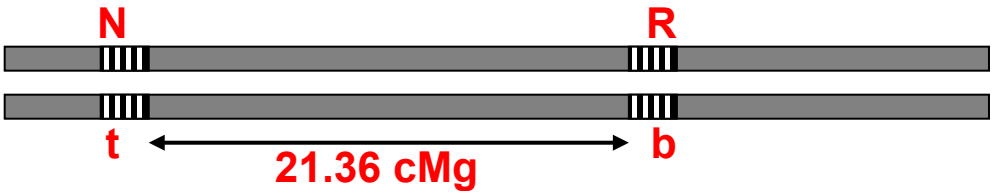
باستثمار هذه المعطيات ومعطيات تمرين الوثيقة 12:
1) أحسب المسافة بين المورثتين لون العيون وشكل الأجنحة d(N – R).
2) أنجز الخريطة العاملية.

انطلاقا من معطيات تمرين الوثيقة 12:

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

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

2) الخريطة العاملية:



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 فأن الصفات قد عادي، أوراق خضراء، وثمار ملساء سائدة على الصفات قد قصير، أوراق مبقعة، وثمار ناعمة.

2) المظاهر الخارجية المحصل عليها في الجيل الثاني F2 هي:

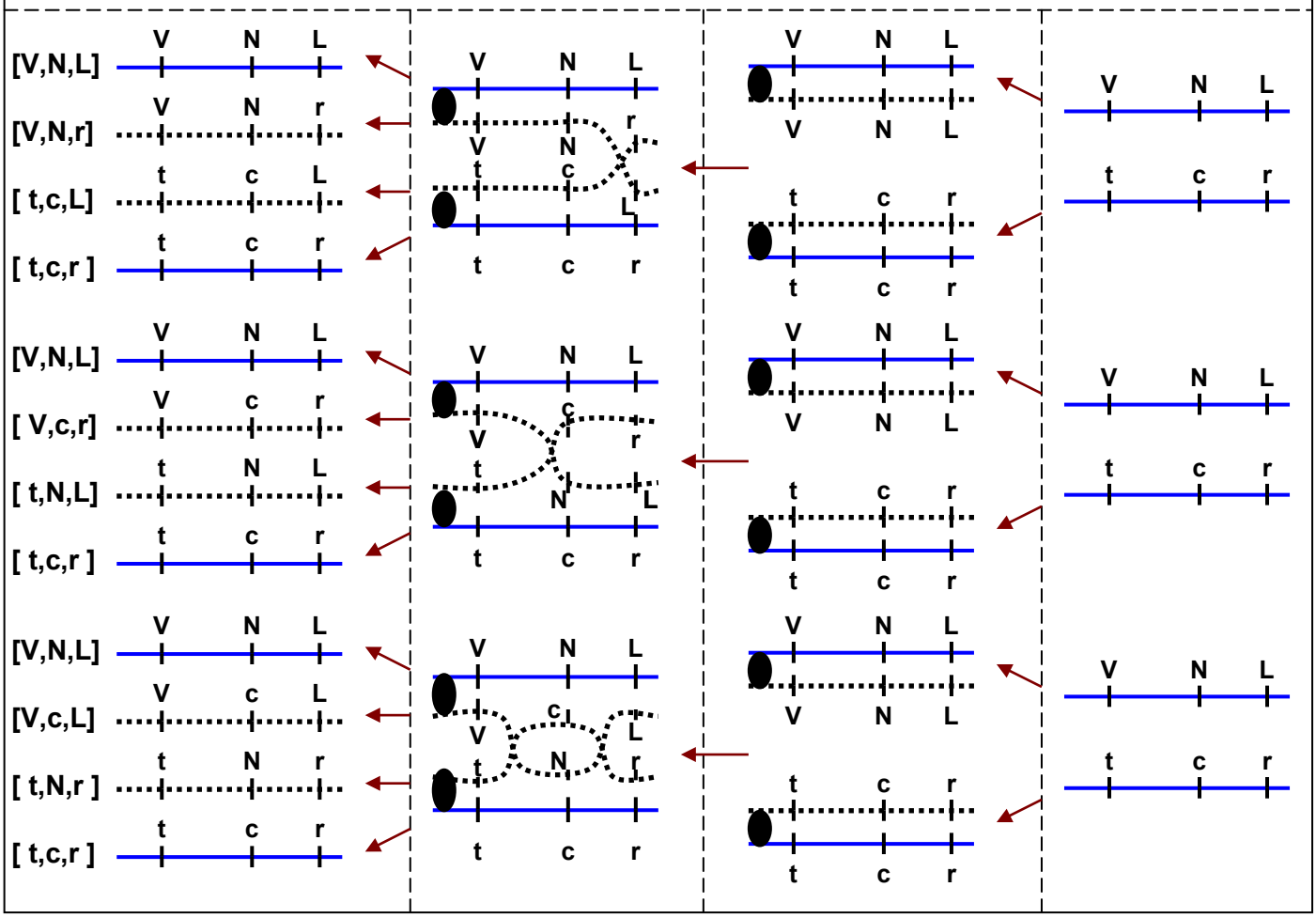
- [V,N,L] بنسبة (417/1000).100 = 41.7 %
- [t , c, r] بنسبة (425/1000).100 = 42.5 %
- [V,N ,r] بنسبة (16/1000).100 = 1.6 %
- [V,c,L] بنسبة (3/1000).100 = 0.3 %
- [V,c,r] بنسبة (55/1000).100 = 5.5 %
- [t,N,L] بنسبة (59/1000).100 = 5.9 %
- [t,N,r] بنسبة (5/1000).100 = 0.5 %
- [t,c,L] بنسبة (20/1000).100 = 2 %

مظاهر أبوية بنسبة 84.2 %

مظاهر جديدة التركيب بنسبة 15.8 %

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:

❖ المسافة بين القد ولون الأوراق هي:

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

❖ المسافة بين القد وشكل الثمار هي:

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

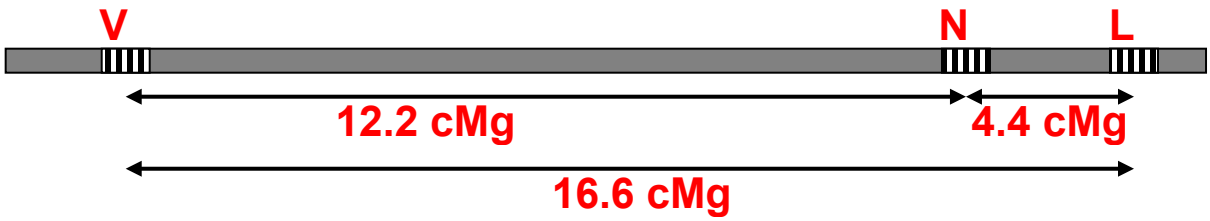
❖ المسافة بين اللون وشكل الثمار هي:

$$d(V\text{-}L) = \frac{16+55+59+20}{1000} \times 100 = 15\ cMg$$

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

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

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



الخـــريـــطـــة العـــامـــلـــيـــة

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 وعيون ملساء Lisse وأجنحة كاملة Complètes مع ذكر من سلالة نقية ذو جسم أصفر Jaune وعيون حرشاء Rugueuses وأجنحة مبتورة Tronquées. فحصلنا 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. فحصلنا 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 وr. و بين المورثة r وt. و بين المورثة j وt.
5) استنتج التموضع النسبي للمورثات الثلاث، ثم أنجز الخريطة العاملية بالنسبة لهذه المورثات.

b - حل التمرين:

1) تحليل واستنتاج:

★ لقد تم التزاوج بين سلالتين نقيتين تختلفان بثلاث صفات وراثية يتعلق الأمر إذن بالهجونة 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 فان 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 منه هو التحقق من الانفصال المستقل للحليلات.

★ يعطي التزاوج الثاني جيل F_2 يتكون من 8 مظاهر خارجية بالنسب التالية:

- الأفراد [G,L,C] النسبة المئوية: (1080/2880)X100 = 37.50 %
- الأفراد [j, r, t] النسبة المئوية: (1071/2880)X100 = 37.19 %

أنماط أبوية 74.69 %

- الأفراد [G,L, t] النسبة المئوية: (293/2880)X100 = 10.17 %
- الأفراد [j, r, C] النسبة المئوية: (282/2880)X100 = 9.79 %
- الأفراد [j, L, C] النسبة المئوية: (78/2880)X100 = 2.71 %
- الأفراد [G, r, t] النسبة المئوية: (66/2880)X100 = 2.29 %
- الأفراد [G,r,C] النسبة المئوية: (6/2880)X100 = 0.21 %
- الأفراد [j, L, t] النسبة المئوية: (4/2880)X100 = 0.14 %

أنماط جديدة التركيب 25.31 %

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

2) إن تركيب الجيل F_2 يعبر عن تركيب أنماط الأمشاج الأنثوية، لأن الذكر هو من سلالة نقية وثلاثي التنحي، فانه لن ينتج سوى نمط واحد من الأمشاج.

3) التفسير الصبغي لنتائج التزاوج:

★ **التزاوج الأول : عند الآباء P .** المظاهر الخارجية لـ P :..... ♀ [G,L,C] X ♂ [j, r, t]

الأنماط الوراثية ..... j r t / j r t X G L C / G L C

الأمشاج ..... j r t X G L C

الإخصاب ..... G L C / j r t

الجيل F_1 [G,L,C] 100 %

★ **التزاوج الثاني : التزاوج الراجع.** المظاهر الخارجية لـ P :..... ♀ [G,L,C] X ♂ [j, r, t]

الأنماط الوراثية ..... j r t / j r t X G L C / j r t

الأمشاج ..... j r t X G L C ، j r t ، G L t ، j r C ، j L C ، G r t ، G r C ، j L t

الإخصاب .....

الجيل F_2
أنظر شبكة التزاوج

شبكة التزاوج

♀ / ♂	G L C	j r t	G L t	j r C	j L C	G r t	G r C	j L t
j r t	G L C / j r t	j r t / j r t	G L t / j r t	j r C / j r t	j L C / j r t	G r t / j r t	G r C / j r t	j L t / j r t
المظاهر الخارجية	[G,L,C]	[j,r,t]	[G,L,t]	[j,r,C]	[j,L,C]	[G,r,t]	[G,r,C]	[j,L,t]

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

d(j-r) = ((4+6+66+78)/2880)X100 = 5.35 cMg

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

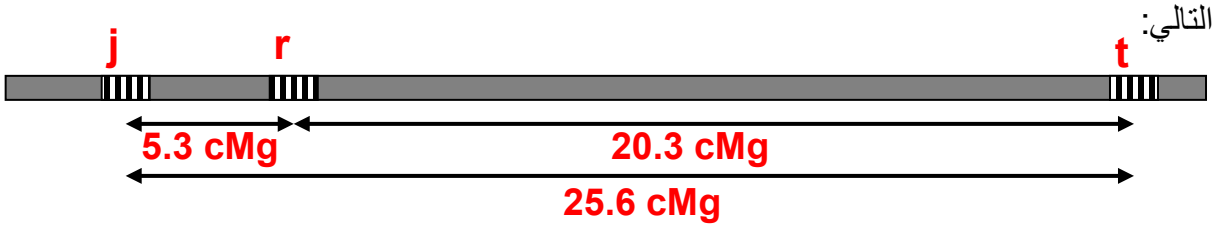
d(r-t) = ((4+6+282+293)/2880)X100 = 20.31 cMg

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

d(t-j) = ((2X(4+6)+66+78+282+293)/2880)X100 = 25.66 cMg

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

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



الخـــريـــطـــة العـــامـــلـــيـــة

ملاحظات:

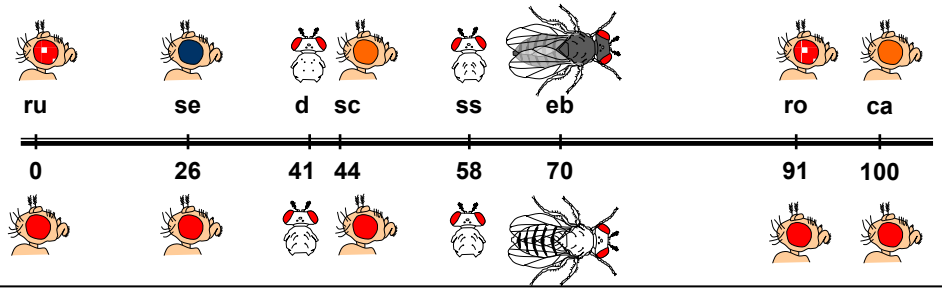
★ مكن إجراء عدة تزاوجات ودراسة مورثات مختلفة، من تحديد تموضع نسبي لعدة مورثات عند مجموعة من الكائنات الحية، ويوضح الشكل أ من الوثيقة 19 جزءا من الخريطة العاملية للصبغي 3 عند ذبابة الخل.

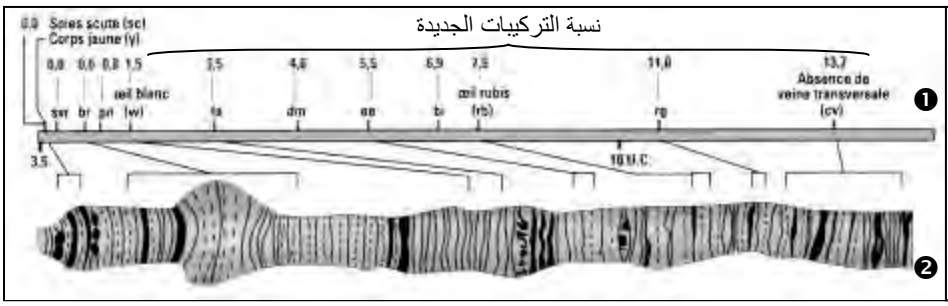
★ لقد مكنت الملاحظة المجهرية لصبغيات عملاقة في مستوى الغدد اللعابية ليرقات ذبابة الخل من الكشف عن وجود أشرطة متعاقبة تختلف حسب تلوينها، وسمكها، ولها ترتيب ثابت بالنسبة لصبغي معين. وقد تبين أن كل خلل في تعاقب هذه الأشرطة يؤدي إلى خلل في ظهور الصفات المتوحشة وظهور صفات جديدة.
انطلاقا من هذه الملاحظات تمكن الباحثون من وضع خرائط صبغية (carte chromosomique, Cytologique ou physique) ، توضح التموضع المضبوط وليس النسبي للمورثات على الصبغيات أنظر الشكل ب من الوثيقة 19.

الوثيقة 19: الخريطة العاملية والخريطة الصبغية

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

ru = roughoid (oeil rugueux)
se = sepia (œil foncé)
d = dichaete (soies thoraciques absentes)
sc = scarlet (oeil vermillon)
ss = spineless (soies très courtes)
eb = ebony (corps noir)
ro = rough (oeil rugueux)
ca = claret (oeil rouge)





الشكل ب: الخريطة الصبغية لصبغي عند ذبابة الخل.

❶ = خريطة عاملية.
❷ = خريطة صبغية.

خلاصة: أنظر الوثيقة 20.

الوثيقة 20: حصيلة القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية.

		النسب الإحصائية		حالة خاصة
		الجيل الأول F_1	الجيل الثاني F_2	
الهجونة الأحادية (أبوان من سلالة نقية)	سيادة تامة	100 % صفة الأب ذي الحليل السائد	1/4 ، 3/4	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.
	تساوي السيادة	100 % صفة وسيطة	1/4 ، 1/4 ، 1/2	
الهجونة الثنائية (أبوان من سلالة نقية)	مورثتان مستقلتان	سيادة تامة بالنسبة للحليلين	100 % صفة الأب ذي الحليل السائد	1/16 ، 3/16 ، 3/16 ، 9/16
		سيادة تامة بالنسبة لزوج حليلي وتساوي السيادة بالنسبة للآخر	جيل متجانس له الصفة السائدة بالنسبة للزوج الحليلي الأول، وصفة وسيطة بالنسبة للزوج الحليلي الثاني	1/16 ، 1/16 ، 2/16 ، 3/16 ، 3/16 ، 6/16
		تساوي السيادة بالنسبة للزوجين الحليلين	جيل متجانس له صفتين وسيطتين بالنسبة للزوجين الحليلين.	1/16 ، 1/16 ، 1/16 ، 1/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 4/16
	مورثتان مرتبطتان	أحد الأبوين سائد والآخر متنحي	100 % صفة الأب ذي الحليلين السائدين.	1/4 ، 3/4

الوحدة الثالثة: 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 لقلة 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}x 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، و كيف يتم تشخيصها؟**

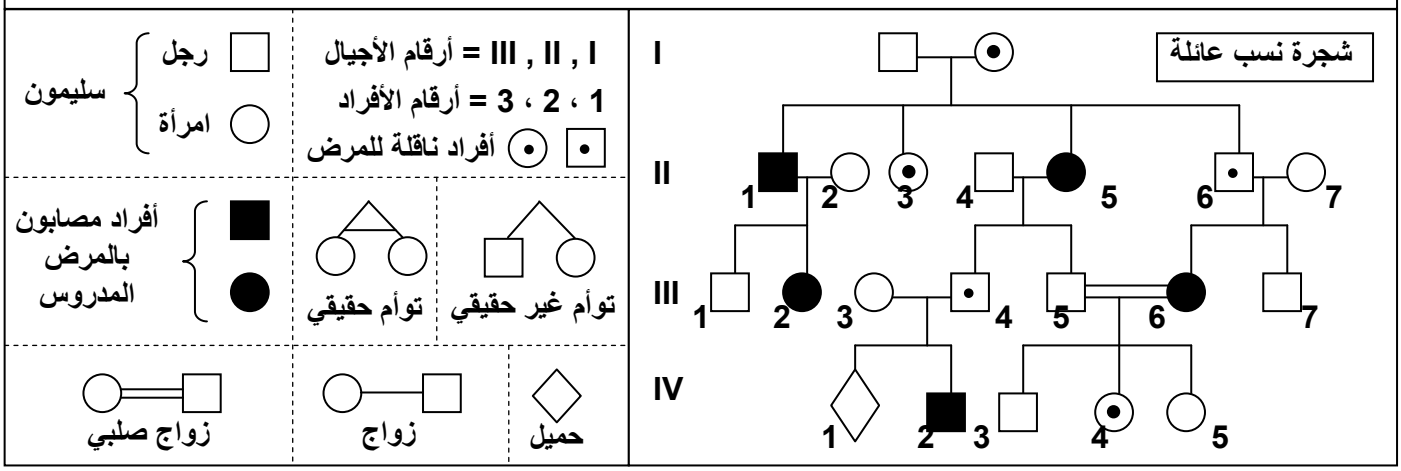
I – وسائل دراسة الوراثة عند الإنسان.

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.

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 (الآباء والأبناء). حيث نرمز 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.



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

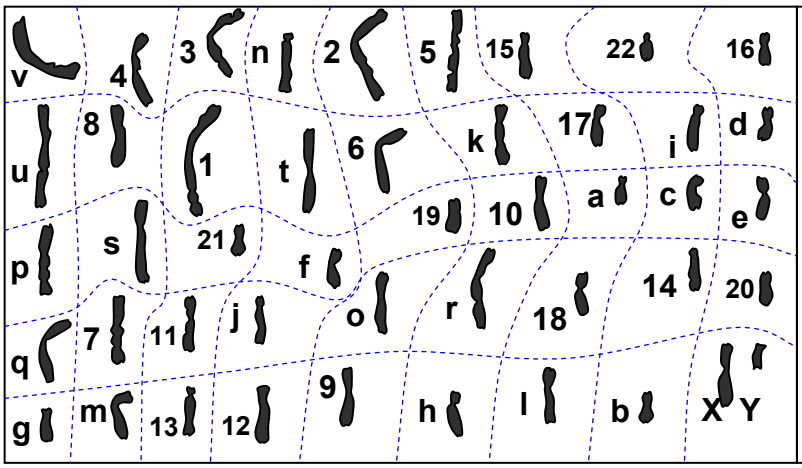
② الخرائط الصبغية Les cartes chromosomiques أنظر الوثيقة 2.

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 بتغير في عدد أو بنية الصبغيات.

③ تحليل الـ ADN أنظر الوثيقة 3.

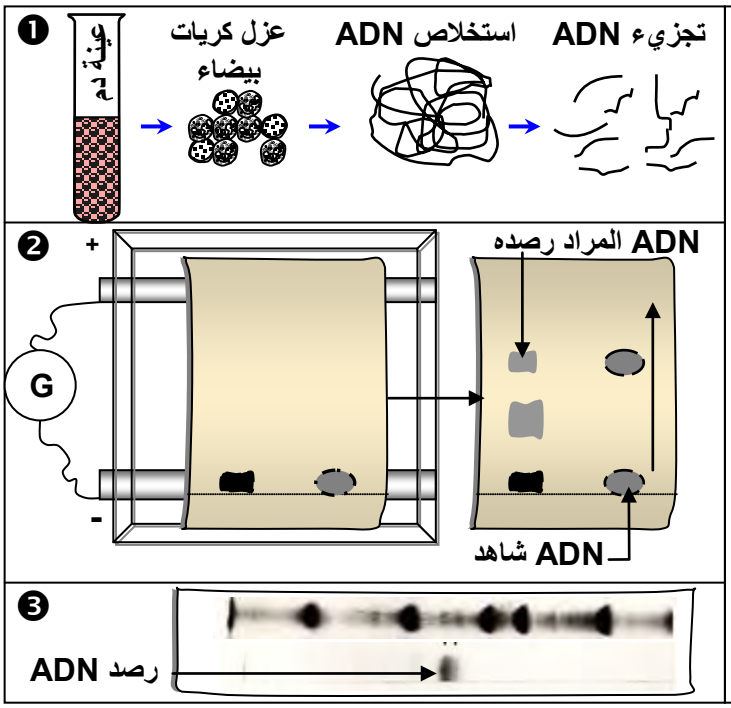
الوثيقة 3: تحليل الـ ADN.

❶ نعزل ADN من خلايا الشخص المختبر ونعالجها بأنزيمات فصل نوعية، ونضع خليط القطع المحصلة في حفر أنجزت في غراء يسمى Agarose.

❷ نخضع الغراء لمجال كهربائي: بما أن قطع ADN ذات شحنة سالبة فإنها تهاجر نحو القطب الموجب بسرعة تتناسب وقدها، فتنتشر منفصلة بعضها عن بعض، لنحصل على قطع يمكن تحديد قدها بمقارنتها بمواقع قطع أخرى معروفة القد (قطع عيار).

❸ 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 ينفصل 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.

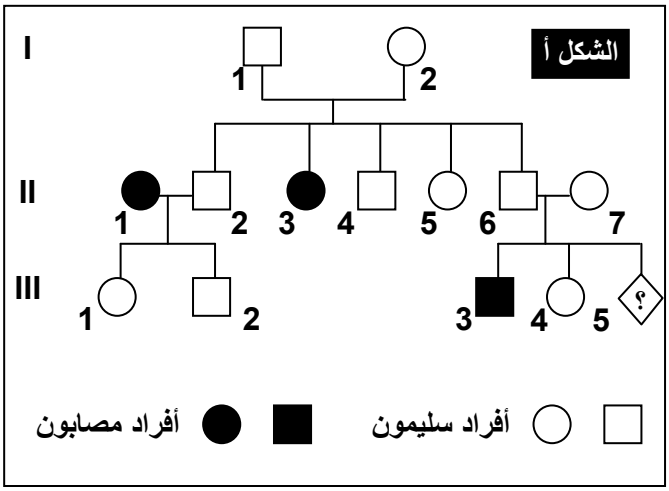
II – دراسة انتقال أمراض وراثية غير مرتبطة بالجنس.

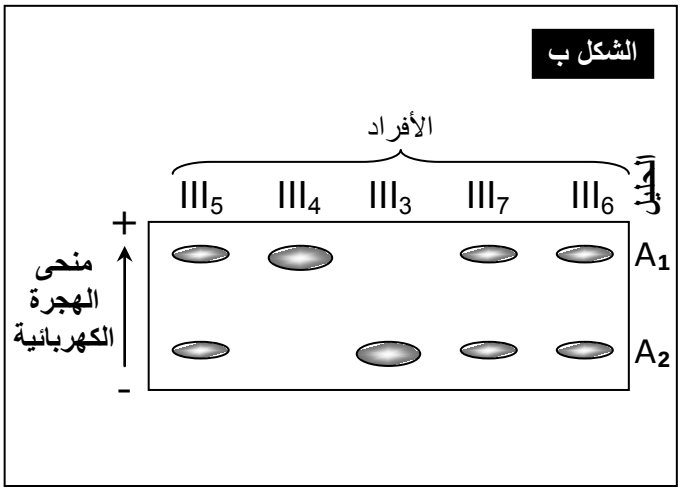
① انتقال مرض Mucoviscidose

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 التشعبات الرئوية، فيسبب ذلك عسر تنفسي والإصابة بالتعفنات.
يعطي الشكل أ من الوثيقة، شجرة نسب عائلة بعض أفرادها مصابون بهذا المرض.
(أرمز للحليل العادي Normal بـ N أو n، وللحليل الممرض Mucoviscidose بـ M أو m)





1) حلل هذه الشجرة ثم استنتج نوع السيادة بين الحليل العادي والحليل المسؤول عن المرض.
2) حدد هل الحليل المسؤول عن المرض محمول على صبغي جنسي أم صبغي لاجنسي؟ علل إجابتك.
3) انطلاقا من التأويل الصبغي فسر كيف ينتقل هذا المرض من جيل لآخر.
4) حدد معللا إجابتك، النمط الوراثي للأفراد: III_3 وII_3 وII_6 وII_7 و III_4، ثم حدد احتمال إصابة الحميل III_5.

سبّب إنجاب مولود مصاب بمرض التليف الكيسي (الابن (III_3)، تخوفا لأبويه من احتمال إصابة مولودهم المنتظر (III_5) بنفس المرض، مما جعلهم يقومون بتحليل الـ ADN عند مجموعة من أفراد هذه العائلة وعند مولودهم المنتظر، وذلك باعتماد تقنية رصد المورثات Southern Blot. يمثل الشكل ب من الوثيقة نتائج هذا التحليل.

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

ب – **حل التمرين:**

1) لتحديد ما إذا كان الحليل المسؤول عن المرض، سائد أم متنحي نحلل نتائج بعض التزاوجات في شجرة النسب:
تبين شجرة النسب في هذه الحالة أن البنت II_3 مصابة بالمرض، بينما أبواها I_1 و I_2 سليمين. إذن الشخص II_3 ورِث من أبويه الحليل المُمرض، لكن هذا الحليل لم يكن يظهر عندهما، نستنتج من هذا أن المرض المعني متنحي.

2) لتحديد ما إذا كان حليل المرض محمولا على صبغي جنسي أم على صبغي لاجنسي، نعطي الافتراضات التالية ونتحقق منها في شجرة النسب (نرمز للحليل العادي **Normal** بـ N لأنه سائد، والحليل الممرض **Mucoviscidose** بـ m، لأنه متنحي):

⇦ نفترض أن الحليل المُمرض محمول على الصبغي الجنسي Y:
لدينا في شجرة النسب إناث مصابات رغم أنهن لا يتوفرن على الصبغيY، إذن فالافتراض خاطئ، والحليل غير محمول على الصبغي الجنسي Y.

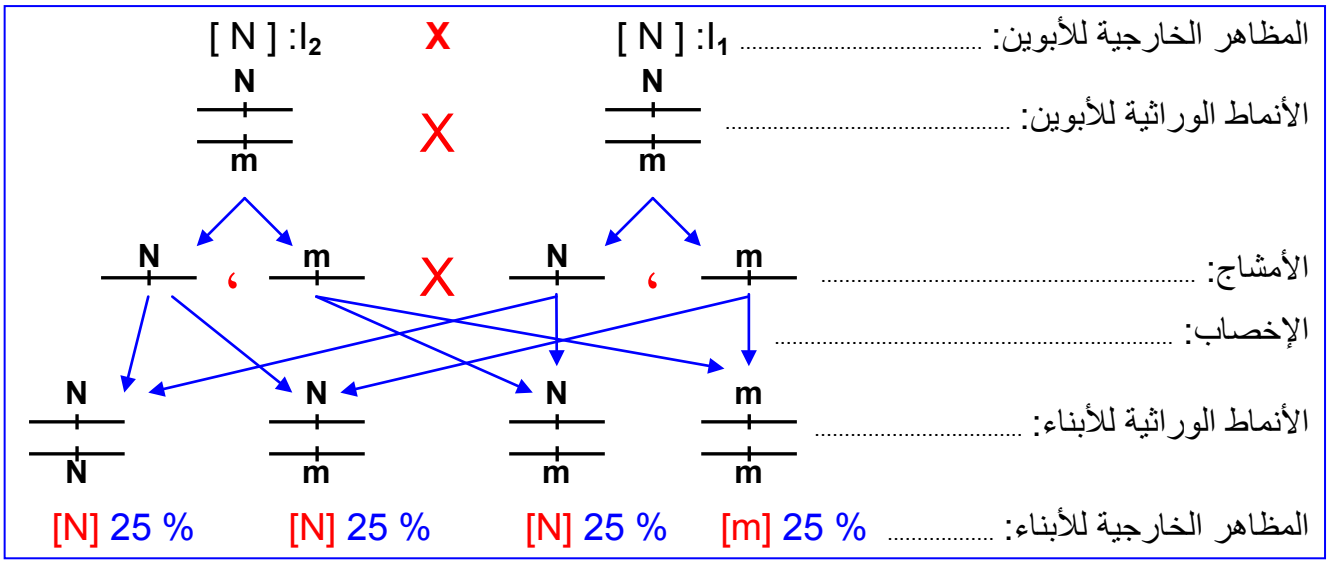
⇦ نفترض أن الحليل محمول على الصبغي الجنسي X:

✓ **طريقة أولى:** لدينا المرأة II_3 مصابة، وبما أن حليل 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، والحليل غير محمول على الصبغي الجنسي X.

✓ **طريقة ثانية:** لدينا الأم II_1 مصابة، فلو كان الحليل 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 الحليل 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 البنت 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 وII_3 مصابان، وبما أن حليل المرض متنحي، سيكونان متشابهي الاقتران أي أن نمطهما الوراثي هو m//m

الفردان II_6 وII_7 سليمان، 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 وII_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 وA_2، (أي N وm)، وبما أن حليل المرض متنحي فهذا الطفل سيكون سليما ونمطه الوراثي N//m. إذن فنتائج تحليل الـ ADN تعتبر مُطمئنة للأبوين.

ج – حصيلة:

- عندما نجد في شجرة نسب معينة، أحد أفرادها مصاب، و أبواه معا سليمان، نقول أن الحليل المسؤول عن المرض متنحي.
- إذا وجدنا في شجرة النسب إناث مصابات، لا يمكن أن يكون الحليل محمولا على الصبغي الجنسيY ، لعدم توفر الإناث على هذا الصبغي.
- إذا كان حليل المرض متنحي، ووُجدت 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، ووُجدت 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.

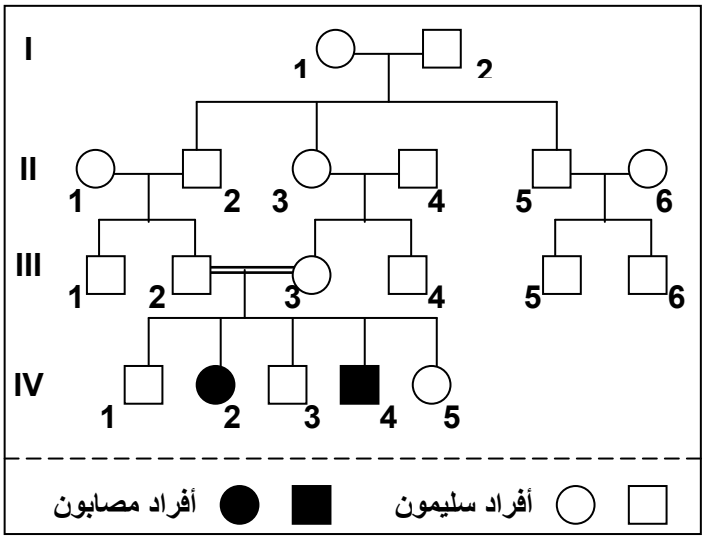
② انتقال مرض Thalassémie

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 يمك تشخيصه بالتحاليل الطبية.

تعطي الوثيقة أمامه شجرة نسب عائلة تظهر المرض.

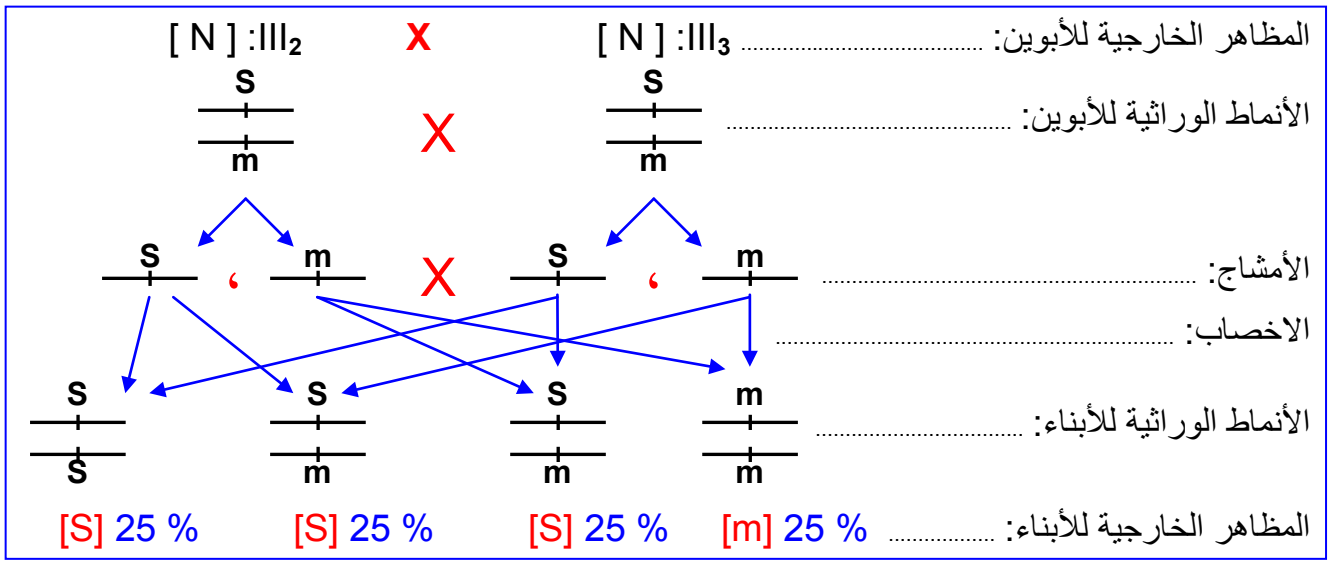


1) حلل هذه الشجرة ثم استنتج نوع السيادة بين الحليل العادي والحليل المسؤول عن المرض.
2) استخرج العامل الذي ساعد على ظهور المرض في الجيل الرابع، وأعط تفسيرا صبغيا لذلك. (نستعمل الرموز التالية: S أوs بالنسبة للحليل العادي، وM أوm للممرض).

ب – حل التمرين :

1) نلاحظ أن الحليل المسؤول عن المرض المدروس غائب ظاهريا عند السلف وموجود عند الخلف (IV_2 و IV_4)، 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 IV_2 مصابة وأباها سليم: ادن الحليل محمول على صبغي لاجنسي.

2) إن العامل الذي ساعد على ظهور المرض في الجيل الرابع هو زواج الأقارب.
نلاحظ أن الأبوين III_3 و III_2 سليمين أنجبا أبناء مصابين بالمرض IV_2 و IV_4، 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/ وm/، وبالتالي فالأنماط الوراثية للأبناء ستكون S//S أوS//m بالنسبة للأفراد السليمين، وm//m بالنسبة للأفراد المصابين.



إذن انطلاقا 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 %.

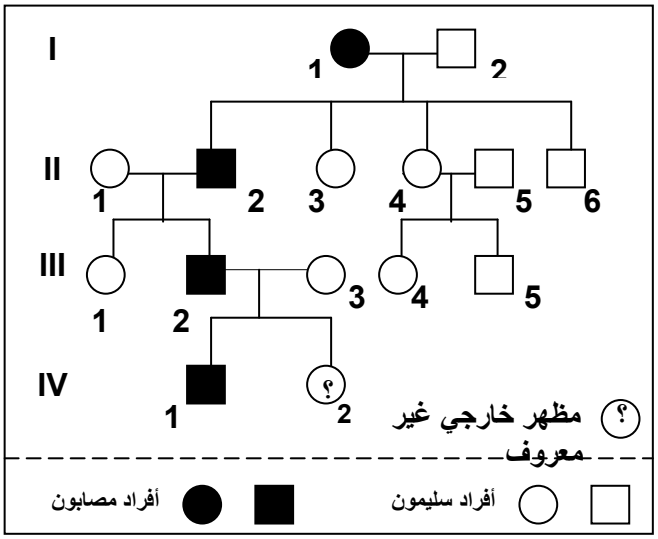
③ انتقال مرض Huntington

أ – تمرين : أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: مرض هنتنغتون Huntington.

مرض هنتنغتون Huntington هو مرض عقلي وراثي يؤثر في وظيفة الدماغ، يظهر عموما ما بين 30 و45 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 I_1 و II_2 وIII_2، ثم حدد بعد ذلك احتمال إصابة الحميل VI_2 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 (II_4 وII_5)، ليس لديهم أبناء مصابون. نستنتج من هذه المعطيات أن الحليل المُمرض سائد.

2) لتحديد ما إذا كان حليل المرض محمولا على صبغي جنسي أو على صبغي لاجنسي، 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 أنهن 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 الجنسيY، ولا على الصبغي الجنسي X، فهو إذن محمول على صبغي لاجنسي.

3) نحدد النمط الوراثي للأفراد:

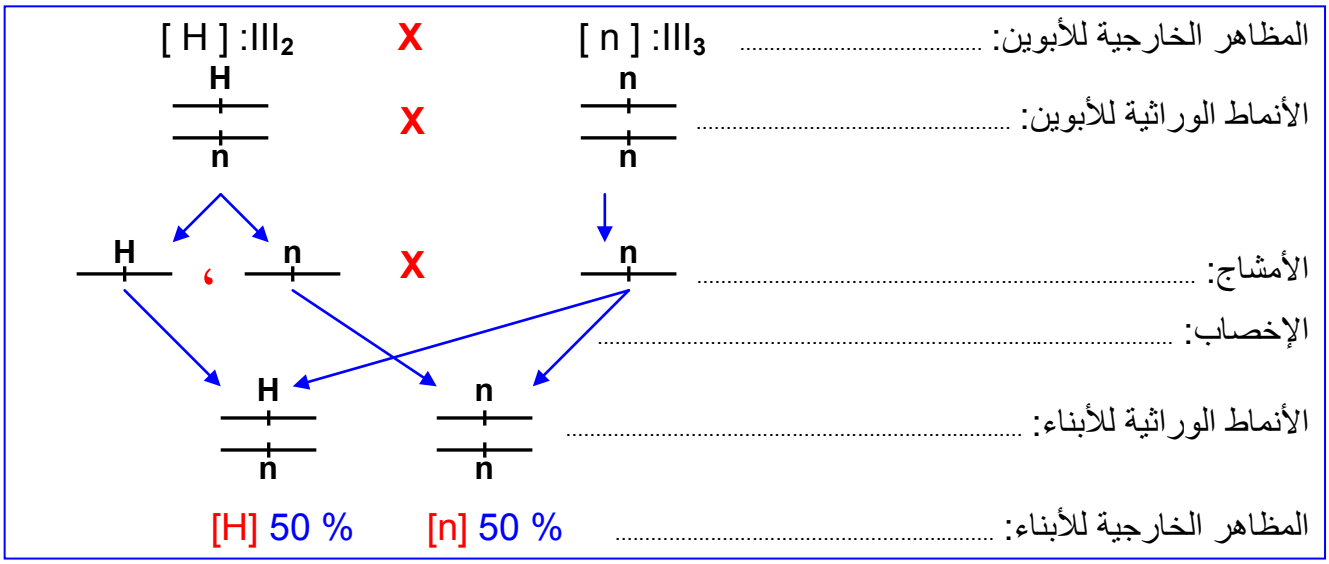
★ الأفراد السليمون: بما أنهم يحملون المظهر الخارجي المتنحي، سيكونون متشابهي الاقتران، أي أن نمطهم الوراثي هو n//n.

★ الأفراد المصابون I_1 وII_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 فالآباء، سيكونان إجباريا مختلفي الاقتران ونمطهما الوراثي هو H//n.

★ الفرد III_2 مصاب بالمرض، إذن فهو يتوفر علي الحليل الممرض السائد. من جهة أخرى، أبوه II_1 سليم ونمطه الوراثي هو n//n، فلن 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_2وIII_3 بعد تحديد نمطهما الوراثي:

الأنماط الوراثية للأبوين III_2 وIII_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، ووُجد 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، ووُجد 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 إبصار الألوان، إذ أن الشخص المصاب لا يميز بين الأحمر والأخضر. يصيب هذا الشذوذ 8 % من الذكور مقابل 0.4 % من الإناث. نقترح تتبع انتقال هذا المرض عند عائلة معينة.

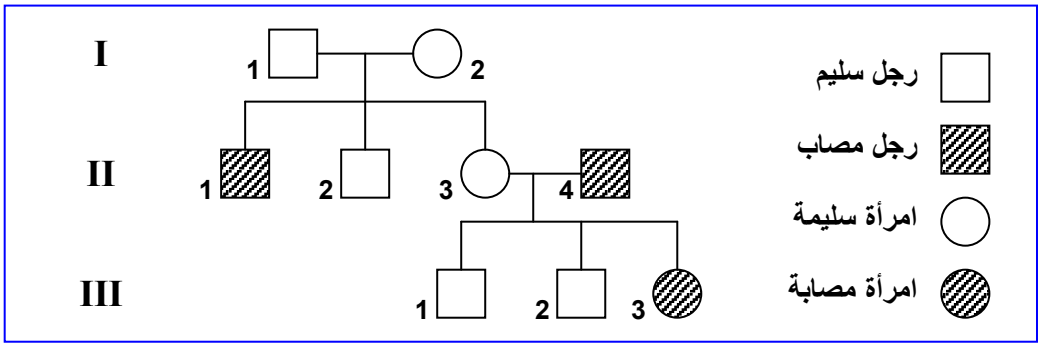
تزوج رجل سليم من الدلتونية (I_1) بامرأة سليمة من هذا العيب (I_2)، فأنجبا ولدين وبنت: (ولد II_1 مصاب بالدلتونية، وولد II_2 سليم من الدلتونية، وبنت II_3 سليمة من الدلتونية).

تزوجت البنت II_3 برجل II_4 مصاب بالدلتونية، فأنجبا: ولدين سليمين من الدلتونية III_1 وIII_2، وبنت مصابة بالدلتونية III_3.

1) أنجز شجرة نسب هذه العائلة.
2) استخرج 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.

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 $X_d//Y$.

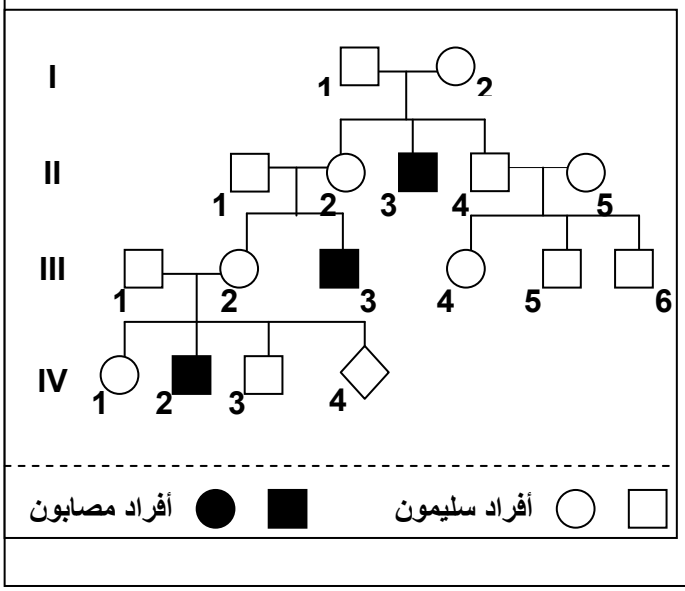
- II_3: هي أنثى سليمة فنمطها الوراثي سيكون إما $X_D//X_D$ أو $X_D//X_d$، لكنها أنجبت بنت مصابة (III_3) ورثت منها الحليل الممرض $X_d/$، وبالتالي فالمرأة II_3 ناقلة ونمطها الوراثي هو $X_D//X_d$.

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، ادن هي محمولة على الصبغي الجنسي X. (الأب II_1 أعطى للابن 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_SY لأنه ذكر سليم.
- الأم I_2 : X_SX_m لأنها أنثى سليمة وأنجبت ابن مصاب II_3 أعطته الحليل X_m.
- البنت II_2 : X_SX_m لأنها أنثى سليمة وأنجبت ابن مصاب III_3 أعطته الحليل X_m.
- الابن II_3 : X_mY لأنه ذكر مصاب .
- الابن II_4 : X_SY لأنه ذكر سليم.

4) حساب احتمال إصابة الحميل IV_4 بالمرض:

المظاهر الخارجية للأبوين: ..... III_1: [S] X III_2: [S]

الأنماط الوراثية للأبوين: ..... $X^S X^m$ X $X^S Y$

الأمشاج: ..... X^S ، X^m X X^S ، Y

أنظر شبكة التزاوج

شبكة التزاوج

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

انطلاقا 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 %.

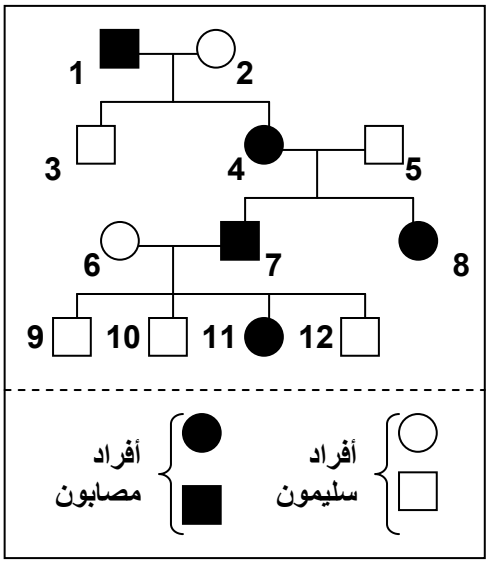
③ انتقال مرض الكساح المقاوم للفيتامين Le Rachitisme Vitamino-résistant

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) انطلاقا من تحليلك لشجرة النسب حدد الحليل السائد والحليل المتنحي.
3) حدد الأنماط الوراثية للأفراد 2، 4، 3، 11،6، و9. (نرمز للحليل 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 :

1) انطلاقا 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.

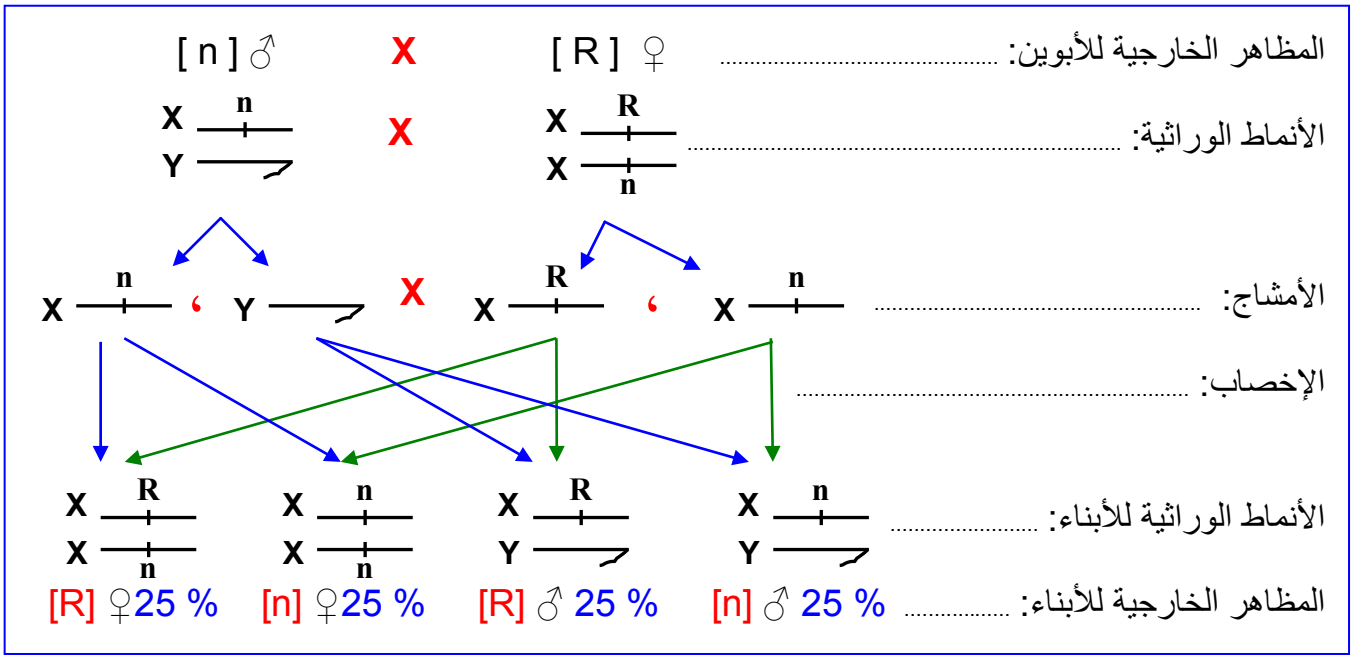
2) لقد ورثت البنت 8 من الأب 5 الصبغي X الحامل للحليل العادي، ومن الأم 4 الصبغي X الحامل للحليل الممرض، وكانت مصابة. هذا يعني أن الحليل المسؤول عن الكساح سائد.

3) 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 الحليل X_R ومن الأم الحليل 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 للحليل العادي.
- الفرد 11: $X_R//X_n$ لأنها أنثى مصابة ورثت من الأب الحليل الممرض X_R ومن الأم الحليل 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).
ادن في هذه الحالة لا توجد إناث ناقلات للمرض لأن الحليل R المسؤول عن المرض حليل سائد، وبالتالي فكل أنثى مختلفة الاقتران X_RX_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 تزاوج 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 تزاوج أبوين أحدهما مصاب، فاحتمال إنجاب طفل مصاب هو 50 %.

⇦ عند انتقال أمراض مرتبطة بالجنس:

- **في حالة مرض مرتبط بحليل متنح:**

- تكون الأمهات مختلفات الاقتران ناقلات لهذا الحليل الممرض بواسطة أحد صبغيها الجنسيين X.
- عندما يرث الأبناء الذكور من الأم الصبغي الجنسي X الحامل للحليل الممرض، يكون حتما مصابا بالمرض.
- لا تصاب الأنثى إلا في حالة الحصول على الصبغي 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 بأم سليمة (متشابهة الاقتران)، إنجاب ذكور سليمون وإناث مصابة بالمرض.

IV – الشذوذات الصبغية عند الإنسان وعواقبها. Les anomalies chromosomiques

رغم أن عدد الصبغيات تابت عند جميع أفراد النوع، حيث يتوفر الإنسان مثلا على 46 صبغيا، 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.

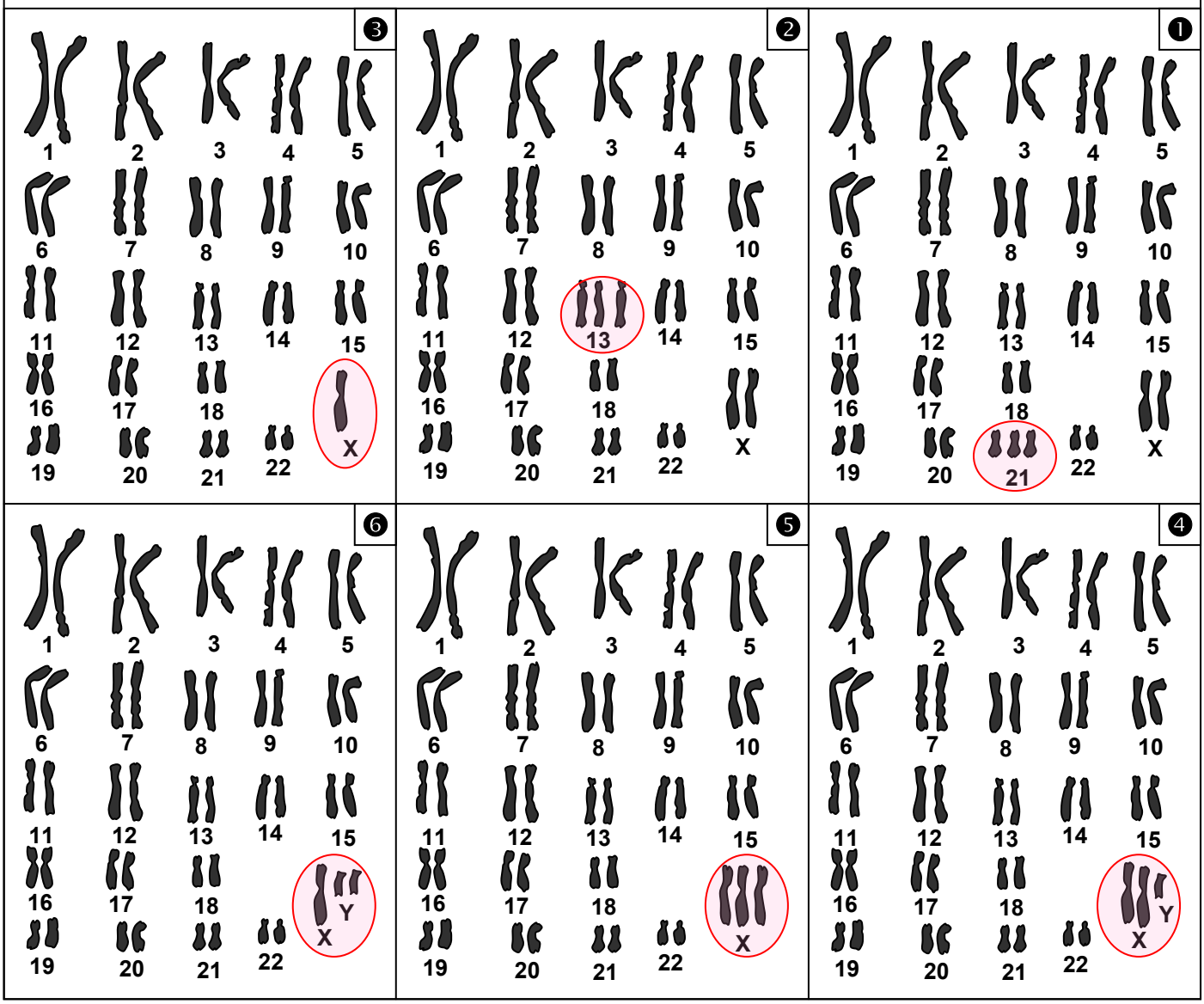
① الشذوذ المرتبط بتغير في عدد الصبغيات. أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: الشذوذات الصبغية المرتبطة بتغير في عدد الصبغيات.

تعطي الوثائق ❶، ❷، ❸، ❹، ❺، ❻. 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.



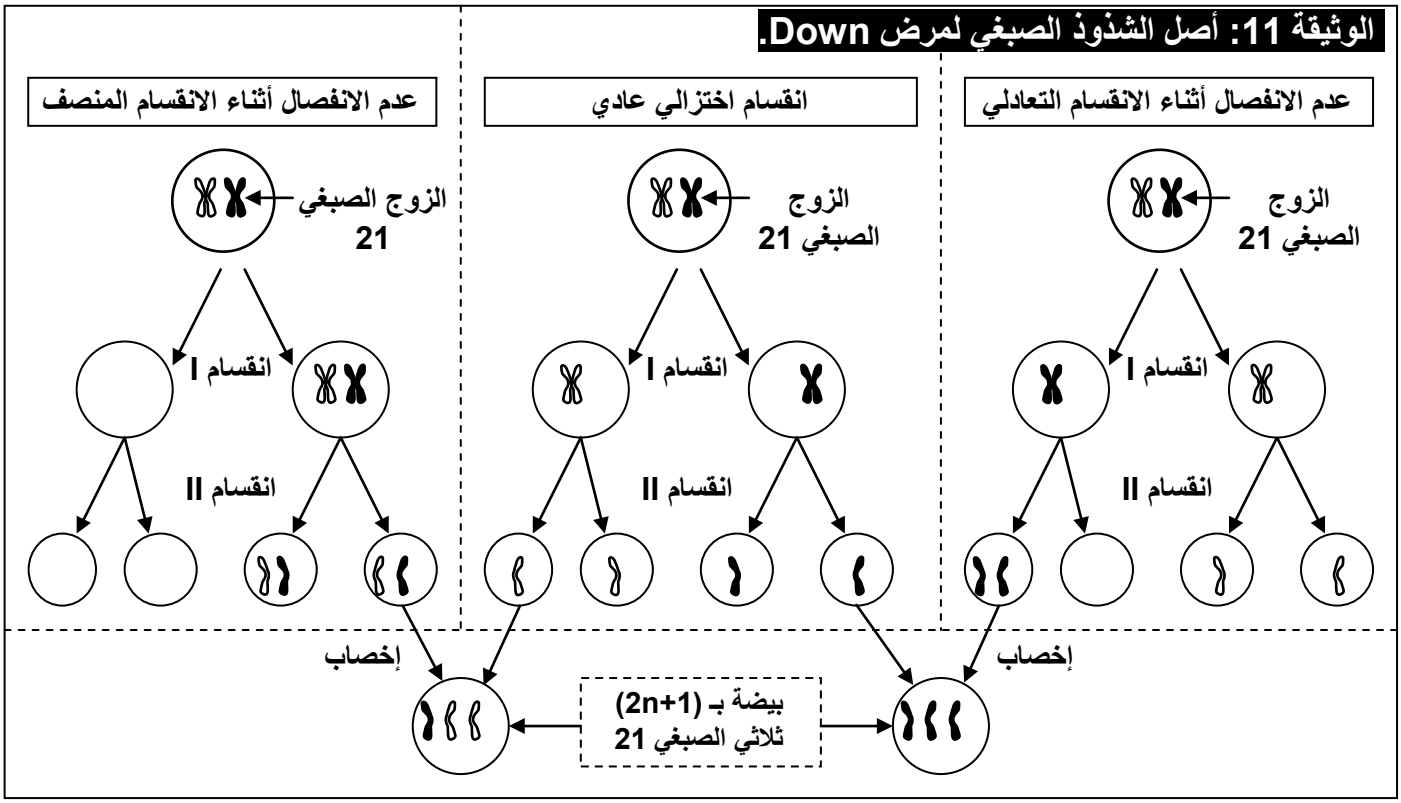
أ – تغير في عدد الصبغيات اللاجنسية:

- **الخريطة الصبغية ❶:**

نلاحظ على هذه الخريطة أن كل الصبغيات عادية باستثناء الصبغي 21 فهو ممثل بثلاثة نماذج وبالتالي هناك زيادة صبغي واحد في هذه الخريطة الصبغية لذلك يسمى الشذوذ بثلاثي الصبغي 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).
تمكن ممارسة الأنشطة التي تنبه الحواس منذ الطفولة، والتمرين على اللغة وعلى الحركات من تحسين ظروف عيش هؤلاء الأشخاص.

التفسير الصبغي لمرض Down: أنظر الوثيقة 11.



يفسر حدوث هذا الشذوذ بعدم انفصال صبغيي 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 ❷:**

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 ❸)

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

- **مرض Klinefelter:** (الخريطة الصبغية ❹)

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

- **مرض ثلاثي الصبغي X:** (الخريطة الصبغية ❺)

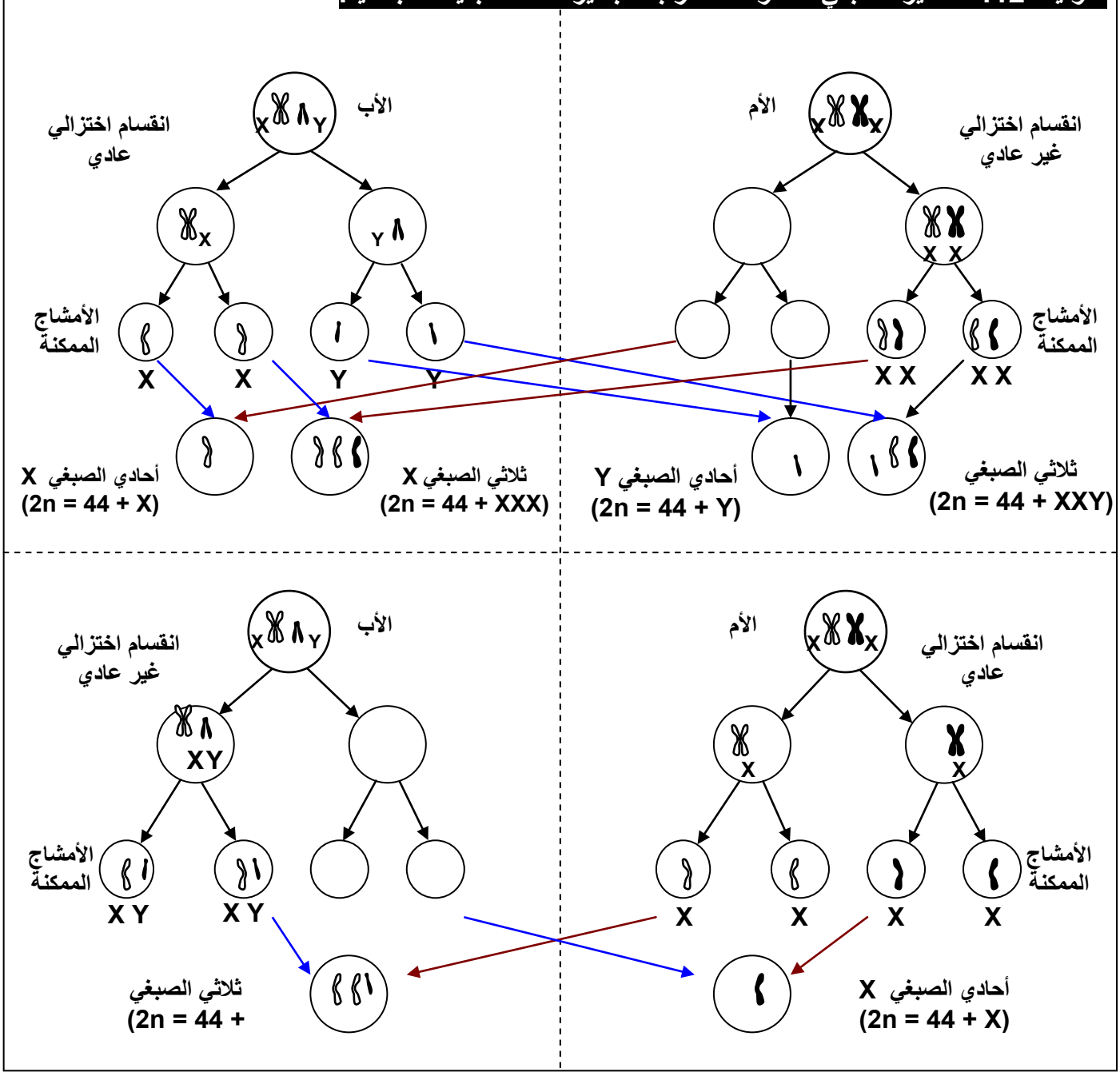
يرتبط هذا المرض بوجود صبغي X زائد عند النساء، حيث يملكون 47 صبغيا، منها 44 صبغيا لاجنسيا، وثلاثة صبغيات جنسية XXX. عادة يتميز الشخص المصاب بمظهر أنثوي عادي، قامة شيئا ما طويلة، قدرات ذهنية متوسطة إلى عادية، خصوبة محدودة.

- **مرض ثلاثي الصبغي XYY:** (الخريطة الصبغية ❻)

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

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

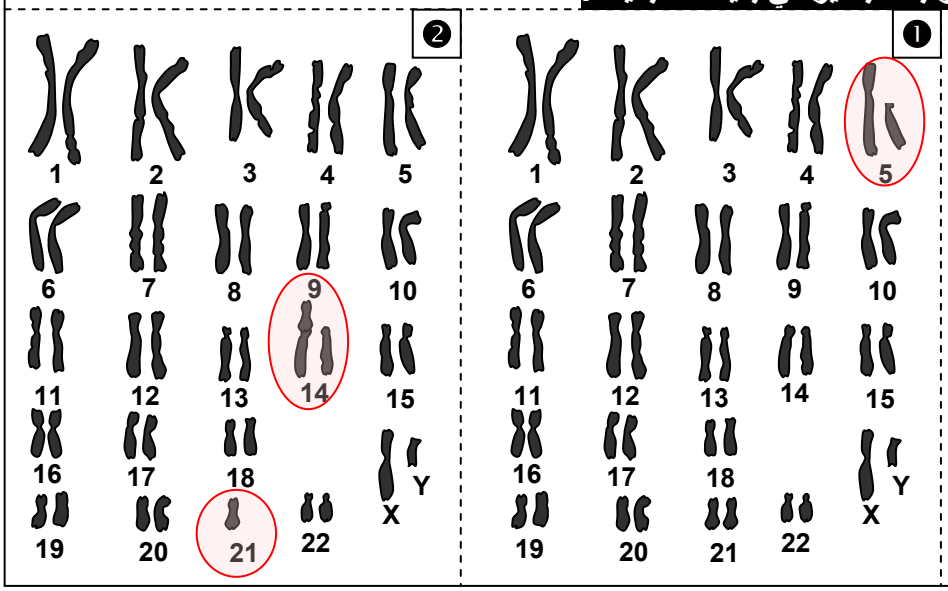
الوثيقة 12: التفسير الصبغي للشذوذات المرتبطة بتغير عدد الصبغيات الجنسية.



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.

الوثيقة 13: الشذوذات الصبغية المرتبطة بتغير في بنية الصبغيات.



تعطي الوثائق ❶، ❷ خرائط صبغية لبعض حالات الشذوذ الصبغي.

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

أ – ضياع قطع صبغية La délétion chromosomique : (الخريطة الصبغية ❶)

تنتج هذه الشذوذات عن فقدان جزء من أحد الصبغيات، وأهم هذه الحالات هو ضياع الذراع القصير للصبغي5. يعاني المصابون بهذا الشذوذ من تأخر عقلي حاد، ومن تشوهات جسمية خاصة على مستوى الحنجرة، حيث يصدر الطفل المصاب صوتا يشبه مواء القطة، لهذا يسمى هذا المرض بـ "صياح القطة".

ب – الانتقال الصبغي La translocation : (الخريطة الصبغية ❷)

تتمثل هذه الشذوذات في انتقال صبغيات أو قطع منها ولحمها بصبغيات أخرى. مثلا 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 صبغيا هجينا (14-21). إلا أن هؤلاء الأشخاص قد ينتجون أمشاجا غير عادية، تتسبب في إنجاب أبناء مصابين بشذوذات كالمنغولية (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 خاصيات كل نسيج، تنعكس الموجات بشكل مختلف فتعطي صورا 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 الحميل المصاب: وجه مسطح وانتفاخ في مستوى القفا وعنق عريض...)، هذه العلامات لا تلاحظ عادة عند الحميل العادي، الملاحظ على الشكل ب من الوثيقة).

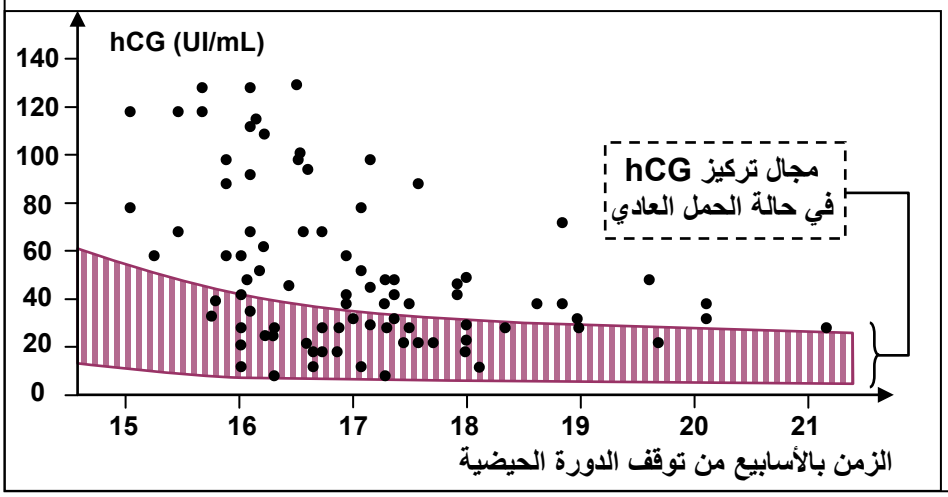
ملاحظة: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: الكشف عن مرض Down بتحليل الدم.

بينت تحاليل الدم عند الأمهات الحوامل بأجنة مصابة بمرض Down، وجود تركيز كبير من هرمون hCG (humain Chorionic Gonadotropin)، وبروتين يركبه الحميل 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.

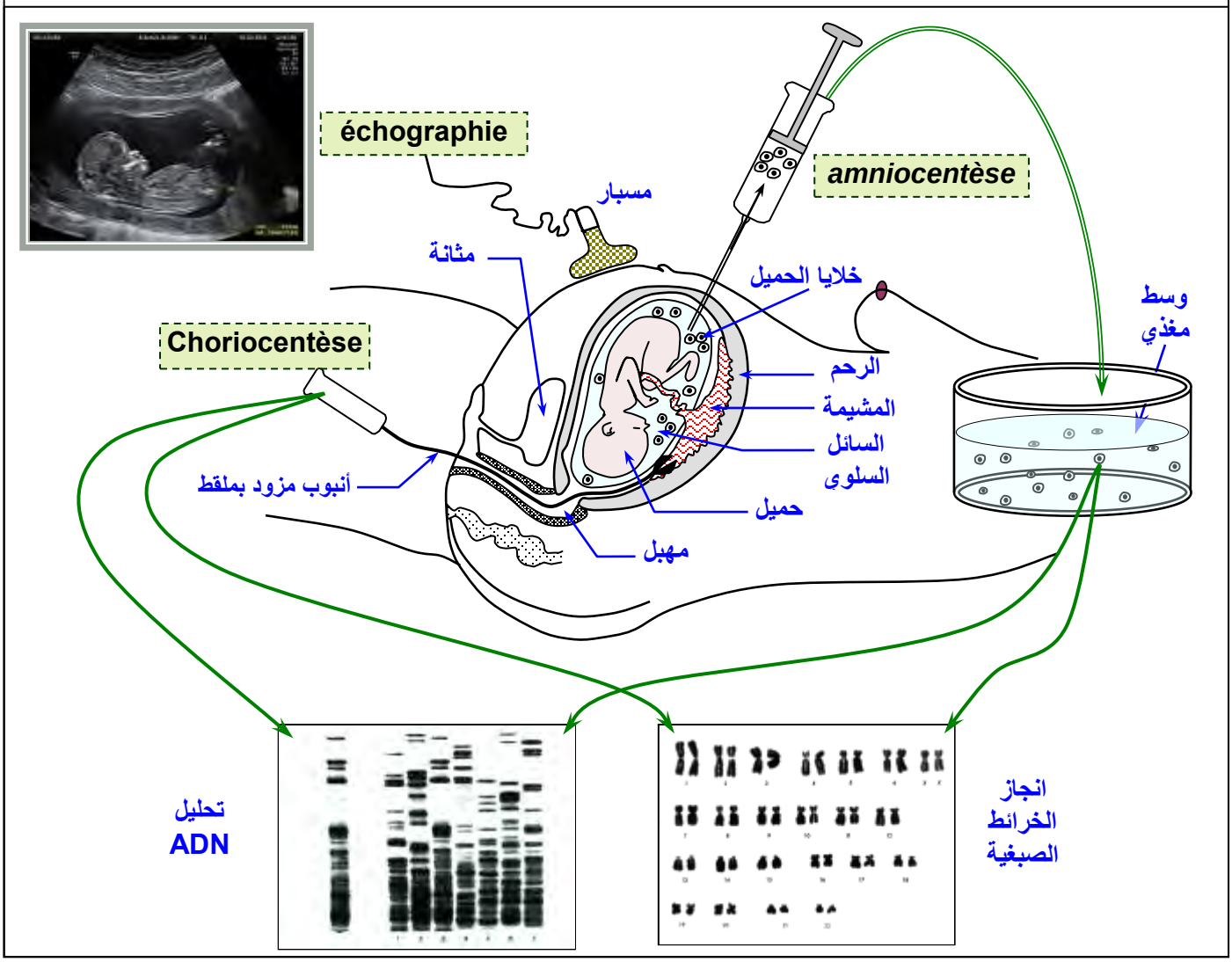
سن الأم	20	25	30	35	37	42	45
احتمال إنجاب طفل مصاب	1/2300	1/1600	1/1000	1/500	1/300	1/100	1/60

ب – **التقنيات الحديثة للفحص قبل الولادي:** أنظر الوثيقة 16.

الوثيقة 16: فحص السائل السلوي والزغابات الجنينية Amniocentèse وChoriocentèse.

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 يجرى في الأسبوع 17 من الحمل، حيث يؤخذ 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 ملقاط 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 البيضة 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.

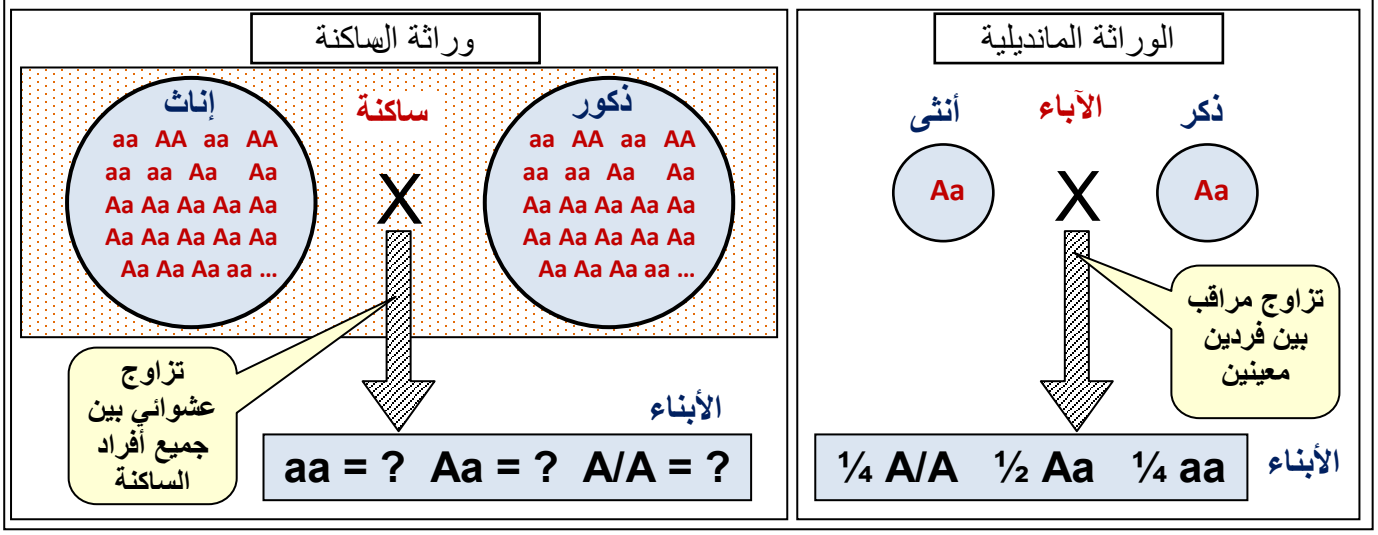
الوحدة الرابعة

علم وراثة الساكنة

مدخل عام: أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: مفهوم علم وراثة الساكنة.

تعطي الخطاطة أسفله، رسما تفسيريا يظهر اهتمامات كل من الوراثة المانديلية ووراثة الساكنة.
حدد من خلال هذه الوثيقة اهتمامات كل من علمي الوراثة المانديلية ووراثة الساكنة، ثم حدد أهداف وراثة الساكنة.



وراثة الساكنة هي جزء من علم الوراثة ، تهتم بدراسة قوانين توزيع المورثات والأنماط الوراثية وتردد الحليلات، وكذا الآليات المحددة للتغير الوراثي داخل ساكنة معينة ، ولها ثلاثة أهداف رئيسية:

- ✓قياس التغير الوراثي انطلاقا 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 وراثة 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 هي مميزاتها الوراثية؟
2) ما القوانين الإحصائية المعتمدة في دراسة انتقال الصفات الوراثية عند الساكنة؟
3) ما هي العوامل المتدخلة في التنوع الوراثي للساكنات؟ وما آليات تدخلها؟
4) ما هو النوع وما هي المعايير المميزة له؟

I – مفهوم الساكنة والمحتوى الجيني: La population et pool génétique

① ملاحظة بعض أنواع الساكنات المستوطنة بالمغرب: أنظر الوثيقة 2، الشكل 1، والشكل 2.

الوثيقة 2: بعض أنواع الساكنات المستوطنة بالمغرب.

يقتضي تحديد الساكنة اعتبار معايير فضائية، وزمانية، ووراثية. بين ذلك انطلاقا من الوثائق أسفله. ثم**استخرج تعريفا مبسطا لمفهوم الساكنة، مع تحديد خاصيات الساكنة الطبيعية.**

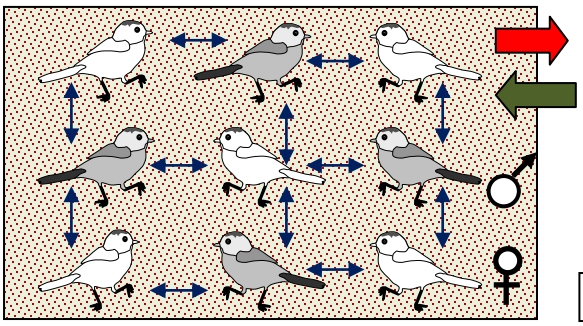
الشكل 1: شجر أركان ساكنة نباتية

يوجد شجر أركان أساسا في الأطلس الكبير وفي سهل سوس والأطلس الصغير، ويغطي مساحة تقدر ما بين 700.000 و850.000 هكتار. وهو نوع لا مبالي بنوعية التربة (ينمو فوق تربة سيليسية ، شيستية ، كلسية) ويتحمل الحرارة (+50°) ويقاوم الجفاف ينتمي للطبقة الحيمناخية شبه القاحلة والقاحلة، لا يتجاوز علوه 10 أمتار، من كاسيات البذور يزهر في فصل الربيع يتكاثر عن طريق التوالد الجنسي بحيث تحرر المآبر بعد نضجها حبوب اللقاح لتنقل إلى ميسم الزهرة فتلتصق به لتنبت أنبوب اللقاح الذي ينمو في اتجاه البييضة. 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 .

الشكل 2: ساكنة القرد زعطوط Le macaque

Macaca sylvanus المعروف بالقرد زعطوط هو نوع من القردة التي تستوطن المغرب، وتشكل ساكنة يبلغ عددها حاليا زهاء 10000 بين المغرب والجزائر. 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 قرد بدون ذيل، يصل وزنه إلى 20 كلغ عند الذكور و15 كلغ عند الإناث، وطوله زهاء 60 سم.

الشكل 3: نموذج تفسيري لمفهوم الساكنة.



= تزاوج بالصدفة، لكل فرد نفس الاحتمال بان يتزاوج ويعطي خلفا.

= مجال توزيع الساكنة

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

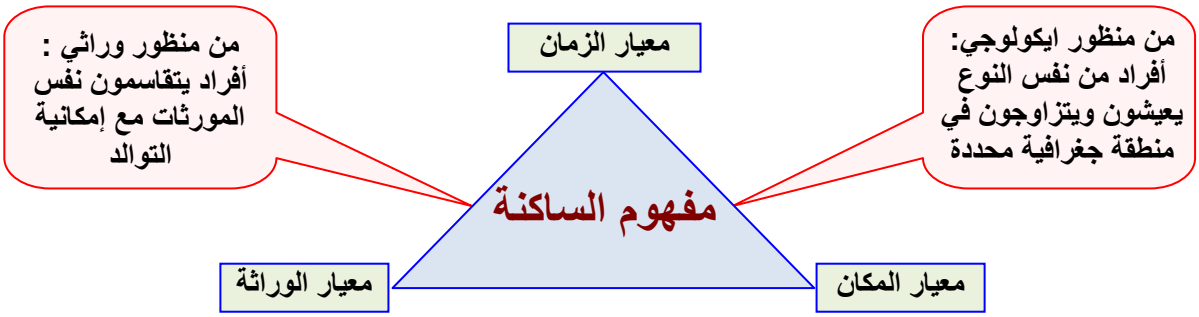
يتبين إذن أن الكائنات الحية تعيش عموما على شكل مجموعات داخل أوساط بيئية معينة، حيث تتغذى وتتوالد فيما بينها، مكونة بذلك ساكنة. تتوزع هذه الساكنة حسب خصوصيات وسط العيش، إضافة إلى كونها تتميز بمجموعة من الخصائص

② مفهوم الساكنة: أنظر الوثيقة 2، الشكل 3.

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: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: المحتوى الجيني للساكنة:

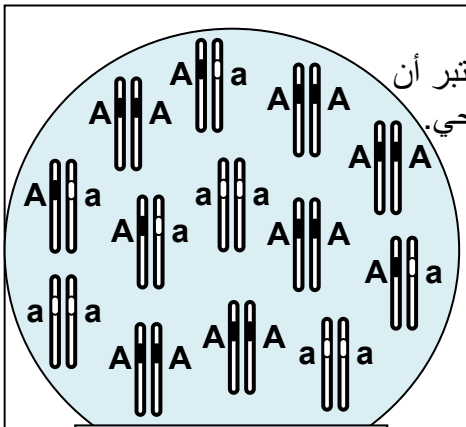
★ يقدم الرسم أمامه المحتوى الجيني عند ساكنة P مكونة من 13 فردا. سنعتبر أن المورثة غير مرتبطة بالجنس، وتملك حليلين: الحليل A سائد، والحليل a متنحي.

1) انطلاقا من هذه المعطيات، أعط تعريفا للمحتوى الجيني للساكنة.

★ إذا علمت أن:

✓ تردد مظهر خارجي [A]= عدد الأفراد الحاملين للمظهر [A] مقسوم على مجموع أفراد الساكنة N.

✓ تردد نمط وراثي (A,A)= عدد الأفراد الحاملين للنمط (A,A) مقسوم على مجموع أفراد الساكنة N.



المحتوى الجيني لساكنة P

★ 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).

2) أحسب تردد كل من المظاهر الخارجية، الأنماط الوراثية، والحليلات عند الساكنة P.

1) تعريف المحتوى الجيني للساكنة:

تتميز الساكنة بجينوم Génome 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.

2) حساب ترددات المظاهر الخارجية، الأنماط الوراثية، والحليلات:

- تردد المظاهر الخارجية: تردد مظهر خارجي [X]= عدد الأفراد الحاملين للمظهر [X] مقسوم على مجموع أفراد الساكنة N.

✓ تردد المظهر الخارجي [A] هو f[A]: f [A] = 10/13

✓ تردد المظهر الخارجي [a] هو f[a]: f [a] = 3/13

- تردد الأنماط الوراثية: تردد نمط وراثي (X,X)= عدد الأفراد الحاملين للنمط (X,X) مقسوم على مجموع أفراد الساكنة N.

✓ تردد النمط الوراثي (aa) هو f(aa): f(aa) = **R** = 3/13

✓ تردد النمط الوراثي (Aa) هو f(Aa): $f(Aa) = H = 4/13$
✓ تردد النمط الوراثي (AA) هو f(AA): $f(AA) = D = 6/13$

- تردد الحليلات:

نعلم أن تردد الأنماط الوراثية هو: $f(aa) = R$, $f(Aa) = H$, $f(AA) = D$ ، إذن:

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

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

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

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

وهكذا يمكن حساب تردد حليل داخل ساكنة باستعمال الصيغة التالية:

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

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

وبالتالي فتوردد الحليلات هو:

$$f(A) = \frac{(2 \times 6) + 4}{2 \times 13} = 0.62 \qquad f(a) = \frac{(2x3)+4}{2 \times 13} = 0.38$$

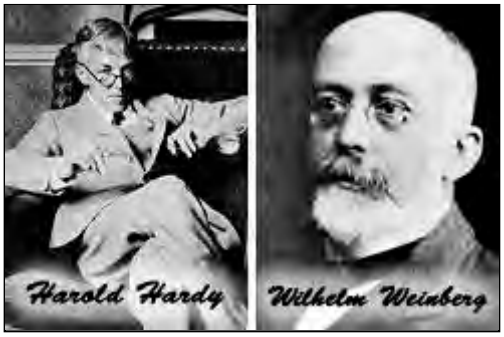
II – قانون Hardy-Weinberg:

نظرا لصعوبة دراسة التغيرات الوراثية للساكنة عبر الأجيال (الطفرات، هجرة الأفراد، الانتقاء الطبيعي...)، نتتبع انتقال الخاصيات الوراثية بالنسبة لساكنة نظرية مثالية وذلك بتطبيق قانون Hardy-Weinberg، (HW).
انطلاقا من الوثيقة 4، تعرف خاصيات الساكنة النظرية المثالية، ثم صغ قانون Hardy-Weinberg.

① الساكنة النظرية المثالية:

الوثيقة 4: قانون (أو نموذج) Hardy وWeinberg.

لقد تمكن عالم الرياضيات الانجليزي Godfrey Harold Hardy، والطبيب الألماني Wilhelm Weinberg، بشكل منفصل، من إثبات أن تردد الحليلات في ساكنة معينة، لن يتغير مع مرور الزمن كيفما كانت هذه الحليلات، سائدة أم متنحية. لكن مع ضرورة توفر شروط معينة في الساكنة المدروسة. وهكذا أسسا العالمان سنة 1908 قانون Hardy-Weinberg.



(تابع) الوثيقة 4: قانون (أو نموذج) Hardy وWeinberg.

★ **خاصيات الساكنة النظرية المثالية:**

لكي تكون الساكنة خاضعة لقانون Hardy-Weinberg، يجب أن تتوفر فيها مجموعة من الشروط، فنقول أنها ساكنة نظرية مثالية. تتجلى هذه الشروط في كون هذه الساكنة هي:

- ✓ ساكنة لمتعضيات ثنائية الصيغة الصبغية ذات توالد جنسي وأجيالها غير متراكبة (ليس هناك أي تزاوج بين أفراد الأجيال المختلفة).
- ✓ ساكنة ذات عدد لا منته حيث تتسم التزاوجات بشكل عشوائي (لا يتم اختيار الشريك الجنسي حسب مظهره الخارجي أو نمطه الوراثي).
- ✓ ساكنة مغلقة وراثيا (ليس هناك تدفقات ناتجة عن ظاهرة 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 و50% 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).

★ **قانون Hardy-Weinberg:**

في الساكنة النظرية المثالية تظل ترددات الأنماط الوراثية وترددات الحليلات مستقرة من جيل لآخر، نقول أن هذه الساكنة في حالة توازن، وهي بالتالي خاضعة لقانون Hardy-Weinberg.

الساكنة النظرية المثالية هي ساكنة افتراضية متوازنة، تتوفر فيها الشروط مجموعة من الشروط (أنظر الوثيقة 4).

② قانون Hardy وWeinberg:

يعتبر قانون H.W أن ترددات الحليلات وترددات الأنماط الوراثية تبقى مستقرة من جيل لآخر داخل ساكنة نظرية مثالية، فتوصف هذه الساكنة بأنها في حالة توازن.

③ برهنة قانون H.W في حالة مورثة ذات حليلين:

في الساكنة النظرية المثالية، تظل ترددات الأنماط الوراثية وترددات الحليلات مستقرة من جيل لآخر.
فسر هذا من خلال استغلال معطيات الوثيقة 5.

الوثيقة 5 : إنشاء قانون Hardy – Weinberg

لنعتبر ساكنة نظرية مثالية، ولنتتبع تطور محتواها الجيني على مدى جيلين متتابعين G_0 وG_1، وذلك من خلال تتبع تطور كل من الأنماط الوراثية وتردد الحليلات بالنسبة لمورثة غير مرتبطة بالجنس ذات حليلين A وa.

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 ؟

(تابع) الوثيقة 5 : إنشاء قانون Hardy – Weinberg

ساكنة نظرية مثالية (الجيل G_0)

♂ ♀

تردد الأنماط الوراثية في الجيل G_0:

f(AA) = D

f(Aa) = H

f(aa) = R

f(AA) + f(Aa) + f(aa) =

= D + H + R = 1

تردد الحليلات في الجيل G_0:

$f(A) = p_0 =$ D + H/2

$f(a) = q_0 =$ R + H/2

$p_0 + q_0 =$ (D + H/2)+(R+H/2)

D + H + R = 1

تردد حليلات الأمشاج الذكرية:

$f(A) = p_0$

$f(a) = q_0$

$f(A) + f(a) = p_0 + q_0$

= 1

الأمشاج

تردد حليلات الأمشاج الأنثوية:

$f(A) = p_0$

$f(a) = q_0$

$f(A) + f(a) = p_0 + q_0$

= 1

التقاء الأمشاج بالصدفة أثناء الإخصاب

تردد الأنماط الوراثية في الجيل G_1:

f(AA) = D = f(A)xf(A)

$= p_0 x p_0 = p_0^2$

f(Aa) = H=f(A)xf(a)+f(A)xf(a)

$= p_0q_0 + p_0q_0 = 2p_0q_0$

f(aa) = D=f(a)xf(a)=$q_0 x q_0 = q_0^2$

f(AA) + f(Aa) + f(aa) =

$= p_0^2+2p_0q_0+q^2 = (p_0+q_0)^2 = 1$

شبكة التزاوج ⇦ الجيل G_1

♀ \ ♂	A p_0	a q_0
A p_0	(AA) p_0	(Aa) p_0q_0
a q_0	(Aa) p_0q_0	(aa) p_0^2

تردد الحليلات في الجيل G_1:

$f(A) = p_1 =$ D+H/2

$= p_0^2+(2p_0q_0/2)$

$f(a) = q_1 =$ R+H/2

$= q_0^2+(2p_0q_0/2)$

$f(A) + f(a) = P_1 + q_1 = 1$

1) تردد الأنماط الوراثية والحليلات في الجيل G_0:

لدينا مجموع أفراد الساكنة N يساوي 16.

★ تردد الأنماط الوراثية:

- ✓ تردد النمط الوراثي (AA) هو f(AA): f(AA) = 4/16 = 0.25 حيث 4 هو عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي AA، و16 مجموع أفراد الساكنة.
- ✓ تردد النمط الوراثي (Aa) هو f(Aa): f(Aa) = 8/16 = 0. 5 حيث 8 هو عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي Aa، و16 مجموع أفراد الساكنة.
- ✓ تردد النمط الوراثي (aa) هو f(aa): f(aa) = 4/16 = 0.25 حيث 4 هو عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي aa، و16 مجموع أفراد الساكنة.

★ تردد الحليلات:

إذا كان تردد الأنماط الوراثية هو: f(AA) = D , f(Aa) = H , f(aa) = R مع D + H + R = 1

فتردد الحليلات هو: $f(A) = p_0 = D + H/2$, $f(a) = q_0 = R + H/2$، مع $p_0 + q_0 = D + H + R = 1$

وبالتالي:

✓ تردد الحليل A هو p_0: $p_0 = f(A) = D + H/2 = f(AA) + f(Aa)/2 = 0.25 + 0.5/2 = 0.5$

✓ تردد الحليل a هو q_0: $q_0 = f(a) = R + H/2 = f(aa) + f(Aa)/2 = 0.25 + 0.5/2 = 0.5$

إذن: $f(AA) + f(Aa) + f(aa) = 4/16 + 8/16 + 4/16 = 0.25 + 0.5 + 0.25 = 1$

كذلك: $p_0 + q_0 = 0.5 + 0.5 = 1$

2) تردد الأنماط الوراثية في الجيل G_1:

انطلاقا من شبكة التزاوج:

✓ تردد النمط الوراثي (AA) هو f(AA): $f(AA) = p_0 \times p_0 = p_0^2 = D$

$f(AA) = (0.5)^2 = 0.25$

✓ تردد النمط الوراثي (Aa) هو f(Aa): $f(Aa) = (p_0 \times q_0) + (p_0 \times q_0) = 2p_0q_0 = H$

$f(Aa) = (0.5 \times 0.5) + (0.5 \times 0.5) = 0.5$

✓ تردد النمط الوراثي (aa) هو f(aa): $f(aa) = q_0 \times q_0 = q_0^2 = H$

$f(aa) = 0.5 \times 0.5 = 0.25$

إذن:

$$D + H + R = p_0^2 + 2p_0q_0 + q_0^2$$
$$= (p_0 + q_0)^2 = 1$$
$$= (1 + 1)^2 = 1$$

3) تردد الحليلات في الجيل G_1:

إذا كان تردد الأنماط الوراثية هو: $f(AA) = D$, $f(Aa) = H$, $f(aa) = R$ مع $D + H + R = 1$

فتردد الحليلات هو: $f(A) = p_1 = D + H/2$, $f(a) = q_1 = R + H/2$، مع $p_1 + q_1 = D + H + R = 1$

وبالتالي:

✓ تردد الحليل A هو p_1: $p_1 = f(A) = D + H/2 = f(AA) + f(Aa)/2$

$= p_0^2 + (2p_0q_0)/2$

$= p_0^2 + p_0q_0$

$= p_0 (p_0 + q_0)$

وبما أن $(p_0 + q_0) = 1$ فان $f(A) = p_1 = p_0 = 0.5$

✓ تردد الحليل a هو q_1: $q_1 = f(a) = R + H/2 = f(aa) + f(Aa)/2$

$= q_0^2 + (2p_0q_0)/2$

$= q_0^2 + p_0q_0$

$= q_0 (p_0 + q_0)$

وبما أن $(p_0 + q_0) = 1$ فان $f(a) = q_1 = q_0 = 0.5$

نلاحظ إذن من خلال هذه العلاقات أن تردد الحليلات لا يتغير من جيل لآخر، حيث يبقى تردد الحليل A ثابتا $p_1=p_0=p$ ، كما يبقى تردد الحليل a ثابتا $q_1=q_0=q$.

لدينا إذن دائما **$p + q = 1$**، باعتبار p تردد الحليل A و q تردد الحليل a.

4) استنتاج:

نلاحظ أن هناك استقرارا 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 انطلاقا 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، فان تردد الأنماط الوراثية ستحسب كالآتي:

$$f(AA) + f(Aa) + f(aa) = (p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$$

$$f(AA) = p^2 \quad , \quad f(Aa) = 2pq \quad , \quad f(aa) = q^2 \quad \Leftarrow$$

ملاحظة:

يطبق قانون Hardy-Weinberg أيضا على المورثات متعددة الحليلات، بحيث إذا كانت ترددات مختلف الحليلات على التوالي p_1 , p_2 , p_3 . . . p_n فان ترددات مختلف الأنماط الوراثية هي نشر الحدانية $(p_1 + p_2 + p_3 + . . . + p_n)^2$.

مثلا 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 $(p + q + r)^2 = p^2 + q^2 + r^2 + 2pq + 2pr + 2qr$

وهكذا فتردد الأنماط الوراثية هو

$$f(AA) = p^2 \quad , \quad f(BB) = q^2 \quad , \quad f(OO) = r^2$$
$$f(AB) = 2pq \quad , \quad f(AO) = 2pr \quad , \quad f(BO) = 2qr$$

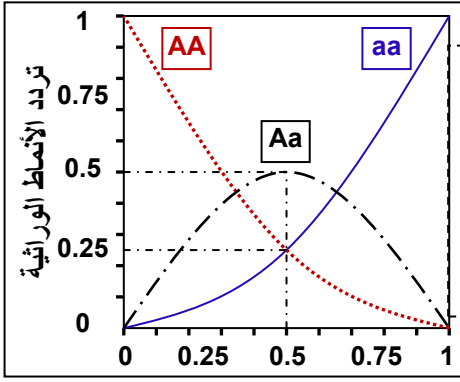
④ العلاقة بين تردد الحليلات وتردد الأنماط الوراثية حسب قانون H.W: أنظر الوثيقة 6

الوثيقة 6: تردد الأنماط الوراثية بدلالة قيمة q حسب قانون H-W.

بتطبيق المعادلات: $f(aa)=q^2, f(Aa)=2pq=2q(1-q), f(AA)= p^2=(1-q)^2$

يمكن تمثيل منحنيات تردد مختلف الأنماط الوراثية بدلالة قيمة تردد الحليل a (q)، فنحصل على الشكل جانبه.

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.



تردد الأنماط الوراثية: $f(AA) = 1/4 \quad , \quad f(Aa) = 1/2 \quad , \quad f(aa) = 1/4$

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):

يُعتمد على قانون Hardy-Weinberg لتحديد مدى توازن ساكنة معينة، حيث تتم مقارنة الترددات النظرية المتوقعة من خلال قانون Hardy-Weinberg مع الترددات الملاحظة في الساكنة (المحسوبة عمليا في ساكنة معينة).

في حالة تطابق الترددات النظرية والترددات المُلاحظة، نقول أن الساكنة المدروسة في حالة توازن، أي خاضعة لقانون Hardy-Weinberg. وفي حالة اختلافهما، نقول أن الساكنة المدروسة غير متوازنة، أي غير خاضعة لقانون Hardy-Weinberg.

لإنجاز هذه المقارنة، ومعرفة هل الساكنة في حالة توازن أم لا، نقوم بانجاز اختبار التطابقية χ^2، والذي يمكن تلخيصه في ثلاث مراحل هي:

- حساب χ^2 :

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{عدد الأفراد النظري} - \text{عدد الأفراد الملاحظ})^2}{\text{عدد الأفراد النظري}}$$

- نحدد قيمة تدعى درجة الحرية (ddl) Degré de liberté: وهي فارق عدد الأنماط الوراثية وعدد الحليلات المدروسة: ddl = عدد الأنماط الوراثية – عدد الحليلات

- نقارن قيمة χ^2 المحسوبة مع قيمة عتبة تقرأ على جدول خاص (أنظر الوثيقة 7) بدلالة معيارين:
  - احتمال الخطأ α ويتم اختياره من طرف المختبر وهو عادة 0.05 أي 5 %.
  - درجة الحرية ddl.

الوثيقة 7: اختبار التوازن χ^2:

α / ddl	0,90	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
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. و إذا 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 8

الوثيقة 8: 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).

المظهر الخارجي	مظهر خارجي متنحي [b]	مظهر خارجي سائد [R]
النمط الوراثي	bb	RR + Rb
عدد الأفراد	20	480

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 $p + q = 1$.

1) أحسب تردد الأنماط الوراثية والحليلات عند الساكنة الأم، ثم استنتج العدد النظري للأنماط الوراثية RR وRb
2) أحسب تردد الأنماط الوراثية وتردد الحليلات عند الساكنة البنت. ماذا تستنتج؟

1) حساب الترددات عند الساكنة الأم:

★ تردد النمط الوراثي bb: يسهل حساب تردد حاملي الصفة المتنحية، لأن عدد مظاهرها الخارجية يكون مساويا لعدد الأنماط الوراثية $f(bb) = f[b] = 20/500 = 0.04$

★ تردد الحليلين R وb:

إذا اعتبرنا أن هذه الساكنة في حالة توازن، فيمكن حساب تردد الحليلات من خلال تردد الأنماط الوراثية، والتي تقابل نشر الحدانية $(p + q)^2$ أي $p^2(RR) + 2pq(Rb) + q^2(bb) = 1$

$f(bb) = q^2$, $f(Rb) = 2pq$, $f(RR) = p^2$ مع $f(R) = p$ و $f(b) = q$

⇦ نبدأ بقيمة q لأننا نعرف مسبقا قيمة q^2 : $(f(bb) = f[b] = q^2 = 0.04)$

إذن: $f(b) = q = \sqrt{0.04} = 0.2$ $\boxed{q = 0.2}$

⇦ نحسب قيمة p : نعلم أن $p + q = 1$

ادن $p = 1 - q = 1 - 0.2 = 0.8$ $\boxed{p = 0.8}$

وهكذا فتردد الحليلين R وb هو: $f(R) = p = 0.8$, $f(b) = q = 0.2$

★ تردد النمط الوراثي RR:

بناء على قيم p و q يمكن حساب:

⇦ تردد النمط الوراثي لمتشابهي الاقتران RR: $f(RR) = p^2 = (0.8)^2 = 0.64$

⇦ 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:

$f(RR) = \frac{\text{عدد الأفراد}}{\text{عدد أفراد الساكنة}}$ ⇦ عدد الأفراد RR = (عدد أفراد الساكنة N) x f(RR)

ادن عدد الأفراد الحاملين ل RR هو $f(RR) \times N = 0.64 \times 500 = 320$
وعدد الأفراد الحاملين ل Rb هو $f(Rb) \times N = 0.32 \times 500 = 160$
وعدد الأفراد الحاملين ل bb هو $f(bb) \times N = 0.04 \times 500 = 20$

2) حساب الترددات عند الساكنة البنت:

★ تردد الحليلين R وb عند الساكنة البنت: ينتج أفراد الساكنة الأم أمشاجا تتضمن الحليلين R وb بنفس التردد الذي توجد عليه في هذه الساكنة. $f(R) = p = 0.8$, $f(b) = q = 0.2$

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=0.004

★ ترددات الأنماط الوراثية عند الساكنة البنت هي:

$f(RR) = p^2 = 0.64$ $f(Rb) = 2pq = 2 \times 0.16 = 0.32$ $f(bb) = q^2 = 0.04$

★ إن تردد الحليلات وتردد الأنماط الوراثية للساكنة البنت يكون مماثلا لتردد الحليلات وتردد الأنماط الوراثية للساكنة الأم: الساكنة 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 8

الوثيقة 8: الفصيلة الدموية ريزوس Rhésus.

يرمز للفصيلة الدموية ريزوس Rhésus (Rh) بواسطة الحليلين d وD. الحليل D سائد 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.

تردد الحليلات	الحليل d	$f(d) = q$ و $f(dd) = q^2$ ادن $f(d) = q = \sqrt{(400-230)/400}$
	الحليل D	$f(D) = p = 1 - q = 0.35$
تردد الأنماط الوراثية	DD	$f(DD) = p^2 = (0.35)^2 = 0.122$
	Dd	$f(Dd) = 2pq = 2 \times 0.65 \times 0.35 = 0.455$
	dd	$f(dd) = q^2 = (0.65)^2 = 0.423$
نسبة $[Rh^+]$ الذين هم مختلفوا الاقتران:		$(f(Dd)/(f(Dd) + f(DD)))x100 = (0.455/(0.455+0.122))x100 = 78.86$

b – مثال ثاني: مرض Mucoviscidose أنظر الوثيقة 9

الوثيقة 9: انتقال مرض التليف الكيسي Mucoviscidose.

مرض التليف الكيسي هو مرض وراثي منتشر جدا، يتميز باضطرابات هضمية وتنفسية، تسببها إفرازات الغدد المخاطية. يؤدي المرض إلى خلل في الوظيفة الهضمية للبنكرياس بسبب انسداد القنوات الناقلة للعصارة الهضمية، وعسر تنفسي بسبب انغلاق القصبات الرئوية بتراكم المخاط المفرط واللزج، والإصابة بالتعفنات.

عند ساكنة متوازنة، يصاب بهذا المرض، طفل من بين 3000 .
يتسبب في مرض mucoviscidose حليل متنحي m غير مرتبط بالصبغيات الجنسية.

1) أعط النمط الوراثي أو الأنماط الوراثية الممكنة للأفراد العاديين. علل إجابتك. (أستعمل الرمز m^+ بالنسبة للحليل السائد)
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^+ وm^+m، لأن الأفراد السائدين ينتمون لسلالتين: سلالة نقية متشابهة الاقتران وسلالة هجينة مختلفة الاقتران.

2) تردد الأفراد المصابين في هذه الساكنة هو $f(mm)$:

لنعتبر q تردد الحليل m وp تردد الحليل m^+. نعلم أن $p + q = 1$ وأن $f(mm) = f[m] = q^2$

لنحسب ادن q: (q تساوي جدر تردد الأفراد المصابين في الساكنة أي $f(mm)$)

$$q = \sqrt{3.3\ 10^{-4}} = 0.018 \Leftarrow f(mm) = \frac{1}{3000} = 3.3\ 10^{-4}$$

$$P = 1 - q = 1 - 0.018 = 0.982$$

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 10

a – مثال أول: النظام الدموي MN: أنظر الوثيقة 10، ❶.

الوثيقة 10: النظام الدموي MN عند الإنسان.

❶ عند الإنسان تخضع الفصيلة الدموية في النظام MN لتعبير حليلين متساويي السيادة M وN. أعطت دراسة أجريت على 730 شخص بريطاني النتائج الإحصائية التالية: [N] 492 + [M] 22 + [MN] 216

1) أحسب تردد مختلف الأنماط الوراثية في هذه الساكنة.
2) أحسب تردد الحليلين M وN.

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).

❷ 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 إحصاء 3000 فرد [NN]، و1000 فرد [NB]، و6000 فرد [BB].
بتطبيقك نفس المراحل المعتمدة في الجزء ❶ من هذا التمرين، بين هل هذه الساكنة هي في حالة توازن.

1) تردد مختلف الأنماط الوراثية في هذه الساكنة:

$$D = f(NN) = \frac{\text{عدد الأفراد NN}}{\text{مجموع الأفراد}} = \frac{492}{730} = 0.67 \Rightarrow f(NN) = 0.67$$

$$R = f(MM) = \frac{\text{عدد الأفراد MM}}{\text{مجموع الأفراد}} = \frac{22}{730} = 0.03 \Rightarrow f(MM) = 0.03$$

$$H = f(MN) = \frac{\text{عدد الأفراد MN}}{\text{مجموع الأفراد}} = \frac{216}{730} = 0.30 \Rightarrow f(MN) = 0.30$$

2) تردد الحليلين M وN:

$$f(N) = D + \frac{H}{2} = 0.67 + \frac{0.3}{2} = 0.82 \Rightarrow f(N) = p = 0.82$$

$$f(M) = R + \frac{H}{2} = 0.03 + \frac{0.3}{2} = 0.18 \Rightarrow f(M) = q = 0.18$$

$$\boxed{p + q = 0.82 + 0.18 = 1}$$

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 $(0.82)^2$ أي 0.673 ⇦ f(NN) = 0.673

★ تردد MM المنتظر يساوي q^2 ويتمثل في $(0.18)^2$ أي 0.032 ⇦ f(MM) = 0.032

★ تردد MN المنتظر يساوي 2pq ويتمثل في (2x0.82x0.18) أي 0.295 ⇦ f(MN) = 0.295

4) عدد الأنماط الوراثية النظري :

عدد الأفراد الحاملين لنمط وراثي يساوي تردد هذا النمط مضروب في عدد أفراد الساكنة:

★ عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي NN هو $p^2 \times N$ = 0.673 X 730 = 491
★ عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي MN هو $2pq \times N$ = 0.295 X 730 = 215
★ عدد الأفراد الحاملين للنمط الوراثي MM هو $q^2 \times N$ = 0.032 X 730 = 24

5) اختبار التوازن:

★ حساب قيمة χ^2 :

في حالة 3 أنماط و راثية NN و MN و MM يحسب χ^2 على الشكل التالي:

$$\chi^2 = (E_{NN}o - E_{NN}t)^2/E_{NN}t + (E_{MM}o - E_{MM}t)^2/E_{MM}t + (E_{MN}o - E_{MN}t)^2/E_{MN}t$$

Eo = الأعداد الملاحظة ، و Et الأعداد النظرية

$$\chi^2 = \frac{(492 - 491)^2}{491} + \frac{(22 - 24)^2}{24} + \frac{(216 - 215)^2}{215}$$

$$= 0.0021 + 0.166 + 0.0046 = 0.173$$

★ حساب قيمة درجة الحرية ddl :

ddl = عدد الأنماط الوراثية – عدد الحليلات
= 3 – 2
= 1

★ احتمال الخطأ α يساوي 0.05 أي 5 %

★ قيمة χ^2 العتبة المقروءة في جدول الوثيقة 2 لوحة 4 هي 3.84

χ^2 العتبة المقروءة = 3.84
χ^2 العتبة المحسوبة = 0.05

⇦ χ^2 العتبة المقروءة < χ^2 العتبة المحسوبة

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 غالبا 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.

b – مثال ثاني: لون الفرو عند سلالة من الماعز: أنظر الوثيقة 10، ❷.

★ تردد الأنماط الوراثية:

- $f(BB) = 6000 / 10000 = 0.6$
- $f(NB) = 1000/10000 = 0.1$
- $f(NN) = 3000/10000 = 0.3$

★ تردد الحليلات:

- $f(B) = p = f(BB) + ½(f(NB)) = 0.6 + ½(0.1) = 0.65$
- $f(N) = q = f(NN) + ½(f(NB)) = 0.3 + ½(0.1) = 0.35$

★ 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:

- عدد [NN]: $[NN] = 0.1225 \times 10000 = 1225$
- عدد [NB]: $[NB] = 0.4550 \times 10000 = 4550$
- عدد [BB]: $[BB] = 0.4225 \times 10000 = 4225$

★ لنحسب χ^2 بتطبيق المعادلة: $\chi^2 = \sum((Eo - Et)^2 / Et$

Eo = عدد الأفراد الملاحظ بالنسبة لمظهر خارجي معين.
Et = عدد الأفراد النظري بالنسبة لمظهر خارجي معين.

المظهر الخارجي	[NN]	[NB]	[BB]
عدد الأفراد الملاحظ	3000	1000	6000
عدد الأفراد النظري (المنتظر)	1225	4550	4225

$$\chi^2 = ((3000 - 1225)^2/1225) + ((1000 - 4550)^2/4550) + ((6000 - 4225)^2/4225)$$
$$\chi^2 = (2571.94) + (2769.78) + (745.71)$$
$$\chi^2 = 6087.43$$

★ 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 (6087.43). ما يعني أن هناك فرقا شاسعا بين أعداد الأفراد بالنسبة للمظاهر الخارجية الملاحظة والمنتظرة. وبالتالي نستنتج أن الساكنة غير متوازنة، أي لا تخضع لقانون Hardy-Weinberg. وبعبارة أخرى تردد الحليلات غير مستقر عبر الأجيال.

تمرين: انتقال صفة لون التويجات عند نبات شب الليل.

داخل ساكنة من نباتات شب الليل، تم انجاز دراسة إحصائية تهم لون التويجات في الأزهار. ويبين الجدول التالي نتائج هذه الدراسة:

المظهر الخارجي	تويجات حمراء	تويجات وردية	تويجات بيضاء	العدد الإجمالي للساكنة
عدد النبتات	3	44	55	102

نشير إلى أن صفة لون التويجات تخضع لمورثة محمولة على صبغي لا جنسي، وذات حليلين متساويي السيادة: الحليل المسؤول عن اللون الأبيض (B)، والحليل المسؤول عن اللون الأحمر (R). ويجسد اللون الوردي المظهر الخارجي الوسيط. 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 لـH-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 α = 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 – انتقال صفة لون العيون عند ذبابة الخل. أنظر الوثيقة 11

الوثيقة 11: انتقال صفة لون العيون عند ذبابة الخل.

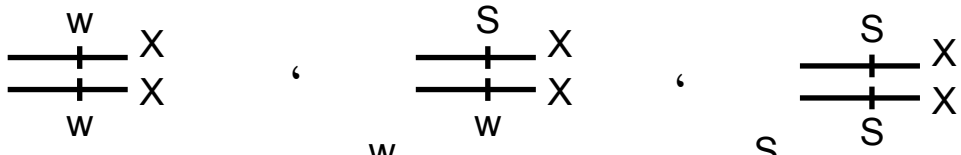
ترتبط صفة لون العيون عند ذبابة الخل بمورثة محمولة على الصبغي الجنسي X، تتضمن حليلين: الحليل w متنح مسؤول عن العيون البيضاء. والحليل S سائد مسؤول عن العيون الحمراء.

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 وw هي على التوالي p وq في الجيل الأول G_0.

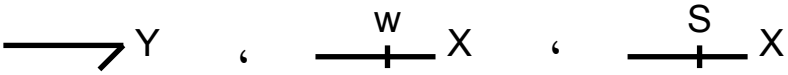
1) أعط الأنماط الوراثية الممكنة عند أفراد هذه الساكنة.
2) أحسب تردد الأنماط الوراثية في الجيل الثاني G_1. ثم قارن نتائج تطبيق قانون Hardy – Weinberg عند كل من الذكور والإناث.
3) ماذا تستنتج من تطبيق قانون H –W في حالة مورثة مرتبطة بالجنس.
4) يساعد تطبيق قانون Hardy–Weinberg على توقع انتشار بعض الأمراض عند الإنسان. وضح ذلك.

1) الأنماط الوراثية الممكنة داخل هذه الساكنة:

★ عند الإناث : 

★ عند الذكور :

★ عند الأمشاج الأنثوية :

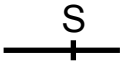
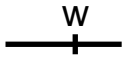
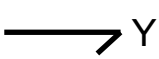
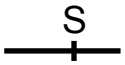
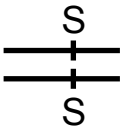
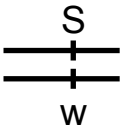
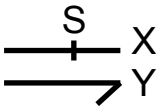
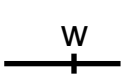
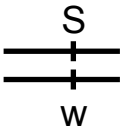
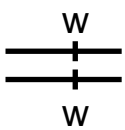
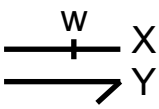
★ عند الأمشاج الذكرية : 

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 :

♀ \ ♂	 p	 q	
 p	 p^2	 pq	 p
 q	 pq	 q^2	 q

★ تردد الأنماط الوراثية عند الجيل الثاني G_1 :

عند الإناث : $f(X_SX_S) = p^2$, $f(X_SX_w) = 2pq$, $f(X_wX_w) = q^2$

عند الذكور : $f(X_SY) = p$, $f(X_wY) = q$

نلاحظ أن تردد الأنماط الوراثية عند الإناث هو خاضع لقانون Hardy–Weinberg ، أما عند الذكور فان تردد الأنماط الوراثية يساوي تردد الحليلات.

3) نستنتج من هذا أنه إذا كانت المورثة مرتبطة بالجنس، فتردد الأنماط الوراثية عند الإناث يبقى خاضعا لقانون Hardy-Weinberg، حيث: $f(X_AX_A) = p^2$, $f(X_AX_a) = 2pq$, $f(X_aX_a) = q^2$. (A حليل سائد و a حليل متنح). أما عند الذكور فتردد الأنماط الوراثية يساوي تردد الحليلات.

4) 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)

	ذكر		أنثى		الحصيلة
	مصاب	غير مصاب	مصابة	غير مصابة	
حالة حليل متنح	q	p	q^2	p^2+2pq	$q > q^2$ الإناث اقل إصابة من الذكور
حالة حليل سائد	p	q	p^2+2pq	q^2	$p^2 +2pq>p$ الإناث أكثر إصابة من الذكور

ب – تمارين تطبيقية. أنظر الوثيقة 12

الوثيقة 12:تمارين تطبيقية.

★ **التمرين ①:** الدلتونية عيب في إبصار 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 $q = 0.1$.
أحسب نسبة ظهور المرض عند كل من الإناث والذكور في هذه الساكنة. ماذا تستنتج؟

★ **التمرين ②:** داء Alport (الكلية) مرض وراثي سائد مرتبط بالصبغي الجنسي X. تردد الحليل المسؤول عن المرض عند ساكنة هو $p = 0.087$.
أحسب نسبة ظهور المرض عند كل من الإناث والذكور في هذه الساكنة. ماذا تستنتج؟

★ **التمرين ③:** تتحكم في لون الفرو عند القطط مورثة مرتبطة بالصبغي الجنسي X. لهذه المورثة حليلين:

- حليل Cn يمكن من تركيب الميلانين، مما يعطي لونا أسودا للفرو.
- حليل Cj يكبح تركيب الميلانين، مما يعطي لونا أصفرا للفرو.

عند عينة من القطط حصلنا على النتائج المبينة على الجدول أمامه:

	المظهر الخارجي للقطط		
	فرو أسود	فرو مبقع بالأصفر والأسود	فرو أصفر
ذكور	300	0	50
إناث	300	50	10

1) أعط النمط الوراثي المناسب لكل مظهر خارجي.
2) فسر غياب المظهر الخارجي المبقع بالأصفر والأسود عند الذكور.
3) أحسب تردد الحليل Cn وتردد الحليل Cj عند هذه العينة.
4) هل تردد الحليل Cn متطابق عند الجنسين ؟ علل إجابتك.
5) أحسب تردد القطات بفرو أسود في الجيل الموالي في حالة ما إذا تمت التزاوجات بشكل عشوائي على مستوى العينة المدروسة.

★ **التمرين ①:**

⇦ نحسب نسبة ظهور المرض عند كل من الإناث والذكور في هذه الساكنة:

- تكون الأنثى مصابة إذا كانت ثنائية التنحي: $f(Xd,Xd) = q^2 = (0.1)^2 = 0.01$
- بالنسبة للذكور سيكون تردد المرض مساو لتردد الحليل : $f(Xd,Y) = q = 0.1$

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.

★ **التمرين ②:**

⇦ نحسب نسبة ظهور المرض عند كل من الإناث والذكور في هذه الساكنة:

- تردد المرض عند الإناث: بما أن الحليل المسؤول عن المرض سائد، ومحمول على الصبغي X فان الأنثى ستكون مصابة في حالة تشابه الاقتران (X_AX_A) وفي حالة اختلاف الاقتران (X_AX_n):

ادن: $f(X_AX_A) = p^2$ و $f(X_AX_n) = 2pq$

ومنه فان تردد المرض عند الإناث يساوي $p^2 + 2pq$

$p + q = 1 \Leftarrow q = 1 - p = 1 - 0.087 = 0.913$

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 حمله الصبغي X_A.

ادن $f(X_AY) = p = 1 / 104 = 0.087$

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.

★ **التمرين ③:**

1) النمط الوراثي المناسب لكل مظهر خارجي هو :

المظهر الخارجي	فرو أسود	فرو أسود	فرو مبقع	فرو أصفر	فرو أصفر
	♂	♀	♀	♂	♀
النمط الوراثي	Cn X / Y	Cn X / Cn X	Cn X / Cj X	Cj X / Y	Cj X / Cj X

2) يرجع غياب المظهر الخارجي المبقع إلى كون هذا المظهر يتطلب وجود حليلان Cn و Cj، 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:

تردد الحليل (Cn) يساوي q: $q = ((300x2)+50+300)/(360x2)+350 = 0.887$

ومنه تردد الحليل (Cj) يساوي p : $p = 1 – q = 1 – 0.887 = 0.113$

4) لا، لأن الحليل Cn موجود في نسختين عند الأنثى [Cn]، وفي نسخة واحدة عند الأنثى [Cn,Cj]، أما الذكور [Cn] فيتوفرون على نسخة واحدة من الحليل Cn. ومنه فان:
- تردد الحليل Cn عند الإناث هو: $((300x2)+50))/(360x2) = 0.90$
- تردد الحليل Cn عند الذكور هو: $300/350 = 0.86$

5) يرجع الحصول على قطات بفرو 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 فان النسبة المطلوبة هي $0.90 \times 0.86 \times 100 = 77.4$ %.

V – عوامل تغير الساكنة :

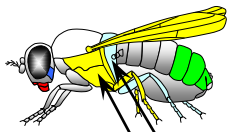
① الطفرات وتأثيراتها في المظهر الخارجي: Les mutations

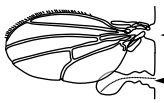
أ - أمثلة لبعض الطفرات. أنظر الوثيقة 13

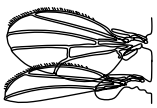
الوثيقة 13: طفرة وراثية عند ذبابة الخل.

يرتبط تشكل القطع الصدرية عند ذبابة الخل بتدخل آلاف المورثات (الشكل أمامه). في بعض الحالات تتخذ القطعة الصدرية T_3 مظهر القطعة الصدرية T_2، فتعطي ذبابة خل بأربعة أجنحة.

ذبابة خل بأربعة أجنحة







القطعة الصدرية T_2

القطعة الصدرية T_3

مظهر أجنحة متوحش (عادي)

مظهر طافر قطعة صدرية T_3 بمظهر T_2

★ ذبابة خل بأربعة أجنحة (أنظر الوثيقة 13).
★ يصاب الجلد عند الإنسان بأورام بفعل تأثيرات الأشعة البنفسجية للشمس على مورثات خلايا البشرة، ولا تنقل هذه الطفرات إلى الخلف: إنها طفرات جسدية.
★ يرجع غياب اللون للفرو 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 فجائي (تلقائي) يصيب المادة الوراثية على مستوى المتتالية النيكليوتيدية 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 المنسلية (الخلايا الأم للأمشاج)، تنتقل الطفرة إلى الخلف، فنتكلم عن طفرة وراثية (Mutation génétique).
تتميز الطفرات بالتنوع، فنجد الطفرات الصبغية والطفرات الموضعية.

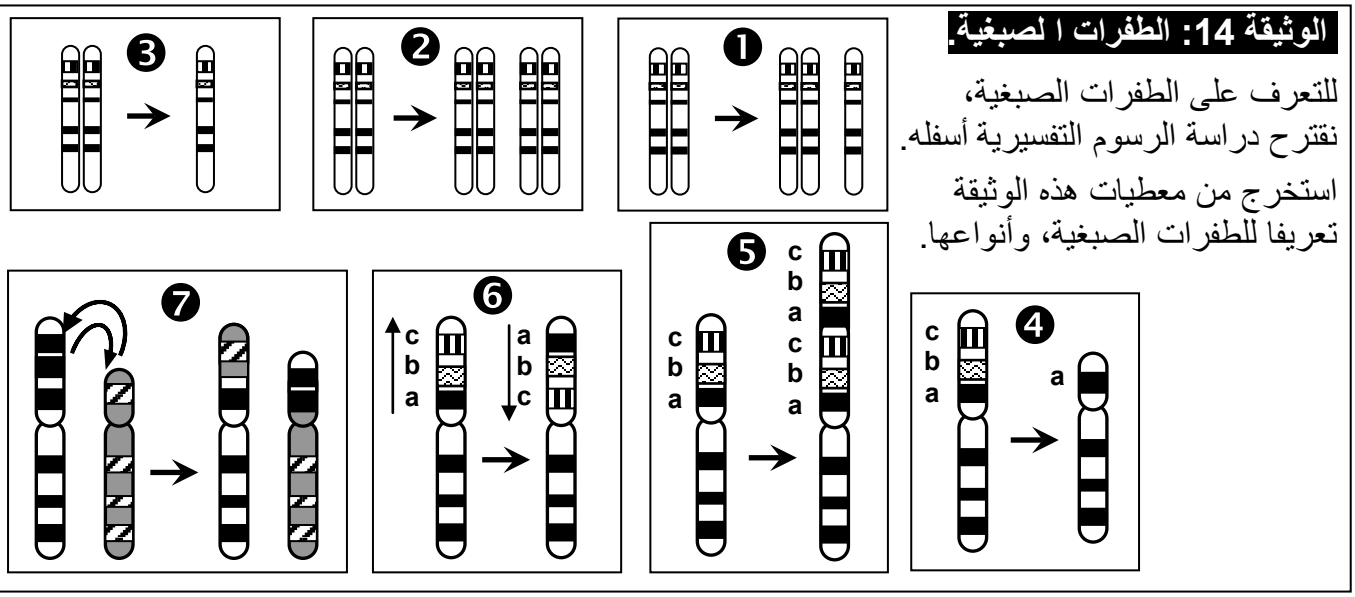
ت- أنواع الطفرات.

a – الطفرات الصبغية: أنظر الوثيقة 14.

الوثيقة 14: الطفرات ا لصبغية.

للتعرف على الطفرات الصبغية، نقترح دراسة الرسوم التفسيرية أسفله.

استخرج من معطيات هذه الوثيقة تعريفا للطفرات الصبغية، وأنواعها.



الطفرات الصبغية هي تغيرات وراثية في بنية أو عدد الصبغيات، ويمكن أن تصيب قطعة من مورثة أو مورثة بكاملها أو عدة مورثات. ونميز الأنواع التالية:

★ تغير عدد الصبغيات:

❶ إضافة صبغي Aneuploïdie.
❷ مضاعفة عدد الصبغيات Polyploïdie.
❸ ضياع صبغي Monoploïdie.

★ تغير بنية الصبغي:

❹ ضياع قطعة من الصبغي، عموما يكون لها تأثير مميت (ضياع مورثات).
❺ مضاعفة قطعة من الصبغي، الشيء الذي يزيد عدد نسخ مورثة معينة.
❻ انقلاب قطعة من الصبغي، يؤدي إلى تغير في ترتيب المورثات.
❼ تبادل قطع من الصبغي بين صبغيين غير متماثلين.

b – الطفرات الموضعية: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: الطفرات الموضعية Mutations ponctuelles.

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 النوكليوتيدية أسفله حليلات مختلفة (السلسلة غير المنسوخة) لمورثة β–globuline، ومتتالية الأحماض الأمينية التي ترمز إليها.

استخرج من الوثيقة أعلاه، تعريفا للطفرات الموضعية، ثم حدد أصنافها حسب تأثيرها على البروتين الناتج

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
مورثة عادية	GTG	CAC	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TGG	GGC
البروتين Hb	Val	His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu	Trp	Gly
حليل طافر ①	GTG	CAT	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TGG	GGC
البروتين Hb	Val	His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu	Trp	Gly
حليل طافر ②	GTG	CAC	CTG	ACT	CCT	GAG	GTG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TGG	GGC
البروتين Hb	Val	His	Leu	Thr	Pro	Glu	Val	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu	Trp	Gly
حليل طافر ③	GTG	CAC	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	TCT	GCC	GTT	ACT	GCC	CTG	TAG	GGC
البروتين Hb	Val	His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala	Val	Thr	Ala	Leu		
حليل طافر ④	GTG	CAC	CTG	ACT	CCT	GGG	AGA	AGT	CTG	CCG	TTA	CTG	CCC	TGT	GGG	GCA
البروتين Hb	Val	His	Leu	Thr	Pro	Gly	Arg	Ser	Leu	Pro	Leu	Leu	Pro	Cys	Gly	Ala
حليل طافر ⑤	GTG	CAC	CTG	ACT	CCT	GAG	GAG	AAG	CTC	TGC	CGT	TAC	TGC	CCT	GTG	GGG
البروتين Hb	Val	His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Leu	Cys	Arg	Tyr	Cys	Pro	Pro	Gly

★ يتبين من معطيات الوثيقة أن الطفرات التي تصيب مورثة β–globuline، تتمثل في استبدال أو إضافة أو حذف قاعدة ازوتية، الشيء الذي يؤدي إلى تغير قراءة المتتالية الوراثية، ويؤدي إلى توقف تركيب البروتين، أو تركيب بروتين مخالف.

★ نستنتج إذن أن الطفرات الموضعية هي كل تغير، ضياع أو إضافة نيكليوتيد، على مستوى المتتالية النيكليوتيدية المسؤولة عن إنتاج بروتين معين، فيؤدي إلى تغير قراءة المتتالية الوراثية خلال ترجمتها إلى أحماض أمينية، الشيء الذي يعطي صفات جديدة.

★ يعطي الجدول التالي مختلف أصناف الطفرات الموضعية حسب موقع تأثيرها:

الحليل الطافر	نوع التغير	النتائج على مستوى البروتين	صنف الطفرة
①	استبدال نيكليوتيد (في الثلاثي 2) بآخر: (T←C)	الترميز لنفس الحمض الأميني وبالتالي لا يؤثر على البروتين	طفرة صامتة Silencieuse
②	استبدال نيكليوتيد (في الثلاثي 7) بآخر: (T←A)	استبدال حمض أميني بآخر وبالتالي تغير البروتين	طفرة المعنى الخاطئ Faux sens
③	استبدال نيكليوتيد (في الثلاثي 15) بآخر: (T←A)	توقف القراءة في موقع الاستبدال وبالتالي تركيب بروتين ناقص	طفرة بدون معنى Non sens
④	ضياع نيكليوتيد (في الثلاثي 6)	تغير طور القراءة: استبدال كافة الأحماض الأمينية بعد موقع الاستبدال	طفرة ضياع Frame- shift
⑤	إضافة نيكليوتيد (في الثلاثي 9)	تغير طور القراءة: استبدال كافة الأحماض الأمينية بعد موقع الاستبدال	طفرة اضافة Frame- shift

★ الطفرة هي ظاهرة تمكن من ظهور حليلات جديدة، وبذلك تعد مصدرا للتغير الوراثي داخل الساكنة الطبيعية لكونها مسؤولة عن ظهور أنماط وراثية جديدة.

ث- العلاقة بين نسبة الطفرات وتردد الحليلات داخل الساكنة. أنظر الوثيقة 16.

الوثيقة 16: تأثير الطفرات في المحتوى الجيني للساكنة.

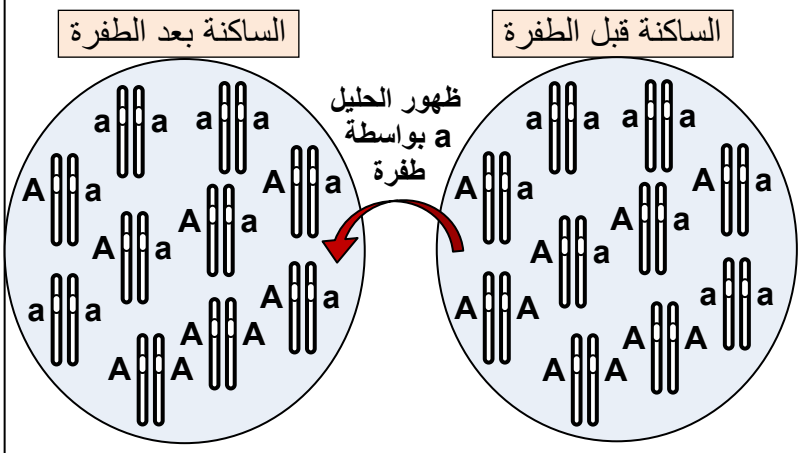
★ يعطي الجدول أسفله نسبة الطفرات المقاسة بالنسبة لمورثة معينة عند أربعة متعضيات مختلفة.

المتعضي	نسبة الطفرة في الجيل
حمة العاثية	$2.5 \cdot 10^{-9}$
بكتيريا E.Coli	$2 \cdot 10^{-8}$
الذرة	$2.9 \cdot 10^{-4}$
ذبابة الخل	$2.6 \cdot 10^{-5}$

1) ماذا تلاحظ؟

★ يعطي الرسم أمامه نموذج تفسيري لتأثير الطفرات على المحتوى الجيني للساكنة.

2) أتمم هذا الشكل ثم استنتج.



f(A) = p = ((2x3)+4)/20 = 0.5

f(a) = q = 1 – p = 0.5

f(A) = p = ((2x2)+5)/20 = 0.45

f(a) = q = 1 – p = 0.55

1) نلاحظ أن الطفرات تحدث بنسبة ضعيفة جدا، لأن تغير تردد الحليلات داخل الساكنة بواسطة الطفرات المتكررة يكون ضعيفا جدا خلال الفترة التي تتضمن أجيالا محدودة، غير أنها تصبح مهمة مع تعدد الأجيال.

تكون الطفرات تبادلية، وعليه 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 نحوA).

2) تؤدى الطفرة الى ظهور حليلات جديدة داخل الساكنة، وبالتالي ظهور مظاهر خارجية جديدة، كما أن تردد هذه الحليلات والأنماط الوراثية والمظاهر الخارجية يتغير مع مرور الزمن.

نستنتج إذن أن الطفرات وعلى الرغم من ندرتها، تساهم في ظهور حليلات جديدة، فتعد بذلك مصدرا للتغير الوراثي داخل الساكنة الطبيعية.

② الانتقاء الطبيعي: La sélection naturelle

أ - مفهوم الانتقاء الطبيعي. أنظر الوثيقة 17

الوثيقة 17: بعض مظاهر الانتقاء الطبيعي. استخرج من الوثيقة أهم العوامل المتدخلة في الانتقاء الطبيعي.

مثال 1: ليس لمختلف الكائنات المؤهلات نفسها للبقاء على قيد الحياة

المثال 2: اختيار الشريك الجنسي يتم بناء على مجموعة من الخاصيات التي ترتبط بالنمط الوراثي للفرد (استعراض زاهي مميز للريش عند ذكر الطاووس)

تعد خاصيات 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 بافتراس حيوانات وبالتالي ليس لمختلف الكائنات المؤهلات نفسها للبقاء على قيد الحياة.(القدرة التفاضلية على العيش)

★ **مثال 2:** اختيار الشريك الجنسي يرتبط بخاصيات مرتبطة بالنمط الوراثي للفرد (الاختيار التفاضلي للأزواج).

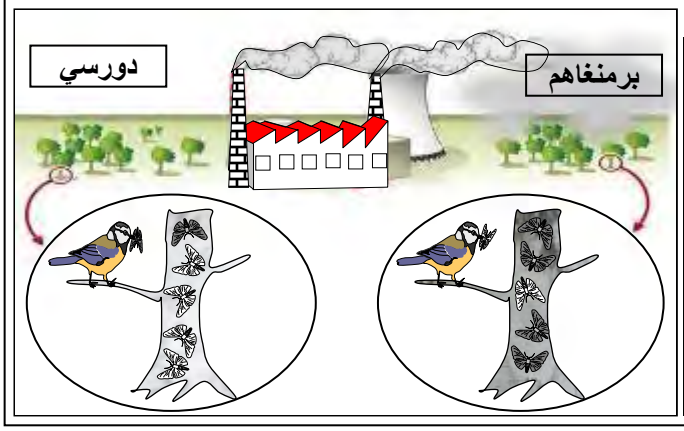
★ **استنتاج:** يتبين من المعطيات السابقة أن أقدر الأفراد على العيش وعلى التوالد بشكل أفضل هو الذي يساهم في انتقال المحتوى الجيني بشكل تفاضلي للأجيال الموالية، الشيء الذي سيترتب عنه تغيير في البنية الوراثية للساكنة. يسمى تغير تردد الحليلات عبر الأجيال بالانتقاء الطبيعي.

ب- دراسة مثال للانتقاء الطبيعي. أنظر الوثيقة 18

الوثيقة 18: تغير تردد أرفية السندر حسب اللون.

أرفية السندر Biston betularia فراشة ليلية تستريح في النهار على أغصان السندر. في انجلترا 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 بايسام مجموعة من فراشات الأرفية السوداء والبيضاء وأطلقها في منطقتين مختلفتين: منطقة برمنغاهم 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 دورسي		في برمنغاهم	
	داكنة	فاتحة	داكنة	فاتحة
عدد الفراشات الموسومة والمحررة	474	496	154	64
عدد الفراشات الموسومة المصطادة	30	62	82	16
نسبة الفراشات الموسومة المصطادة	6.3%	12.5%	53.2%	25%

1) نلاحظ في منطقة دورسي غير الملوثة يكون تردد الفراشات الفاتحة أكبر من تردد الفراشات الداكنة. بينما في منطقة برمنغاهم الصناعية يكون تردد الفراشات الداكنة أكبر من تردد الفراشات الفاتحة.

2) يفسر اختلاف تردد المظاهر الخارجية بين المنطقتين بتأثير الطيور المفترسة: أنظر الوثيقة 19.

★ في المنطقة الصناعية أصبحت جذوع الأشجار داكنة، مما يجعل من السهل رؤية الفراشات الفاتحة اللون من طرف الطيور المفترسة، فتتعرض للافتراس بنسبة كبيرة.

★ في المنطقة غير الصناعية بقيت جذوع الأشجار فاتحة، فيكون من السهل على الطيور المفترسة رؤية الفراشات الداكنة، وهذا ما يعرض هذه الفئة للافتراس بنسبة أكبر.

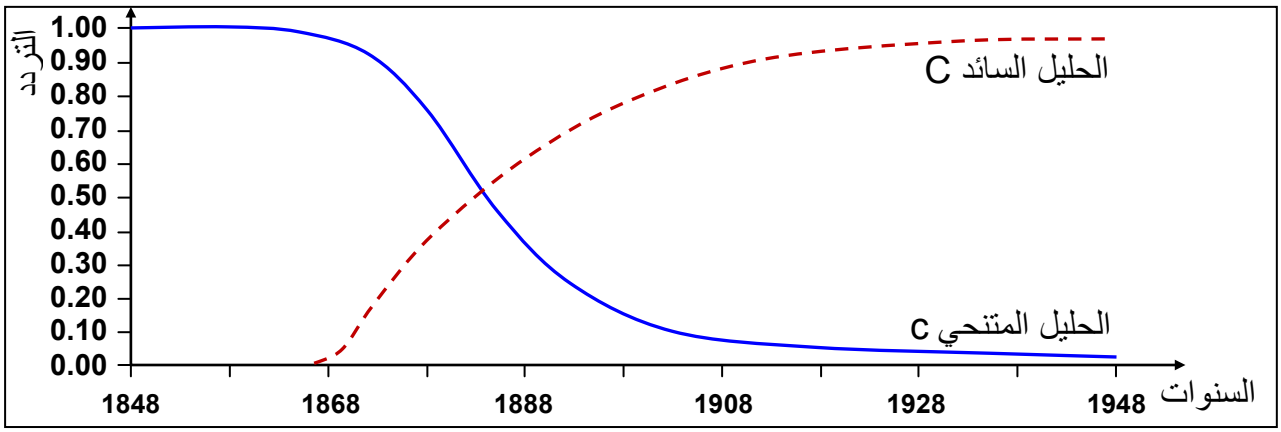
3) يعود إذن توزيع الفراشات في هذه المناطق إلى اختلاف مؤهلات البقاء عند هذه الفراشات، وهو عامل من عوامل الانتقاء الطبيعي. حيث أن أفرادا بمظهر وراثي معين يكون لديهم احتمال أكبر على البقاء وبالتالي نقل مورثاتهم بشكل تفاضلي للأجيال الموالية.

ت -تأثير الانتقاء الطبيعي على تردد الحليلات. أنظر الوثيقة 20

الوثيقة 20: تأثير الانتقاء على تردد الحليلات عند أرفية السندر.

يتحكم في لون فراشة الأرفية حليلين: المظهر الخارجي الداكن مرموز بواسطة الحليل السائد C. والمظهر الخارجي الفاتح مرموز بواسطة الحليل المتنحي c.

يعطي المبيان أسفله تردد حليلي أرفية السندر في المنطقة الصناعية لمانشستر Manchester خلال 100 سنة.



حلل المبيان واستنتج تأثير الانتقاء الطبيعي على تردد الحليلات في هذه الساكنة.

★ في ساكنة المنطقة الصناعية انخفض تدريجيا تردد الحليل المتنحي c الذي يرمز للمظهر الخارجي الفاتح، إلى أن انعدم في سنة 1948. بالمقابل يعوض هذا النقصان في تردد الحليل المتنحي بازدياد 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 تفاضليا، في حين تتقلص أخرى وتنقرض. وينتج عن كل هذا تغيير في البنية الوراثية للساكنة.

ث -القيمة الانتقائية. أنظر الوثيقة 21

الوثيقة 21: مفهوم القيمة الانتقائية La valeur selective.

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 ينجبهم في المعدل كل فرد حامل لهذا النمط الوراثي، والقادرين على العيش وعلى نقل حليلاتهم إلى الجيل الموالي. ويمكن التعبير عنها بالصيغة أسفله:

$$\text{القيمة الانتقائية المطلقة} = \frac{\text{نسبة النمط الوراثي عند الجيل } G_1}{\text{نسبة النمط الوراثي عند الجيل } G_0}$$

★ **القيمة الانتقائية النسبية:** تعطى القيمة 1 للنمط الوراثي ذو أعلى قيمة انتقائية مطلقة. أما بالنسبة للأنماط الوراثية الأخرى، فتساوي القيمة الانتقائية المطلقة للنمط الوراثي المعني مقسومة على القيمة الانتقائية المطلقة للنمط الوراثي الأكثر ارتفاعا.

في منطقة صناعية تم إحصاء عدد كل من الفراشات الفاتحة والقاتمة في فترتين متباعدتين فجاءت النتائج على الشكل التالي:

	عدد الفراشات المحصاة في بداية الدراسة	عدد الفراشات المحصاة في نهاية الدراسة	نسبة الفراشات القادرة على العيش والتوالد	القيمة الانتقائية المطلقة	القيمة الانتقائية النسبية
الفراشات الفاتحة	64	16	(16/64)x100 = 25 %	(16/24) = 25	(0.25/0.532) = 0.47
الفراشات الداكنة	154	82	(82/154)x100 = 53.2 %	(82/154) = 0.531	= 1

باعتمادك 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.

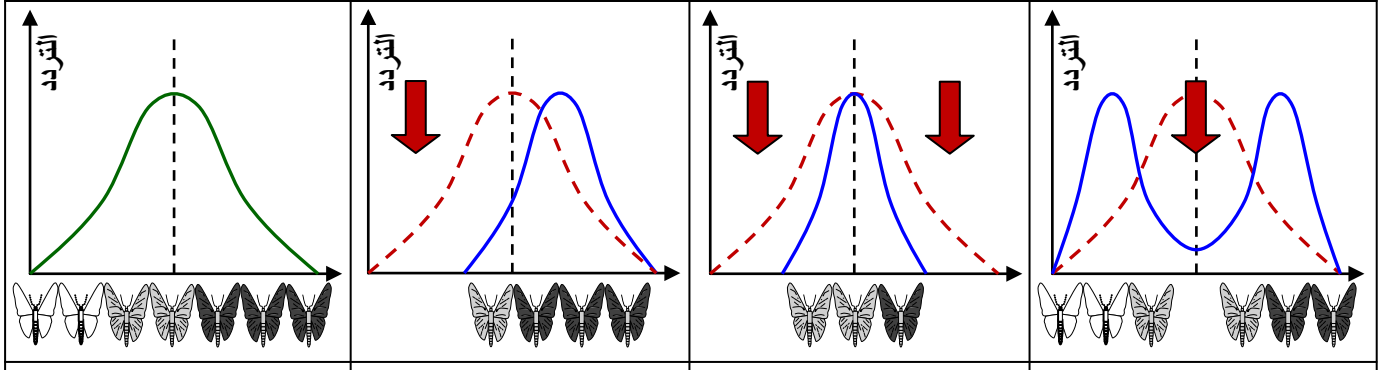
★ حساب القيمة الانتقائية: أنظر جدول الوثيقة 21.

★ 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.

ج - أنواع الانتقاء الطبيعي. أنظر الوثيقة 22

الوثيقة 22: أنواع الانتقاء الطبيعي.

انطلاقا من معطيات الوثيقة قارن بين أنواع الانتقاء الطبيعي. علما أن المنحنى المتواصل يمثل توزيع المظاهر المختلفة داخل ساكنة، والمنحنى المتقطع توزيع الساكنة الأصلية.



الانتقاء التباعدي	الانتقاء المثبت	الانتقاء الاتجاهي	ساكنة أصلية
يؤدي إلى الاحتفاظ بالأنماط الوراثية الموجودة في الطرفين	يؤدي إلى حذف المظاهر الخارجية الموجودة في الطرفين معا	يؤدي إلى حذف المظاهر الخارجية الموجودة في أحد الطرفين	يمثل المنحنى توزيع الأنماط داخل الساكنة

تتوزع المظاهر الخارجية داخل الساكنة حسب نوع الانتقاء الطبيعي، فنجد ثلاثة أنماط من الانتقاء:

★ **الانتقاء الاتجاهي:** يؤدي إلى حذف المظاهر الخارجية الموجودة في أحد الطرفين.

★ **الانتقاء التباعدي:** يؤدي إلى الاحتفاظ بالمظاهر الخارجية الموجودة في الطرفين.

★ **الانتقاء المثبت:** يؤدي إلى حذف المظاهر الخارجية الموجودة في الطرفين معا.

③ الانحراف الجيني: Dérive génétique

أ - مفهوم الانحراف الجيني: أنظر الوثيقة 23

الوثيقة 23: مفهوم الانحراف الجيني.

قام Steinberg بدراسة ترتبط بتردد الفصائل الدموية عند ساكنة Les Huttérites، يتعلق الأمر بتجمع عقائدي «Secte»، هاجر من سويسرا إلى روسيا ومن تم خلال سنة 1880 إلى أمريكا الشمالية حيث كون سلسلة من المستعمرات في Docota وMontana وفي أجزاء قريبة من كندا. يمثل الشكل أ من الوثيقة النتائج التي توصل إليها Steinberg.

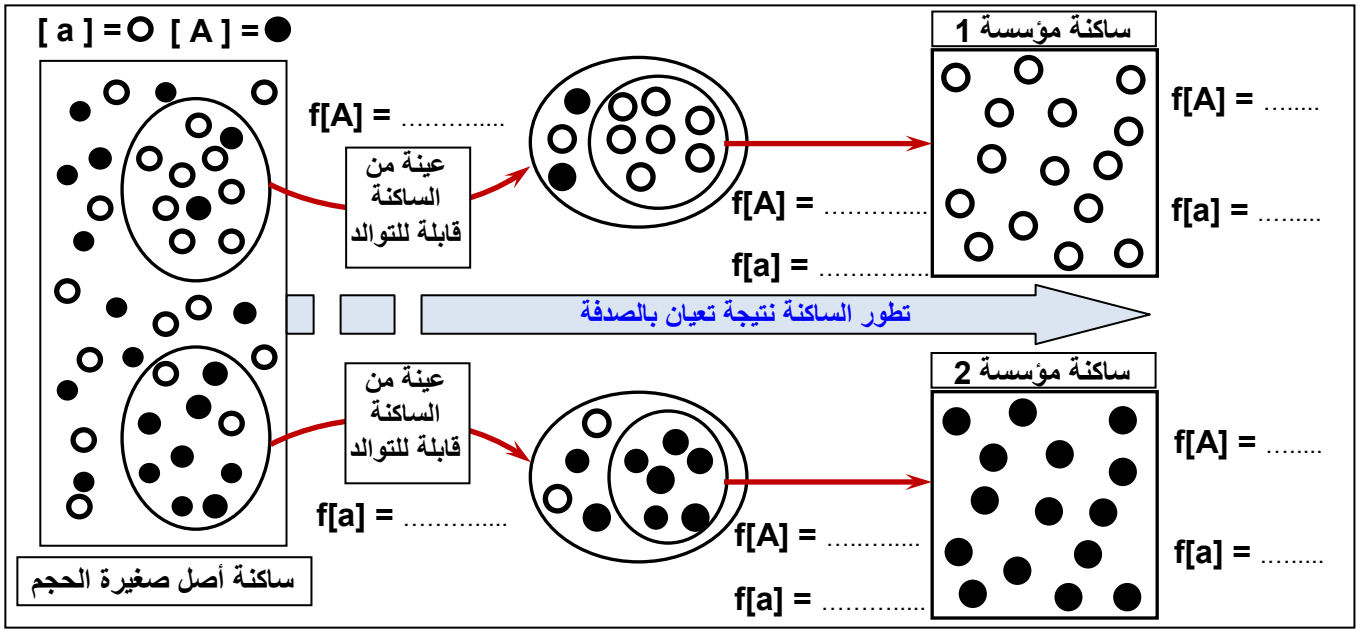
الشكل أ

الفصيلة الدموية	O	A
عند أفراد التجمع العقائدي	تقارب 29%	45%
عند أغلب الساكنات الأوربية والأمريكية	تفوق 40%	40% - 30%

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 نموذجا تفسيريا لهذه الظاهرة.

(تابع) الوثيقة 23: مفهوم الانحراف الجيني.

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 الفصيلتين الدمويتين A و O بين أغلب الساكنات الأوربية والأمريكية وبين أفراد التجمع العقائدي، حيث نجد عند هذا الأخير تردد الفصيلة الدموية O منخفض، وتردد الفصيلة الدموية A مرتفع. نستنتج من هذا أن بنية ساكنة Les huttérites تختلف عن بنية الساكنات الأوربية والأمريكية (ليس لها نفس المحتوى الجيني).

2) تردد مختلف المظاهر الخارجية في هذه الساكنات: أنظر الوثيقة 23.

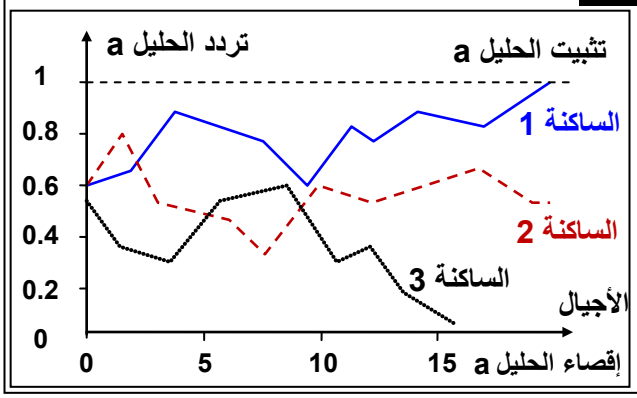
3) انبثقت الساكنة 1 عن هجرة مجموعة صغيرة من الساكنة الأصلية، ونظرا لتعيان عرضي (بالصدفة) Echantillonnage aléatoire تضمنت هذه المجموعة فردين فقط يحملان المظهر المتوحش مما سبب تغيرا في البنية الوراثية لهذه الساكنة مقارنة مع الساكنة الأصلية. صدفة وقع التزاوج بين أفراد تحمل الصفة الطافرة فحدث إقصاء المظهر 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 24.

الوثيقة 24: تأثير الانحراف الجيني في المحتوى الجيني للساكنة.

يعطي الرسم البياني أمامه، محاكاة باستخدام نظام المعلوميات، لتقلب تردد الحليلات خلال عدة أجيال، عند ثلاث ساكنات صغيرة الحجم.



1) ما هي الظاهرة التي يعبر عنها هذا المبيان ؟
2) من خلال تحليل هذا المبيان، أبرز مظاهر هذه الظاهرة، وتأثيرها على البنية الوراثية للساكنة.
3) من خلال معطيات المبيان، والمعلومات المقدمة في الوثيقة 23، أعط تعريفا لظاهرة الانحراف الجيني.

1) الظاهرة التي يعبر عنها المبيان هي ظاهرة الانحراف الجيني.

2) يتقلب تردد الحليل a في الساكنات الثلاث بشكل عشوائي بين 0 و1 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 يؤدى إلى انخفاض تعدد الأشكال الجينية داخل الساكنة.
★ يحدث الانحراف الجيني داخل الساكنات الصغيرة. وينجم عن هذه الظاهرة، تثبيت حليلات، وحذف حليلات أخرى. وبالتالي تغير البنية الوراثية للساكنة.
★ لا يخضع الانحراف الجيني لتأثير الوسط، ولا للانتقاء الطبيعي، بل يعود للصدفة، ففي الساكنات الطبيعية ليس جميع الأفراد قادرون على التوالد، وعليه ستكون بعض الحليلات أكثر تمثيلية في الجيل الموالي.
★ يسمى هذا النوع من الانحراف الجيني، بالانحراف الجيني ذو المفعول المؤسس، حيث أن عينة صغيرة من الأفراد تتعرض لتعيان عرضي (عن طريق هجرة هؤلاء الأفراد مثلا)، ثم تقوم بتأسيس ساكنة جديدة تنبثق من هذه العينة فقط.

ملاحظة: في بعض الحالات قد تتعرض الساكنة للتغيير بفعل انخفاض كبير ومفاجئ في عدد أفرادها (بفعل كارثة طبيعية مثلا)، الشيء الذي يؤدي إلى فقدان عدد كبير من الحليلات المختلفة لنفس المورثة. نتحدث هنا عن انحراف جيني ذو مفعول التضيق أو مفعول عنق الزجاجة.

④ الهجرة: La migration

أ - حالة الهجرة الأحادية الاتجاه La migration Unidirectionnelle. أنظر الوثيقة 25

الوثيقة 25: الهجرة الأحادية الاتجاه.

★ نظرا للتمييز العنصري الذي ظل سائدا في الولايات المتحدة الأمريكية فان كل فرد ناتج عن زواج مختلط (خلاسي Métis) يعد منتميا إلى الساكنة السوداء. وبهذا يتم نقل الحليلات في اتجاه واحد من البيض نحو السود. لتعرف تأثير هذه الهجرة في البنية الوراثية للساكنة السوداء، قام Gauss وLi سنة 1953 بدراسة تطور تردد الحليل Ro لنظام ريزوس (Rhésus) عند هذه الساكنة. ويلخص الجدول على الشكل 1 نتائج هذه الدراسة.

1) قارن بين معطيات الجدول ثم استنتج.

★ لتفسير أصل البنية الوراثية لساكنة سود أمريكا، نقترح عليك نموذج الهجرة الأحادية الاتجاه، كما هو ممثل على الشكل 3 من هذه الوثيقة.

2) باستعمال المعلومات المقدمة في الشكل ج من الوثيقة، أحسب التدفق الهجري m وتردد الحليلين A وa عند ساكنة الجزيرة بعد الهجرة.
3) علما أن البنية الوراثية لساكنة القارة تظل مستقرة، ماذا تستنتج فيما يخص البنية الوراثية لساكنة الجزيرة؟
4) كيف تفسر إذن أصل البنية الوراثية لساكنة سود أمريكا؟

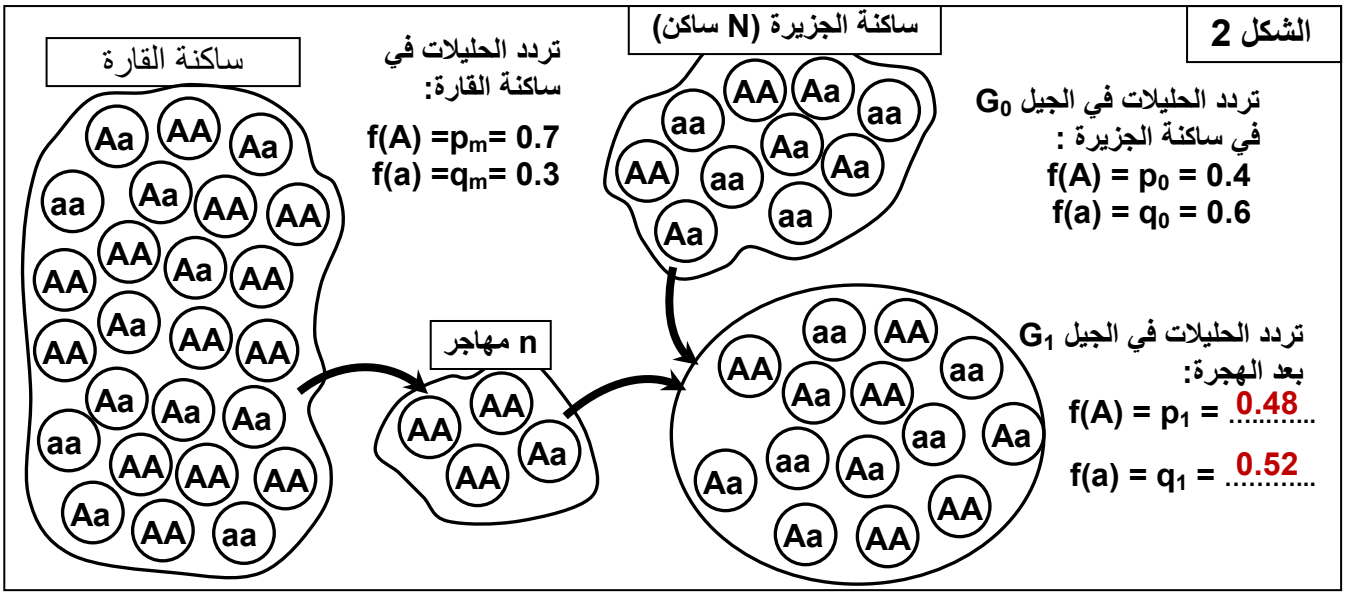
الشكل 1

الســـــاكـــــنـــــــــات	تردد الحليل Ro
عند الساكنة الأصلية السوداء (الساكنات الإفريقية أصل العبيد)	0.63
الساكنة السوداء سنة 1953 بعد عشرة أجيال من معاهدة العبيد.	0.446
عند الساكنة البيضاء للولايات المتحدة الأمريكية ولساكنة أوروبا التي لم تتغير منذ القرن 18	0.028

الشكل 3:

التدفق الهجري m: هو نسبة المهاجرين الذين يتدفقون على الساكنة المستقبلة في كل جيل، ويحسب بتطبيق المعادلة التالية $m = n / (N + n)$
N = عدد أفراد الساكنة المستقبلة، n = عدد المهاجرين.
تمكن النسبة m من حساب تردد حليل معين بعد الهجرة بتطبيق المعادلة التالية $p_1=(1-m)p_0+mp_m$
يمثل p_m: تردد الحليل السائد في ساكنة القارة. و p_0 تردد الحليل السائد عند ساكنة الجزيرة قبل الهجرة.

(تابع) الوثيقة 25: الهجرة الأحادية الاتجاه.



1) يلاحظ أن تردد الحليل R_0 عند الساكنة السوداء لأمريكا منخفض بالمقارنة مع الساكنة الإفريقية أصل العبيد. وأن تردد هذا الحليل ناذر 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.

2) ★ حساب التدفق الهجري m: $m = \frac{n}{(N + n)} = \frac{4}{(4 + 10)} = 0.28$

★ حساب تردد الحليل A عند ساكنة الجزيرة بعد الهجرة هو $f(A) = p_1$

$$f(A) = p_1 = (1 - m)\, p_0 + m p_m$$
$$= (1 - 0.28) \times 0.4 + (0.28 \times 0.7)$$
$$= 0.484$$

$$\boxed{f(A) = p_1 = 0.48}$$

★ حساب تردد الحليل a عند ساكنة الجزيرة بعد الهجرة : $f(a) = q_1$

$$f(a) = q_1 = (1 - m)\, q_0 + m q_m$$
$$= (1 - 0.28) \times 0.6 + (0.28 \times 0.3)$$
$$= 0.516$$

$$\boxed{f(a) = q_1 = 0.52}$$

$$\boxed{p_1 + q_1 = 0.48 + 0.52 = 1}$$

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.

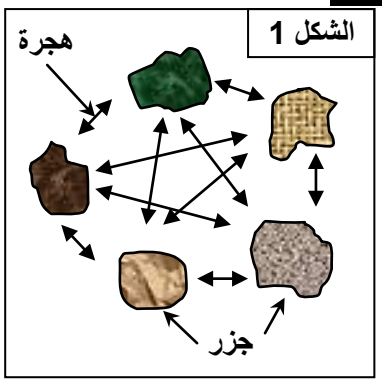
4) نفسر تغير البنية الوراثية للساكنة السوداء في أمريكا بظاهرة الهجرة. فهناك تدفق هجري أحادي الاتجاه من البيض نحو السود دون هجرة معاكسة. وبناء على هذا ستتغير الخاصيات الوراثية للساكنة السوداء دون تغير في التركيب الوراثي للساكنة أصل الهجرة.

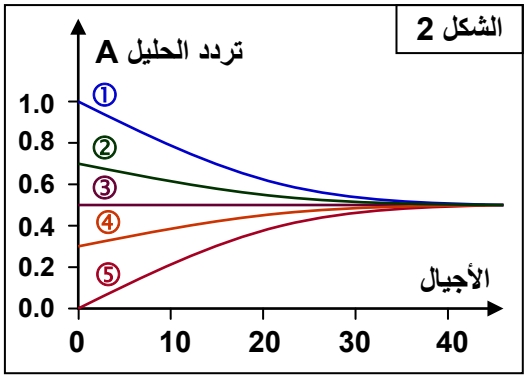
ب- حالة الهجرة المتعددة الاتجاهات La migration Multidirectionnelle. أنظر الوثيقة 30.

الوثيقة 26: الهجرة المتعددة الاتجاهات.

يمثل الشكل 1، نموذج تدفق هجري متعدد الاتجاهات بين خمس ساكنات تقطن خمس جزيرات أرخبيلية.
ويمثل الشكل 2 تطور تردد حليل A لدى هذه الساكنات الخمس، تحت تأثير هذه الهجرة.

حلل معطيات الوثيقة ثم استنتج.





في البداية كان تردد الحليل A جد مختلف بين ساكنات الجزر الخمس، 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؟

① المعايير المميزة للنوع:

أ - المعيار المرفولوجي Morphologiques,

★ **مثال ①:** ينتشر النمر حاليا جنوب شرق آسيا، ويتوزع على عدة ساكنات أبرزها: نمر البنغال ونمر سومترا ونمر سيبيريا ونمر الهند الصينية ونمر الصين.

يشترك أفراد هذه الساكنات في مجموعة من الخاصيات المرفولوجية (مرفولوجية، سلوكية...).

★ **مثال ②:** مجموعة من الكلاب تظهر اختلافات مفولوجية كبيرة، إلا أنها تنتمي لنفس النوع.

سؤال:

هل المعيار المرفولوجي وحده كاف لتصنيف أنواع الكائنات الحية؟ علل إجابتك.

جواب:

يتمثل المعيار المرفولوجي في تشابه الشكل، لكن يُعتبر هذا المعيار وحده غير كاف للتمييز بين الأنواع، لوجود بعض الكائنات الحية مختلفة مرفولوجيا، ومع ذلك تنتمي لنفس النوع. لهذا، يجب إذن اعتماد معايير إضافية، للتفريق بين الأنواع المختلفة.

ب- المعيار الايكولوجي (البيئي): Ecologique أنظر الوثيقة 27

الوثيقة 27: المعايير المميزة لبعض أنواع طائر السمنة La grive.

السمنة La grive طائر من جنس "Catharus" يتضمن عدة أنواع جد متشابهة مرفولوجيا لكنها تختلف فيما بينها بمجموعة من الخاصيات (المعايير) المميزة لكل نوع. ويعطي الجدول أسفله، بعض خاصيات أربعة أنواع من هذا الطائر تقطن أمريكا الشمالية.

الخاصيات	Catharus fuscescens	Catharus guttatus	Catharus ustulatus	Catharus minimus
مسكن الزواج	أراض مشجرة ذات أدغال وافرة	أشجار المخروطيات	غابات المخروطيات	غابات الصنوبر غير كاملة النمو
أماكن الصيد	على التربة وعلى الأشجار	على التربة	غالبا على الأشجار	على التربة
بناء العش	فوق التربة	فوق التربة	على الأشجار	على الأشجار
غناء أثناء الطيران	منعدم	منعدم	منعدم	موجود

من خلال تحليل معطيات الوثيقة، بين الخاصيات المعتمدة لتصنيف هذه الحيوانات.

يتبين أن طيور السمنة المُمثلة على الوثيقة، متشابهة ويصعب التفريق بينها. لكن، عند دراسة بعض الخاصيات الإيكولوجية (البيئية) لهذه الأنواع، مثل مسكن الزواج ومواقع الصيد ومكان بناء العش... يتضح أنها جد مختلفة فيما بينها، حيث أن لكل نوع متطلبات وخاصيات معيشية معينة، تجعل من الممكن التفريق بينها وتصنيفها.

إذن يتوفر أفراد نوع معين على خصائص تكيفية مميزة كالمحيا والسلوك الغذائي والدفاعي والجنسي، مما يساعد على الاندماج داخل العشيرة الإحيائية.

ت- المعيار الفزيولوجي: Physiologique أنظر الوثيقة 28

الوثيقة 28: بعض المعايير المميزة لطائر الشرشور.

يعطي الجدول أسفله، كمية طرح CO_2 حسب درجة حرارة الوسط من طرف نوعين من الطيور ينتميان إلى جنس Emberiza (الصور أمامه).

درجة حرارة الوسط (°C)		-5	0	05	15	25
كمية CO_2 المطروح بـ (mg/mg)/h	Emberiza hortulata	11	10.5	09	07	05
	Emberiza citrinella	08	7.5	07	06	4.5

من خلال معطيات هذا الجدول حدد المعيار الأساسي المعتمد في تمييز نوعي طائر الشرشور.

تتشابه طيور الشرشور مرفولوجيا لكنها تختلف من حيث كمية طرح CO_2 حسب درجة حرارة الوسط، وهذا معيار فيزيولوجي يمكن من التمييز بين نوعي طائر الشرشور.

ث -المعيار البيوكيميائي والوراثي: Biochimique, et Génétique أنظر الوثيقة 29

الوثيقة 29: بعض المعايير المميزة للسمندل.

السمندل Salamandre حيوان برمائي، 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).

المورثة	البروتين	Triton alpestris	Triton marmo-ratus	Triton vulgaris
a: عدد الحليلات 7	الزلال	(0.2) a_3 (0.8) a_4	(1) a_2	(1) a_6
b: عدد الحليلات 7	Lactose déshyd-rogenase	(0.1) b_1 (0.55) b_3 (0.35) b_4	(1) b_7	(1) b_1

قارن بين هذه المعطيات واستخلص المعيار الذي اعتمد لتمييز هذه الأنواع من السمندل.

نلاحظ من خلال معطيات الوثيقة، أن عدد وتردد الحليلات الرامزة للبروتينين يختلف عند كل نوع من أنواع السمندل.
نستنتج إذن أن المعيار البيوكميائي والوراثي يمكن أن يعتمد في تمييز الأنواع.

ج -معيار الخصوبة: La fécondité

كل المعايير السابقة تدخل في تمييز الأنواع، إلا أنه في بعض الحالات يصعب التمييز بين بعض الأنواع، كحالة بعض الأنواع من الفئران التي تختلف من حيث صيغتها الصبغية. هذه المعطيات تجعل من الضروري اعتماد معيار أكثر أهمية وأكثر حسما في التمييز بين الأنواع، إنه المعيار البيولوجي (معيار الخصوبة).

ملحوظة:

يمكن لأفراد بعض الأنواع القريبة أن تتزاوج فيما بينها، لكن الخلف غالبا ما يكون عقيما! مثلا البغل حيوان هجين ينتج عن تزاوج الحمار بأنثى الحصان.

إذن خاصية التزاوج مع إعطاء خلف خصيب من أهم المعايير البيولوجية المعتمدة في تمييز النوع.

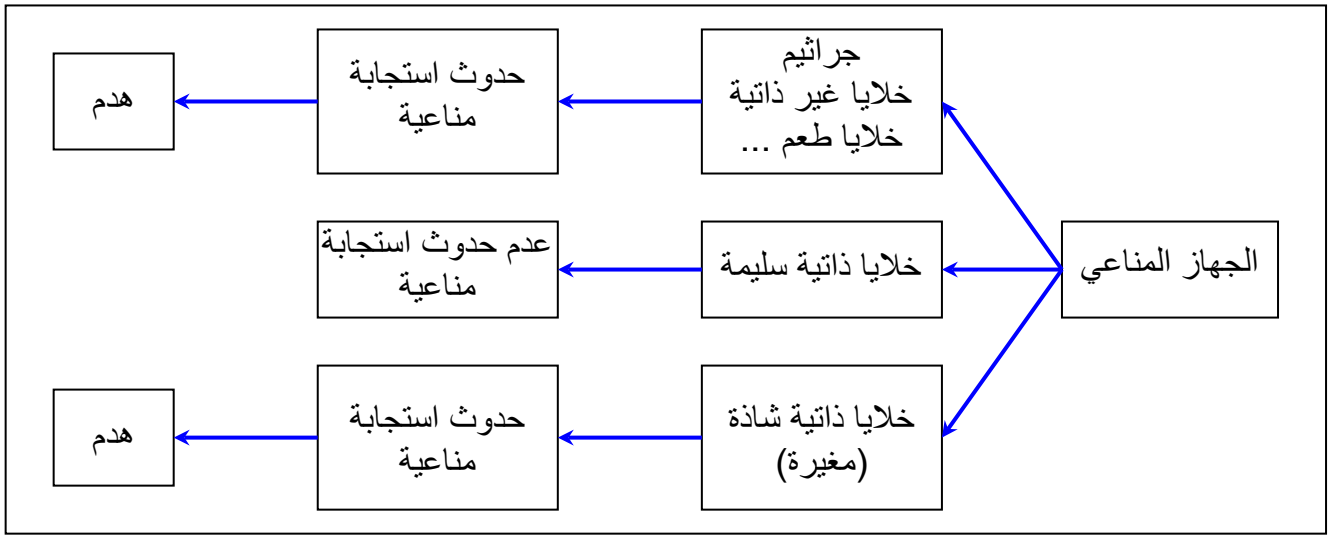
② تعريف النوع: L'espece

النوع هو عبارة عن مجموعة من الأفراد تشترك فيما بينها في مجموعة من الخاصيات المورفولوجية والإيكولوجية والفيزيولوجية والوراثية، كما يُعد 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 مناعيةréponses immunitaires، يقوم بها الجسم للدفاع عن تماميته Son intégrité. ويعود السبب في ذلك إلى توفر الجسم على مجموعة من وسائل الدفاع (أعضاء وخلايا)، تسمي بالجهاز المناعي، تبطل مفعول الجراثيم أو تقصيها.
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.

الوحدة الخامسة، 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.

الوثيقة 1: ملاحظات سريرية عند الإنسان.

★ بينت ملاحظات سريرية عند الإنسان أنه في حالة تطعيم جلدي بين معط A ومتلق B، تنمو بداخل الطعم عروق دموية بشكل جيد وتتكاثر خلاياه بكيفية عادية (الشكل أ)، إلا أنه بعد 12 يوما يرفض الطعم ويدمر (الشكل ب).

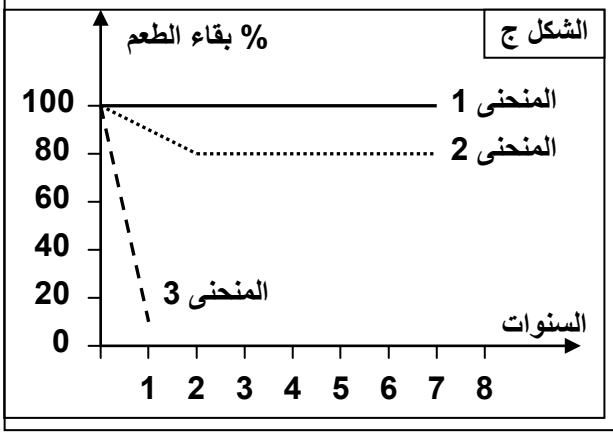
1) حلل هذه المعطيات ثم اقترح تفسيرا لرد فعل الجسم اتجاه الطعم.

★ في حادثة بأحد المطاعم المدرسية أصيب ثلاث أطفال بحروق جلدية عميقة. ولمعالجة هذه الإصابات أنجزت العمليات الجراحية التالية (الشكل ج):

- بالنسبة للطفل الأول تم تطعيمه بجلد أخيه التوأم (المنحنى 1).
- بالنسبة للطفل الثاني تم تطعيمه بجلد أحد أبويه (المنحنى 2).
- بالنسبة للطفل الثالث تم تطعيمه بجلد شخص متبرع لا تربطه بالطفل أي قرابة دموية (المنحنى 3).

2) ما قد يكون العامل المحدد في قبول أو رفض الطعم ؟

3) ماذا تستنتج من هذه الملاحظات ؟



1) يتبين من هذه المعطيات أن الطعم يرفض بعد 12 يوما، هذا يعني أن الجسم يتعرف على جلد لا ينتمي لنفس الجسم، فيعتبره عنصرا غير ذاتيا.

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.

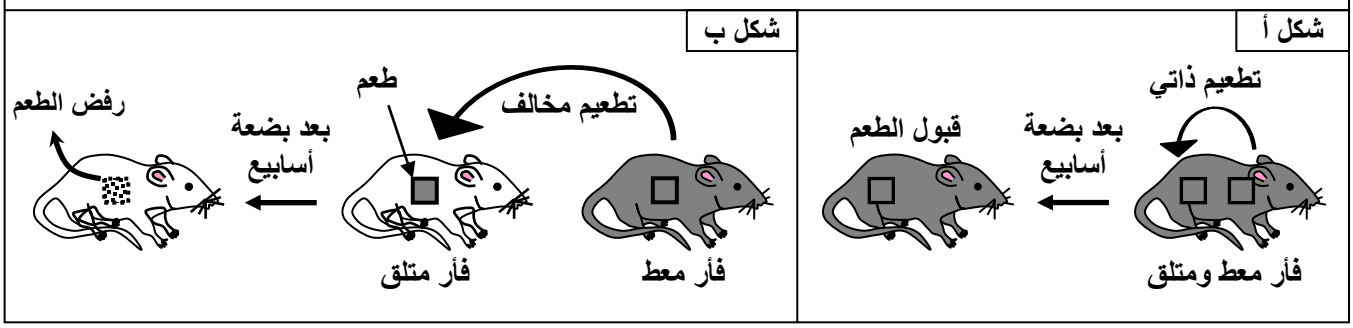
الوثيقة 2: تجارب التطعيم الذاتي والتطعيم المخالف عند الفأر.

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 وراثيا).

أول هذه المعطيات التجريبية، ثم استنتج.



تبين تجربة التطعيم عند الفأر أنه إذا كان المعطي والمتلقي هو نفس الجسم يتم قبول الطعم، لكن إذا كان المعطي والمتلقي ينتميان لسلالتين مختلفتين، فانه يتم رفض الطعم. وتسمى هذه الاستجابة(استجابة الرفض)، الاستجابة المناعية réponse immunitaire.

نستنتج أن قبول أو رفض الطعم يتعلق بطبيعة المادة الوراثية للمعطي والمتلقي.

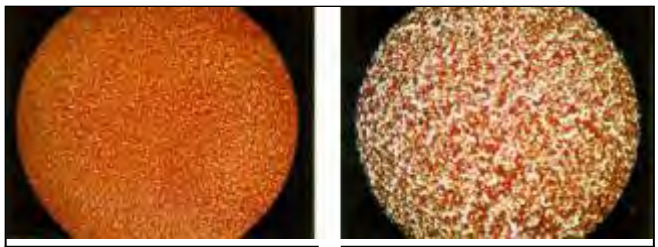
ج – التلاؤم بين الفصائل الدموية: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: الكشف عن التلاؤم بين الفصائل الدموية.

في سنة 1873 بين الباحثان Landois وMuller 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.

انطلاقا من هذه المعطيات استخرج الشروط اللازمة أثناء تحاقن الدم، والمشاكل المطروحة اثر عدم احترامها.



خلط دمين متلائمين عدم حدوث اللكد	خلط دمين غير متلائمين حدوث اللكد

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 كبيرا 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 الطعم واعتباره غير ذاتي، له علاقة بطبيعة البروتينات البنيوية لخلايا الطعم

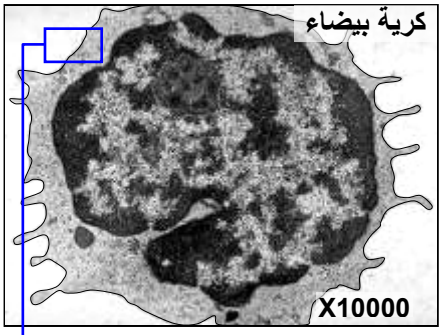
يتحدد الانتماء النسيجي إذن من خلال نوع من الجزيئات البروتينية الموجودة فوق سطح الخلايا (كليكوبروتينات). تنعت هذه الجزيئات **بالمركب الرئيسي للتلاؤم النسيجي أو CMH** = Complexe Majeur d'histocompatibilité **(HLA)** Human Leucocyte Antigen.

II – تعرف الواسمات الرئيسية والثانوية.

① الواسمات الرئيسية.

أ – المحددات الجزيئية للذاتي. أنظر الوثيقة 4.

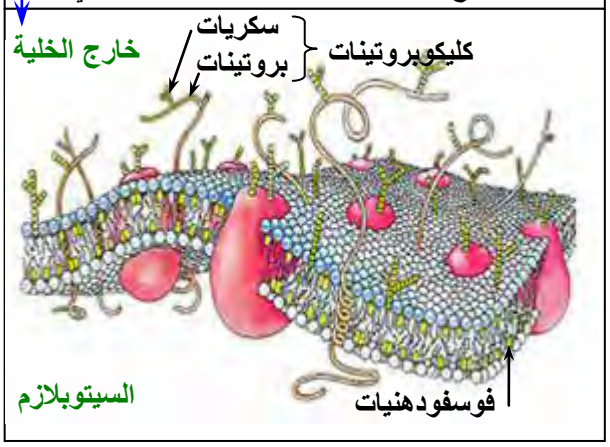
الوثيقة 4: الطبيعة الجزيئية للمركب الرئيسي للتلاؤم.



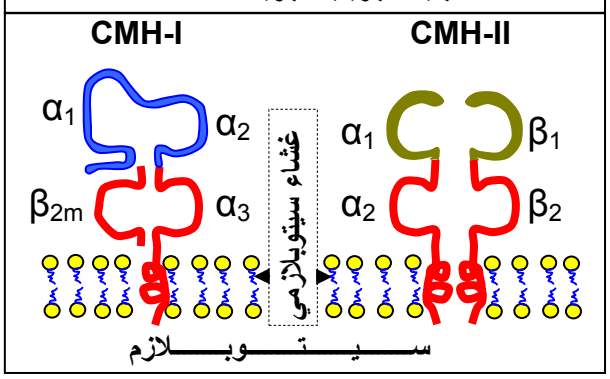
أدت الأبحاث حول وجود الفصائل النسيجية إلى اكتشاف بعض الجزيئات (بروتينات) لأول مرة على الغشاء السيتوبلازمي للكريات البيضاء، فسميت **HLA** نسبة لـ **Human Leucocyte Antigen**. ثم تم الكشف عنها على مستوى جميع الخلايا المنواة فأعطيت مصطلح المركب الرئيسي للتلاؤم النسيجي **Complexe majeur d'histocompatibilité CMH**.

انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة، تعرف على الطبيعة الكيميائية لجزيئات الواسمات الرئيسية للذاتي، محددا 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 منواة). 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:

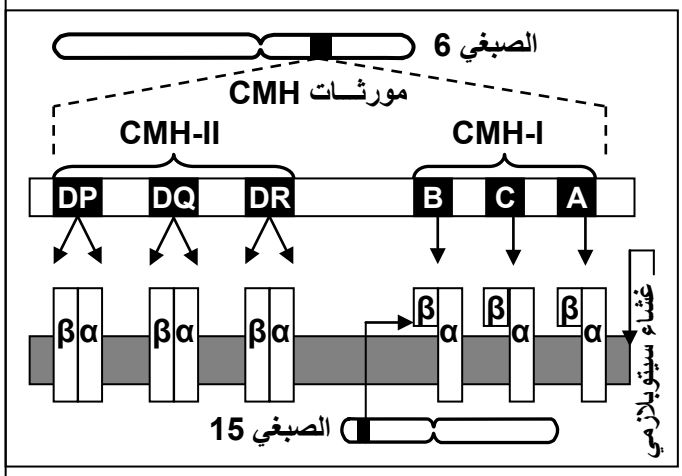
- ✓ الواسمات الرئيسية للذاتي من الصنف I ويُرمز لها بـ : CMH-I وهي جزيئات توجد على سطح جميع الخلايا المُنواة، وتتكون من سلسلتين بيبتيديتين : السلسلة α والسلسلة β_2m .
- ✓ الواسمات الرئيسية للذاتي من الصنف II ويُرمز لها بـ : CMH-II وهي جزيئات توجد أساسا على سطح بعض الخلايا المناعية (بلعميات كبيرة، خلايا 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 وB وC وD. 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).



انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة:

- استخرج أهم خصائص مورثات CMH .
- فسر أصل التنوع الكبير في جزيئات CMH بين الأفراد.
- وضح 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 وB وC. 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 (DRA وDQA وDPA) ومورثة رامزة للسلسلة β (DRB وDQB وDPB).

★ إن كل شخص يحمل تركيبة من الحليلات مكونة من 8 حليلات تكاد تكون فريدة من نوعها .و يرمز لها على الشكل التالي:

$$\frac{A_xB_yC_tD_z}{A_xB_yC_tD_z}$$

كل شخص يتلقى نصف الحليلات من الأم، والنصف الأخر من الأب، ونظرا لتعدد الحليلات التي تقابل كل مورثة فان عدد التوليفات الوراثية أي الأنماط الوراثية الممكنة يصل إلى عدة ملايير. فلا يكاد يوجد على المستوى العالمي، أي فرصة لشخصين كي يحملان نفس CMH باستثناء التوأمين 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 بتركيبة 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 أوB إلى التلكد، 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 وB	لا شيء			

يخضع تحديد الفصائل النسيجية لأنظمة أخرى ثانوية كحالة نظام الفصائل الدموية ABO. حيث أن هذا النظام مرتبط بمورثة تتميز بـ ثلاثة 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 التحاقنات الدموية. وهي جزيئات تدعى واسمات غشائية، مسؤولة عن تحديد الفصائل الدموية.

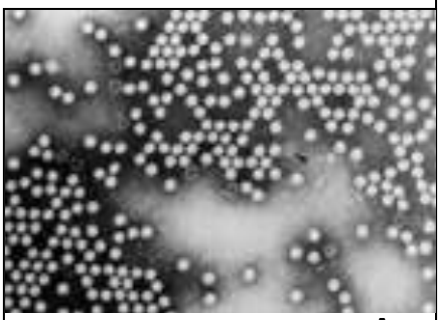
نستنتج مما سبق أن النظام ABO ينتج عن مورثة واحدة بعدد محدود من الحليلات عكس جزيئات CMH مما يفسر قلة عدد الفصائل الدموية، كما يمكنها أن تكون مشتركة بين مجموعة من الأفراد، لذلك نسميها واسمات ثانوية للذاتي.

III – دور CMH في تمييز الذاتي:

① مفهوم الذاتي وغير الذاتي: أنظر الوثيقة 7

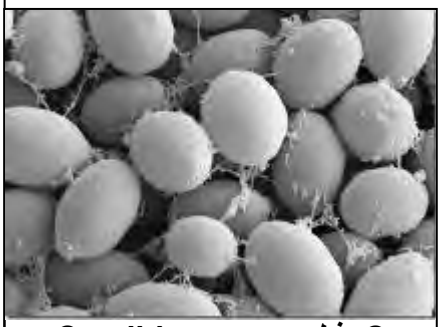
الوثيقة 7: مفهوم الذاتي وغير الذاتي.

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.



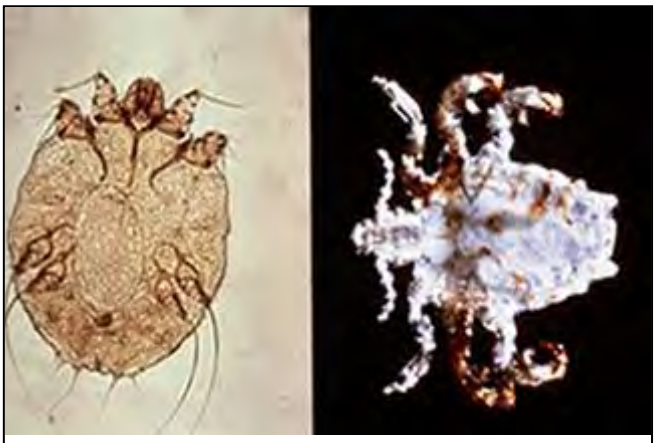
A Virus de la poliomyélite
فيروس شلل الأطفال

B عصيات كوخ المسببة لداء السل



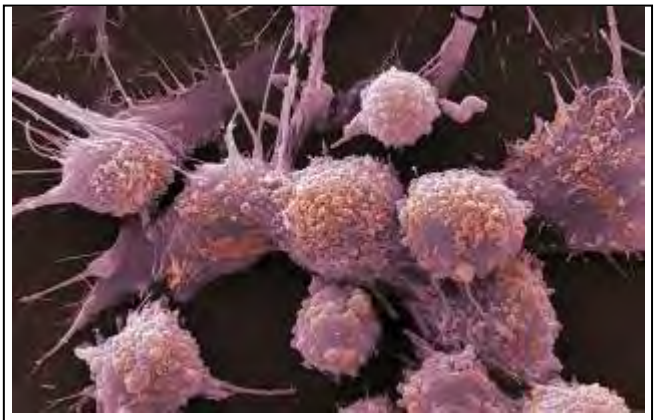
C فطر مجهري Candidas albicans

D حبوب اللقاح Grains de pollène



E القرادية المسببة للجرب Sarcoptes scabiei

F القرادية المكونة لغبار المنازل



G خلايا سرطانية للبروستات (الموثة)

H خلايا الطعم عند زرع الجلد أو الأعضاء

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 ممرضا 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 Hépatite C.

★ الفطريات المجهرية Champignons microscopiques وتتطفل في الغالب على الجلد أو المخاطات، مسببة في فطار Mycoses على المناطق المصابة.

★ الحيوانات الأولية Protozoaires وهي متعضيات مجهرية تتطفل إما على الوسط الداخلي مسببة أمراض مثل الملاريا Paludisme أو البلهارسيا Bilharziose أو تتطفل على الجلد مثل الأميبة amibe.

⇦ **يمكن أن يكون غير الذاتي خارجا غير ممرض، كحالة:**

★ حبوب اللقاح.

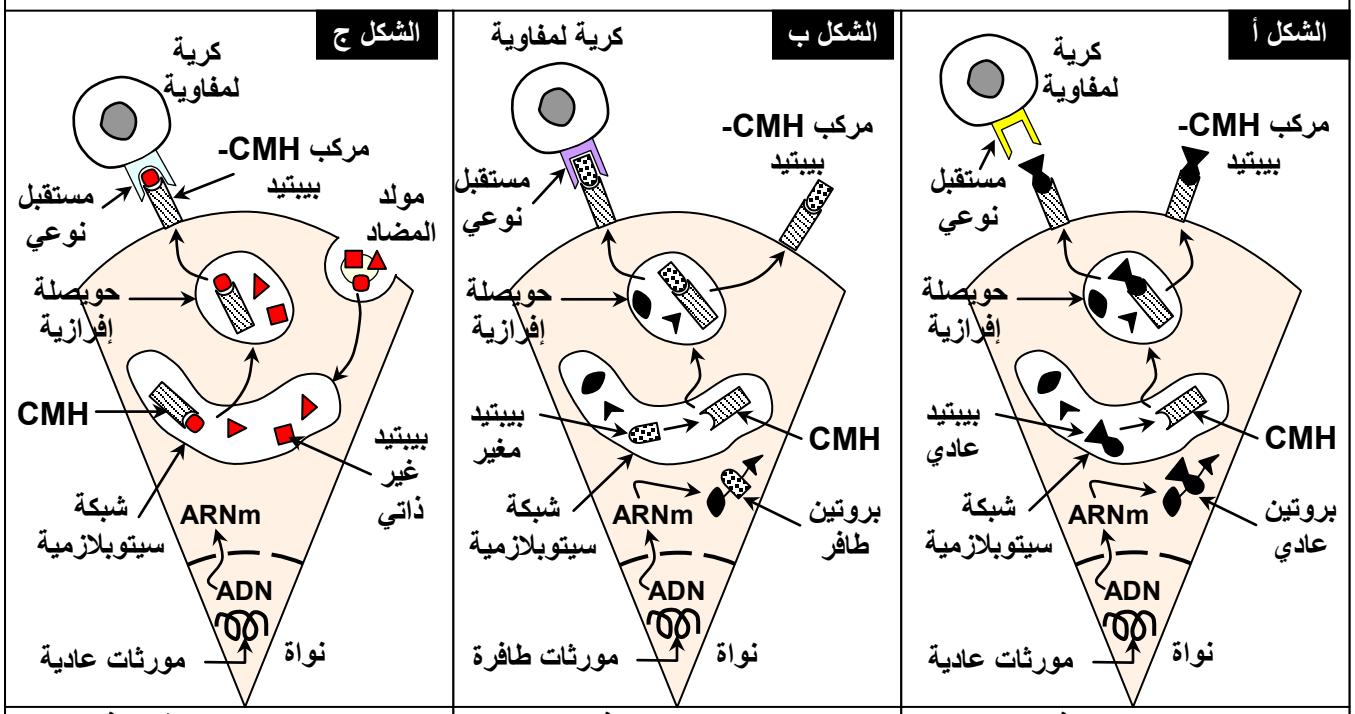
★ الكريات الحمراء الدموية، خلايا الطعم، ... الخ

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 خطاطة تركيبية توضح دور جزيئات CMH في عرض بيبتيدات الذاتي وغير الذاتي.
علق على هذه المعطيات مبرزا دور جزيئات CMH في كل حالة.



الشكل أ	الشكل ب	الشكل ج
التعليق: عرض ببيتيدات الذاتي على جزيئة CMH ⇦ عدم تعرف الكرية اللمفاوية ⇦ عدم شن الهجوم.	التعليق: عرض ببيتيدات الذاتي المغير على جزيئة CMH ⇦ تعرف الكرية اللمفاوية ⇦ شن هجوم.	التعليق: عرض ببيتيدات غير الذاتي على جزيئة CMH ⇦ تعرف الكرية اللمفاوية ⇦ شن الهجوم.

في جميع الخلايا تجزئ أنزيمات خاصة عينة من البروتينات الموجودة في السيتوبلازم إلى ببيتيدات، يرتبط كل ببيتيد بجزيئة CMH ويهاجر المركب ببيتيد - CMH إلى سطح الخلية، وهكذا تعرض الخلايا باستمرار محتواها الببيتيدي مما يمكن من حراسة مناعية:

★ إذا كانت الببيتيدات المعروضة منحدرة من بروتينات عادية للخلية فانه لا يحدث ارتباط بين الخلية العارضة والخلايا المناعية، وبالتالي لا تشن هذه الأخيرة هجوما على الخلية العارضة (غياب الاستجابة المناعية) الشكل أ.

★ إذا كانت الببيتيدات المعروضة منحدرة من بروتينات غير عادية للخلية (بروتين شاذ لخلية سرطانية الشكل ب، أو بروتين فيروسي، الشكل ج)، فانه يحدث ارتباط بين الخلية العارضة والخلايا المناعية، وبذلك تشن هذه الأخيرة هجوما 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 الببتيد 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 اللمفاوية ومضادات الأجسام.
للإشارة فمولد مضاد واحد يمكن أن يتفكك فيعطي عدة محددات مستضادية.

الوحدة الخامسة، 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

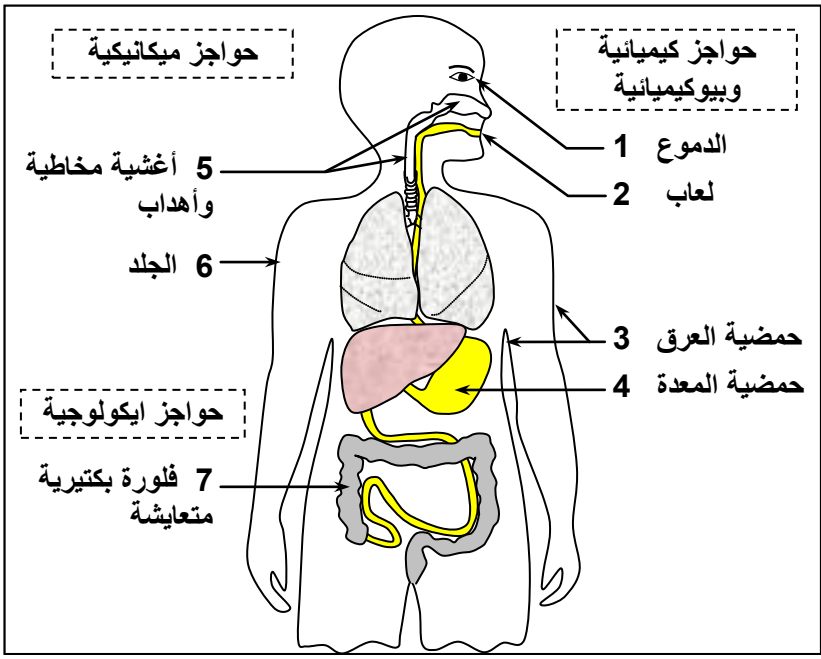
الوثيقة 1: الحواجز الطبيعية للجسم.

Les barrières naturelles de l'organisme

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.

1) تعرف على الحواجز الطبيعية للجسم، وصنفها حسب طبيعتها.

2) أعط تعريفا للاستجابة المناعية.



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، اذ يتألف من عدة طبقات، ويتجدد باستمرار فيتقشر 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.

✓ الافرازات الحمضية: تفرز المعدة عصارة حمضية (PH=1) تقضي على الجراثيم و تمنع تكاثرها. كذلك الافرازات 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 البكتيريات 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

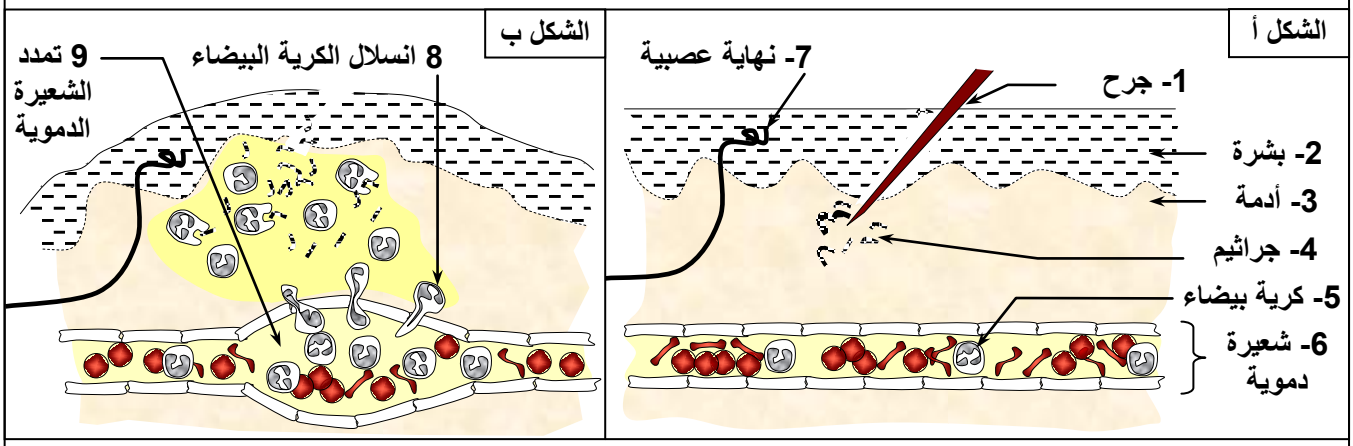
أ – نتائج جرح أو وخز الجلد: أنظر الوثيقة 2.

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. فلوحظ 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.



بعد إعطاء الأسماء المقابلة لأرقام هذه الوثيقة، ومقارنتك للشكلين، استخرج مختلف التغيرات التي تطرأ على الجلد خلال الاستجابة الالتهابية، ثم أعط تعريفا للاستجابة الالتهابية.

★ 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 ؟

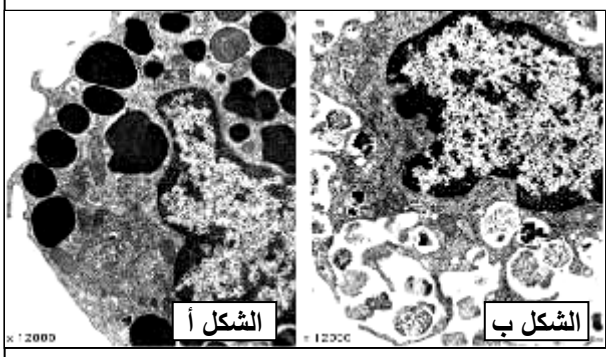
★ الاستجابة الالتهابية هي رد فعل الجسم اتجاه تعفن جرثومي، وهي وسيلة دفاعية غير نوعية، تهدف الى توجيه العناصر النشيطة للجهاز المناعي الى مكان التعفن (بؤرة الالتهاب).

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 البدينة = الخلايا العمادية Les mastocytes، تكون منتشرة في أنسجة الجسم وتتدخل في ردود الفعل الالتهابية.

★ يمثل الشكلان أمامه بنية خلية بدينة، 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.

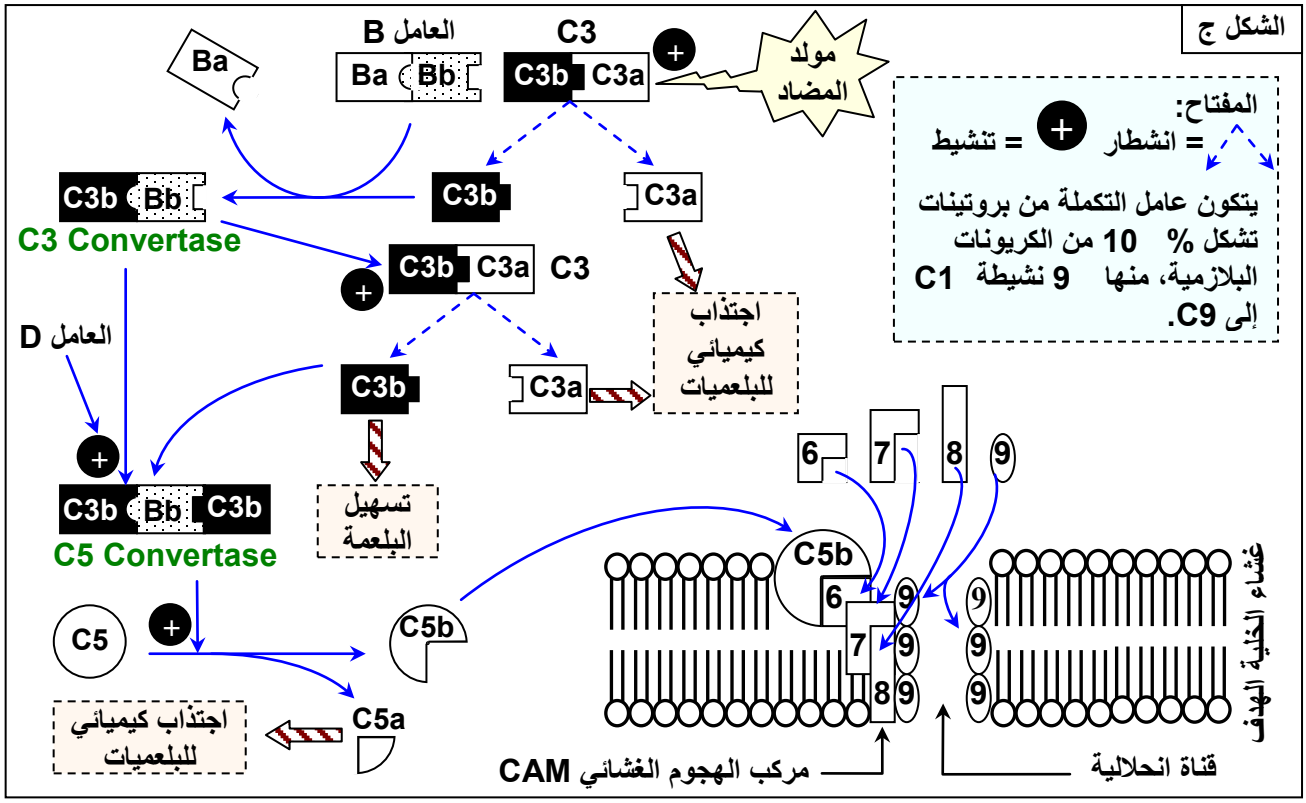
1) ماذا يمكنك استخلاصه من هذه المعطيات حول دور الهيستامين في الاستجابة الالتهابية؟

★ يعطي الجدول أسفله بعض الوسائط الكيميائية المتدخلة في الاستجابة الالتهابية.

الوسائط الالتهابية	المصدر الرئيسي	التأثير البيولوجي
الهيستامين	الخلايا البدينة والمحببات والقعدات	تمدد جدار الأوعية الدموية والزيادة في النفاذية وتضيق المسالك التنفسية
الكنين	الصفيحات الدموية	
البروستاكلاندين	الخلايا البدينة النسيجية	الزيادة في نفاذية الأوعية الدموية
C5a . C3a	جهاز عامل التكملة	الاجتذاب الكيميائي للوحيدات

2) ماذا تستخلص من معطيات هذا الجدول؟

★ يمثل الشكل ج من الوثيقة خطاطة تركيبية لمختلف مراحل تنشيط جزيئات عامل التكملة.



3) علق على هذه الخطاطة مبرزا 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 الى افراغ 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، وحدوث الالتهاب.

2) دور الكينين والبروستاكلاندين في الاستجابة الالتهابية:

بالإضافة إلى الهيستامين، تحرر عند الاستجابة الالتهابية وسائط التهابية أخرى كالبروستاكلاندين 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)انطلاقا من انشطار بروتين بلازمي تحت تأثير أنزيم ينشط بواسطة الجراثيم. وللكنين نفس تأثيرات الهيستامين.

3) دور بروتينات عامل التكملة في الاستجابة الالتهابية:

★ يتكون عامل التكملة من عدة بروتينات يتم تركيبها داخل أنسجة مختلفةمن الجسم (الظهار المعوي، الكبد، الطحال...) وتشكل هذه البروتينات حوالي 10% من الكريونات البلازمية، منها 9 نشيطة (C1 الى 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 منتوج كل تفاعل يحفز التفاعل الموالي له.
★ يؤدي تدخل مولد المضاد، إضافة إلى عوامل أخرى إلى تشكل أنزيمي C3 Convertase وC5 Convertase، اللذان يعملان على تركيب جزيئات C3a و C3b و C5a وC5b. فتعمل هذه الجزيئات بعد تشكلها على القضاء على مولد المضاد عبر ثلاثة ظواهر أساسية وهي:

✓ **دور محلل للخلايا action cytolytique.**

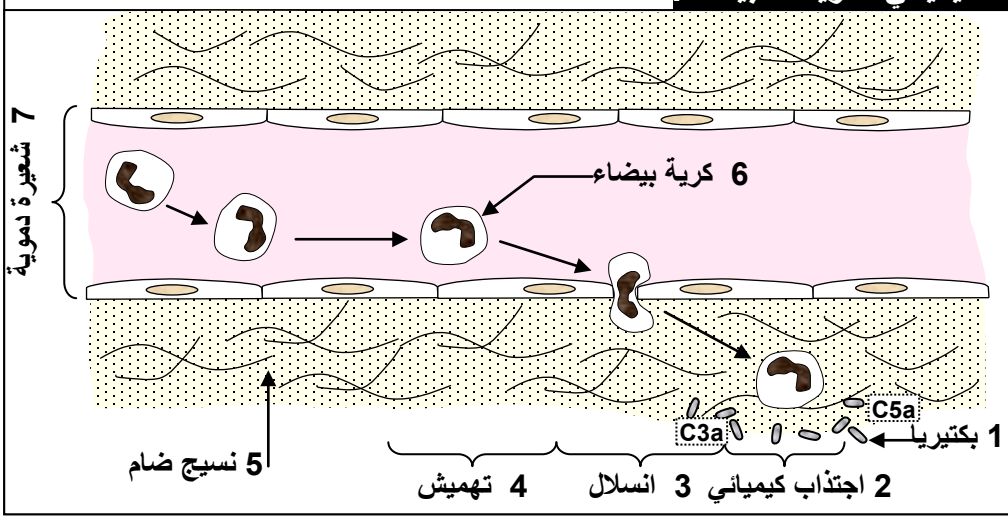
تندمج بعض أجزاء عامل التكملة (C9, C8, C7, C6, C5b) في غشاء الخلية الهدف، فتشكل قناة قطرها 10 nm نسميها مركب الهجوم الغشائي complexe d'attaque membranaire (CAM). عبر هذه القناة ينفذ الماء إلى الخلية الهدف، فتنفجر وينفلت منها المحتوى الداخلي مما يسبب إتلافها.

✓ **تنشط اجتذاب الكريات البيضاء نحو موقع الالتهاب chimiotactisme.** أنظر وثيقة 4.

الوثيقة 4: ظاهرة الاجتذاب الكيميائي للكريات البيضاء.

تعطي الوثيقة أمامه، رسوما تخطيطية تفسيرية لظاهرة الاجتذاب الكيميائي.

أتمم هذه الوثيقة ثم علق على هذه المعطيات مبرزا دور بروتينات عامل التكملة في اجتذاب الكريات البيضاء نحو موقع الالتهاب.

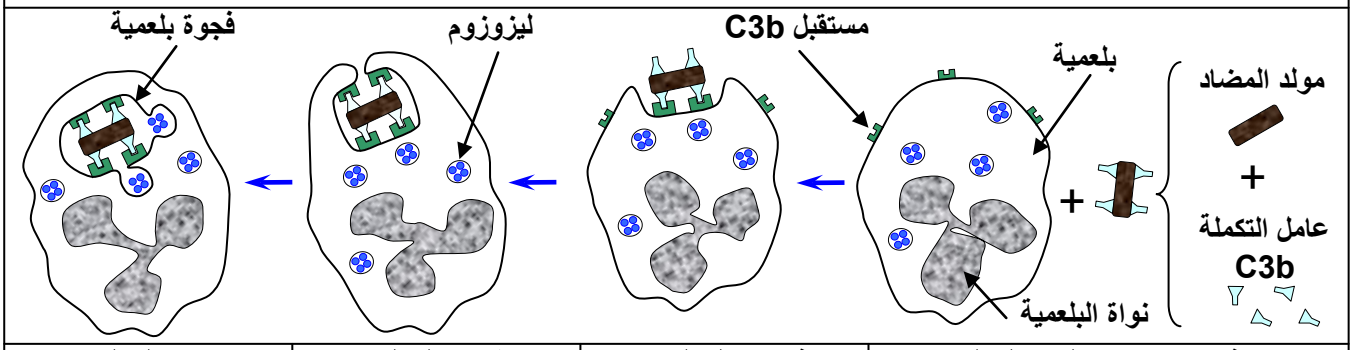


تحت تأثير البروستاكلاندين وأحد أجزاء عامل التكملة C3a وC5a، يتم كل من الانسلال والانجذاب الكيميائي. حيث تلتصق بعض الخلايا المناعية (المحببات أولا ثم الوحيدات) على الجدران الداخلية للشعيرات الدموية المجاورة لموقع الالتهاب، نتكلم عن ظاهرة التهميش. تغادر هذه الخلايا الشعيرات الدموية، فنتكلم عن ظاهرة الانسلال Diapédèse. بعد انسلالها تتجه الكريات البيضاء نحو موقع مولد المضاد بفضل ظاهرة الانجذاب الكيميائي.

✓ **تسهيل عملية البلعمة:** أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: تسهيل عملية البلعمة.

تبين الوثيقة أسفله دور بروتينات عامل التكملة في تسهيل عملية البلعمة.
أتمم هذه الوثيقة وحدد كيف يتدخل عامل التكملة في تسهيل بلعمة مولد المضاد.



❶ تثبيت (C3b) على مولد المضاد	❷ تثبيت مولد المضاد	❸ ابتلاع مولد المضاد	❹ هضم مولد المضاد

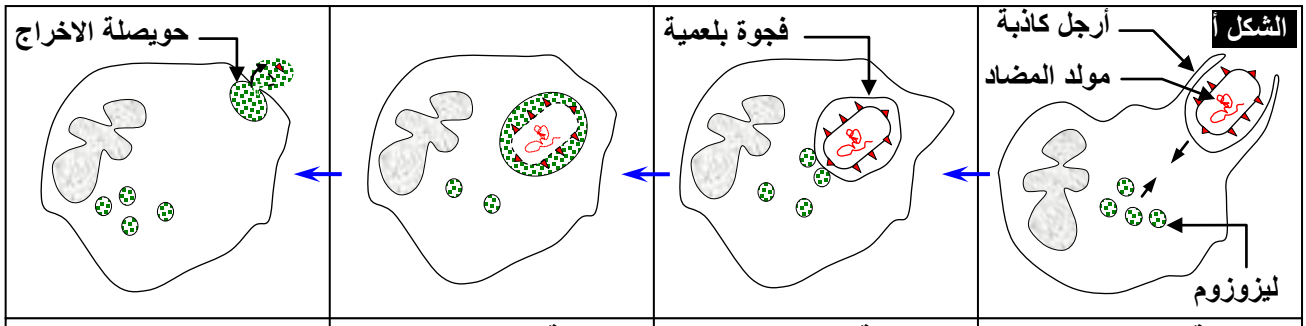
تثبت بعض أجزاء عامل التكملة (C3b) على الجراثيم والعناصر الأجنبية، وبعد الاجتذاب الكيميائي للخلايا البلعمية، تلتصق هذه الأخيرة بمولد المضاد بواسطة مستقبلات نوعية لـ(C3b)، الشيء الذي يساهم في تسهيل عملية البلعمة.

③ البلعمة La phagocytose: أنظر الوثيقة 6.

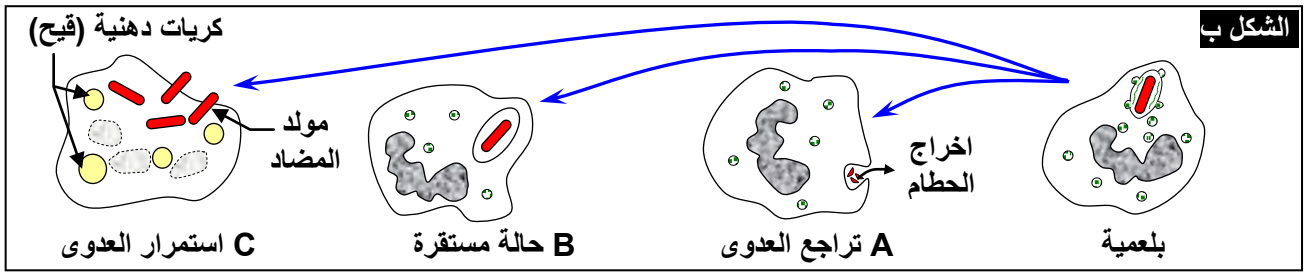
الوثيقة 6: تسهيل عملية البلعمة.

يعطي الشكل أ من الوثيقة رسما تخطيطيا لمراحل البلعمة. والشكل ب، رسما تخطيطيا لمختلف الحالات المحتملة بعد مراحل البلعمة.

1) بعد اعطاء الأسماء المناسبة لعناصر الوثيقة، عرف ظاهرة البلعمة، ثم سم كل مرحلة من مراحلها.
2) استخرج من خلال الشكل ب من الوثيقة، مختلف الحالات المحتملة بعد ظاهرة البلعمة.



❶ مرحلة التثبيت	❷ مرحلة الابتلاع	❸ مرحلة الهضم	❹ طرح بقايا مولد المضاد



أ – تعريف البلعمة:

البلعمة هي قدرة الخلية على ابتلاع عنصر غير ذاتي، وتتم بواسطة خلايا تسمى الخلايا البلعمية كالبلعميات 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 الليزوزمات Lysosomes بالفجوة البلعمية وتفرغ فيها محتواها الغني بالأنزيمات فيقع انحلال للعنصر الأجنبي المبتلع.

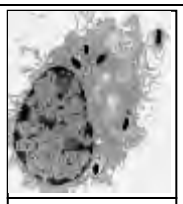
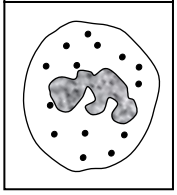
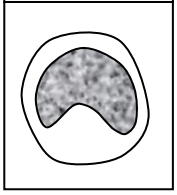
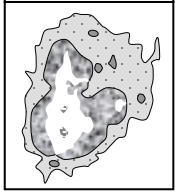
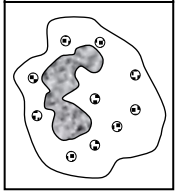
★ **مرحلة إخراج الحطام:** بعد هضمه وانحلاله، تطرح بقايا مولد المضاد خارج البلعمية.

ج – الحالات المحتملة بعد البلعمة:

في أغلب الأحيان تنتهي البلعمة بانحلال العنصر الأجنبي المبتلع، ولكن يمكن أن تفشل لأسباب متعددة نذكر من بينها: بكتيريات 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 المناعتية 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 الكترونغرافية ورسوما توضيحية، مع خصائص أهم الخلايا المناعية المتدخلة في الاستجابة المناعية غير النوعية.

ملاحظة الكترونغرافية				
رسم تفسيري للملاحظة الالكترونغرافية				
اسم الكرية البيضاء	المحببات = مفصصات النواة = متعدة النوى **Granulocytes**	الوحيدات **Monocytes**	البلعميات الكبيرة **Macrophages**	الخلايا البدينة = الخلايا العمادية **Mastocytes**
القطر ب (µm)	10 الى 15µm	15 الى 30µm	قد يصل 150µm	15µm
الخصائص	- نواة مفصصة. - سيتوبلازم حبيبي. - بإمكانها الانسلال	- نواة محدبة على شكل حدوة جواد. - بإمكانها الانسلال، حيث تتحول إلى بلعميات كبيرة.	- خلايا ضخمة ذات غشاء سيتوبلازمي جد منغمد. - لها قدرة كبيرة على الحركة.	- سيتوبلازم حبيبي يضم حبيبات الهيستامين. - تتحدر من المحببات
مواقع التواجد	في الدم واللمف	في الدم	في الأنسجة: الجلد، الكبد، الطحال، العقد اللمفاوية	في بعض الأنسجة والمخاطيات
الوظيفة	- البلعمة - إفراز مواد قاتلة للجراثيم	- البلعمة	قدرة كبيرة على البلعمة. - تساهم في المناعة النوعية (خلايا عارضة)	تحفز الالتهاب

تعرف على هذه الخلايا المناعية ودورها في الاستجابة المناعية غير النوعية.

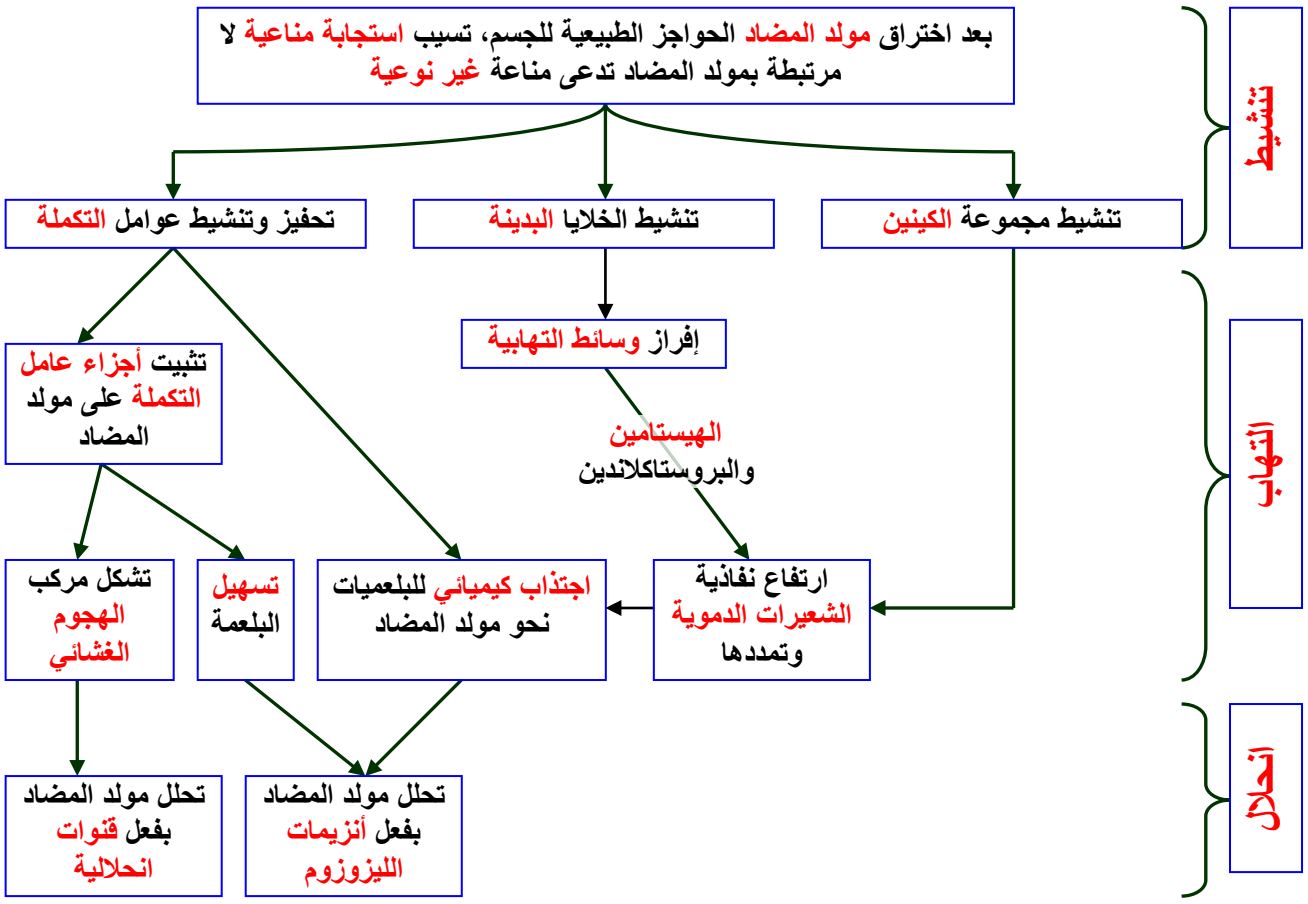
خلال الاستجابة المناعية غير النوعية، تتدخل مجموعة من الخلايا المناعيةللقضاء على مولد المضاد كيفما كان نوعه.
يمكن تصنيف هذه الخلايا المناعية المتدخلة إلى صنفين أساسيين، هما المحببات والوحيدات.

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.

الوثيقة 8: خطاطة تركيبية لالية الاستجابة المناعية غير النوعية

تعطي الوثيقة أسفله، خطاطة تركيبية لالية الاستجابة المناعية غير النوعية. أتمم هذه الخطاطة.



II – وسائل الدفاع النوعية:

يتعرض الإنسان لعدة أنواع من الامراض الجرثومية، إلا أنه يُعافى منها عموما 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 خاصيات 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
❶	حقن سمين الكزاز ← يموت الفأر	A
❷	حقن دوفان الكزاز ← حقن سمين الكزاز ← يبقى الفأر سليما	B
❸	حقن دوفان الكزاز ← حقن سمين الديفتيريا ← يموت الفأر	C
❹	فأر سليم S_1: حقن دوفان الكزاز ← فأر سليم S_2: حقن مصل الفأر S_1 ← الفأر S_2: حقن سمين الكزاز ← الفأر S_2: يبقى الفأر سليما	D

b – حل التمرين:

★ تحليل واستنتاج:

التجربة ❶: يموت الفأر الشاهد بعد حقنه بسمين الكزاز مما يدل على أن الفئران تتأثر بسمين الكزاز.

التجربة ❷: يبقى الفأر سليما رغم حقنه بسمين الكزاز مما يدل على أن ذوفان الكزاز قام بتمنيعه ضد سمين الكزاز.

التجربة ❸: يموت الفأر الممنع ضد الكزاز بعد حقنه بسمين الدفتيريا مما يدل على أن ذوفان الكزاز لا يعطي مناعة ضد سمين الدفتيريا أي أن هناك تمنيعا نوعيا Réponse Immunitaire spécifique.

التجربة ❹: يبقى الفأر S_2 سليما رغم حقنه بسمين الكزاز، هذا يدل على أن مصل الفأر S_1 يحتوي على مادة لها القدرة على حماية الفأر S_2 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 الممنع، 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 ذوفان الكزاز لا تحمي إلا من سمين الكزاز وليس من أي سمين أخر. لذلك نسمي السمين هنا بمولد المضاد Antigène، حيث يولد استجابة ضده تتم بواسطة مادة توجد في المصل و تسمى بمضاد الأجسام Anticorps.

c – خلاصة :

يتدخل الجهاز المناعي للتصدي بصفة نوعية للعناصر الدخيلة، التي لم تقضي عليها الاستجابة المناعية غير النوعية. ويكون هذا التصدي النوعي إما عن طريق وسيط خلوي يتمثل في الكريات اللمفاوية، أو عن طريق وسيط خلطي، يتجلى في مادة تنتقل عبر المصل تسمي مضادات الأجسام.

ب – الذاكرة المناعية: Mémoire immunitaire

a – الكشف عن الذاكرة المناعية: أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: الكشف عن الذاكرة المناعية.

تتميز الاستجابة المناعية النوعية، بخاصية مهمة تدعى الذاكرة المناعية. لمعرفة المقصود بهذه الخاصية وأهميتها في الاستجابة المناعية النوعية، نقترح دراسة الملاحظات والمعطيات التجريبية التالية:

★رفض التطعيم الجلدي عند الفأر:

نقوم عند الفئران بالتجارب الممثلة على الجدول التالي، حيث أن الفأران A وB ليس لهما نفس CMH، والفأران B وc لهما نفس CMH.

التجربة	التجارب ونتائجها	الاستنتاجات
1	الفأر A — تطعيم جلدي — الفأر B ← الفأر B — رفض الطعم بعد 10 إلى 12 يوما	A
2	الفأر A — تطعيم جلدي ثاني بعد بضع أسابيع — الفأر B ← الفأر B — رفض الطعم بعد 2 إلى 3 أيام	B
3	حقن لمفاويات الفأر B لفأر C بعد رفض الطعم — تطعيم جلدي — الفأر C ← الفأر C — رفض الطعم بعد 2 إلى 3 أيام	C

1) حلل هذه المعطيات التجريبية ثم أعط الاستنتاج الخاص بكل تجربة.

★ معطيات عن مرض الحصبة Rougeole:

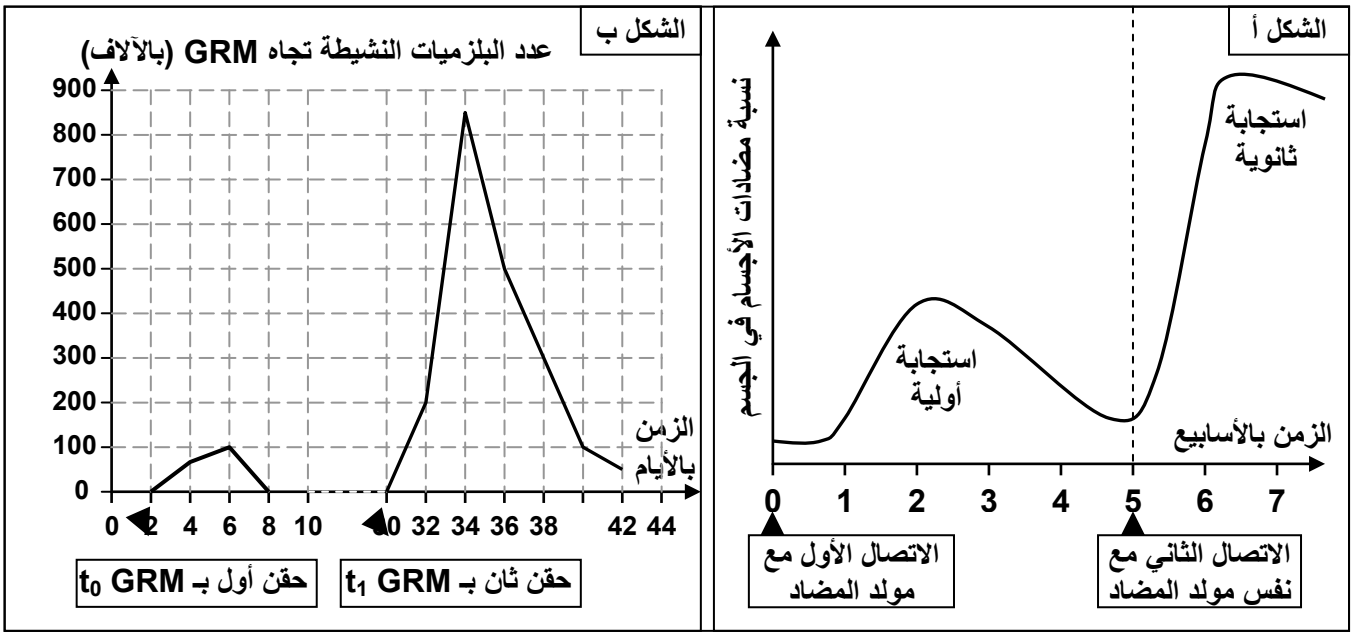
في سنة 1781، انتشرت عدوى الحصبة في جزر Féroé (الدانمرك)، ولم تسجل أية حالة من هذا المرض خلال الخمس وسبعين سنة التي تلتها. ثم ظهرت عدوى ثانية أصيب فيها 75 % إلى 79 % من ساكنة هذه الجزر، وقد لاحظ الطبيب L.Panum أنه من بين الأشخاص المسنين الذين يسكنون جزر Féroé، والذين سبق لهم أن أصيبوا بمرض الحصبة سنة 1781، لم يصب أحد منهم مرة ثانية. ولاحظ كذلك أن الأشخاص المسنين الذين لم يصابوا بالحصبة سنة 1781 يصابون بالمرض إذا تعرضوا للعدوى.

★ لتفسير الملاحظات التاريخية حول مرض الحصبة، نقوم بقياس، تطور تركيز مضادات الأجسام النوعية في الدم عند القنية، اثر حقنها بحقنتين متتاليتين لنفس مولد المضاد. يعطي مبيان الشكل أ نتائج هذه التجربة.

2) قارن بين الاستجابة المناعية الأولية والاستجابة المناعية الثانوية. ثم وظف هذه المعطيات لتفسير الملاحظة التاريخية حول مرض الحصبة.

★ حقنت مجموعة من الفئران بكريات حمراء للخروف GRM (تلعب دور مول المضاد)، ثم استعملت تقنية باحات انحلال الدم لقياس عدد البلزميات المفرزة لمضادات الأجسام Anti–GRM. فحصلنا على النتائج المبينة على مبيان الشكل ب.

3) حلل المعطيات الواردة في هذه التجربة واستنتج العناصر المسؤولة عن الذاكرة المناعية.



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 نسبيا.

★ **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 القنية ضعيفة. نفسر 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.

نفسر هذه النتائج بكون 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.

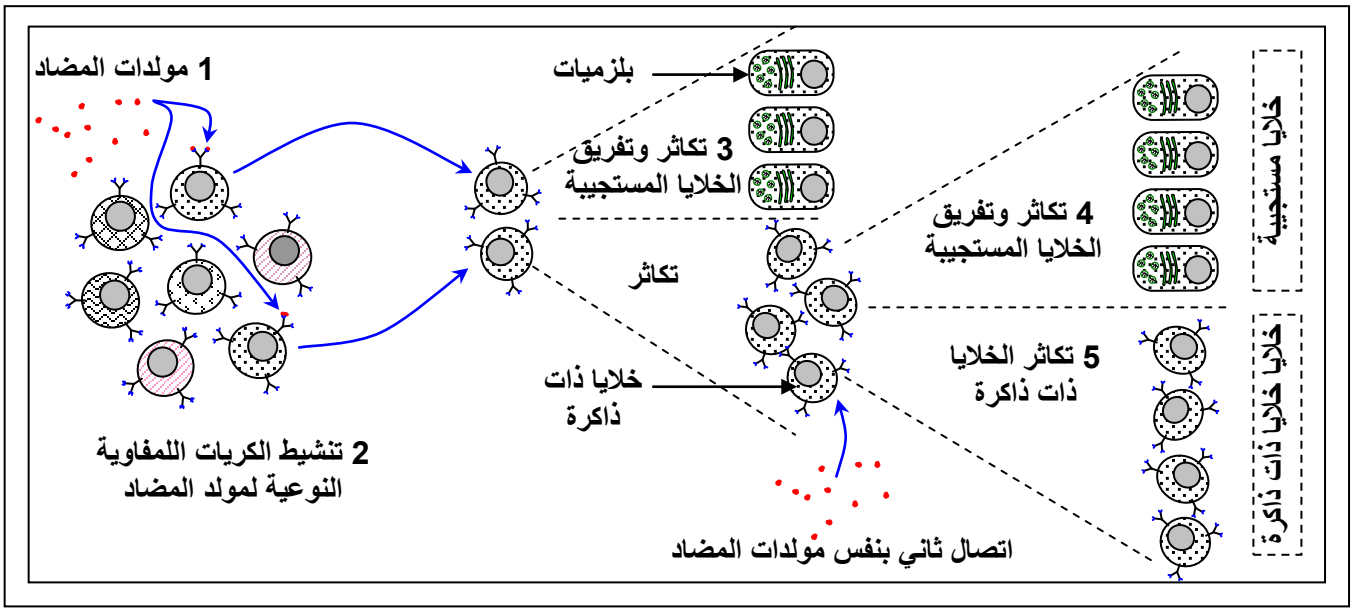
3) نلاحظ أن عدد البلزميات المفرزة لمضادات الأجسام Anti–GRM يكون ضعيفا خلال الاستجابة الأولية، فيرتفع خلال الاستجابة الثانوية. نستنتج من هذه المعطيات أنه خلال الاستجابة المناعية الأولية تتوقف عدة خلايا مناعية عن التفريق لتكون خلايا لمفاوية ذات ذاكرة.

b – آلية الذاكرة المناعتية: أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 11: الية الذاكرة المناعية.

تعطي الوثيقة أسفله، رسما تخطيطيا تفسيريا لالية 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 التفريق 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.

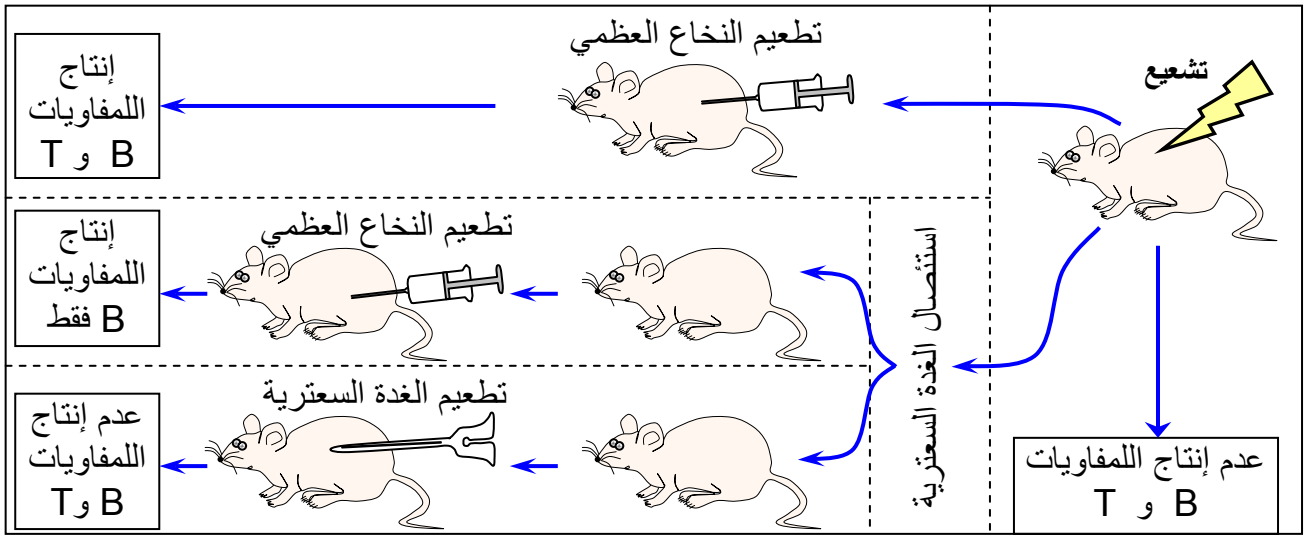
② الأعضاء والخلايا المناعية المتدخلة خلال الاستجابة المناعية النوعية.

أ – الخلايا المناعية:

a – أصل الخلايا المناعية: أنظر الوثيقة 12.

الوثيقة 12: أصل الخلايا المناعية.

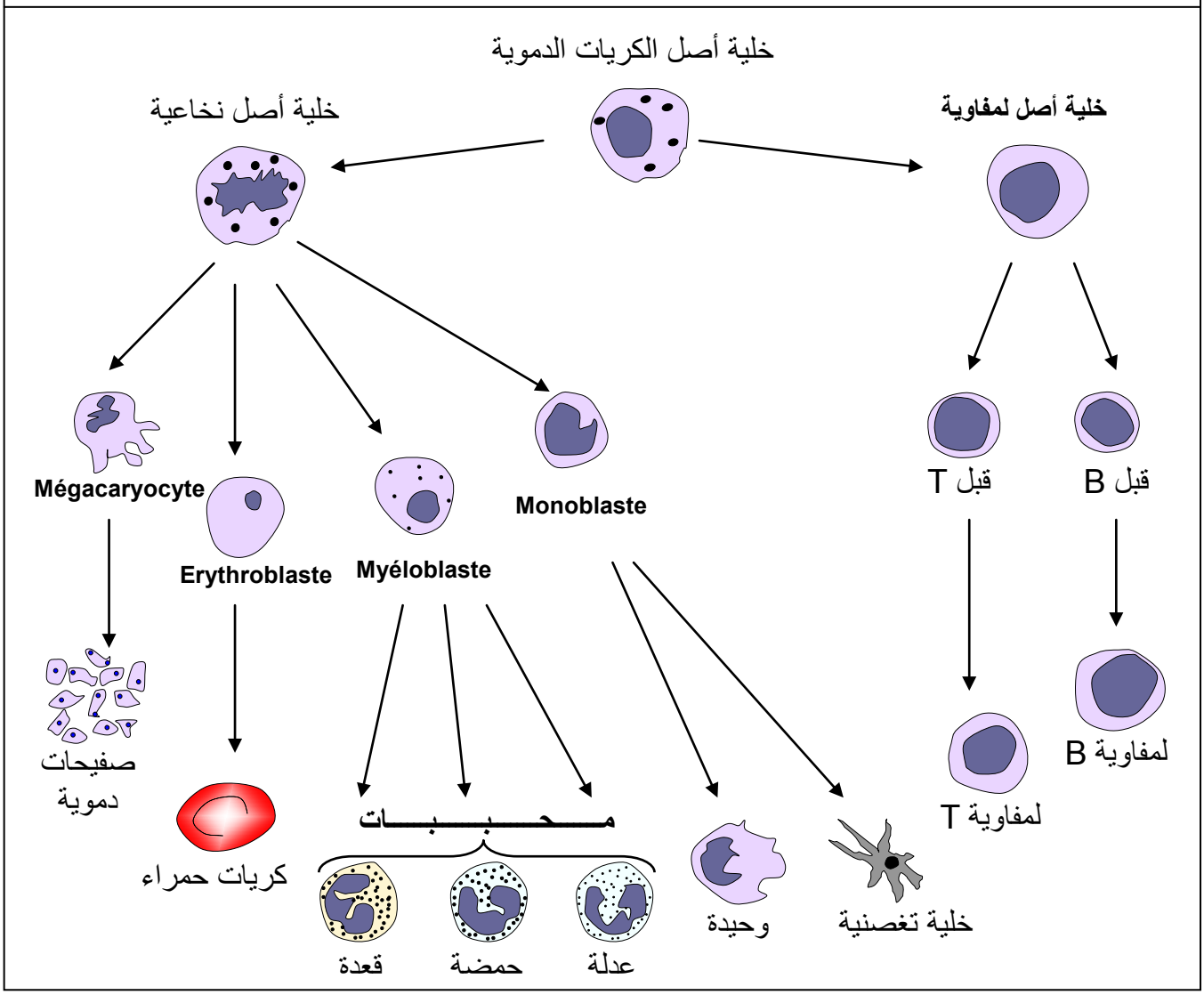
يمكن إلغاء جميع الاستجابات المناعية بعد تعريض الجسم لجرعة قوية من الإشعاعات المأينة Rayons ionisants. موازاة مع ذلك نلاحظ انخفاضا في عدد الكريات اللمفاوية في جميع العقد اللمفاوية، وتتوقف الانقسامات غير المباشرة في النخاع العظمي La moelle osseuse.
انطلاقا من هذه المعطيات والمعطيات التجريبية أسفله، بين أصل الخلايا المناعية، ومكان نضج هذه الخلايا.



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 وتنضج داخل النخاع العضمي (التسمية B من Bone أي عظم).
الكريات اللمفاوية T: تنتج داخل النخاع العظمي، وتنضج بالغدة السعترية (التسمية T من Thymus أي سعترية).

b – أصناف الخلايا المناعية: أنظر الوثيقة 13 والوثيقة 14.

الوثيقة 13: أصناف الخلايا المناعية. يبين الرسم التخطيطي أسفله أصل مختلف أصناف الكريات الدموية.
أول هذه المعطيات مبينا أصل الخلايا المناعية.



تتكون الكريات اللمفاوية، على غرار جميع خلايا الدم (الكريات البيضاء المتدخلة في المناعة غير النوعية، الكريات الحمراء، الصُّفيحات الدموية...)، على مستوى النخاع العظمي الأحمر انطلاقا من الخلايا الأصل للكريات الدموية، والتي تتجدد باستمرار طيلة العمر. (ينتج النخاع العظمي يوميا حوالي $1.75.10^{11}$ كرية حمراء و7.10^{10} كرية بيضاء).

★ تخضع الخلايا الأصل النخاعية للتفريق لتعطي أنماطا مختلفة من الكريات البيضاء:
المحببات، الوحيدات، الخلايا التغصنية...

★ تخضع الخلايا الأصل اللمفاوية للتفريق لتعطي:

❖ الكـــــريات اللمفاوية B: تستقر في العقد اللمفاوية Ganglions lymphatiques والطحال Rate. وتملك مستقبلات نوعية، تسمى المستقبلات B أو BCR (B Cell Receptor).

❖ الكـــــريات اللمفاوية T: تستقر في العقد اللمفاوية والطحال، وتملك مستقبلات تتعرف على أجزاء بيبتيدية من مولد المضاد (محددات مستضادية)، وتسمى المستقبلات T أو TCR (T Cell Receptor).

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.

نوع الخلايا	كريات بيضاء متعددة النوى Polynucléaires محببات Granulocytes			كريات بيضاء وحيدة النواة Mononucléaires	
	عدلات Neutrophiles	حمضات Eosinophiles	قعدات Basophiles	الوحيدات Monocytes	كريات لمفاوية Lymphocytes
قدها بـ mμ	10 – 12	10 – 12	9 - 10	14 - 20	7 - 8
عدد الخلايا في mm^3 من الدم	7000 -2000 حوالي 45% إلى 70%	300 -50 حوالي 1% إلى 3%	50 -10 حوالي 0% إلى 0.5%	700 -100 حوالي 3% إلى 7%	4000 -1400 حوالي 20% إلى 45%
	العدد الكلي هو حوالي 4000 عند ♂ و 10000 عند ♀				
أصلها	النخاع العظمي أو كبد الحميل				
مكان تواجدها	الدم و اللمف والأنسجة	الدم و اللمف والأنسجة	الدم واللمف وتتحول إلى خلايا بدينة في الأنسجة	الدم واللمف وتتحول إلى بلعميات في الأنسجة	الدم واللمف والأعضاء اللمفاوية المحيطية
دورها	بلعمة وتدمير البكتيريات الدخيلة	تدمير الطفيليات	تنظيم الاستجابات الالتهابية	تتحول إلى بلعميات تقوم ببلعمة العناصر الدخيلة	تتدخل في الاستجابات المناعتية النوعية

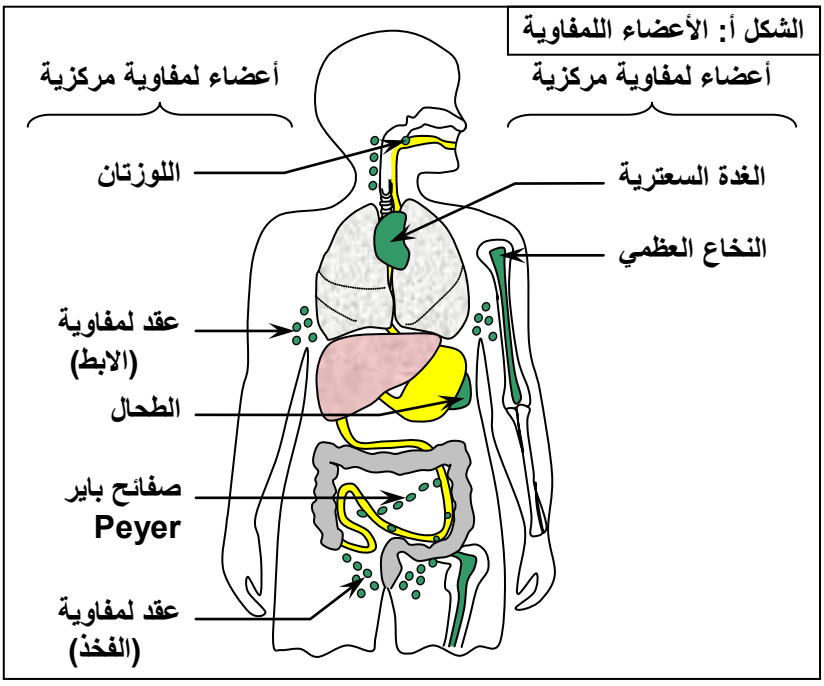
تصنف الكريات البيضاء حسب بنيتها وتفاعلها مع بعض الملونات الى محببات (متعددات النوى) والوحيدات، والكريات اللمفاوية، والخلايا التغصنية.

ب – الأعضاء اللمفاوية ودورها: أنظر الوثيقة 15.

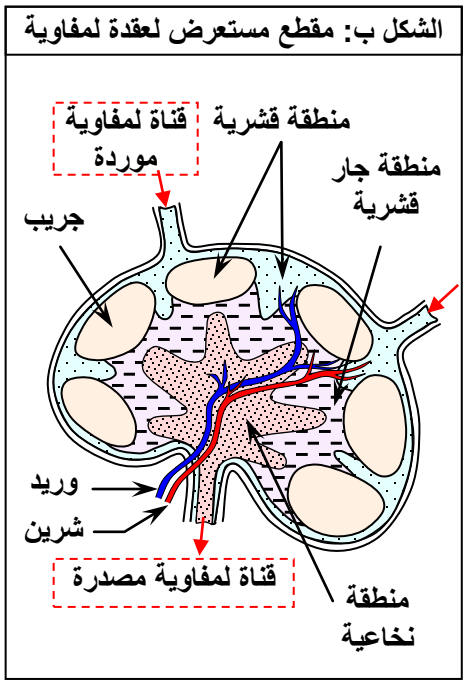
الوثيقة 15: الأعضاء اللمفاوية. للتعرف على الأعضاء اللمفاوية المتدخلة خلال الاستجابة المناعية النوعية ودورها، نقترح دراسة الوثيقة التالية: يمثل الشكل أ من الوثيقة مختلف أعضاء الجهاز اللمفاوي. والشكل ب رسما تخطيطيا لمقطع مستعرض لأحد الأعضاء اللمفاوية.

بعد اعطاء عناصر هذه الوثيقة، ومن خلال هذه المعطيات، صنف مختلف أعضاء الجهاز اللمفاوي.

الشكل أ: الأعضاء اللمفاوية



الشكل ب: مقطع مستعرض لعقدة لمفاوية



★ تسمى مخلف الأعضاء المتدخلة في الاستجابة المناعية بالأعضاء اللمفاوية، وهي التي ستشكل مع الكريات اللمفاوية وباقي الكريات البيضاء الجهاز المناعي.

★ يمكن تقسيم الأعضاء اللمفاوية أو أعضاء الجهاز المناعي إلى:

✓ أعضاء لمفاوية ***مركزية***: وهي النخاع العظمي الأحمر المسؤول عن انتاج الكريات اللمفاوية، والغدة السعترية.

✓ أعضاء لمفاوية ***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، وتربط مختلف الأعضاء اللمفاوية.

★ بعد نضجها في الأعضاء اللمفاوية المركزية، تنتقل اللمفاويات T وB بواسطة الدورة الدموية نحو مختلف أنسجة الجسم، لتُشكل بعد تسربها عبر الشعيرات الدموية، مع البلازما، ما يسمى اللمف البيفرجي.
ينتقل هذا اللمف داخل الأوعية اللمفاوية، ثم يُنقل نحو مختلف الأعضاء اللمفاوية المحيطية، حيث يتم على مستواها تخزين وتكاثر اللمفاويات T وB ، وكذلك التعرف على عناصر غير الذاتي (مولدات المضاد). يعود بعد ذلك اللمف البيفرجي إلى الدورة الدموية حاملا معه الخلايا المناعية الناضجة.

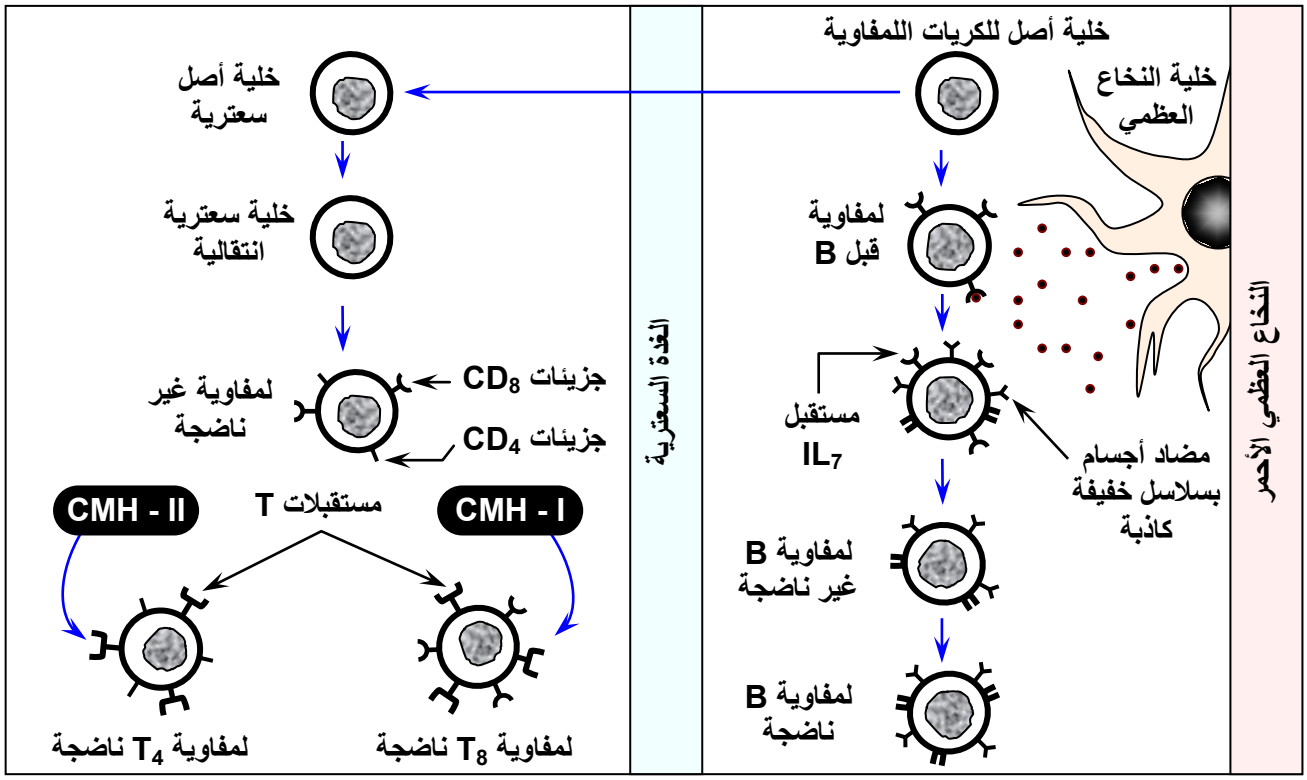
③ اكتساب الكفاية المناعية L'immunocompétence.

أ – مراحل نضج اللمفاويات B وT:

a – ملاحظات: أنظر الوثيقة 16.

الوثيقة 16: مراحل نضج الكريات اللمفاوية B وT.

قصد التعرف على مختلف التغيرات التي تطرأ على الخلايا اللمفاوية وكيفية اكتساب كفايتها المناعية داخل الأعضاء اللمفاوية المركزية، نقترح المعطيات الممثلة على الرسم التخطيطي التالي:



حلل معطيات الوثيقة وبين أين يتجلى اكتساب الكفاية المناعية من طرف اللمفاويات؟

b – تحليل واستنتاج:

يتجلى نضج الكريات اللمفاوية B وT 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 النخاع العظمي، حيث تركب 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 النخاع العظمي.

✓ تكتسب الكريات اللمفاوية T كفايتها المناعية في الغدة السعترية، حيث تركب 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:

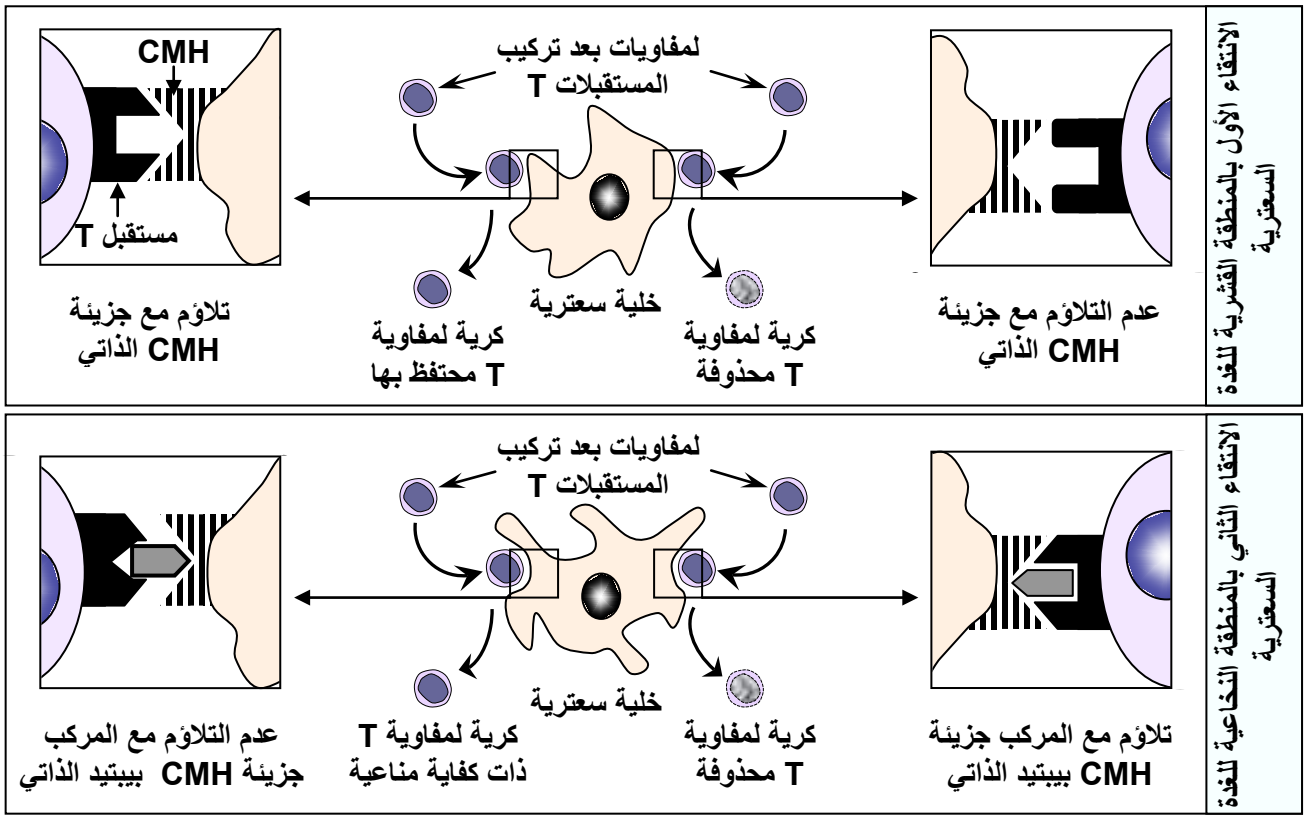
- الكريات اللمفاوية التي تتفاعل وترتبط بـII – CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD_4 وTCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T_4.
- الكريات اللمفاوية التي تتفاعل وترتبط بـI – CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD_8 وTCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T_8.

ب – انتقاء الكريات اللمفاوية T ذات الكفاية المناعية:

a – ملاحظات: أنظر الوثيقة 17.

الوثيقة 17: انتقاء الكريات اللمفاوية T ذات الكفاية المناعية.

أثناء نضج الكريات اللمفاوية T بالغدة السعترية، تنتقى اللمفاويات ذات الكفاية المناعية.
تعطي الوثيقة أسفله، رسوما تخطيطية توضيحية لالية انتقاء الكريات اللمفاويات T ذات الكفاية المناعية.
انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة، بين كيف يتم هذا الانتقاء.



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 بـII – CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD_4 وTCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T_4.
★ الكريات اللمفاوية التي تتفاعل وترتبط بـI – CMH لن تنتج بعد ذلك إلا جزيئة CD_8 وTCR وتسمى بذلك كريات لمفاوية T_8.
★ 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 بيبتيدات الذاتي معروضة على جزيئة CMH إلى الكريات اللمفاوية، فنجد أن:

★ الكريات اللمفاوية التي سوف تتعرف بواسطة مستقبلاتها T على بيبتيدات الذاتي وترتبط بها، تحذف وتموت.
★ الكريات اللمفاوية التي لن تتعرف بواسطة مستقبلاتها T على بيبتيدات الذاتي، وبالمقابل سوف تتعرف على بيبتيدات غير الذاتي، فإنها تعيش وتصبح كرية لمفاوية ناضجة.

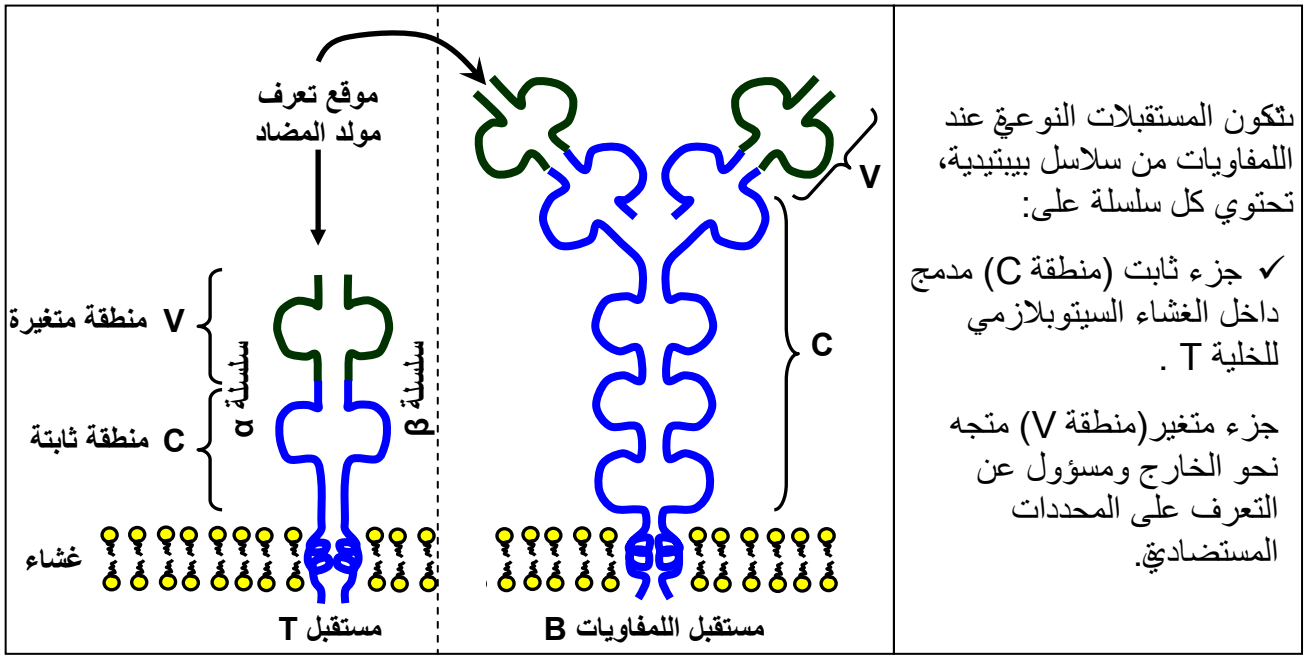
ويسمى هذا الانتقاء بالانتقاء السلبي، لأن الذي يتفاعل مع الذاتي يموت والذي لا يتفاعل مع الذاتي يحتفظ به.

ج – البنية الجزيئية لمستقبلات اللمفاويات B وT:

a – ملاحظات: أنظر الوثيقة 18.

الوثيقة 18: البنية الجزيئية لمستقبلات اللمفاويات B وT.

يتجلى نضج الكريات اللمفاوية B وT في تركيبها لمستقبلات بروتينية نوعية تتموضع على سطحها. وتتميز هذه المستقبلات اللمفاوية بالنوعية، بين ذلك مستعينا بمعطيات الوثيقة أسفله.



b – تحليل واستنتاج:

★ تركب 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 موضعا لتثبيت المحدد المستضادي، مما يدل على نوعية مضادات الأجسام تجاه مولد مضاد معين.

★ تركب 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 بيبتيدات 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

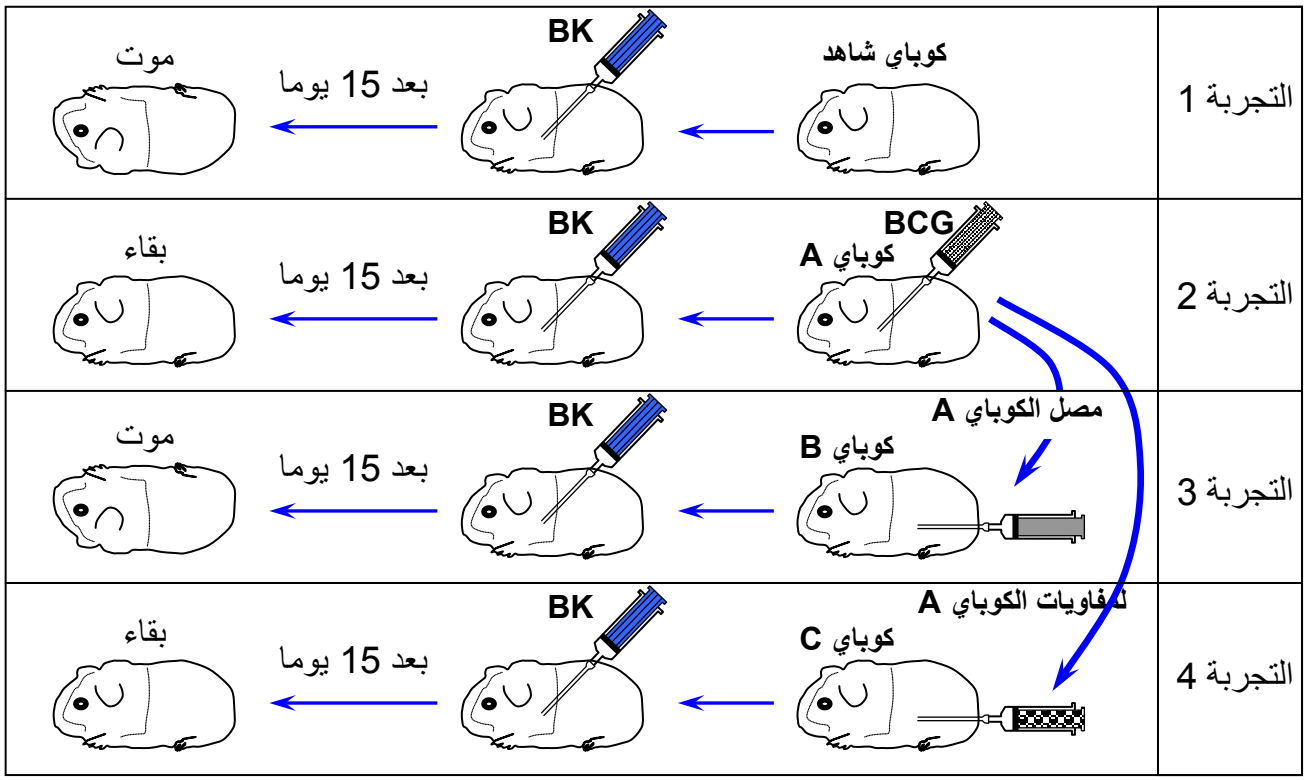
أ – تجربة نقل المناعة:

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 تدعى 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 وGuérin، انطلاقا من عصيات مرض سل الأبقار، فسمي هذا الشكل BCG (Bacille de Calmette Guérin) وهو يحدث استجابة مناعية دون إحداث المرض.

تم القيام بتجارب على كوبايات A وB وC لها نفس CMH أي أنها سلالات متلائمة نسيجيا. فحصلنا 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 عنصرا غير ذاتي (مولد المضاد).

★ بعد حقن BCG يبقى الكوباي A سليما عند حقنه ب BK، مما يدل على أن BCG أحدثت عند الكوباي A تمنيعا ضد بكتيريا BK.

★ يموت الكوباي B بعد حقنه ب BK، رغم أنه حصل على مصل 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 سليما 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 H_2k).

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:

أوساط الزرع (خلية عائلة) / مصدر اللمفاويات T	مولد مضاد الحمة A	مولد مضاد الحمة B	خلية غير معفنة
أخذ كريات لمفاوية T L_T	L_T عدم التحطيم	L_T عدم التحطيم	L_T عدم التحطيم
حقن الحمة A، أخذ اللمفاويات T بعد أسبوع من الحقن L_T	L_T تحطيم	L_T عدم التحطيم	L_T عدم التحطيم
حقن الحمة B، أخذ اللمفاويات T بعد أسبوع من الحقن L_T	L_T عدم التحطيم	L_T تحطيم	L_T عدم التحطيم

الحمة A — الحمة B — محددات مستضادية للحمة A — محددات مستضادية للحمة 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 بالحمة A فقط، والتي سبق التعرف عليها.

★ خلال التجربة الثالثة تعمل الكريات اللمفاوية L_T على تحطيم الخلايا المعفنة بالحمة B فقط، والتي سبق التعرف عليها.

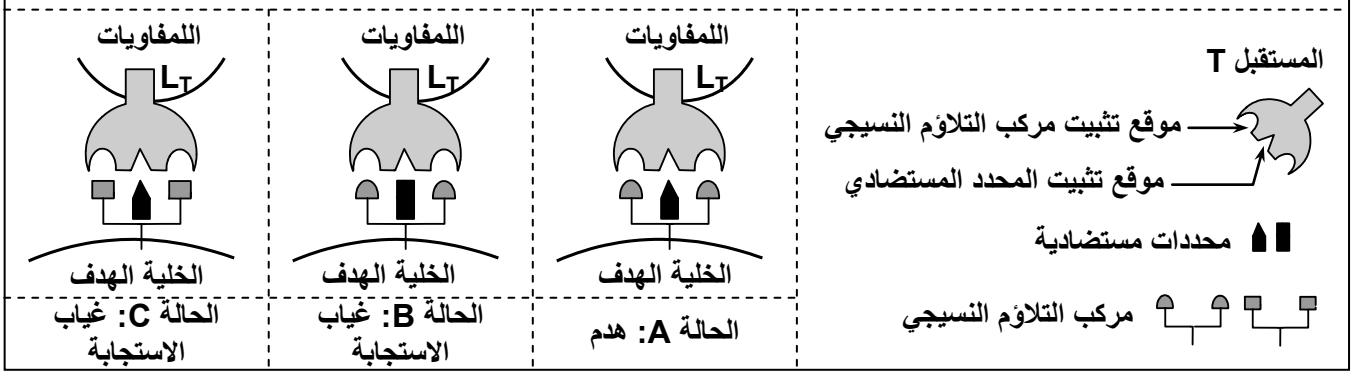
★ عند استعمال خلايا لا تحمل نفس مركب التلاؤم النسيجي H_2k، لا يتم تدمير أي خلية من طرف اللمفاويات L_T.

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. تنعت اذن هذه الخلايا باللمفاويات T القاتلة، ونرمز لها بـ T_C (Lymphocyte T cytotoxique)، 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.

الوثيقة 21: الية التعرف المزدوج عند اللمفاويات T.

تمثل الأشكال أسفله رسوما تفسيرية لنتائج تجارب الوثيقة 20، حدد في أي حالة يحدث تحطيم الخلية الهدف.



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.

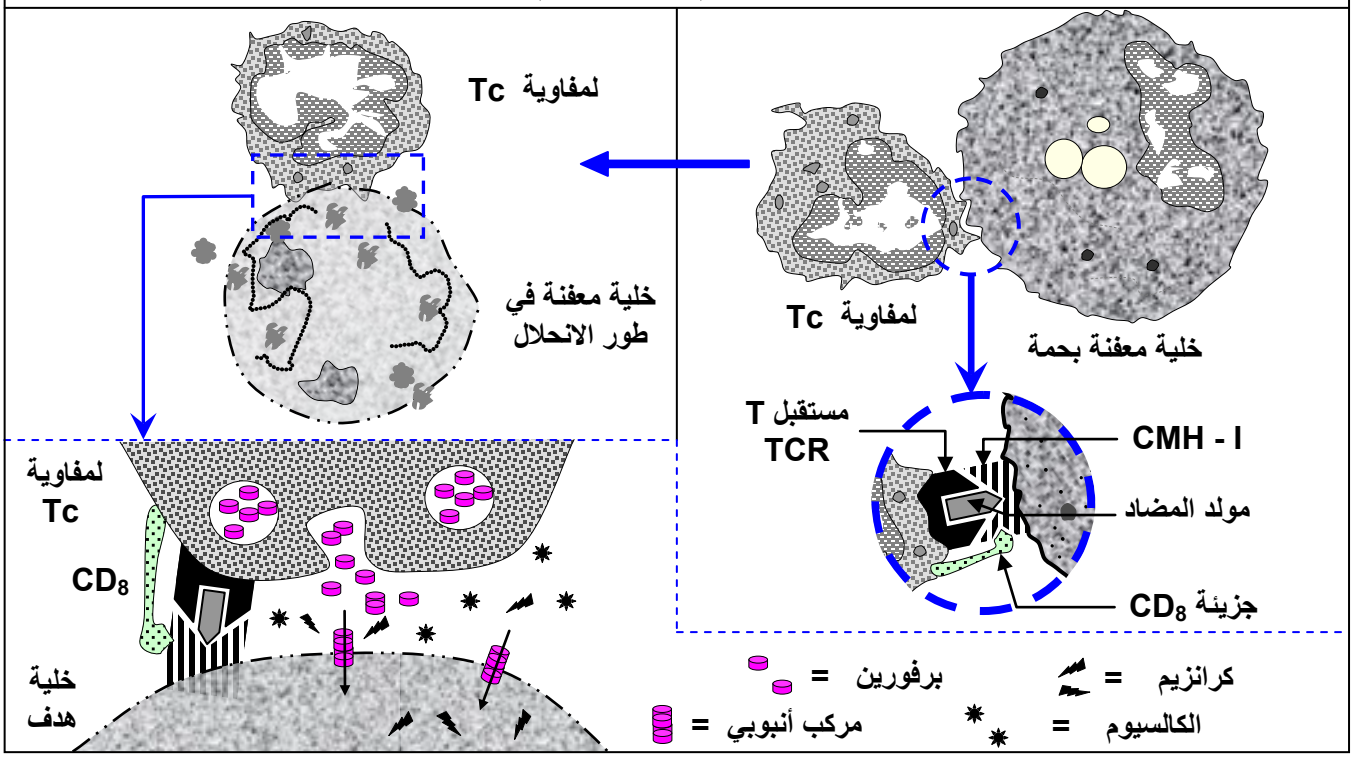
إذا حصل هذا التثبيت المزدوج بين الكرية اللمفاوية T والخلية الهدف والذي لا يحصل إلا إذا كان هناك تكامل بنيوي بين مواقع التثبيت والعنصر المثبت، تكون الكرية اللمفاوية قد تعرفت على الخلية الهدف فتبدأ عملية تنفيذ الهجوم.

ج – آليات الاستجابة المهلكة للخلايا:

★ لتحديد مراحل الية الاستجابة المهلكة للخلايا، نعطي الأشكال الممثلة على الوثيقة 22.

الوثيقة 22: تعرف اليات الاستجابة المهلكة للخلايا.

انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة أبرز كيف تتعرف اللمفاويات Tc على الخلايا الهدف، ثم فسر الية هدم الخلايا الهدف من طرف اللمفاويات Tc.



★ يتضح من خلال معطيات الوثيقة، أن اللمفاويات 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. وتساهم 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، فتنتقل إلى العقد اللمفاوية حيث يتم الانتقاء اللمي للكريات اللمفاوية T النوعية للمحددات المستضادية المعروضة بواسطة خلايا CPA:

- اللمفاويات T_8 تتعرف على المحدد المستضادي المعروض من طرف CMH-I.
- اللمفاويات 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 اللمفاوية T_4 وT_8 النوعية للمحدد المستضادي.

- ✓ يؤدي تنشيط الكريات اللمفاوية T_4 إلى تكاثرها و إفرازها لوسيط مناعي هو الانترلوكين 2 (IL_2). وIFNγ (Interféron).
- ✓ يؤدي تنشيط الكريات اللمفاوية 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 اللمفاوية T_8 المتوفرة على المستقبلات الخاصة بالأنترلوكين 2 بواسطة IL_2. فتتكاثر هذه الكريات اللمفاوية مكونة لمات Des Clones، كل لمة تكون ناتجة عن كرية لمفاوية واحدة فنتكلم بذلك عن مرحلة التوسع اللمي Expansion clonale.

⇦ **مرحلة التفريق:** Période de différenciation

خلال هذه المرحلة تتحول الكريات اللمفاوية T_8 إلى كريات لمفاوية مهلكة الخلايا Tc (LTc) تحتوي على حويصلات غولجية غنية بجزيئات بروتينية تسمى البرفورين La perforine.

c – طور التنفيذ: Phase effectrice

خلال هذا الطور تغادر الكريات اللمفاوية T_8 مهلكة الخلايا (LTc) العقد اللمفاوية وتنتشر في الجسم بحثا عن خلايا الجسم العارضة للمحددات المستضادية لمولد المضاد الدخيل بواسطة CMH-I.

تتعرف الكريات اللمفاوية Tc 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.

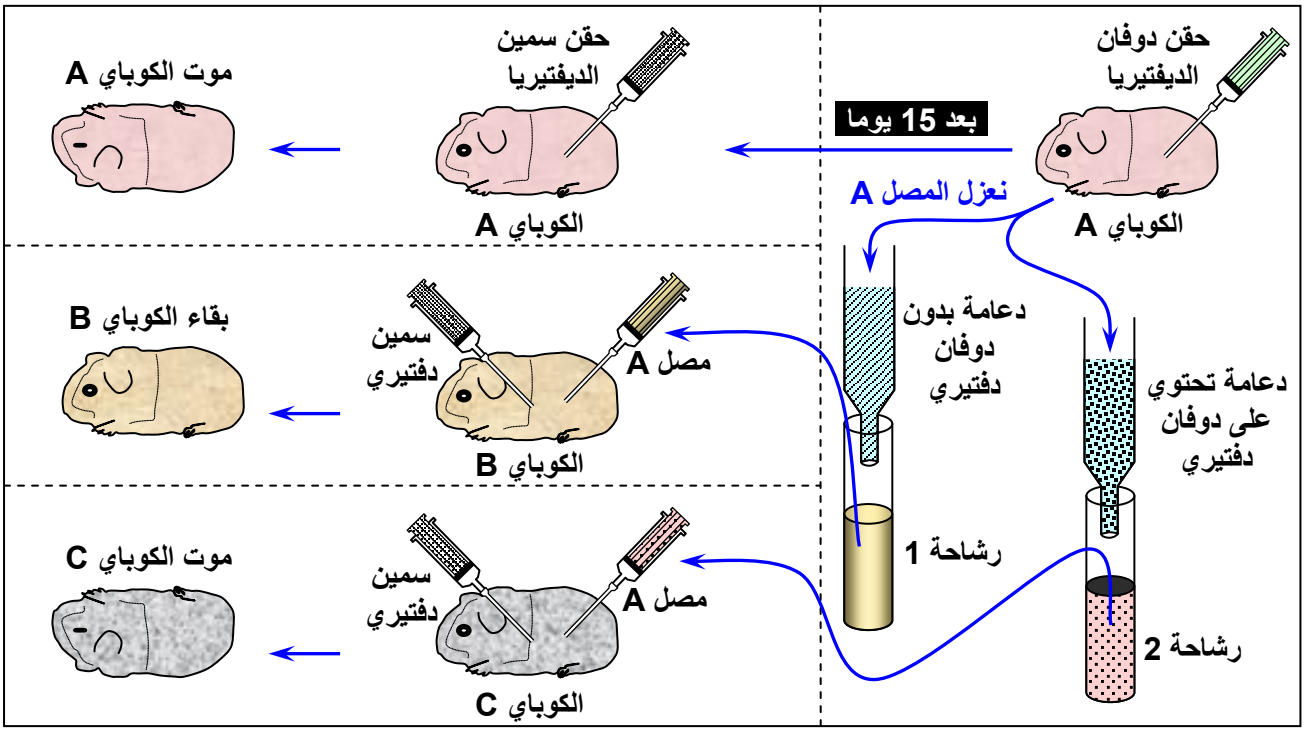
نأخذ ثلاثة حيوانات كوباي متلائمة نسيجيا (تتوفر على CMH متشابه) A وB وC.

★ نحقن الكوباي A بالذوفان الدفتيري، ثم بعد 15 يوما نحقن هذا الحيوان بسمين الديفتيريا.

★ بعد 15 يوما من حقن الكوباي 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 للكوباي B، والرشاحة 2 للكوباي C، ثم نحقن الكوباي B وC بسمين الدفتيريا.

تمثل الوثيقة أسفله ظروف ونتائج هذه التجربة:



ماذا تستنتج من تحليل معطيات هذه التجارب؟

b – تحليل واستنتاج:

★ عند حقن الكوباي A بالدوفان الدفتيري، لا يتأثر بسمين الدفتيريا، لكونه أصبح ممنعا ضد هذا السمين.

★ عند حقن الرشاحة 1 الناتجة عن مصل الكوباي A للكوباي B، ثم حقنه بسمين الدفتيريا، يبقى هذا الأخير حيا، مما يدل على أن الرشاحة 1 ساهمت في تمنيع الكوباي B، لكونها تتوفر على مضادات الأجسام (التي لم ترتبط بجزيئات الدعامة بسبب غياب الذوفان الدفتيري).

★ عند حقن الرشاحة 2 الناتجة عن مصل الكوباي A للكوباي C، ثم حقنه بسمين الدفتيريا، يموت هذا الأخير، مما يدل على أن الرشاحة 2 لا تتوفر على مضادات الأجسام (التي ارتبطت بجزيئات الدعامة 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.

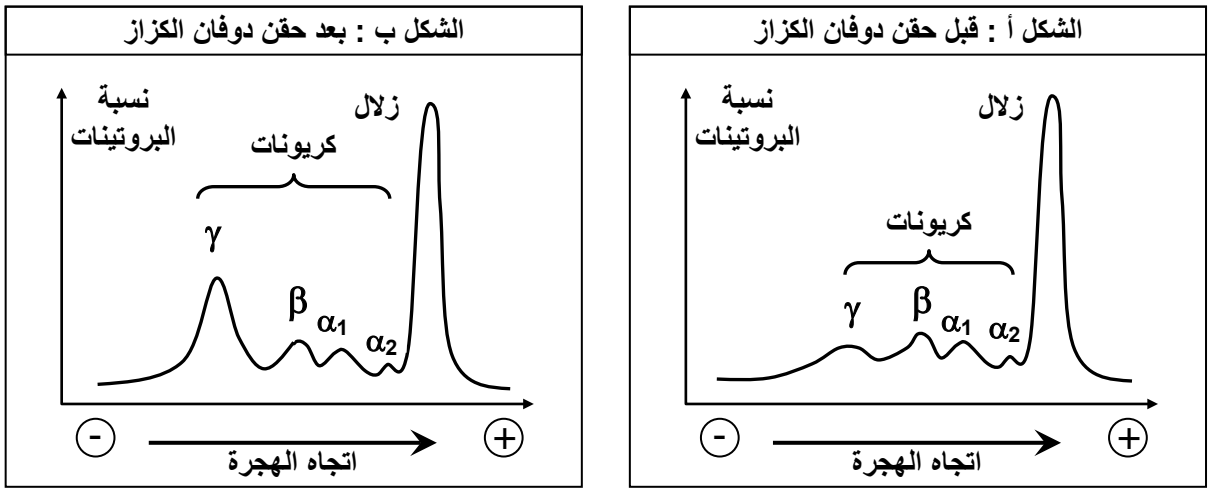
بما أن المادة الممنعة تتواجد بأخلاط الحيوان (الوسط الداخلي)، نتكلم عن استجابة مناعية عن طريق وسيط خلطي.

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؟



تم 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؟

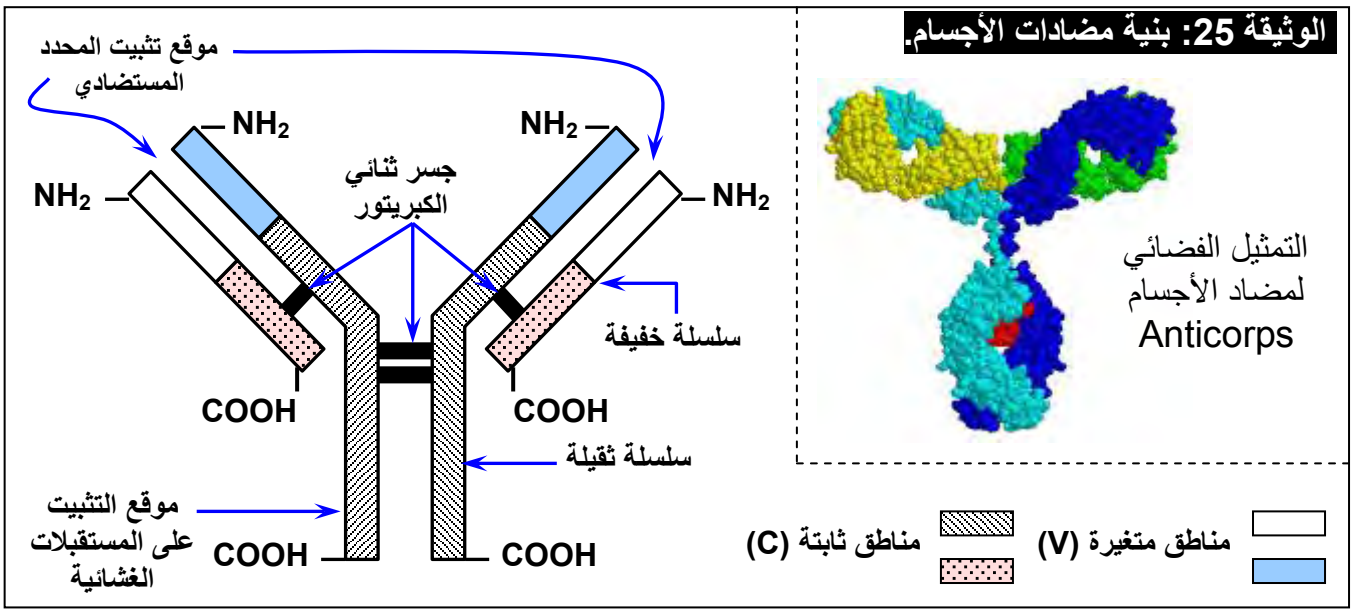
1) نلاحظ أن حقن الفأر بدوفان الكزاز يؤدي إلى ارتفاع نسبة بعض بروتينات المصل الدموي وبالضبط ارتفاع نسبة الكريونات γ Globuline. ربما أن المادة الممنعة في هذه الحالة هي عبارة عن كريوين γ.

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. اذن تشكل الكريونات γ مضادات الأجسام Les anticorps.
ويتجلى دورها في ارتباطها بمولدات المضاد لابطال فعاليتها. ويسمى المركب "مضاد أجسام – مولد المضاد" بالمركب المنيع.

ج – بنية وأصناف مضادات الأجسام:

a – بنية مضادات الأجسام: أنظر الوثيقة 25

الوثيقة 25: بنية مضادات الأجسام.



تنتمي مضادات الأجسام لمجموعة الكريونات، لذا تسمى الكريونات المناعية Les immunoglobulines Ig. وتملك جزيئة مضاد الأجسام بنية أساسية مكونة من:

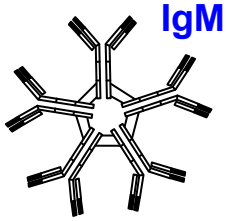
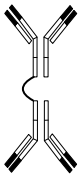
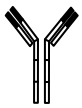
★ سلسلتين متماثلتين خفيفتين، تسمى كل سلسلة بالسلسلة L = (Light).
★ سلسلتين متماثلتين ثقيلتين، تسمى كل سلسلة بالسلسلة H = (Heavy).

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 Constante (C)، متشابهة لدى جميع مضادات الأجسام المنتمية لنفس الصنف.
★ منطقة متغيرة Variable (V)، 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	IgG	IgM	IgA	IgE	IgD
					
% بالنسبة لمجموع Ig	75 - 70	10	20 - 15	اثار	اثار
أهم الخصائص	تخترق المشيمة، تكون حرة، تثبت وتنشط عامل التكملة، تنشط البلعميات الكبيرة	لا تخترق المشيمة، تثبت وتنشط عامل التكملة، تنشط البلعميات الكبيرة	تتواجد أساسا في الافرازات، تمنيع محلي	تثبت على الخلايا البدينة والمحببات، دور في الأرجيات	وافرة على سطح اللمفاويات B المتنقلة

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، وتتميز 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 ابطال مفعول السمينات والحمات.

★ IgM: ذات بنية أحادية على مستوى المستقبلات الغشائية للمفاويات 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 الكريوين 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)

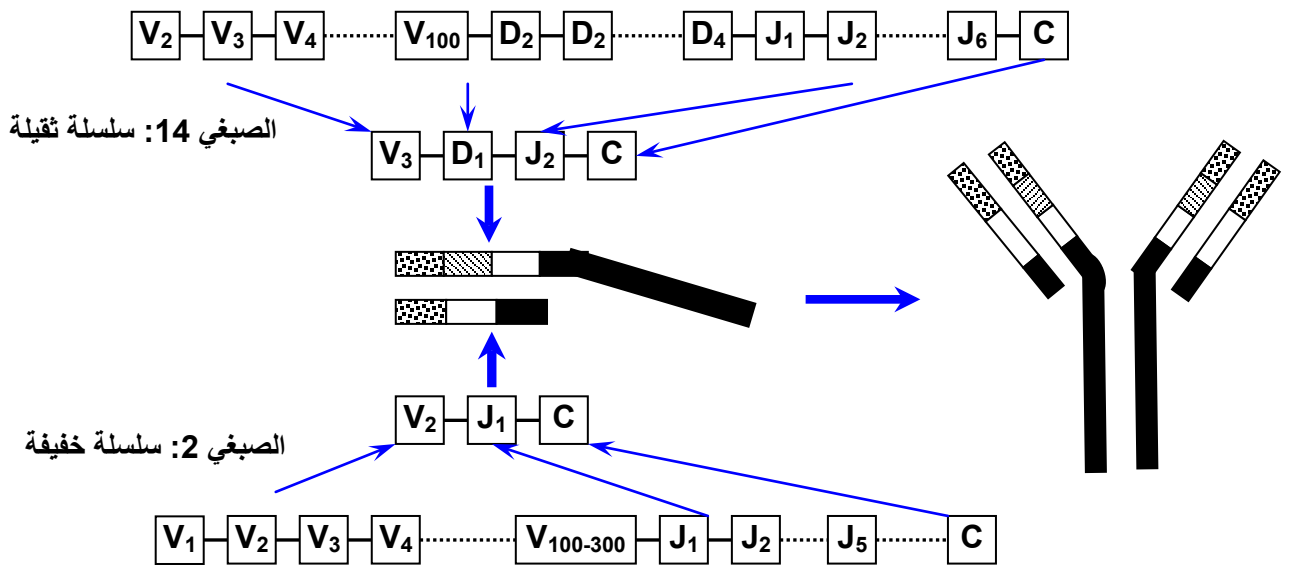
الوثيقة 27: الأصل الوراثي لتنوع مضادات الأجسام.

★ 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 وD وJ. وهذه المورثات هي المسؤولة عن تركيب المنطقة المتغيرة.

★ هناك نسخة واحدة من الجزء C، وهذه المورثة هي المسؤولة عن تركيب المنطقة الثابتة.



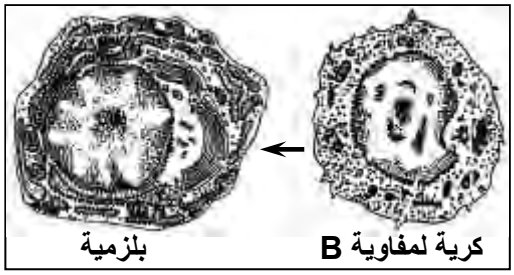
كل نمط من مضادات الأجسام يكون نوعيا لمولد مضاد معين، وينتج التنوع الهائل لمضادات الأجسام عن آلية تسمى إعادة التركيب الوراثي **Réarrangement génétique** حيث بينت تطبيقات الهندسة الوراثية أن:

★ السلاسل الثقيلة H يتم تركيبها انطلاقا من أربعة أجزاء جينية Minigènes يشار إليها بالحروف : V variabilité وC Constante و D Diversité وJ jonction محمولة على الصبغي 14.

★ السلاسل الخفيفة L يتم تركيبها انطلاقا من ثلاثة أجزاء جينية هي:C وV وJ. محمولة على الصبغي 2.

b - إنتاج مضادات الأجسام: أنظر الوثيقة 28

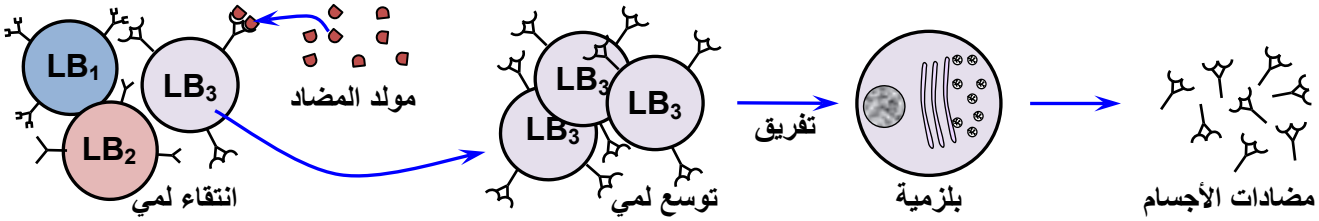
الوثيقة 28: إنتاج مضادات الأجسام.



★ داخل وسط زرع لمفاويات فأر، نعمل على إدخال بقايا خلية بكتيرية، فتم تسجيل الملاحظات التالية:

ترتفع نسبة ARN وADN داخل الخلية، تنقسم بعض اللمفاويات، إفراز مضادات الأجسام، ويتغير شكل اللمفاويات كما هو مبين على الصورة الالكترونوغرافية أمامه.

★ يمر انتاج 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 بلزميات مُنتجة لمضادات أجسام

★ يزداد حجم الكريات اللمفاوية B وتغتني ببعض البنيات مثل الشبكة السيتوبلازمية الداخلية المحببة وجهاز غولجي، وبذلك تتفرق إلى بلزميات قادرة على إنتاج مضادات الأجسام.
يتبين إذن أن تركيب مضادات الأجسام يحتم توفر شبكة سيتوبلازمية داخلية محببة، جهاز غولجي وحويصلات إفرازية. هذا يعني أن تركيب مضادات الأجسام يتم بنفس المراحل التي تتركب فيها كل البروتينات: الاستنساخ والترجمة.

★ يمر انتاج مضادات الأجسام خلال الاستجابة المناعية الخلطية 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 اللمي.
- ✓ يتم تنشيط الكريات اللمفاوية B التي تتوفر على مستقبلات غشائية نوعية لهذا المولد المضاد، فتنقسم مُشكلة لمة نوعية، إنه التوسع اللمي.
- ✓ تتحول اللمفاويات B إلى بلزميات 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 التوتر كريات حمراء لخروف (GRM)، ثم نضيف عدة مواد كما هو مبين في الجدول أسفله:

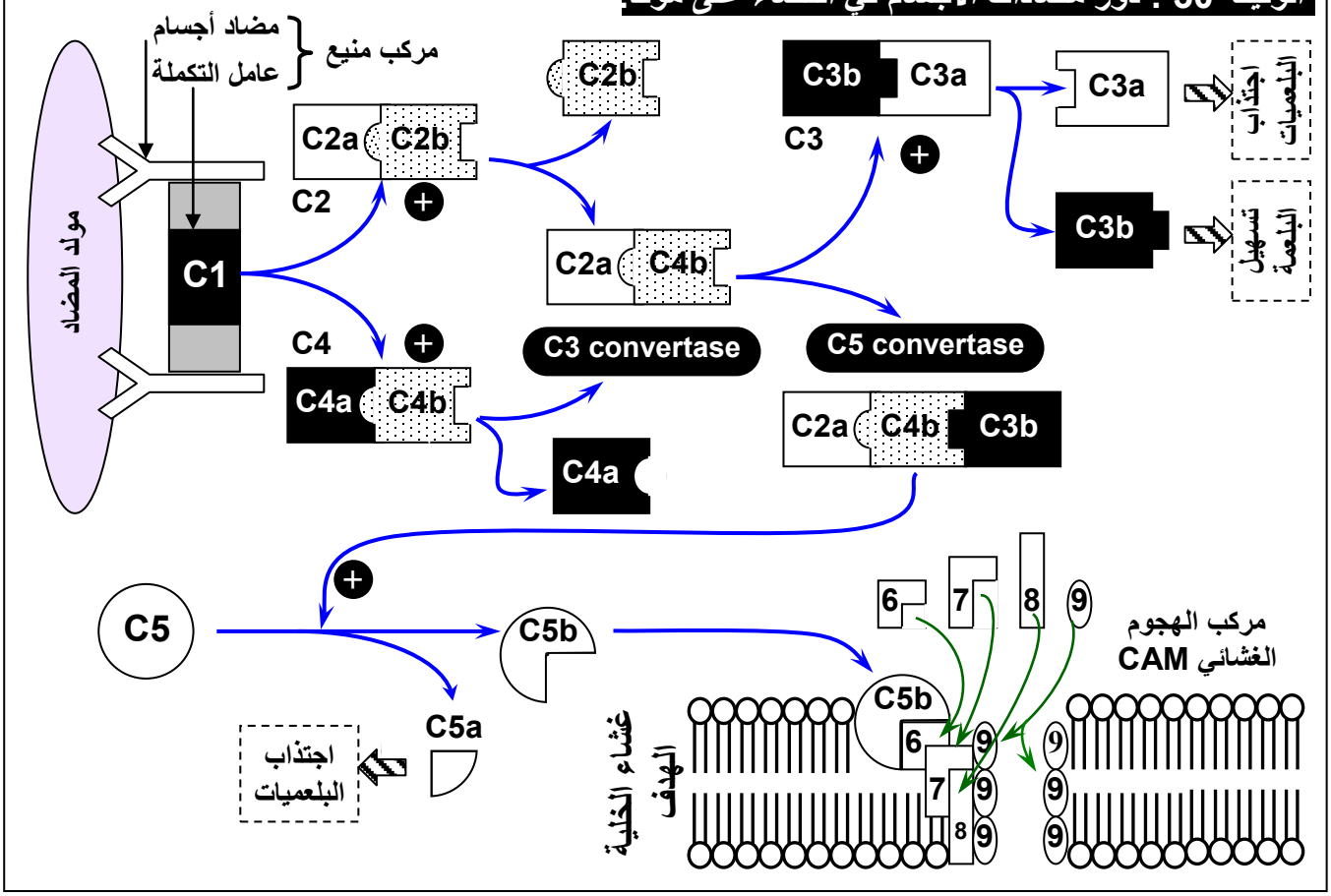
	التجارب	النتائج
1	NaCl 1.5 ml + GRM بتركيز 9 ‰	ترسب GRM عادية
2	1.5 ml + GRM مضادات أجسام ضد GRM	ترسب GRM ملكدة
3	1 m l + GRM مضادات أجسام ضد GRM + 0.5 l من عامل التكملة	لكد متبوع بانحلال GRM
4	NaCl 1 ml + GRM بتركيز 9 ‰ + 0.5 ml من عامل التكملة	ترسب GRM عادية

ماذا تستنتج من تحليل هذه المعطيات التجريبية حول دور كل من عامل التكملة ومضادادت الأجسام.

★ التجربة 1: يؤدي الوسط المتساوي التوتر (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 الآنبوب 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

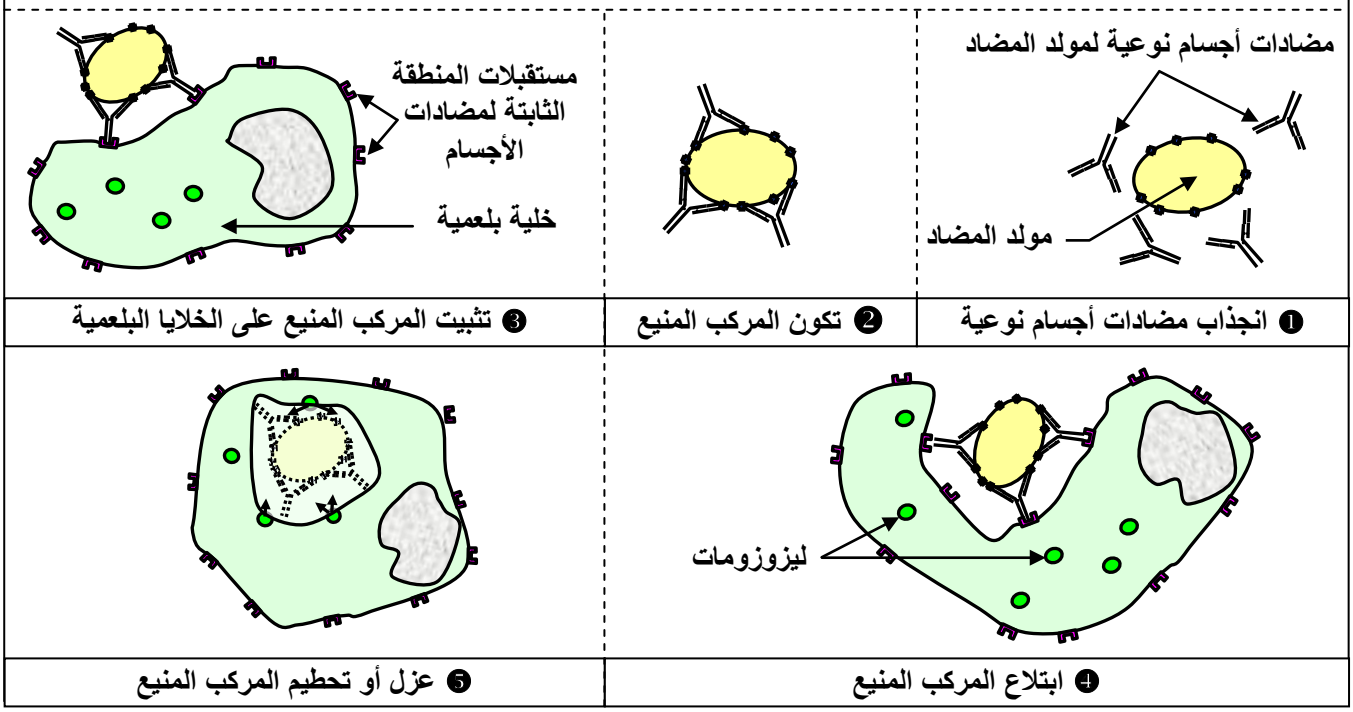


عند ارتباط مضادات الأجسام بمولدات المضاد، يتشكل المركب المنيع الذي ينشط عامل التكملة، فينتج عن هذا التنشيط المتسلسل لأجزاء عامل التكملة تشكل مركب الهجوم الغشائي (CAM)، الذي يتسبب في انحلال الخلية الهدف بصدمة أسموزية.

c – دور مضادات الأجسام في تسهيل البلعمة: أنظر الوثيقة 31

الوثيقة 31 : دور مضادات الأجسام في تسهيل البلعمة

تعطي الوثيقة أسفله، رسوما تخطيطية تفسيرية لالية 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.

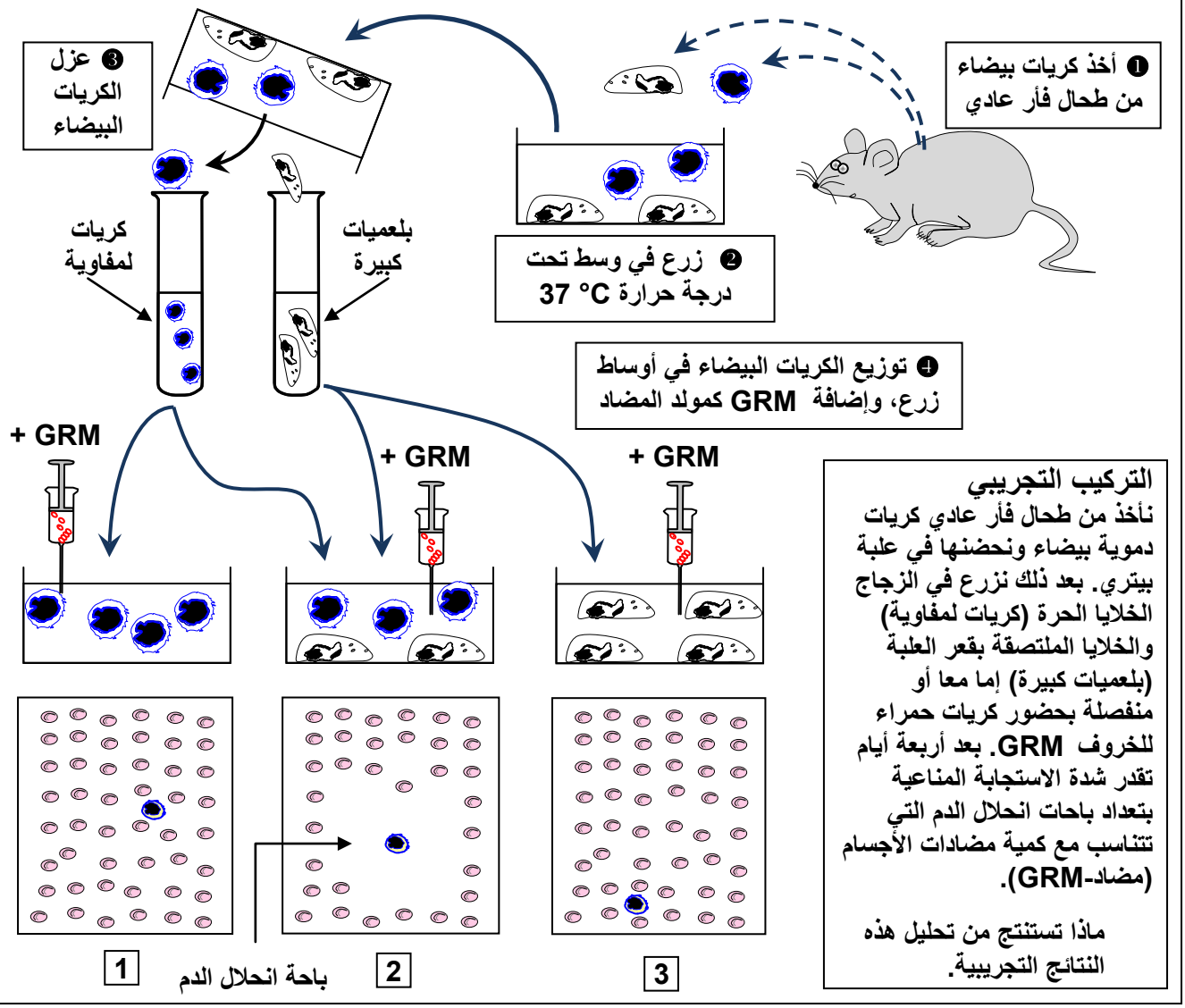
III – التعاون الخلوي بين الخلايا المناعية:

① الكشف التجريبي عن وجود تعاون بين الخلايا المناعية:

أ – تجربة Mosier (1967):

a – معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 32.

الوثيقة 32: تجربة Mosier (1967).



التركيب التجريبي
نأخذ من طحال فأر عادي كريات دموية بيضاء ونحضنها في علبة بيتري. بعد ذلك نزرع في الزجاج الخلايا الحرة (كريات لمفاوية) والخلايا الملتصقة بقعر العلبة (بلعميات كبيرة) إما معا أو منفصلة بحضور كريات حمراء للخروف GRM. بعد أربعة أيام تقدر شدة الاستجابة المناعية بتعداد باحات انحلال الدم التي تتناسب مع كمية مضادات الأجسام (مضاد-GRM).

ماذا تستنتج من تحليل هذه النتائج التجريبية.

b – تحليل واستنتاج:

★ عند حقن أوساط الزرع ب GRM، ستلعب هذه الكريات الحمراء دور مولد المضاد، وبالتالي تسبيب استجابة مناعية نوعية ضد GRM، وهي استجابة خلطية، تتجلى في انتاج 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 فانتاج مضادات الأجسام يستلزم تواجد كل من البلعميات الكبيرة واللمفاويات.

★ نستنتج من هذه المعطيات أن انتاج مضادات الأجسام يتطلب تعاونا بين الخلايا المناعية كالبلعميات 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)

تهيئ الحيوانات	بدون معالجة (شاهد)		استئصال الغدة السعترية ثم التشعيع	
إعادة تكوين جزئي أو كلي للجهاز المناعي عن طريق حقن اللمفاويات	❶	❷ حقن اللمفاويات T	❸ حقن اللمفاويات B	❹ حقن اللمفاويات B و T
تمنيع	تتلقى جميع الفئران حقنة من GRM (كريات حمراء للخروف)			
نتائج اختبارات تلكد الكريات الحمراء (أسبوع بعد التمنيع)	مصل المجموعة ❶ + GRM : ايجابي	مصل المجموعة ❷ + GRM : سلبي	مصل المجموعة ❸ + GRM : سلبي	مصل المجموعة ❹ + GRM : ايجابي

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 اللمفاوية B وT، نستنتج إذن أن الخلايا المناعية المعنية بالتعاون هي الكريات اللمفاوية B وT.

ج – استنتاج:

توجد جل الكريات اللمفاوية B في حالة خمول، ولا تصبح نشيطة إلا بعد تعرفها على مولد المضاد النوعي. ويتطلب هذا التنشيط تعاونا بين اللمفاويات B وT والخلايا العارضة لمولد المضاد CPA كالبلعميات 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.

نزرع لمفاويات T، مأخوذة من شخص سليم، بحضور مواد منبهة تلعب دور مولدات المضاد. نأخذ السائل الطافي للزرع، ثم نضيفه إلى وسطي زرع، الأول به لمفاويات T، والثاني به لمفاويات B.

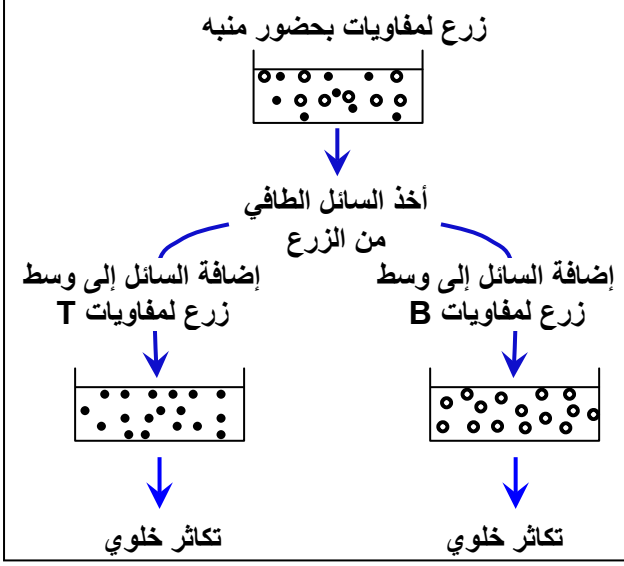
بين التحليل الكيميائي للسائل الطافي، وجود مادة كيميائية (الأنترلوكين 2)، كما بين التحليل الخلوي للمفاويات، أن الكريات اللمفاوية التي تفرز الأنترلوكين 2 هي T_4.

انطلاقا من هذه المعطيات استنتج كيفية التعاون بين الخلايا المناعية المتدخلة.

.....

.....

.....



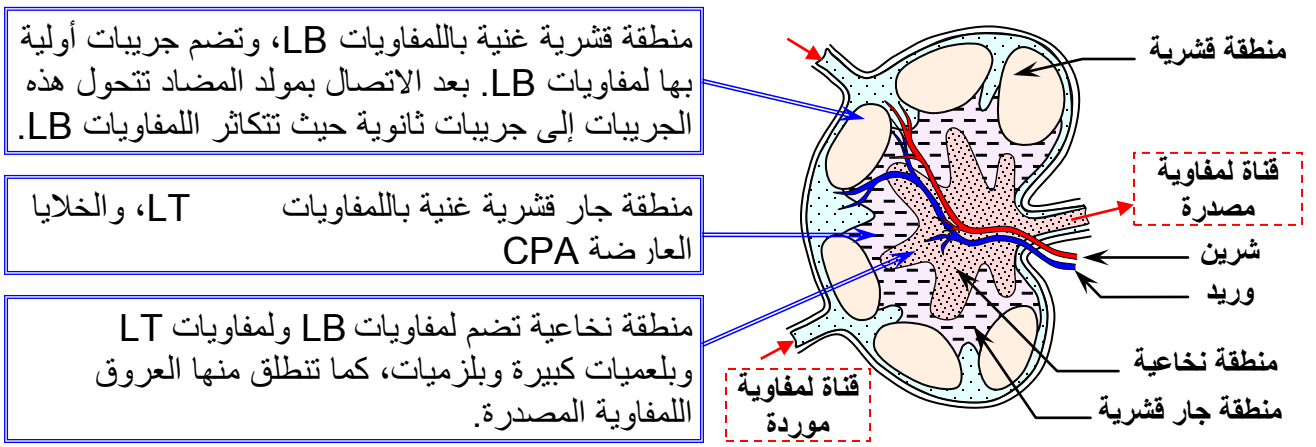
★ إن تكاثر اللمفاويات يرمز إلى تسييب استجابة مناعية، باستثمار هذا المعطى يمكنك القول أن تكاثر اللمفاويات سببه مواد كيميائية توجد في السائل الطافي من الزرع. هذه المواد تم إفرازها من طرف الخلايا المناعية بوجود العنصر المنبه، وهو مولد المضاد.
هذه المواد المنشطة للمفاويات B تشكل الوسائط المناعية، وهي أساسية في التواصل بين مختلف الخلايا المتدخلة في الاستجابة المناعية.

★ نستنتج من هذا التحليل أن الاستجابة المناعية الخلطية تنتج عن عدة عمليات تساهم فيها كل من البلعميات الكبيرة (مستقبلة للعنصر الغريب وعارضة لمحدداته المستضادية) وLT_4 (مرسلة للوسائط المناعية) وLB (منفذة للاستجابة).

ب – آليات التعاون بين الخلايا المناعية:.

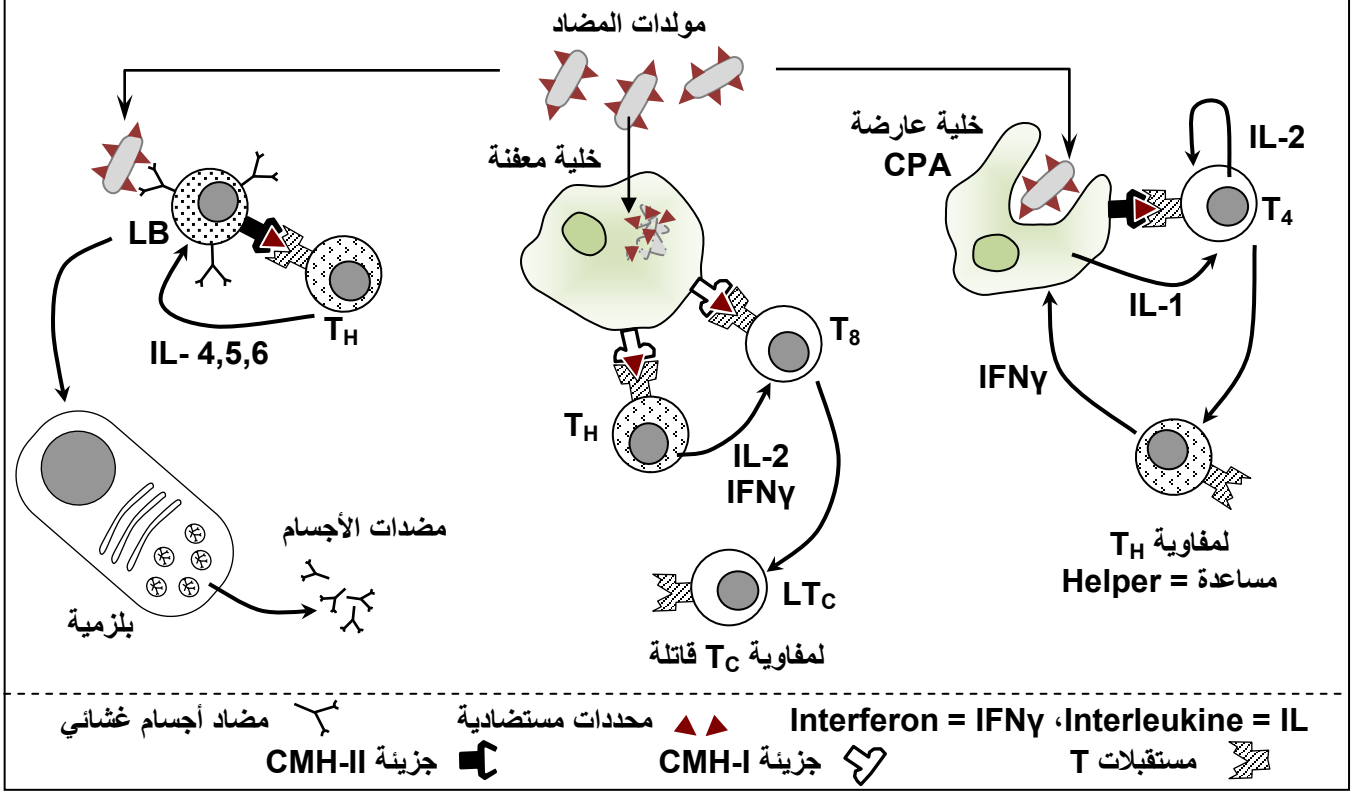
تعتبر العقد اللمفاوية ملتقى المسلكين الدموي واللمفاوي، ومكان اتصال الخلايا اللمفاوية (أنظر الوثيقة35).

الوثيقة 35: العقد اللمفاوية موقع اتصال الخلايا اللمفاوية.



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).

الوثيقة 36: رسم تفسيري لاليات التعاون بين الخلايا المناعية.



تتم بلعمة مولد المضاد بواسطة البلعميات الكبيرة التي تجزئه إلى بيبتيدات. فتلتحم البيبتيدات مع CMH-II ويعرض المركب بيبتيد – 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 ومترابطة 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. فتفرز هذه الأخيرة الانترلوكين 1 (IL_1) الذي ينشط الكريات اللمفاوية T_4 النوعية لمولد المضاد، فتفرز عندئذ الأنترلوكين 2 (IL_2) الذي ينشط الكريات اللمفاوية B المحسسة (التي يوجد ارتباط بين مستقبلاتها B و مولد المضاد).

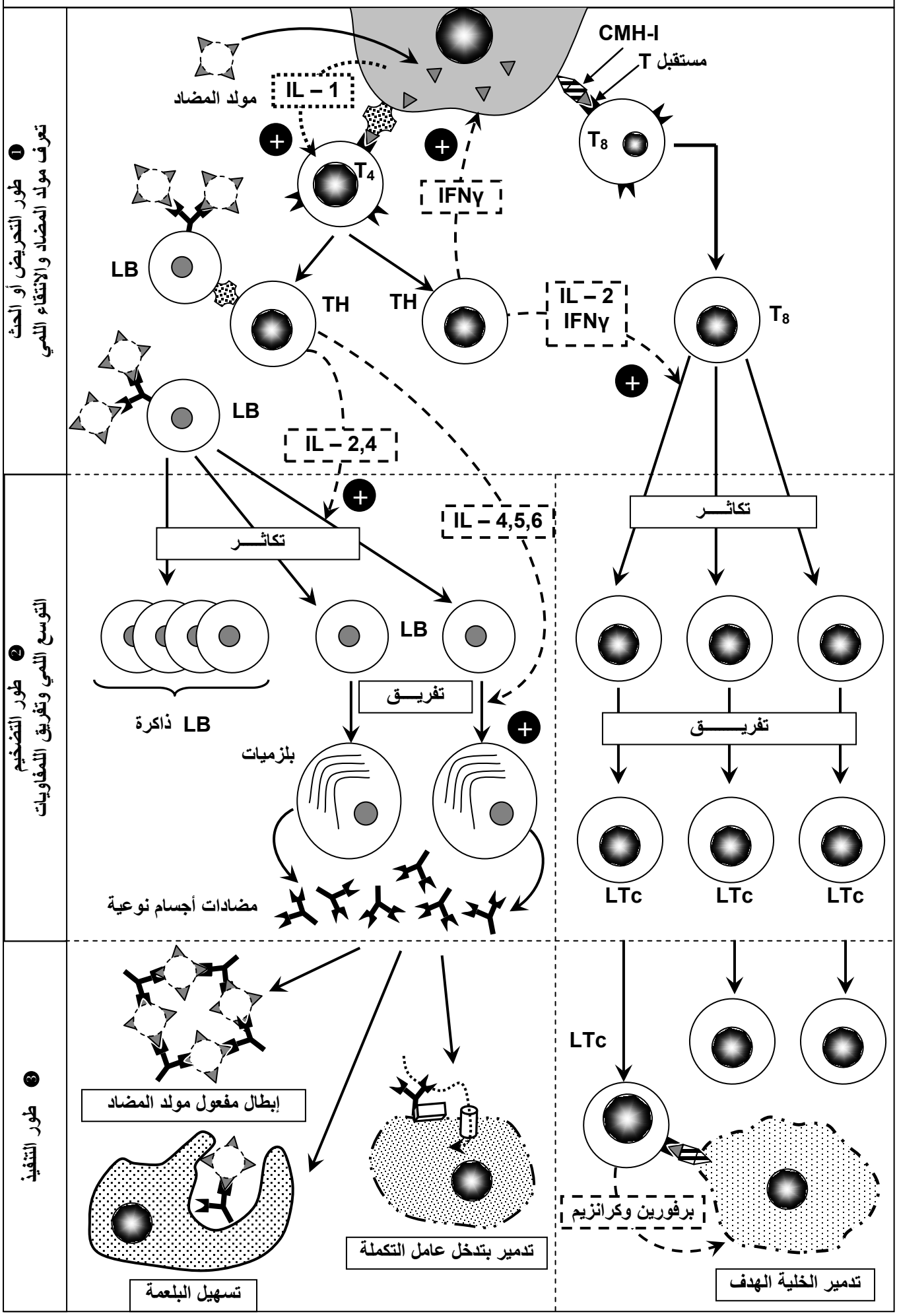
b – طور التضخيم: Phase d'Amplification

تحت تأثير السيتوكينات المحررة من طرف TH المنتقاة، تتكاثر اللمفاويات T_8 المنتقاة وتتفرق إلى LTc، كما تتكاثر اللمفاويات B المنتقاة وتتفرق إلى بلزميات مفرزة لمضادات أجسام نوعية.

c – طور التنفيذ: Phase effectrice

خلال هذا الطور تقوم البلزميات بإفراز مضادات الأجسام نوعية للمحدد المستضادي المستهدف، فتنقل هذه الكريونات المناعية بواسطة الدم واللمف من الأعضاء اللمفاوية المحيطية 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 البيرفورين والكرانزيم المؤديان إلى هدم الخلايا الهدف (المعفنة) بظاهرة السمية الخلوية أو الانتحار الخلوي Apoptose.

الوثيقة 37 : حصيلة مبسطة لمراحل الاستجابة المناعية النوعية



الوحدة الخامسة، 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؟**

I – 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 = زكام الحشائش Rhume 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.
الاكزيمة 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.

باعتمادك 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.

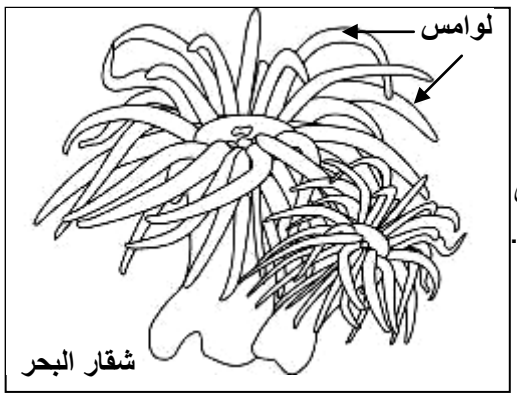
ب - تعريف الاستجابة الأرجية:

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 خاصيات 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.



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 بمرحلة الحساسية المفرطة الفورية. Hypersensibilité immédiate.

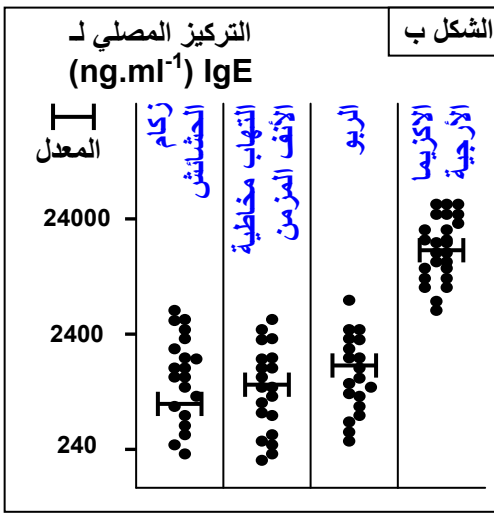
ملحوظة: أحيانا تكون الاستجابة الأرجية الفورية متبوعة بمرحلة ثالثة تسمى الاستجابة الأرجية المتأخرةH.retardé، تظهر بعد بضع ساعات عن الاستجابة الفورية، تجعل أعراض الأرجية تشتد وتستمر.

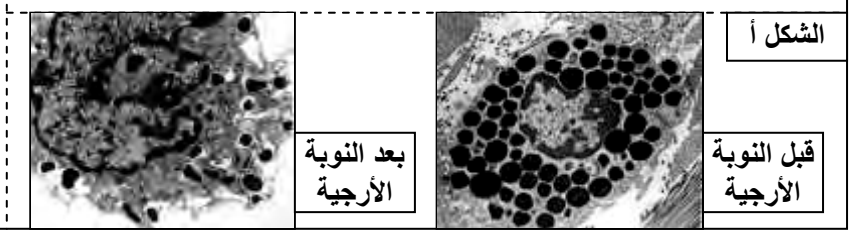
③ آلية الاستجابة الأرجية :

أ – العناصر المتدخلة في الاستجابات الأرجية: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: العناصر المتدخلة في الاستجابة الأرجية.

يمثل 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؟





★ نلاحظ أنه عند الأشخاص الأرجيين، قبل النوبة الأرجية تكون الخلية البدينة غنية بالحبيبات 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.

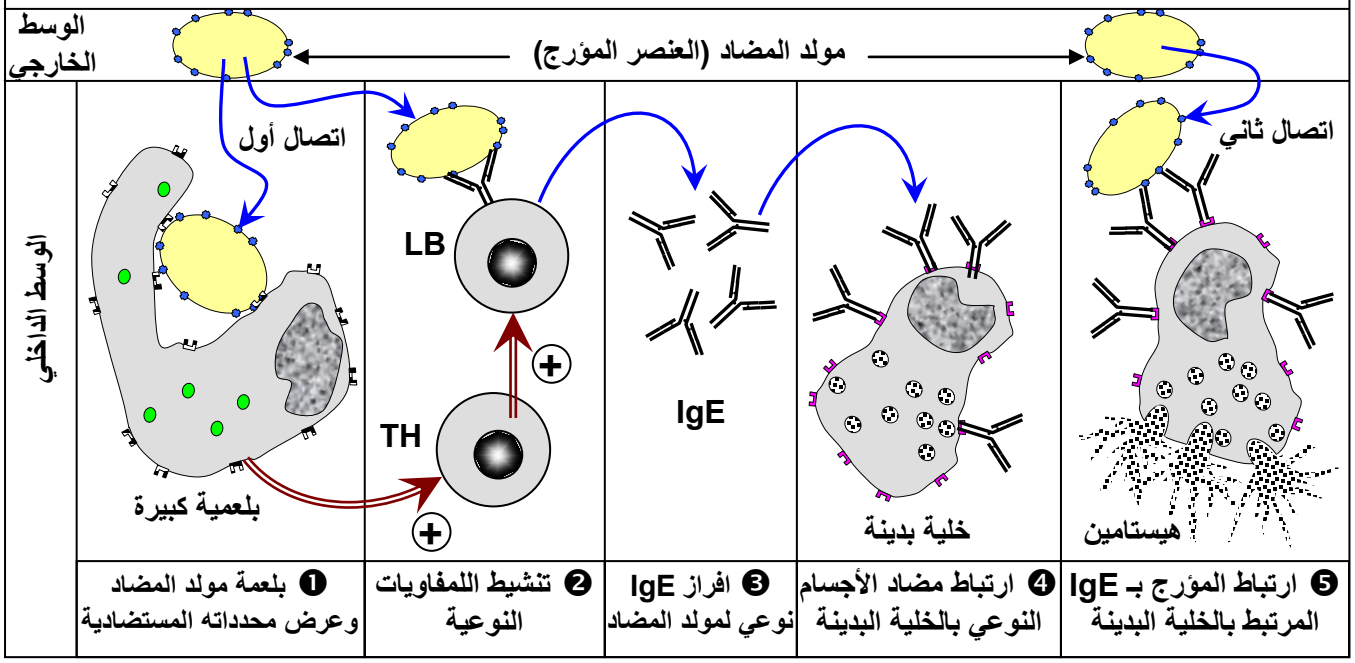
★ يلاحظ في مصل الأشخاص المحسسون لمؤرج معين ارتفاعا في نسبة IgE، حيث تصل عند بعض الأشخاص الأرجيين إلى 2400 ng/ml بينما لا تتعدى هذه النسبة 100ng/ml عند الأشخاص العاديين.

★ يتبين من هذه الملاحظات أن هناك علاقة بين الاستجابة الأرجية وإزالة تحبب الخلايا البدينة (العمادية) وإفراز الكريوين 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.

الوثيقة 4: رسم تفسيري تركيبي لآلية الاستجابة الأرجية الفورية.

تعطي الوثيقة أسفله رسما تخطيطيا لمراحل الأرجية الفورية.
بالاعتماد على معطيات هذه الوثيقة، صف تسلسل الأحداث المؤدية الى حدوث الاستجابة الأرجية الفورية.



a - المرحلة التحسيسية :

عندما يتعرض الجسم لمؤرج معين تستقبله البلعميات الكبيرة التي تقوم ببلعمته وتعرض محدداته المستضادية التي تتعرف عليها الكريات اللمفاوية T_4 التي تقوم بتنشيط الكريات اللمفاوية B النوعية للمؤرج فتتحول إلى بلزميات تفرز مضاد الأجسام IgE النوعي للمؤرج. يهاجر IgE إلى مختلف الأنسجة التحجلدية 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:

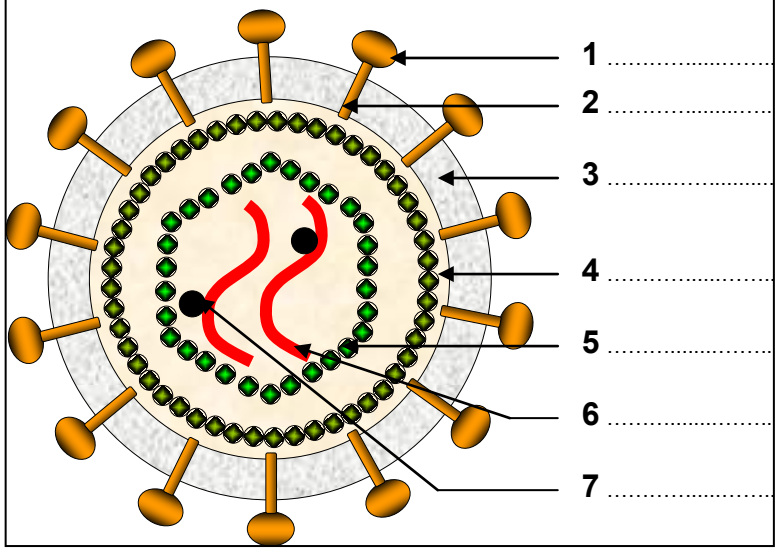
يعرف داء فقدان المناعة المكتسبة بالسيدا وهو اسم من أصل فرنسي SIDA مشتق من العبارة Syndrome d'ImmunoDéficience Acquise وهو مرض ناتج عن قصور مناعي، وتسبب فيه حمة أطلق عليها اسم VIH المشتقة من العبارة Virus d'Immunodéficience Humaine. وهي حمة تقضي على الخلايا المناعية فتضعف بذلك الجهاز المناعي، لتصبح بذلك أبسط الأمراض فتاكة بالجسم.

② بنية حمة VIH: أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: بنية حمة VIH.

الشكل أ: تجسيد للبنية الجزيئية لحمة VIH

الشكل ب: رسم تخطيطي تفسيري لبنية حمة VIH



لقد بينت الملاحظة بالمجهر الالكتروني وملاحظات أخرى أن حمة VIH تتكون من العناصر التالية:

★ غشاء خارجي كروي الشكل يشبه الغشاء السيتوبلازمي (طبقتين من الفوسفودهنيات)، تتخلله جزيئات بروتينية - سكرية (كليكو- بروتينات gp = Glycoprotéines). يسمى جزئها الخارجي gp120 (120 = 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، وبداخله خيطان من ARN تلتف حولها جزيئات من أنزيم يسمى الناسخ العكسي (Transcriptase inverse).

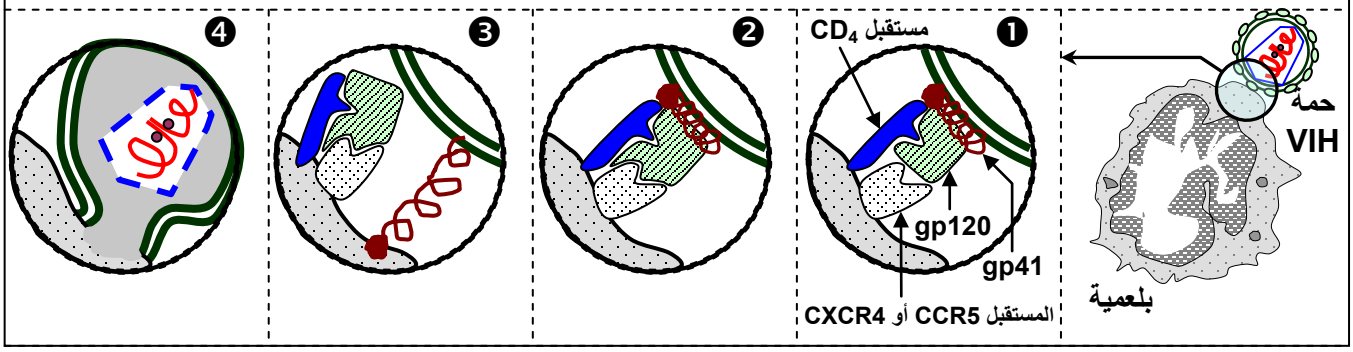
سنة 1983 وبمعهد باستور بفرنسا، تمكن الباحث الفرنسي L. Montagnier من عزل الفيروس المسؤول عن داء السيدا عند الإنسان.أطلق على الفيروس المسبب لداء فقدان المناعة عند الإنسان اسم VIH. وتعتبر حمة VIH حمة قهقرية لأنها تضم جزيئة ARN كمادة وراثية. فيروس السيدا لا يتعدى قطره 0.12um، ويتطفل على الخلايا المناعية، خاصة البلعميات الكبيرة والخلايا المتشجرة الموجودة في جميع المخاطيات، لكنه يبدي ألفة أكثر للمفاويات T_4.

③ آلية تعرف حمة VIH الخلية الهدف : أنظر الوثيقة 6.

تعتبر جزيئة CD_4 المستقبل الأساسي لحمة VIH، حيث يوجد بينها وبين البروتين gp120 الحموي تكامل وتالف كبيران. توجد جزيئات CD_4 بكثافة كبيرة على سطح اللمفاويات T_4 الناضجة، وبكثافة أقل على سطح الوحيدات والبلعميات الكبيرة والخلايا التغصنية. وهكذا فكل الخلايا التي تحتوي على CD_4 تكون قابلة للتعفن بحمة VIH.

الوثيقة 6: آلية تعرف حمة VIH الخلية الهدف.

تعطي الوثيقة أسفله رسوما تخطيطية تفسيرية لالية تعرف حمة VIH الخلية الهدف.
صف مراحل تعرف VIH الخلية الهدف، مبرزا دور التعرف الثنائي في تثبيت الحمة على الغشاء الخلوي.



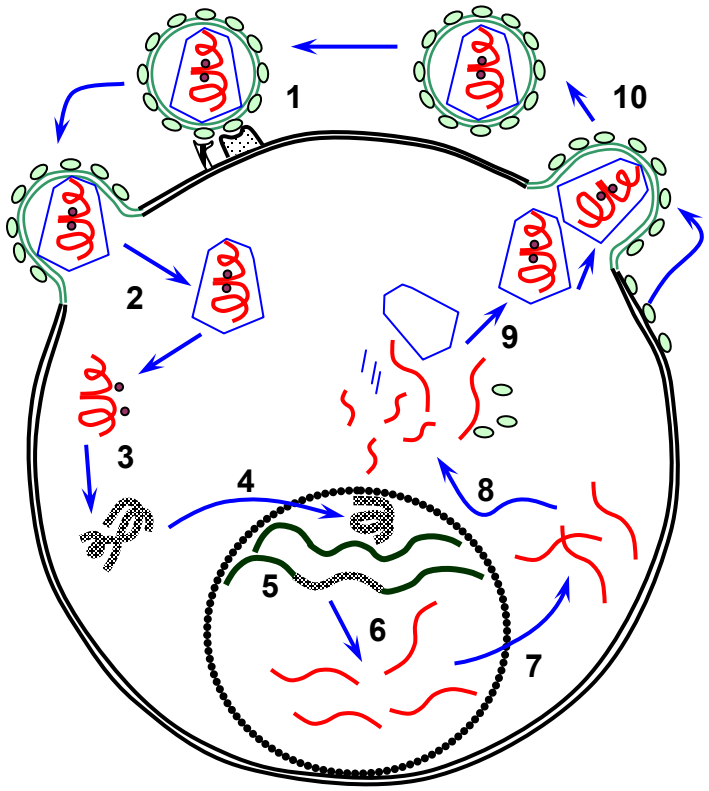
عندما تهاجم حمة VIH بلعمية كبيرة أو كرية لمفاوية T، فإنها تثبت أولا بواسطة بروتينات الغشاء gp120 على مستقبلين (المستقبل CD_4 والمستقبل CCR5 أو CXCR4)، ويتم ذلك عبر المراحل التالية:

- ❶ يتعرف أحد موقعي البروتين gp120 الجزيئة CD_4 ويثبت عليها.
- ❷ يكشف هذا التفاعل عن الموقع الثاني الذي كان محجوبا، والذي يثبت على المستقبل CCR5 أو CXCR4.
- ❸ يوفر هذا التفاعل الثنائي تماسا ضيقا بين الحمة والخلية، ثم ينتشر البروتين gp41 الذي كان محجوبا من طرف gp120.
- ❹ 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 رسما تخطيطيا لمراحل تطفل حمة VIH على كرية لمفاوية T_4، من دخول الحمة الى تحرير حمات جديدة. أتمم عناصر الوثيقة، مع وصف مراحل تطفل حمة VIH.



1 = تثبيت حمة VIH على الخلية الهدف
2 = حقن ARN حموي
3 = النسخ العكسي لـ ARN الحموي
4 = دخول ADN الحموي الى نواة الخلية الهدف
5 = دمج ADN الحموي مع الذخيرة الوراثية للخلية الهدف
6 = نسخ ARNm حموي
7 = خروج ARNm الحموي الى السيتوبلازم
8 = ترجمة ARNm الى بروتينات حموية
9 = تشكل حمات جديدة
10 = تحرير الحمة الجديدة عن طريق التبرعم

العنوان = مراحل تطفل حمة VIH على كرية لمفاوية

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 فانه قد يجند الآليات الخلوية لتنسخ جيناته إلى ARN ثم لتترجم إلى بروتينات حموية قصد تشكل حمات جديدة، تتبرعم من الخلية، فتمضي للتطفل على خلايا T_4 جديدة.

يتجلى اذن تطفل حمة VIH على اللمفاويات 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.

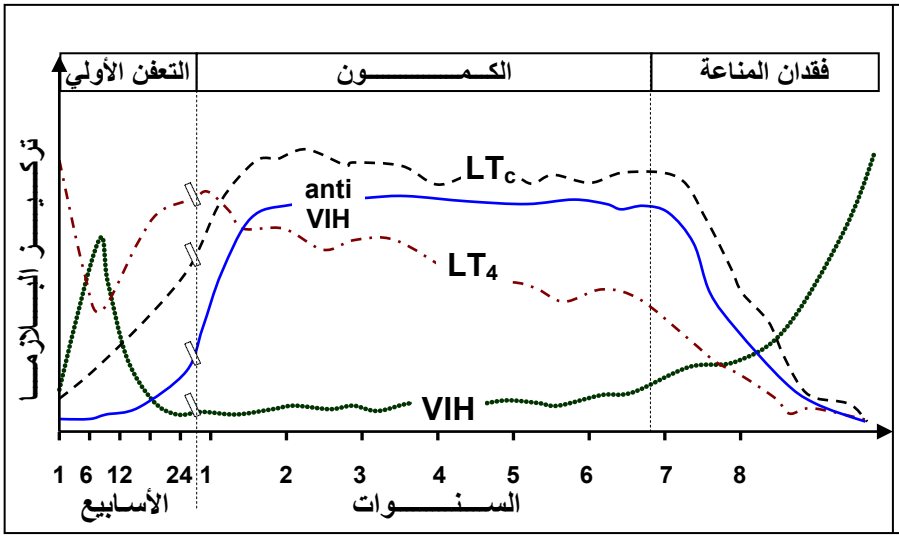
ملاحظة : خلال النسخ العكسي، يرتكب الناسخ العكسي خطأ بعد إدراج كل 2000 نيكليوتيد مسببا ظهور طفرات على صعيد الجينوم الحموي، الشيء الذي يساعد هذا الأخير على الإفلات من المراقبة المناعية بالمضادات النوعية.

⑤ مراحل مرض السيدا: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: مراحل تطور مرض السيدا.

يعطي المبيان أسفله، تطور تركيز كل من الكريات اللمفاوية LTc وLT_4 وحمة VIH ومضادات الأجسام (anti–VIH)، في جسم شخص ايجابي المصل بالنسبة لحمة السيدا.

حلل المبيان واستخرج تأثير الإصابة بحمة VIH في العناصر المتدخلة في الاستجابة المناعية.



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، فنتكلم عن مرحلة التعفن الأولي، التي تتميز بحمى وعياء وانتفاخ العقد اللمفاوية 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 لحمةVIH. 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 لحمةVIH. يفقد الجسم العديد من الكريات اللمفاوية T_4، حيث يتضاءل عددها فتحذف بذلك وظيفتها التنشيطية، الشيء الذي يؤثر في وظيفة T_8 والبلزميات ويعطي قصورا مناعيا.

ج – مرحلة الأمراض الانتهازية: Maladies opportunistes أنظر الوثيقة 9.

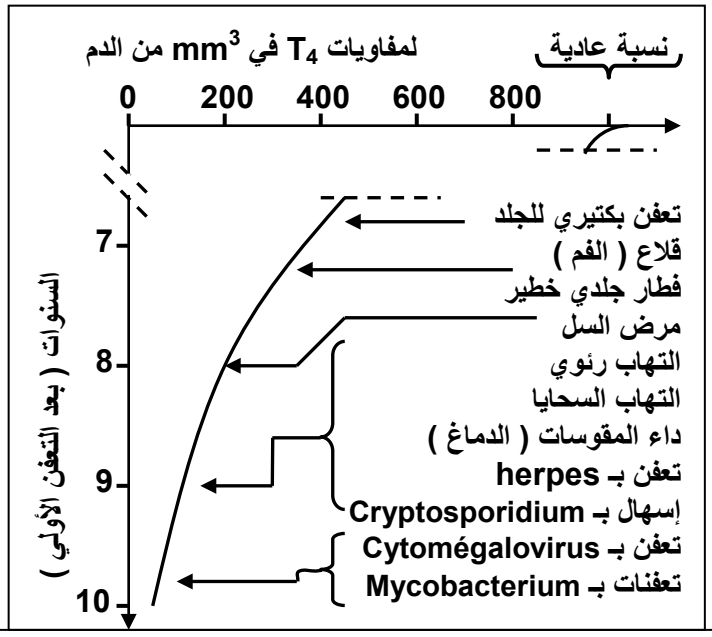
ينتج عن فقدان الكريات اللمفاوية T_4 تدهور عام للجهاز المناعي. حيث يصبح الشخص عرضة لمختلف الأمراض الجرثومية التي تنتهز فرصة ضعف الجهاز المناعي للشخص المصاب، فتهاجمه، وبذلك نسميها أمراضا انتهازية..

الوثيقة 9: ظهور الأمراض الانتهازية حسب انخفاض اللمفاويات T_4.

في حالة غياب أي علاج تظهر مرحلة السيدا النهائية بعد مرور 5 الى 12 سنة من الاصابة 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 T_4

فسر ظهور الأمراض الانتهازية في مرحلة السيدا النهائية



⑥ آلية تدمير الكريات اللمفاوية T4 : أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: آلية تدمير الكريات اللمفاوية T_4:

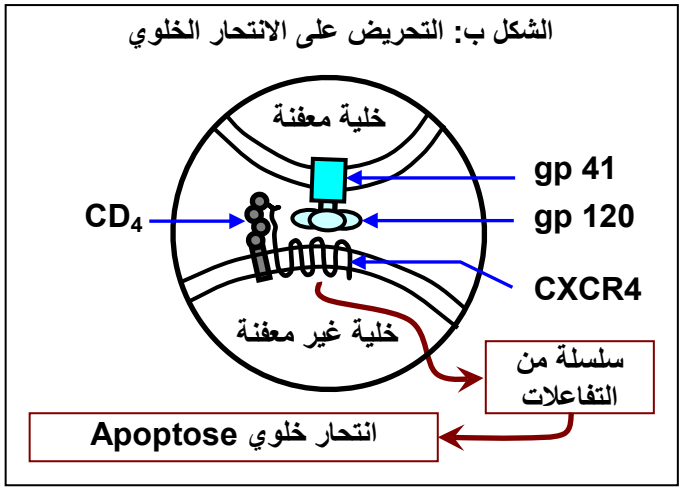
يمثل تدمير الكريات اللمفاوية T_4 السبب الرئيسي لفقدان المناعة المميز للخمج الجرثومي بواسطة VIH. يمكن تفسير هذا التدمير بتدخل مجموعة من الآليات نذكر منها أساسا:

- التطفل المباشر لحمة VIH على الخلايا T_4.
- الانتحار الخلوي (Apoptose) للخلايا المعفنة، (الشكل أ)
- تحريض اللمفاويات T_4 غير المعفنة على الانتحار الخلوي (الشكل ب).

انطلاقا من هذه الوثيقة أبرز مختلف آليات القضاء على LT_4.

الشكل أ: موت اللمفاويات المعفنة بفعل الانتحار الخلوي.

الشكل ب: التحريض على الانتحار الخلوي



يتم تدمير اللمفاويات T_4 بعدة آليات:

- التطفل المباشر لحمة VIH على اللمفاويات T_4، التي تقتل بتحطيم الغشاء الخلوي اثر تكاثر وتبرعم الحمات.
- موت اللمفاويات T_4 المعفنة بفعل الانتحار الخلوي، إذ تؤدي الجزيئات الحموية gp120 المثبتة على غشاء اللمفاوية T_4 إلى تحسيسها وتحريضها على التدمير الذاتي وذلك بتكثيف النواة وتجزيء ADN. (ناتج عن استقبال الخلايا إشارات كيميائية خاصة أو تماس مع خلايا أخرى).
- تتعرض اللمفاويات T_4 غير المعفنة بحمة VIH كذلك إلى نفس الظاهرة، وذلك بتماسها مع لمفاويات T_4 معفنة حاملة على سطحها الجزيئات gp120، التي ترتبط ب المستقبل CXCR4 أو CCR5 مما يحرض اللمفاويات T_4 غير المعفنة على الانتحار.

⑦ اختبارات الكشف عن السيدا:

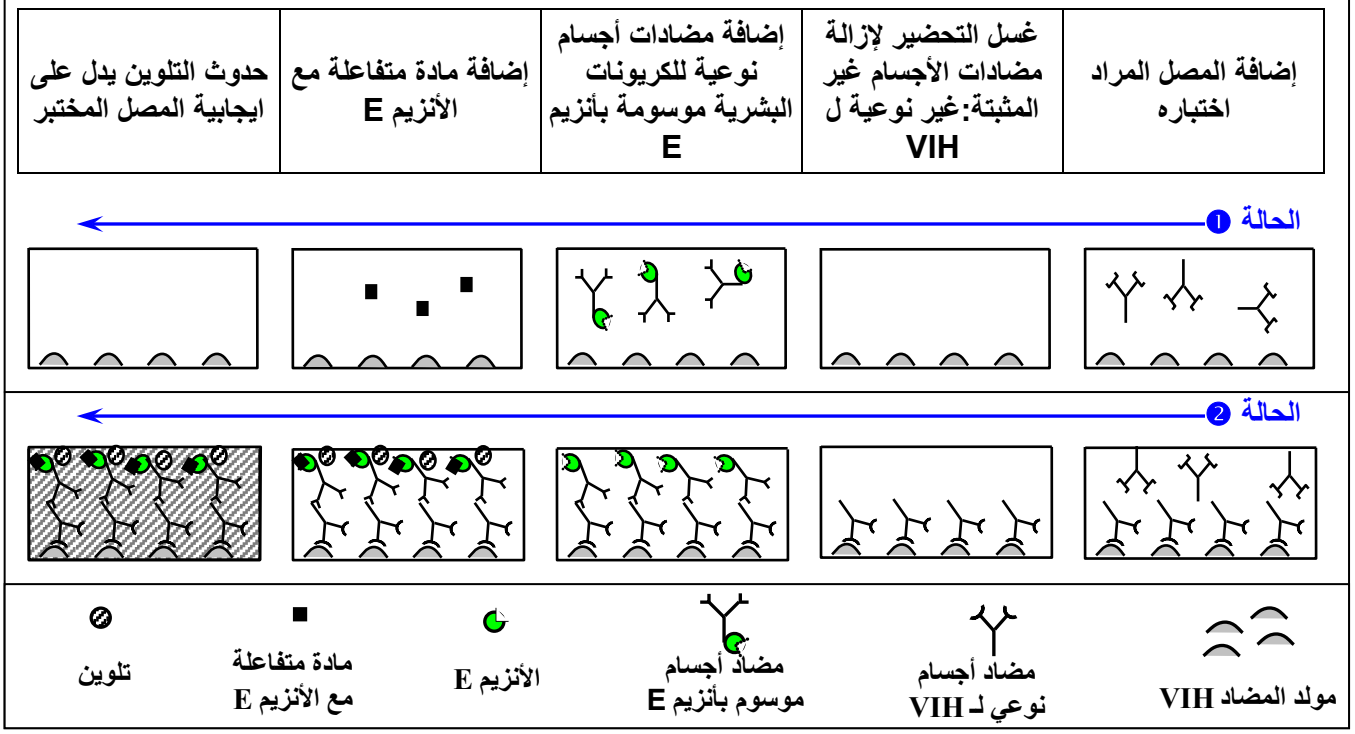
بعد مرور 3 أسابيع إلى 3 أشهر عن دخول VIH إلى الجسم؛ ينتج هذا الأخير مضادات أجسام موجهة ضد بعض المحددات المستضادية لهذا الفيروس.
تعتمد اختبارات الكشف عن داء السيدا على البحث عن مضادات VIH في دم الأشخاص المختبرين.

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 الخطاطة 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 للكريونات 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 اختبارا 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.

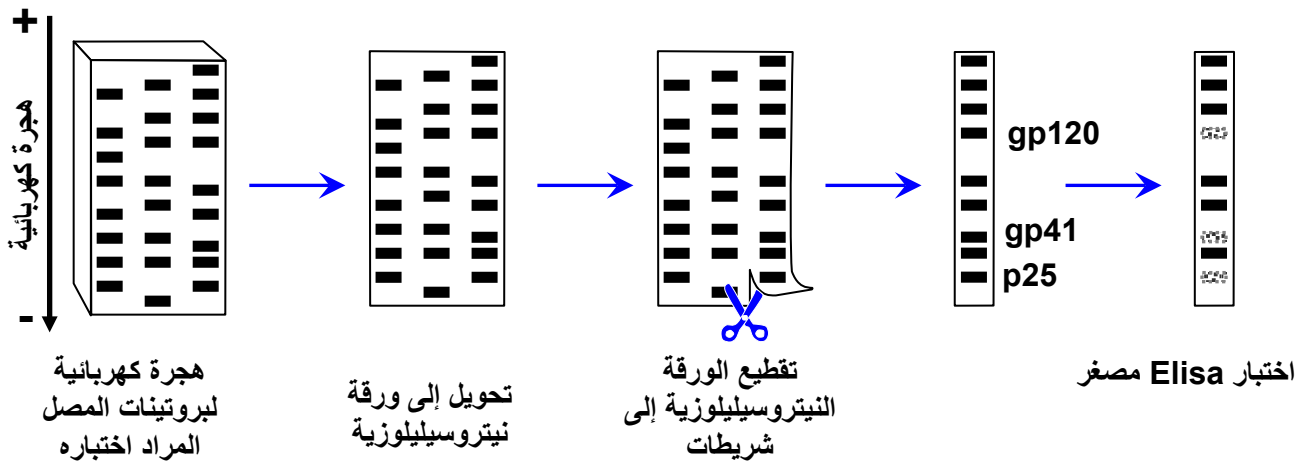
ب – اختبار Western-Blot. أنظر الوثيقة 12

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، فانه يحول على ورقة نيتروسيليلوزية متعطشة للبروتينات. تقطع بعد ذلك هذه الورقة إلى شريطات حسب كل نوع بروتيني. فيجرى 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:

- إعاقة دخول VIH إلى LT_4 وذلك بحقن الشخص بمضادات أجسام نوعية لبروتينات gp120 الفيروسية مثلا أو بحقن الشخص بجزيئات CD_4 الحرة التي تعمل على شغل جزيئات gp120 الفيروسية.
- تخريب L'ARN الفيروسي وذلك بحقن المصاب بمادة l'interféron مثلا وهو بروتين تفرزه الخلايا المعفنة بالحمات لتنذر 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 إيجابيي 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.

الوحدة الخامسة، الفصل الرابع:
مساعدات 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 المساعدات؟**

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 يحلبون الأبقار، وأنهم يصابون بمرض يسمى جدري البقر La vaccine، والذي يظهر على شكل طفيحات جلدية فوق ثدي البقر، وبطفيحات مشابهة على أيديهم، تكون بسيطة وتختفي بسرعة أنظر الصورة أمامه.

طفيحات 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 بقيح نقطات بقوة 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 الجذري.

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.

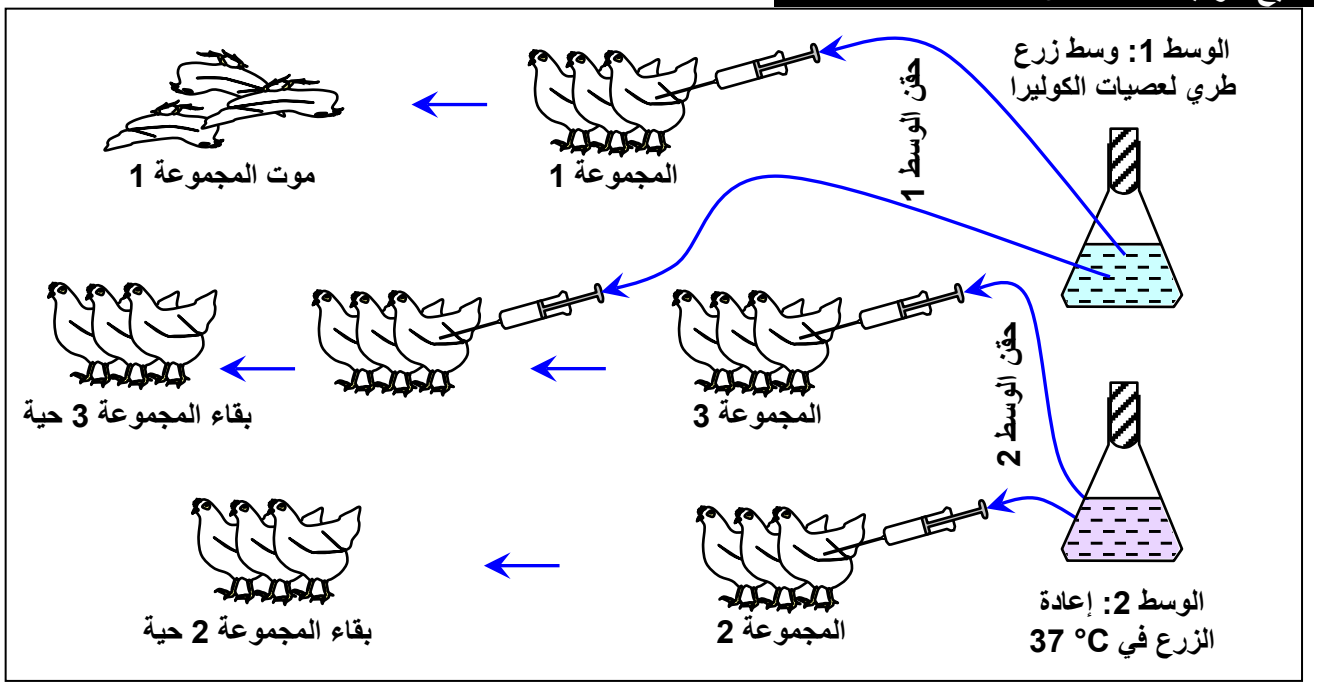
★ في سنة 1879 قام العالم الفرنسي L.Pasteur بدراسة مرض كوليرا الدجاج. وهو مرض قاتل تتسبب فيه بكتريا معينة.

★ 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 المجهري 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، آتي 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 (المجوعة 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 لجذري البقر La vaccine، وإن لم يستطع إنتاج لقاح (Vaccin) وإنما استعمل لقاحا 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؟

المرض	مخترع اللقاح	كيفية تحضير اللقاح	العنصر الملقح
السعار Rage	Pasteur 1885	نخاع شوكي لأرنب مصاب محفوظ في هواء جاف لمدة 14 يوما	الحمة حية وهنة
التيفويد Typhoïde	Wright 1892	يتم إخضاع عصيات التيفويد للحرارة وتأثير الفورمول	عصيات ميتة
السل Tuberculose	Calmette et Guérin (1908 - 1921)	عصيات مسببة للسل عند الأبقار، حصلا عليها بعد 13 سنة من الزرع وبعد 232 عملية مرور على أوساط تحتوي على افرازات الحويصلة الصفراء لثور والجليسرين.	عصيات BCG حية وهنة ومشابهة لعصية كوخ Koch
الدفتيريا Diphtérie	Ramon 1923	سمين الدفتيريا الخاضع لتأثير الفورمول بنسبة 4‰ والخاضع لتأثير الحرارة لمدة شهر	ذوفان (سمين وهن)
التهاب الرئة Pneumonie	Goebel 1943	مشتقات حوافظ (Enveloppes) 14 نوعا من المكورات الرئوية	مشتقات بكتيرية
التهاب الكبد B Hépatite B	معهد Pasteur 1975 -1981	حوافظ الحمة غير الحاملة للمادة الوراثية. مأخوذة من دم أشخاص حاملين للحمة، أو منتجة بطريقة الهندسة الوراثية	مشتقات الحمة المعنية

يتبين من معطيات الجدول أن تحضير اللقاحات يعتمد:

⇦ **طرائق كلاسيكية:** تتمثل في ابطال حدة الجرثوم أو السمين دون أن يفقد قدرته على اثارة استجابة مناعية نوعية مثلا:
★ جراثيم ميتة: محضرة انطلاقا من جراثيم تم قتلها بواسطة مواد كيميائية أوتحت 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 البروتيد المعني، والذي يستعمل كلقاح.

③ مبدأ التلقيح:

أ – تذكير:

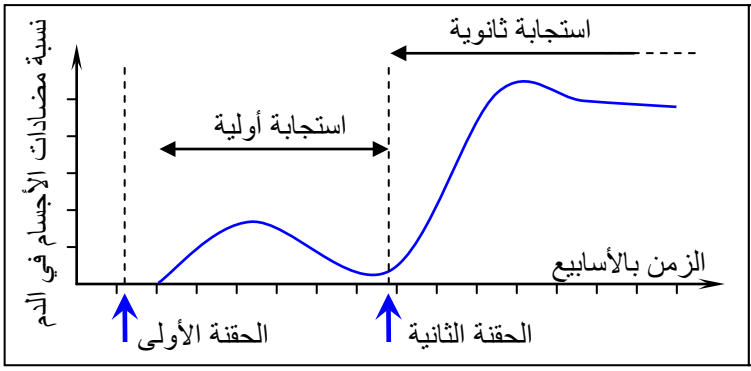
- يؤدي حقن ذوفان الكزاز إلى إكساب الجسم مناعة خلطية ضد الكزاز .
- يؤدي حقن بكتيريات BCG إلى إكساب الجسم مناعة خلوية ضد بكتيريات BK المسببة لداء السل.

ب – التأويل المناعي للتلقيح: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: التأويل المناعي للتلقيح.

يعطي المبيان أمامه تطور تركيز مضادات الأجسام النوعية في الدم اثر حقنتين متتاليتين لنفس مولد المضاد.

حلل المبيان، ثم وظف هذه المعطيات لتفسير مبدأ التلقيح.



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 المناعتية الأولية ينتج عنها تكون كريات لمفاوية ذات ذاكرة B أو T_8 (حسب نوع الاستجابة المناعية) التي تتميز بطول عمرها.
إذا تعرض الشخص الملقح للجرثوم الحاد أو السمين يكون عدد الكريات اللمفاوية 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) فتحتاج 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 اللمفاوية B أو T_8 النوعية لمولد المضاد حتى تصبح بالعدد الكافي للقضاء على مولد المضاد.

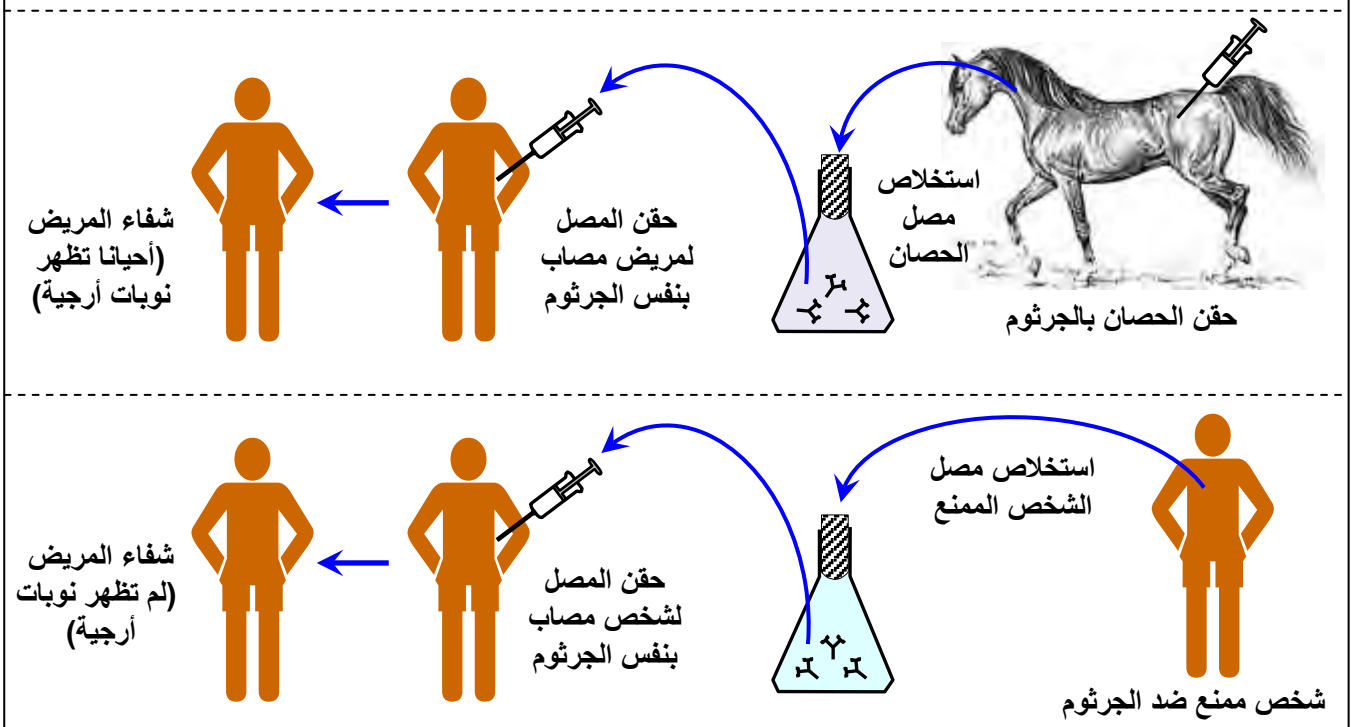
★ في بعض الحالات يكون عمر الكريات اللمفاوية B أوT_8 ذات ذاكرة قصير، فيقل عدد هذه اللمفاويات تدريجيا بحيث تصبح الاستجابة الثانوية غير فعالة، فيُحتاج إلى تذكير، ويعاد التذكير كل 10 إلى 15 سنة حسب عمر اللمفاويات ذات الذاكرة.

II – الاستمصال La Sérothérapie

① مفهوم الاستمصال : أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: مفهوم الاستمصال La sérothérapie.

تبين الوثيقة التالية طريقة تحضير الأمصال والغرض منها.
انطلاقا من هذه الوثيقة عرف الاستمصال وبين كيف يتم تحضير الأمصال لفائدة الاستمصال.

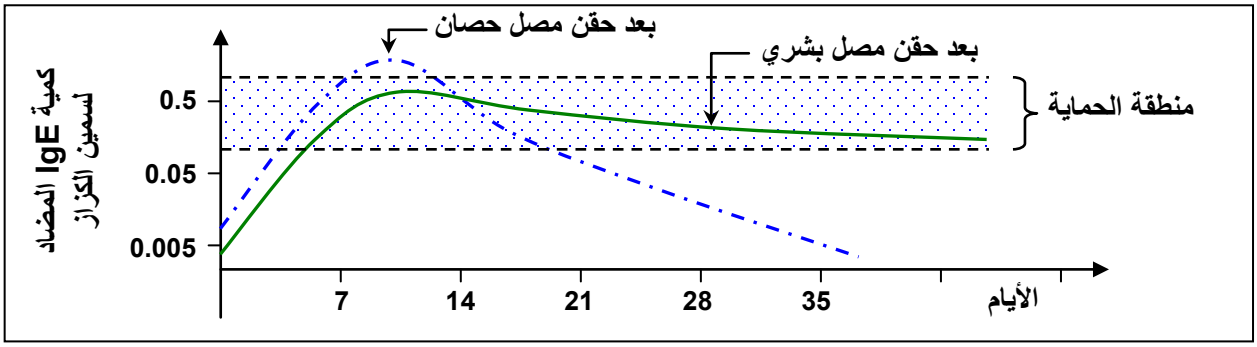


عند حقن حصان بجرعات متزايدة السمية من سمين معين، فإن الحصان ينتج مقادير هائلة من مضادات الأجسام نوعية لهذا السمين، الشيء الذي أوحى إلى الطبيب Roux سنة 1894 بفكرة نقل مصل هذا الحصان الممنع إلى الإنسان.
وهكذا فالاستمصال هو تحويل تمنع شخص إلى شخص آخر غير ممنع، وذلك بحقن هذا الأخير بمصل الشخص الممنع ضد مرض 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.

الوثيقة 6: مقارنة المصل البشري والمصل الحيواني.

أصيب شخص بتعفن بعصية الكزاز فتمت معالجته عن طريق الاستمصال، وتم تتبع تركيز مصادات الأجسام النوعية لسمين الكزاز، وذلك في حالة المعالجة بمصل الحصان، وفي حالة المعالجة بمصل بشري.
يبين الشكل أسفله تغير تركيز مضادات الأجسام في دم الشخص المعالج في الحالتين. حلل هذا البيان واستنتج.



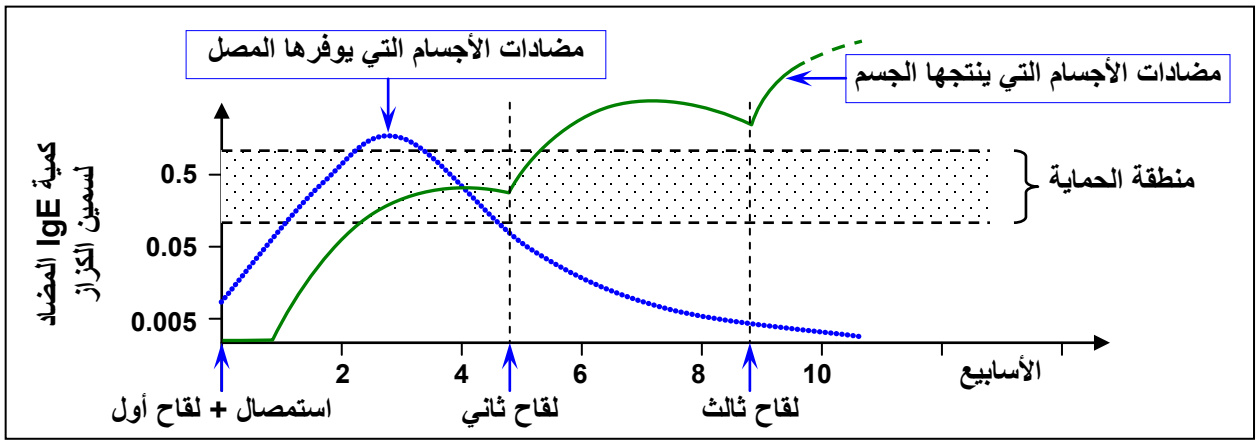
مباشرة بعد حقن مصل مضاد للكزاز، ترتفع نسبة مضادات سمين الكزاز في البلازما لتغطي منطقة الحماية لتنخفض تدريجيا بعد ذلك. لكن تأثير هذه الأمصال يختلف حسب مصدرها. ويمكن تلخيص هذا الاختلاف على الجدول التالي:

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.

الوثيقة 7: مقارنة الاستمصال والتلقيح.

أصيب شخص بتعفن بعصية الكزاز فتم حقنه في آن واحد بدوفان الكزاز (التلقيح) ومصل مضاد للكزاز (الاستمصال). يبين الرسم أسفله تغير تركيز مضادات الأجسام في دم هذا المريض.
انطلاقا من تحليل المبيان، قارن بين مفعول التلقيح ومفعول الاستمصال.



★ مباشرة بعد حقن المصل المضاد للكزاز، ترتفع نسبة مضادات سمين الكزاز في البلازما لتغطي منطقة الحماية. لتنخفض تدريجيا 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 وقتا طويلا. أما الاستمصال فله دور علاجي ويدوم فعله وقتا قصيرا. 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

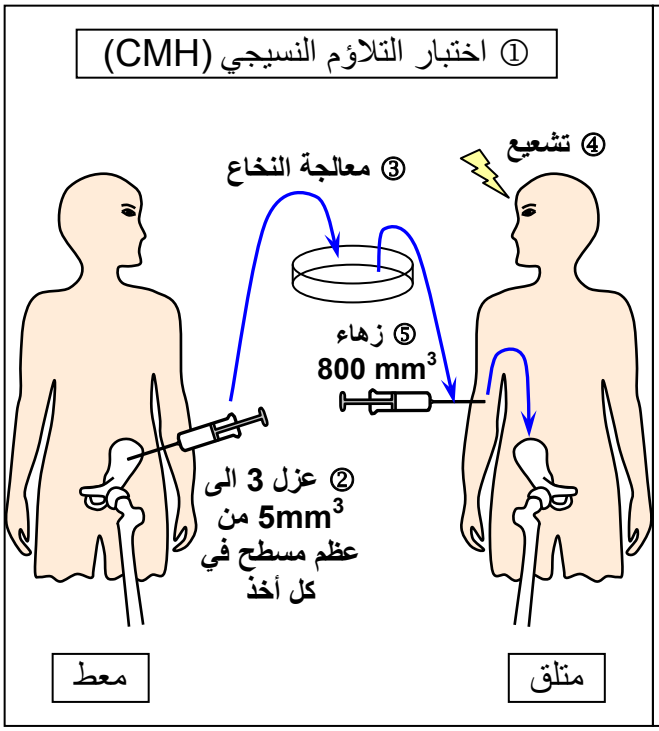
يولد بعض الأطفال مصابين بداء قصور المناعة الولادي. ومن أنجع الطرق العلاجية للمصابين بهذا الداء هو زرع النخاع العظمي الذي يعتبر أصل خلايا الجهاز المناعي. لكن نجاح هذا الزرع يكون رهينا بالتغلب على مجموعة من المشاكل التي يطرحها رد الفعل المناعي، وهي: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: شروط زرع النخاع العظمي الأحمر.

يولد بعض الأطفال وجهازهم المناعي في حالة قصور عن أداء وظيفته الدفاعية. يسمى هذا الاضطراب بالقصور المناعي الولادي، حيث يتعرض هؤلاء الأطفال لتعفنات جرثومية متعددة ومتكررة (إسهال، التهاب اللوزتين ...). ويرجع ذلك إلى عدم قدرة جسمهم على إنتاج كريات لمفاوية B و T فعالة. وبذلك يضطرون إلى العيش في وسط مغزول ومعقم في انتظار خضوعهم لزرع النخاع العظمي من أجل تصحيح هذا الاضطراب.

يوضح الرسم التخطيطي أمامه أهم شروط زرع النخاع العظمي.

أعط مراحل زرع النخاع العظمي الأحمر، مع تحديد المشاكل المناعية التي يطرحها زرع النخاع العظمي، وبرر الاحتياطات المتخذة أثناء عملية الزرع.



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 المناعتية 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 للآخذ. 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 استمصالي صارم.

⑤ – تطعيم المتلقي:

يتم حقن العينة في دم الشخص الآخذ بحيث تنتقل عبر الجهاز الدوراني لتستقر في النخاع العظمي لعظام الشخص الآخذ.

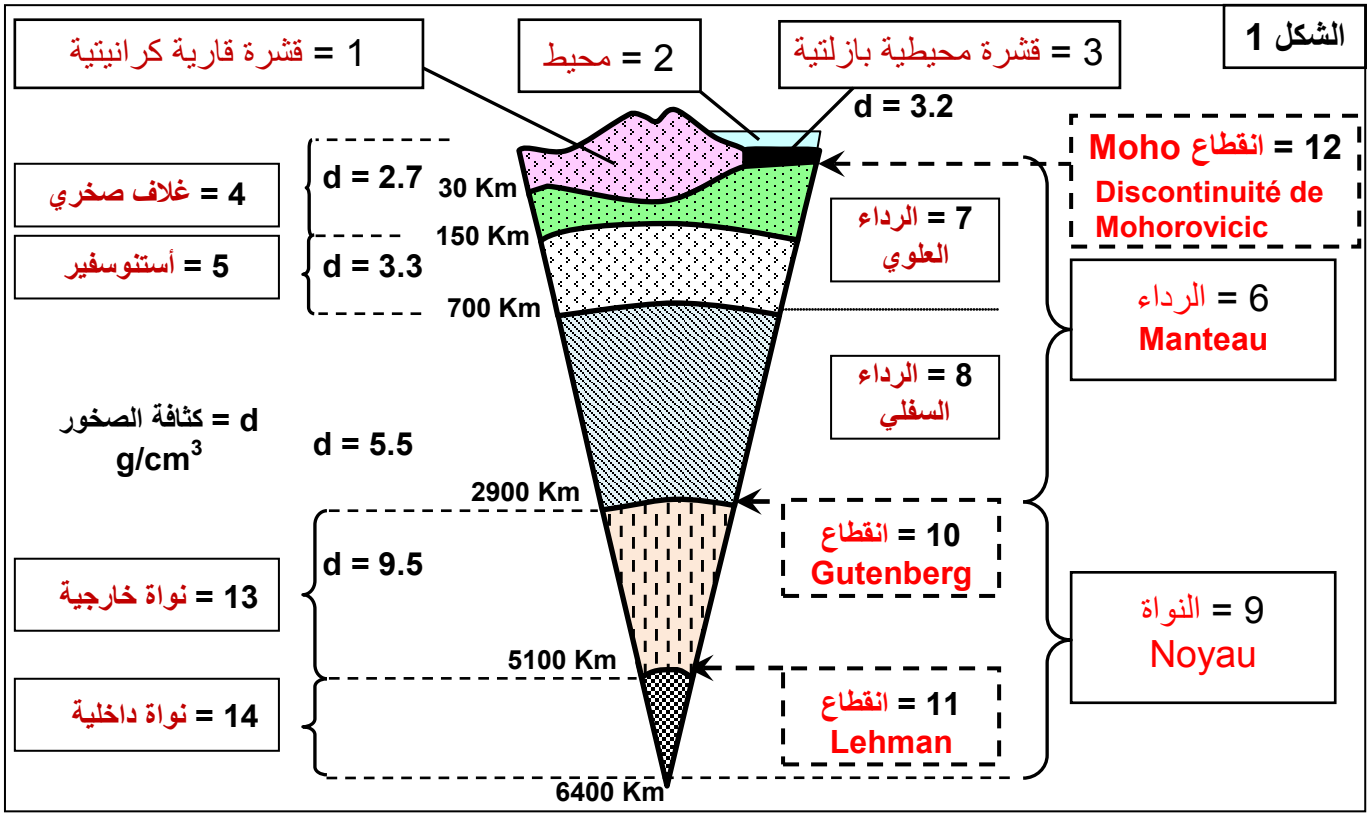
الوحدة السادسة: الفصل الأول: الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح

تذكير ببنية الكرة الأرضية: أنظر الوثيقة 1

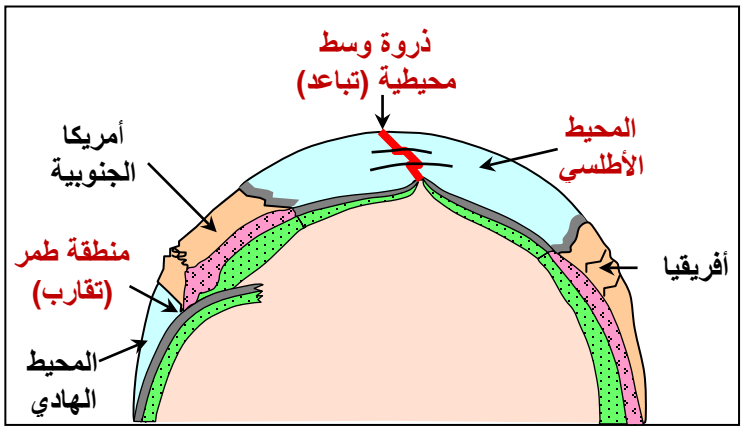
الوثيقة 1: تمثل الوثيقة رسما تخطيطيا لتركيب الكرة الأرضية

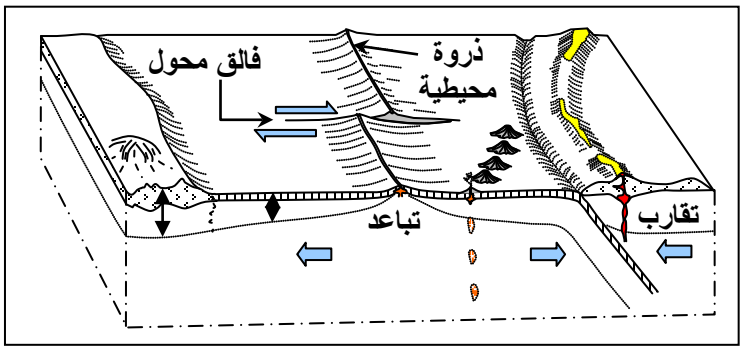
يعطي الشكل 1، رسما تخطيطيا، يبرز البنية الداخلية للكرة الأرضية. ويبين الشكل 2 من الوثيقة، بعض الظواهر الجيولوجية التي تطرأ على مستوى جزء من الكرة الأرضية.

الشكل 1



الشكل 2





★ ينقسم الغلاف الصخري Lithosphère إلى عدة كتل تمثل الصفائح الصخرية أو التكتونية.

★ يمكن التمييز بين أربعة أنواع من الحدود بين الصفائح:

- الذروات المحيطية، حيث تنشأ القشرة المحيطية الجديدة.
- مناطق الطمر حيث يختفي الغلاف الصخري القديم.
- مناطق الاصطدام حيث تكوم تتجابه قشرتان قاريتان.
- الفوالق المحولة.

★ تنتقل الصفائح بالنسبة لبعضها البعض. فهي تتباعد في مستوى الذروات. وتتقارب في مناطق الطمر وتتجابه في مستوى مناطق الاصطدام.

بعد إعطاء عناصر الوثيقة، تعرف بنية الكرة الأرضية، ثم أعط تعريفا للغلاف الصخري.

تتشكل الكرة الأرضية من ثلاث طبقات رئيسية:

★ القشرة الأرضية وهي الطبقة الخارجية، وتتميز بقشرتين تختلفان عن بعضهما في السمك و التركيب: قشرة محيطية، تقع تحت الماء في البحار والمحيطات، وتتميز بأنها قليلة السمك (حوالي 7 كم). وقشرة قارية، توجد في المناطق اليابسة (سمكها بين30 و100 كم).
تشكل القشرة الأرضية، والجزء العلوي من الرداء العلوي، الغلاف الصخري La lithosphère.

★ 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: تتكون من مادة منصهرة وسائلة، تحد بواسطة انقطاع Lehmann. الكثافة من 9.5 إلى 12.
النواة الداخلية: تسمى البذرة وتمتد إلى مركز الأرض أي إلى عمق 4600 كيلومتر. الكثافة 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.

- **ما هي ظروف تشكل السلاسل الجبلية؟ وما هي أنواعها؟**
- **ما هي الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية الحديثة؟**
- **ما علاقة هذه الظواهر الجيولوجية بتكتونية الصفائح؟**

الوحدة السادسة، الفصل الأول:
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؟**

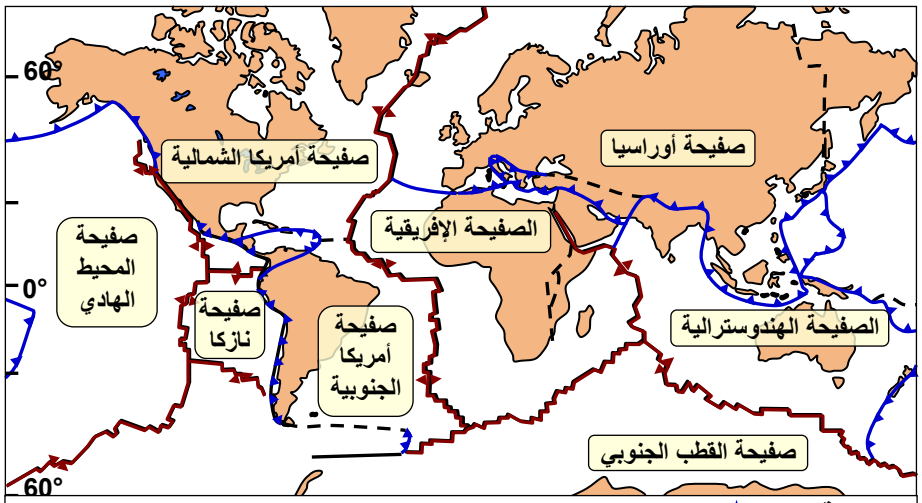
I – أنواع السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح. أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: أنواع السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح.

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.

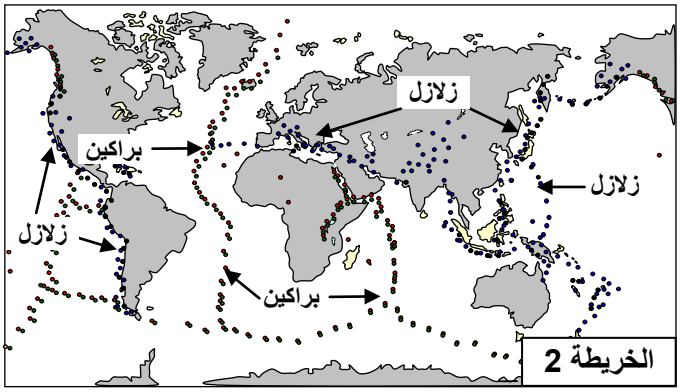
★ تمثل الخريطة 1 أهم الصفائح التكتونية وعلاقتها ببعضها البعض.

★ تمثل الخريطة 2 التوزيع الجغرافي للبراكين وبؤر الزلازل على مستوى الكرة الأرضية.

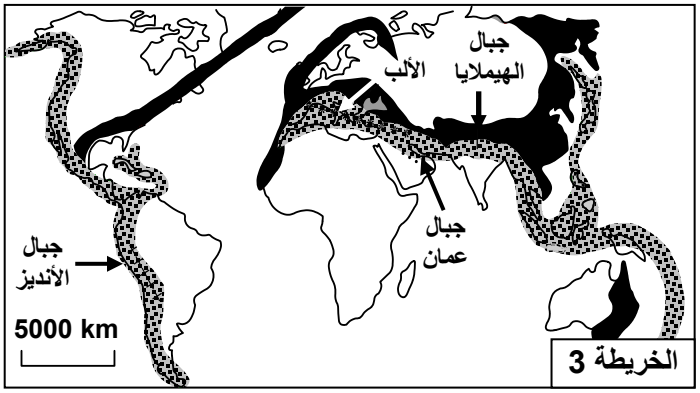


الخريطة 1: مناطق الطمر (تقارب) مناطق التباعد ذروات وسط محيطية

★ تمثل الخريطة 3 التوزيع الجغرافي للسلاسل الجبلية الحديثة على مستوى الكرة الأرضية.



الخريطة 2



الخريطة 3

1) اعتمادا على الخريطة1 و2 وعلى مكتسباتك ذكر بمميزات حدود الصفائح؟
2) بالاعتماد على الخريطة 3 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 وتتكون 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 للصفيحتين.

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 لصفيحتين مختلفتين.
- سلاسل الطفو: تنتج عن طفو أو تراكب غلاف صخري محيطي فوق غلاف صخري قاري ينتميان لصفيحتين مختلفتين.

II – خصائص السلاسل الجبلية الحديثة.

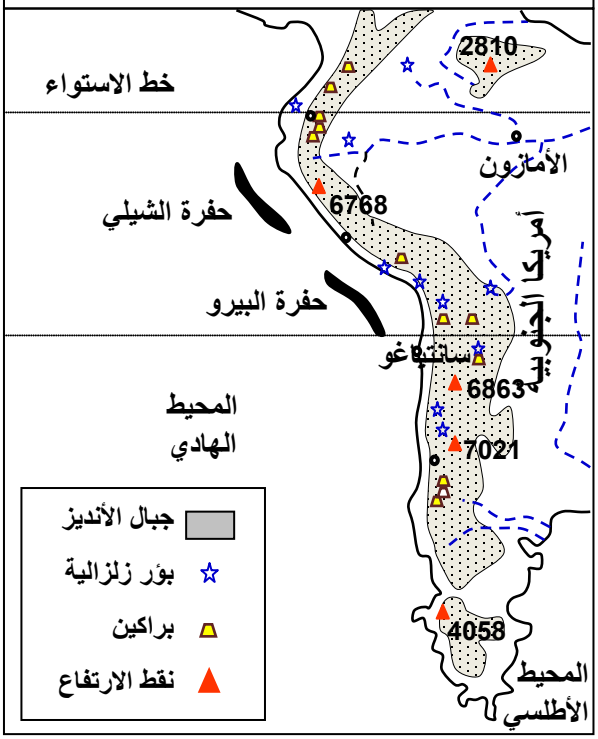
① **سلاسل الطمر:** مثال جبال الأنديز

أ - الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر: أنظر الوثيقة 3.

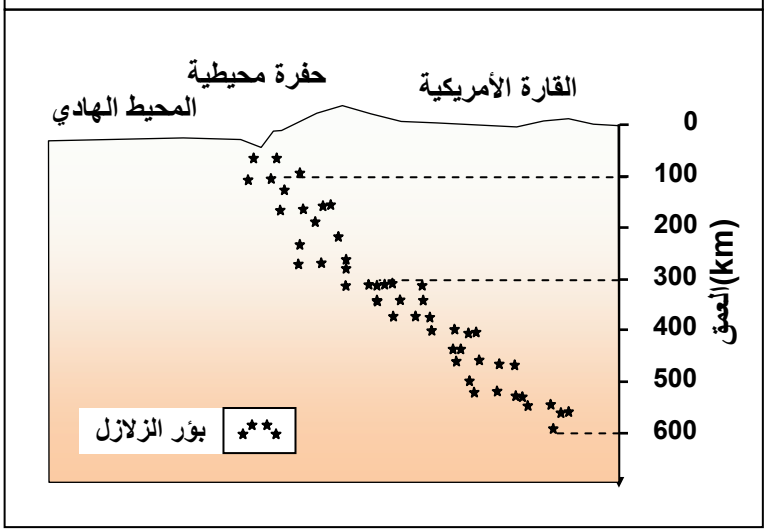
الوثيقة 3: الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر.

تعتبر سلسلة جبال الأنديز بالساحل الغربي لأمريكا الجنوبية، نتاج لظاهرة الطمر. لتعرف الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر، نعطي الوثائق التالية:

شكل أ: خريطة أمريكا الجنوبية تبين جغرافية الهامش النشيط.

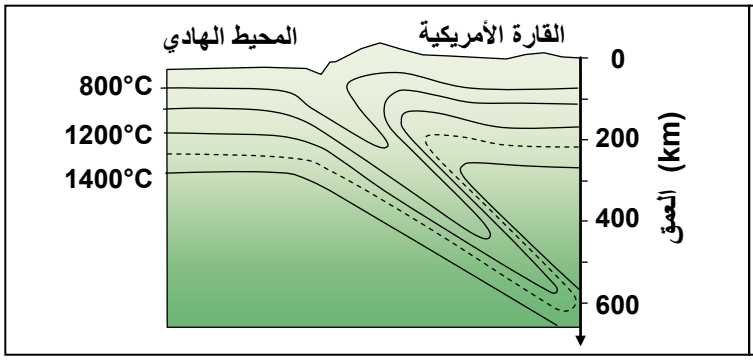


شكل ب: توزيع بؤر الزلازل حسب العمق في مستوى الهامش النشيط لمنطقة الأنديز.



شكل ج:

توزيع خطوط تساوي درجة الحرارة في منطقة الطمر بجبال الأنديز.



(تابع) الوثيقة 3: الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر.

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 للصفيحة الدقيقة: PY= البيروكسين، PL= البلاجيوكلاز، M= ميكروليتات، C= زجاج.

انطلاقا من دراسة معطيات هذه الوثيقة:

1) استخرج الظروف الجيوفيزيائية المميزة لمناطق الطمر.
2) صف صخرة الأندزيت واربط العلاقة بين بنيتها وظروف تشكلها.

1) تتموضع جبال الأنديز (سلاسل الطمر) في منطقة التجابه بين صفيحة المحيط الهادي وصفيحة أمريكا الجنوبية. ويتميز هذا الهامش النشيط بظواهر جيولوجية خاصة أبرزها:

- وجود حفر محيطية عميقة.
- زلزالية شديدة تنتظم بؤرها على مستوى مائل يسمى مستوى Benioff.
- شذوذات 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 أنديزيتة يسبب تبردها المرحلي صخرة ذات بنية ميكروليتية تسمى الأندزيت.

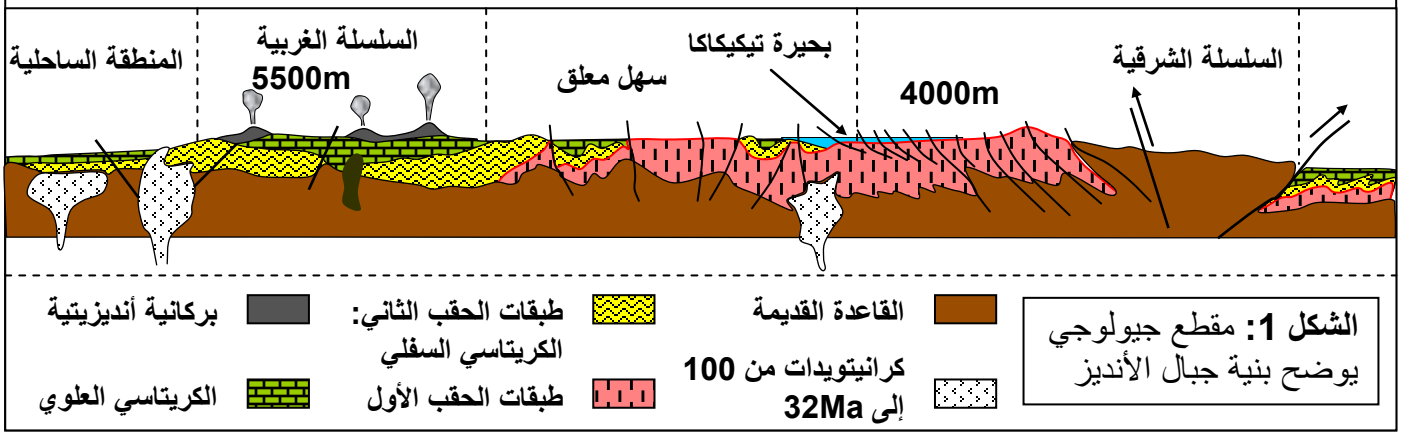
2) تتكون صخرة الأنديزيت من مادة غير متبلورة تدعى عجين أو زجاج، وبلورات كبيرة الحجم (البلاجيوكلاز والبيروكسين)، وبلورات صغيرة الحجم تدعى ميكروليتات. لدى نتكلم عن بنية ميكروليتية، الشيء الذي يدل على أن صخرة الأنديزيت تشكلت عبر مراحل:

- تبريد بطيء في العمق مكن من تشكل البلورات الكبيرة.
- تبريد سريع على السطح ترتب عنه تشكل الزجاج والميكروليتات.

ب- تشكل سلاسل الطمر: أنظر الوثيقة 4

الوثيقة 4: تشكل سلاسل الطمر.

يعطي الشكل 1 من الوثيقة، مقطعا جيولوجيا يوضح بنية جبال الأنديز.



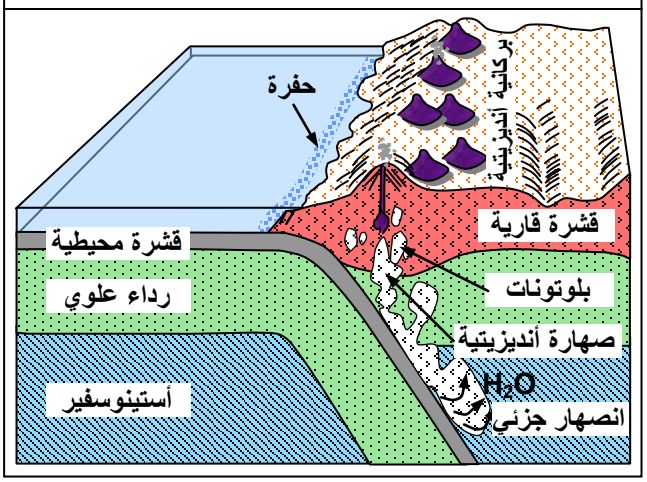
الشكل 1: مقطع جيولوجي يوضح بنية جبال الأنديز

(تابع) الوثيقة 4: تشكل سلاسل الطمر.

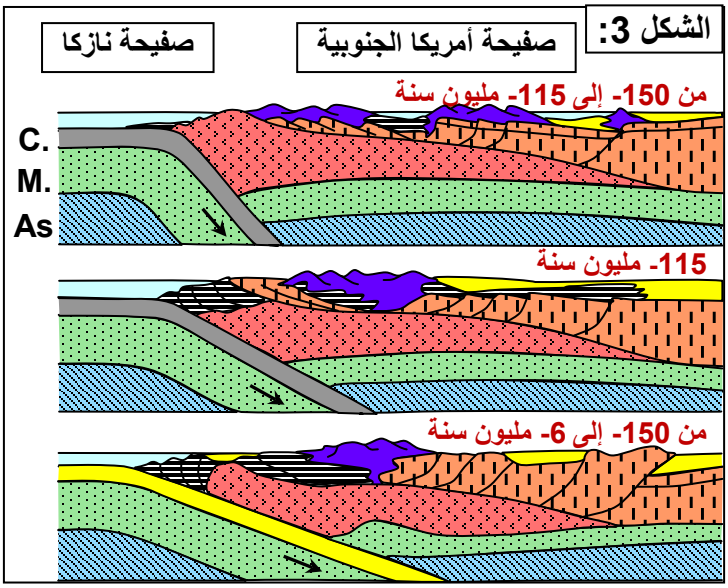
1) انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة، استخرج المميزات التكتونية لجبال الأنديز.

يعطي الشكل 2 مجسما بيانيا لبنية جبال الأنديز. والشكل 3، نموذجا تفسيريا لمراحل تشكل سلاسل الطمر.

الشكل 2: مجسم بياني لبنية جبال الأنديز: البركانية الأنديزيتية والبلوتونية نتاج لتكتونية الصفائح



الشكل 3:



2) من خلال معطيات الشكل 2 من هذه الوثيقة، ومعطيات الوثيقة 5، بين كيف تتشكل البركانية الأنديزيتية وبلوتونات الكرانوديوريت، واربط هذين الحدثين بتكتونية الصفائح.

3) من خلال تحليل معطيات الشكل 3 من الوثيقة، حدد تسلسل الأحداث المؤدية إلى تشكل جبال الأنديز.

1) انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة يمكن القول أن سلاسل الأنديز تتميز بـ:

- بركانية أنديزيتية وبصخور بلوتونية (صخرة صهارية داخلية النشأة أي تبردت في العمق).
- تشوهات تكتونية بسيطة: طيات على شكل مروحة وفوالق معكوسة.

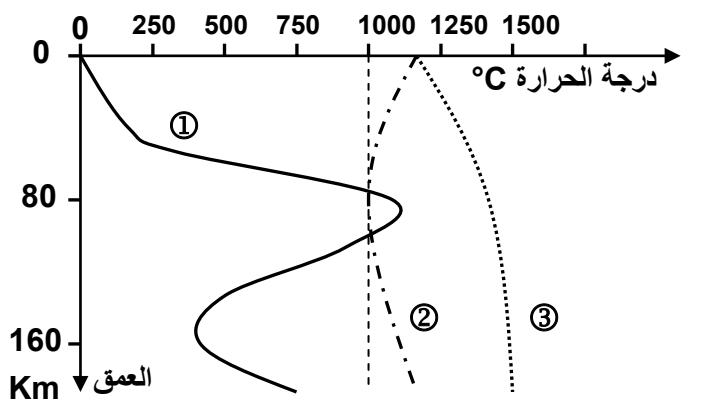
الوثيقة 5: تطور درجة الحرارة حسب العمق تحت القوس الصهاري لمنطقة الطمر ① .

على نفس المبيان مثلت المنحنيات التجريبية لبداية انصهار البيريدوتيت المكونة للرداء تحت ظروف الضغط والحرارة:

② = منحنى تصلب البيريدوتيت المميهة.

③ = منحنى تصلب البيريدوتيت غير المميهة.

من خلال تحليل معطيات هذه الوثيقة، أربط العلاقة بين البلوتونية والبركانية الأنديزيتية وتكتونية الصفائح.



2) انطلاقا من معطيات الشكل 2 من الوثيقة 4، ومعطيات 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 الأستنوسفير 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.

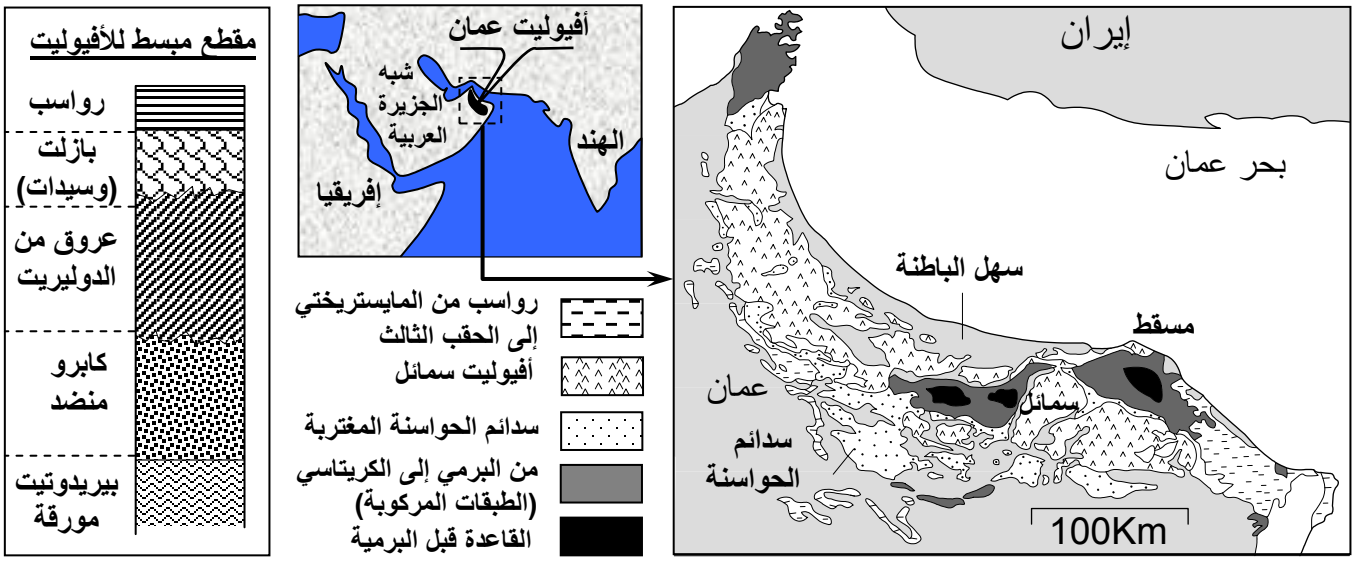
3) تكون الصفيحة المنغرزة أثناء الطمر مكسوة بطبقات رسوبية، تعمل الصفيحة الراكبة على كشطها وفصلها عن القشرة المحيطية المركوبة ، فتشكل هذه الرواسب موشور التضخم.

بتوالي الضغوط التكتونية، تزداد أهمية الطي والفوالق المعكوسة، فينتج عن هذا تقصير وارتفاع في الغلاف الصخري مشكلا تضاريس عالية تمثل سلاسل الطمر.

② **سلاسل الطفو:** مثال جبال عمان

أ - الخاصيات البنيوية لسلاسل الطفو: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: خريطة جيولوجية مبسطة لجبال الحجر شمال عمان.



انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة، حدد المميزات البنيوية لجبال عمان. وما المعلومات التي يفيد بها وجود الأفيوليت في جبال عمان؟

★ تتميز سلسلة جبال عمان ب:

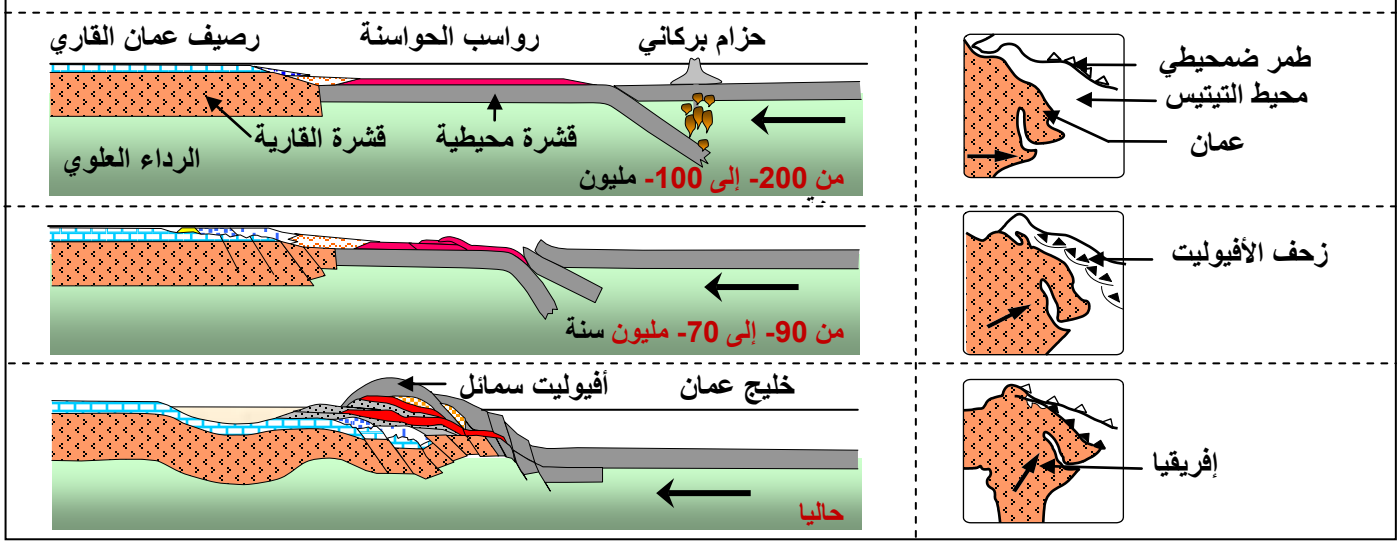
- وجود سدائم، وهي تشكيلات صخرية مغتربة ذات امتداد كبير (مئات الكيلومترات)، زحفت من موقع نشأتها واستقرت في مكان آخر وغطت صخورا أخرى تسمى بالصخور المركوبة.
- وجود صخور المركب الأوفيوليتي Ophiolite له نفس تركيب الغلاف الصخري المحيطي.

★ داخل المجال القاري لعمان، يعتبر وجود صخور المركب الأفيوليتي شاهدا عن انغلاق مجال محيطي وزحف لصفيحة محيطية على صفيحة قارية، وهو ما يسمى بالطفو Obduction.

ب- تشكل سلاسل الطفو: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: مراحل تشكل جبال عمان.

اعتمادا على معطيات هذه الوثيقة، صف مراحل تشكل جبال عمان، واربط تشكل هذه السلاسل بتكتونية الصفائح.



باعتبار الخصائص البنيوية والصخرية الحالية لجبال عمان، يمكن استعادة التاريخ الجيولوجي للمنطقة، والذي تتمثل أحداثه كالتالي:

- بين الصفيحة الإفريقية والصفيحة 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 الصفيحة الإفريقية تحت الصفيحة 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 التراكبات من الصخور إلى تضخم الغلاف الصخري،فينتج عن ذلك نشوء سلاسل جبلية تسمى بسلاسل الطفو.

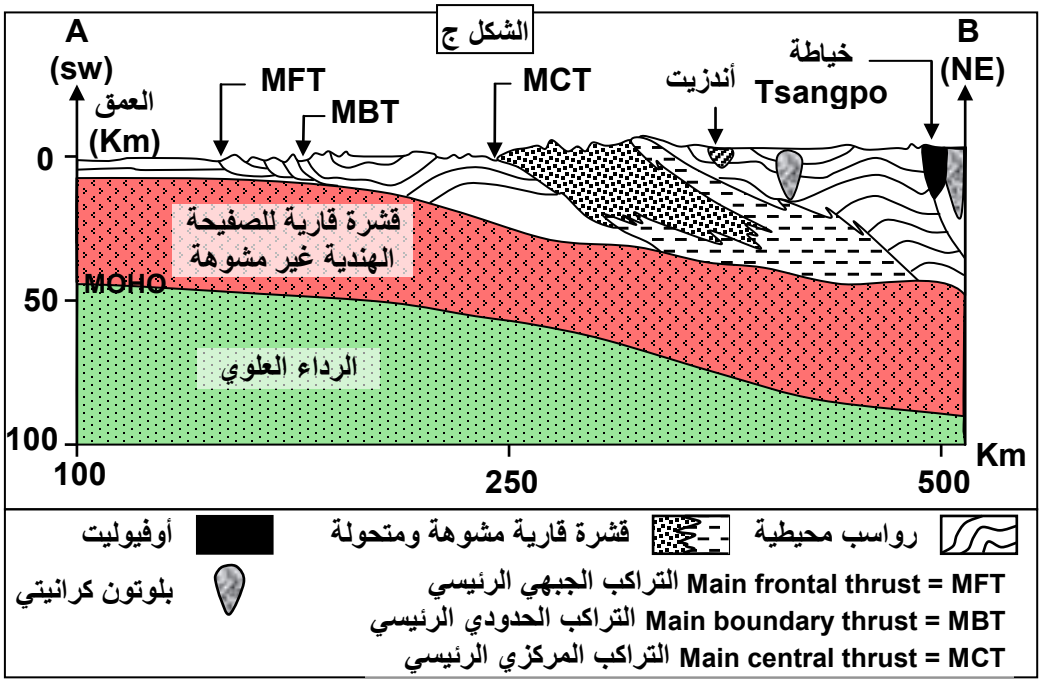
③ سلاسل الاصطدام: مثال جبال الهملايا

أ - الخاصيات البنيوية والبتروغرافية لسلاسل الاصطدام: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: سلاسل الاصطدام (سلسلة جبال الهملايا).

تعطي الوثيقة صورة بالأقمار الاصطناعية للهملايا (الشكل أ)، ورسم تفسيري لهذه الصورة (الشكل ب). ويمثل الشكل ج، رسم تخطيطي لمقطع جيولوجي أنجز على مستوى جبال الهملايا حسب الخط AB.

1) انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة حدد تموضع جبال الهملايا، ثم صف الكيفية التي تتموضع بها هذه الجبال.
2) انطلاقا من الشكل ب استخرج المميزات الصخرية والتكتونية لجبال الهملايا مع ذكر دلالة كل عنصر.



1) تنحصر جبال الهملايا بين كتلتين قاريتين متصادمتين: الهند وآسيا.

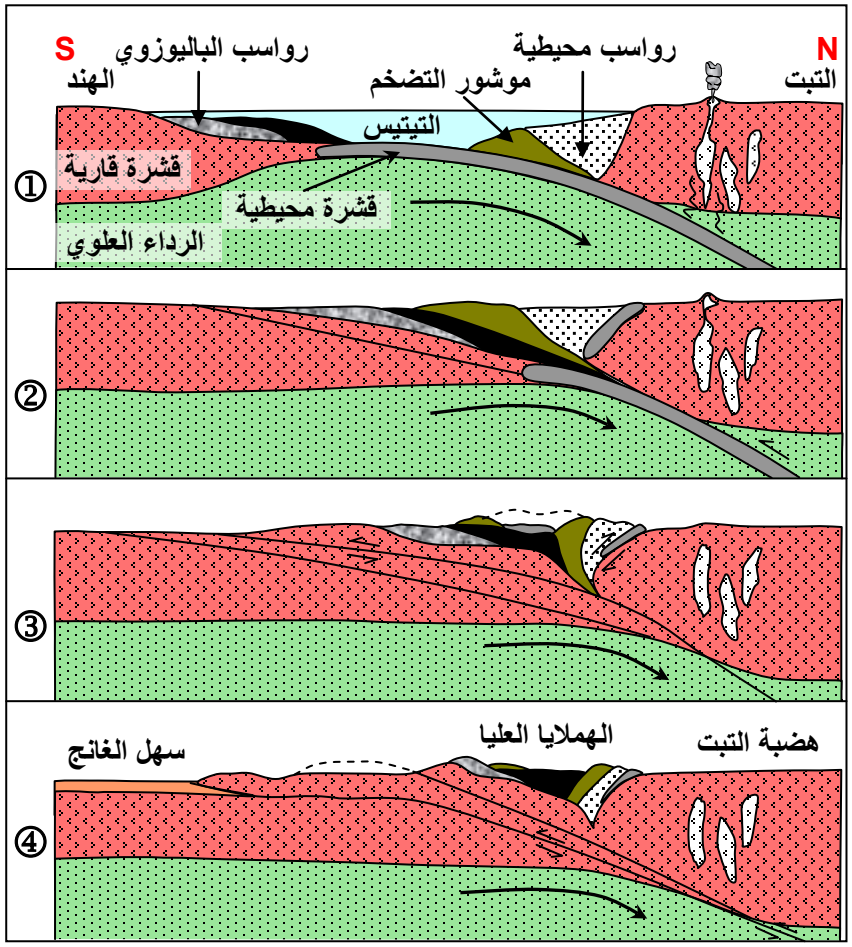
2) تتميز هذه السلاسل بـ :

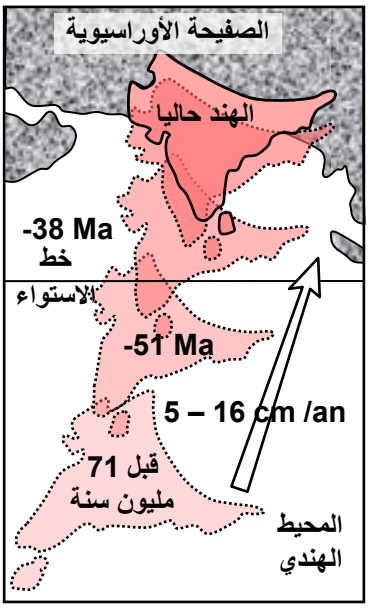
- تراكبات Chevauchement وتشوهات ناتجة عن قوى انضغاطية عرفتها منطقة التجابه بين الكتلتين القاريتين.
- وجود صخور أنديزيتية وكرانيتية بالتبت، تدل على نشاط صهاري ناتج عن ظاهرة الطمر.
- وجود صخور الأوفيوليت وصخور رسوبية تيتيسية (موشور التضخم) تدل على حدوث طفو.

ب- تشكل سلاسل الاصطدام: أنظر وثيقة 9.

الوثيقة 9: تشكل سلاسل الاصطدام.

رسوم تخطيطية تبين حركة الصفيحة الهندية حسب نظرية زحزحة القارات. ومراحل تشكل جبال الهملايا.





انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة:

1) صف تموضع شبه الجزيرة الهندية عبر الزمن واربط ذلك بزحزحة القارات.

2) فسر آلية تشكل سلاسل الاصطدام واربط العلاقة بين تشكل هذه الجبال وتكتونية الصفائح.

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 الهملايا.

2) تشكلت السلاسل الجبلية للهملايا 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 الصهارة الأنديزيتية والبلوتونية.
- بعد استنفاد الغلاف الصخري المحيطي للصفيحة المطمورة يتم حجز الطمر، فينتج عن ذلك طفو جزء من الغلاف الصخري المحيطي للصفيحة الراكبة فوق القشرة القارية للهند الشيء الذي أعطى مركب الأوفيوليت.
- مع استمرار القوى الانضغاطية، اصطدم الهامشان القاريان للهند واسيا، 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 مسبوقا بـ:

✓ طمر دون طفو: غياب المركب الأفيوليتي.
✓ طمر مع طفو: تواجد المركب الأفيوليتي.

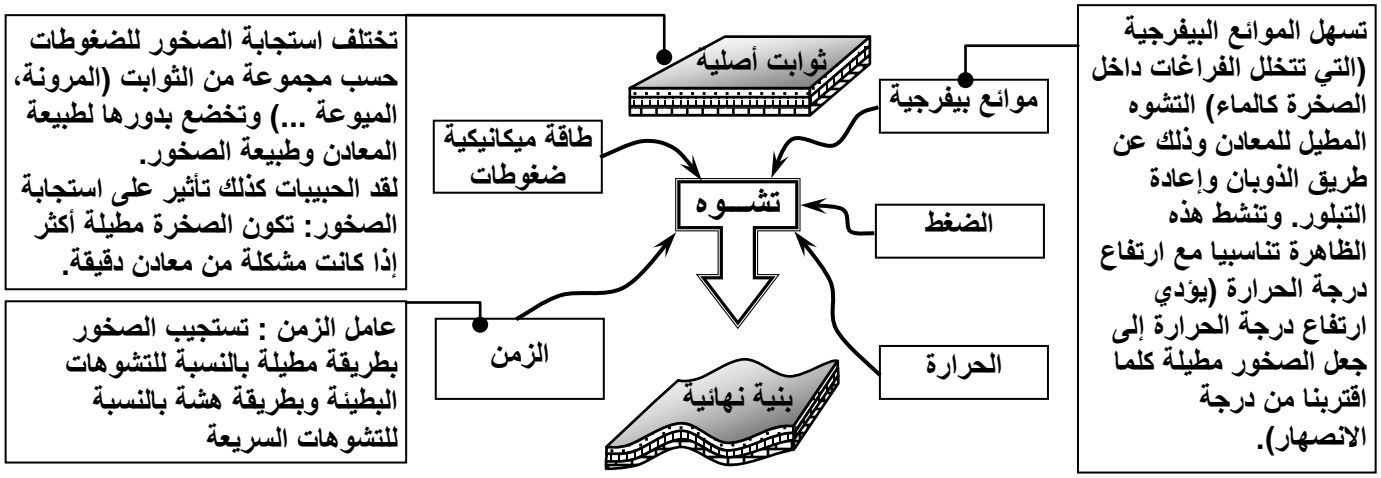
III – التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر والاصطدام.

① العوامل المتدخلة في تشوه الصخور.

أ - ملاحظات: أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 10: عوامل تشوه الصخور.

تختلف تشوهات الصخور حسب بنيتها وتركيبها وتموضعها في الغلاف الصخري، إذ تكون هشة في السطح فتشكل فوالق وطيات ثابتة السمك. وتكون مطيلة في العمق فتشكل طيات متغيرة السمك وشيستية.



1) استخرج أهم العوامل المؤثرة في تشوه الصخور بالسلاسل الجبلية.
2) فسر سلوك الصخور إزاء التشوهات بدلالة العمق.

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 هشة 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).

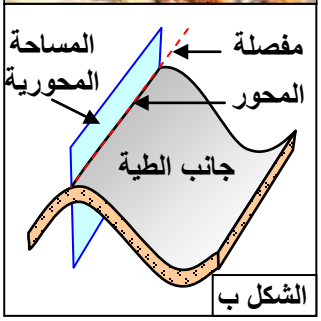
② التشوهات التكتونية.

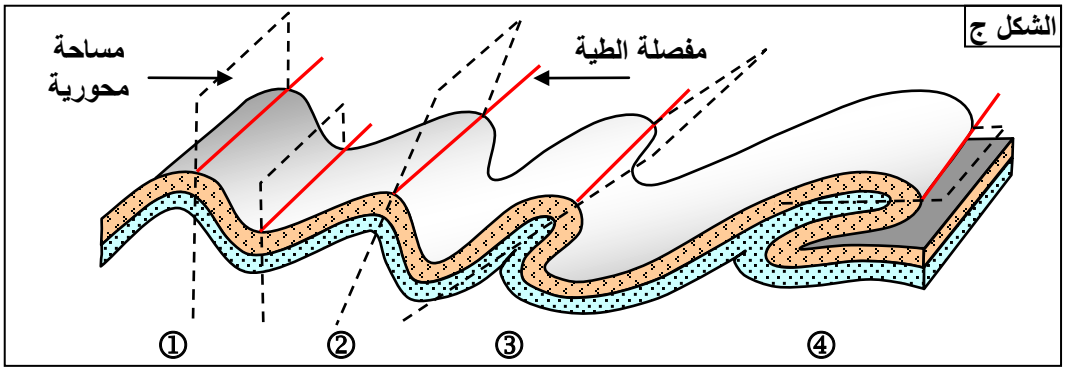
أ - الطيات Les plis:

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. أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 11: 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 وخاصيات الطيات.
3) ميز بين مختلف أصناف الطيات.





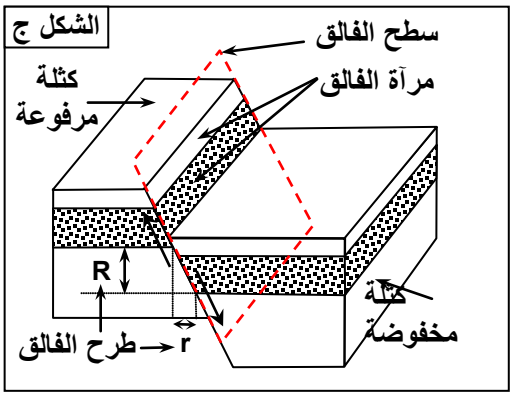
1) تتميز سلاسل الطمر والاصطدام بتشوهات تكتونية تتجلى في طيات محدبة، وطيات مقعرة، وهي تشوهات تقاربية ناجمة عن ضغوط تكتونية بمناطق التجابه بين الصفائح.
2) (أنظر الشكل ب) عناصر الطية هي: المفصلة، جانب الطية، المساحة المحورية، محور الطية.
3) (أنظر الشكل ج) أصناف الطيات هي: طية مستقيمة، طية منحرفة، طية مائلة، طية راقدة.

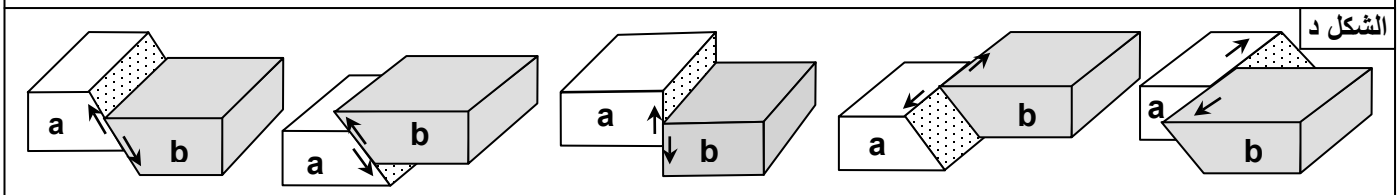
ب -الفوالق Les failles:

الطيات هي عبارة عن انكسارات للكتل الصخرية مصحوبة بتفاوت للكتلتين الناتجتين عن الكسر. أنظر الوثيقة 12.

الوثيقة 12: الفوالق. يعطي الشكل أ صورة لفالق عادي، والشكل ب صورة لفالق معكوس. الشكل ج: عناصر الفالق. الشكل د: أنماط الفوال. الشكل ه: الفوالق المركبة. انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة:

1) تعرف أنواع الفوالق المنتشرة في مناطق الطمر والاصطدام.
2) تعرف عناصر الفالق.
3) قارن بين مختلف أصناف الفوالق.





.....	.....	.....	.....	.....

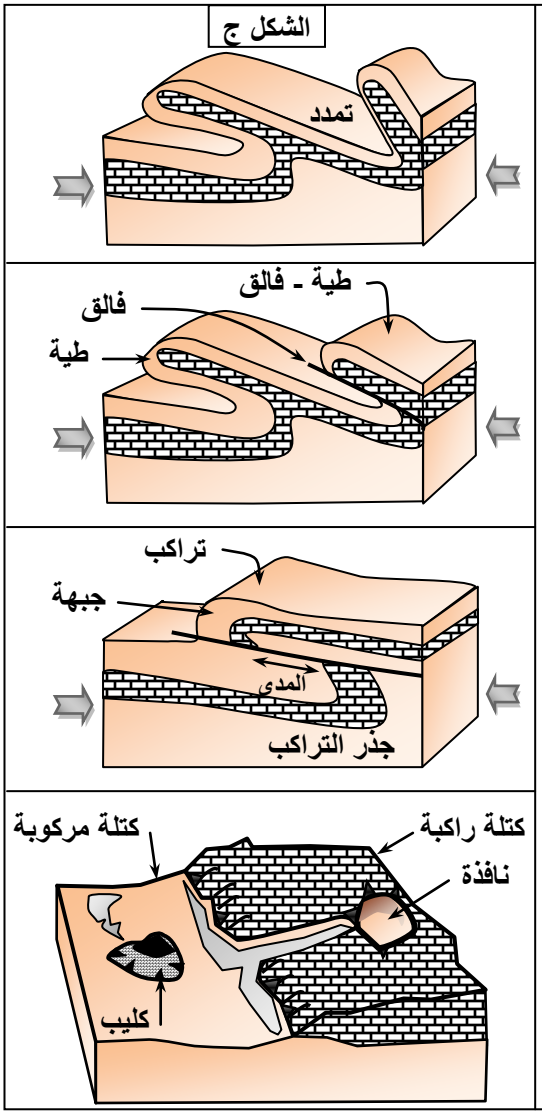
1) تتميز سلاسل الطمر والاصطدام بفوالق معكوسة وعادية، وسدائم، وهي تشوهات تقاربية ناجمة عن ضغوط تكتونية بمناطق التجابه بين الصفائح.
2) (أنظر الشكل ج) عناصر الفالق هي: سطح الفالق يكون مصحوبا بصقل إلي يسمى مرآة الفالق. طرح الفالق مركب من طرح أفقي مستعرض (r)، وطرح عمودي (R).

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.

ت- التشوهات الوسيطة: أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: التشوهات الوسيطة.

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 الطية الفالق ثم إلى التراكب. انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة تعرف مختلف التشوهات الوسيطة المميزة لمناطق الطمر والاصطدام.



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.

b – التراكب Chevauchement

بعد تشكل الطية-الفالق، وإذا استمرت الضغوطات، يزحف الجزء الأعلى فوق الآخر مشكلا تراكبا.

c – السديمة Nappe de charriage

بعد تشكل التراكب، وإذا استمرت الضغوطات، تصبح مسافة زحف الجزء الأعلى كبيرة، فتتكون بذلك السديمة. يسمى الجزء المتنقل 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.

الوحدة السادسة، الفصل الثاني:

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.

- **ما هي الخاصيات البنيوية والعيدانية للصخور المتحولة المميزة لمناطق الطمر والاصطدام؟**
- **ما هي ظروف التحول وما هي علاقتها بتكتونية الصفائح؟**
- **كيف يمكن للصخرة المتحولة أن تختزن ظروف تحولها؟**

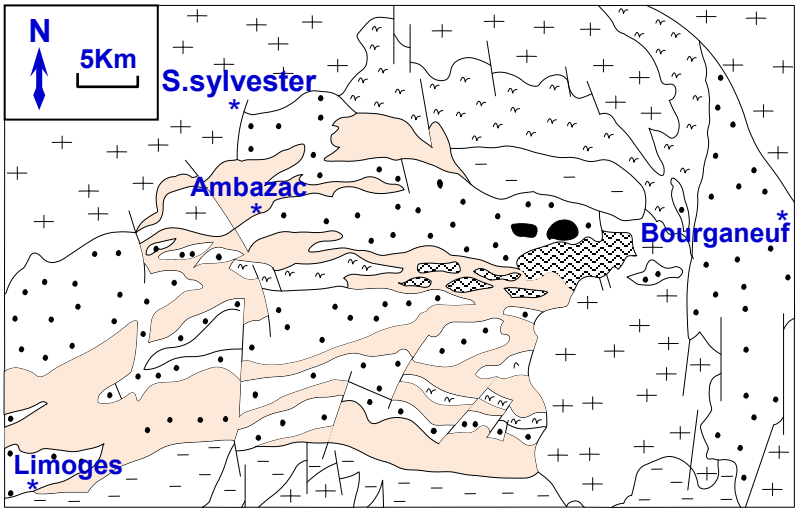
I – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الاصطدام.

① دراسة خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة Bas Limousin: أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة Bas Limosin بجبال الألب (سلاسل الاصطدام).

تعطي الوثيقة أمامه، خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة Bas Limousin بفرنسا، تنتمي لجبال الألب.

صف استسطاح الصخور المتحولة بهذه المنطقة من السلسلة الألبية.



نلاحظ أن المنطقة تتميز بتشوهات تكتونية كالفوالق. يدل وجود هذا النمط من التشوهات على أن المنطقة تعرضت لقوى تكتونية انضغاطية، ناتجة عن الاصطدام. إضافة إلى التشوهات التكتونية، تتميز سلاسل الألب باستسطاح صخور الميكاشيست، الغنايس، الأمفيبوليت والليبتينيت، وهي صخور ذات تركيب عيداني مميز، تسمى صخورا متحولة والتي تتداخل مع الكرانيت.

② الخصائص البنيوية والعيدانية والكيميائية للصخور المتحولة:

أ - مفهوم التنضد، الشيستية والتوريق:

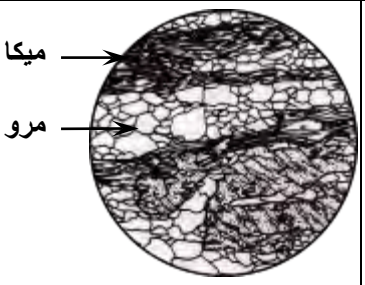
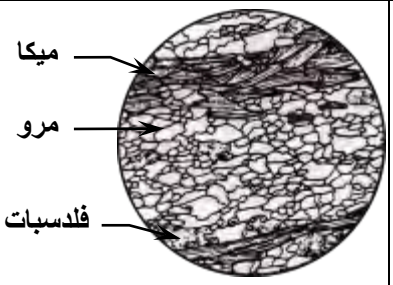
التنضد Stratification: هو نوع من التطبق تبينه مكونات الصخرة وهو ناجم فقط عن ظاهرة الترسب.

الشيستية Schistosité: توريق أقل أو أكثر دقة تكتسبه الصخور المتحولة بفعل عامل الضغط، ويختلف عن التطبق كما يمكن أن يتجزأ إلى صفائح منتظمة.

التوريق Foliation: بنية واضحة في بعض الصخور المتحولة حيث يضاف إلى الشيستية تمايز معدني بين الأسرة ينتج عنه تكوين وريقات.

ب - مميزات الصخور المتحولة المنتشرة في سلاسل الاصطدام: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: بعض مميزات الصخور المتحولة المنتشرة في سلاسل الاصطدام.

	الشيست الأخضر	الميكاشيست	الغنايس
ملاحظة الصخرة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			
التركيب الكيميائي (%) SiO_2	60.2	60.9	68.7
Al_2O_3	20.9	19.1	16.2
Fe_2O_3	2.8	1.2	0.7
FeO	3.7	4.1	4.1
MgO	0.85	1.4	1.3
CaO	0.55	1.7	1.8
Na_2O	2.45	2.1	3.8
K_2O	4.1	3.7	3

1) صف البنية المجهرية لكل عينة من الصخور. ماذا تلاحظ.
2) استخرج المكونات العيدانية التي تتميز بها كل صخرة.ماذا تستنتج.
يمثل الجدول أسفل الوثيقة نسب العناصر الكيميائية التي تحتوي عليها كل صخرة .
3) ماذا تستنتج من خلال تحليل معطيات الجدول.
أثبتت الدراسة الميدانية للمنطقة وجود صخور طينية ذات تركيب كيميائي يغلب عليه العنصرين(SiO_2 وAl_2O_3).
4) اقترح فرضية توضح من خلالها العلاقة بين هذه الصخور والصخور المتحولة الموجودة بالمنطقة.

1) البنية المجهرية للعينات:
- ✓ الشيست الأخضر: صخرة ذات بنية شيستية تأخذ خلالها المعادن اتجاها دالا على اتجاه القوى التي تعرضت إليها.
- ✓ الميكاشيست: صخرة لامعة ذات بنية مورقة قابلة للانفصام، 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 (الميكا).

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(ميكا بيضاء ذات بلورات جد رقيقة) والكلوريت ذو اللون الأخضر(لدى تسمى الصخرة بالشيست الأخضر).
- ✓ الميكا شيست: تتشكل من الميكا (البيوتيت والموسكوفيت) ومن المرو.
- ✓ الغنايس: تتشكل أساسا من الميكا (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 (SiO_2 وAl_2O_3). 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.

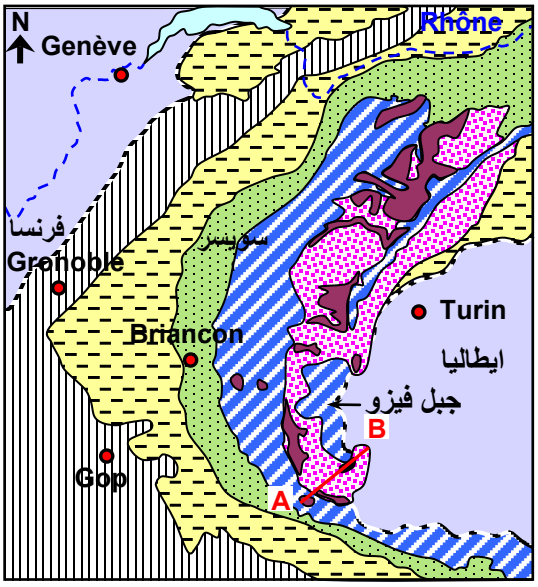
إذا علمنا أن الصخور الطينية تتشكل أساسا من سيليكات الألبومين، يمكن افتراض أن العينات المدروسة هي ناتجة عن تحول صخور طينية.

II – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الطمر.

① استسطاح بعض الصخور المتحولة الشاهدة عن طمر قديم:

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. أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: خريطة جيولوجية مصحوبة بمقطع جيولوجي AB لمنطقة الطمر بجبال الألب



1) اعتمادا على معطيات الخريطة الجيولوجية استخرج المميزات الصخرية للمنطقة.
2) ما دلالة تواجد الأفيوليت بالمنطقة.
3) اربط العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة وظروف التحول.

- الأحواض الهامشية لمجال الألب
- حدود المجال المطوي من السلسلة
- صخور مطوية وغير متحولة
- الأوفيوليت (غابرو وبيريدوتيت متحولان)
- تحول ذو درجة ضعيفة
- مجال الشيست الأخضر
- مجال الشيست الأزرق ذي كلوكوفان
- مجال الايكلوجيتات
- مجال ما فوق الضغط العالي

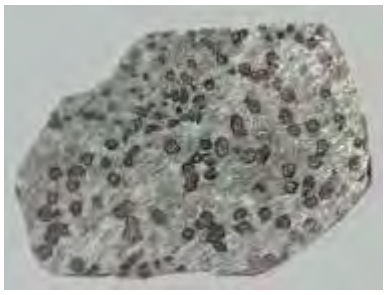
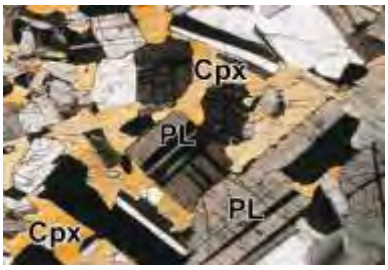
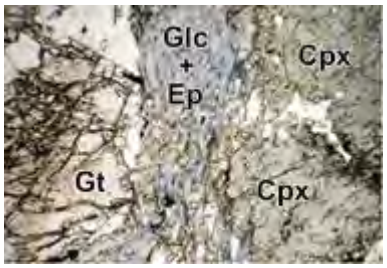
1) المميزات الصخرية للمنطقة:
تبرز الخريطة تمنطقا في توزيع الصخور المتحولة حيث ننتقل تدريجيا من مجال الشيست الأخضر (غني بالكلوريت)، نحو مجال الشيست الأزرق (غني بالكلوكوفان)، ثم إلى مجال الإكلوجيتات (جادييت والبيجادي) المتداخلة مع الأوفيوليت.

2) دلالة تواجد الأوفيوليت بالمنطقة:
يدل الأوفيوليت على أن الاصطدام الذي نتجت عنه جبال الألب كان مسبوقا بطمر ثم طفو.

3) العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة وظروف التحول:
هناك زيادة في شدة التحول كلما اتجهنا من الشيست الأخضر إلى الشيست الأزرق ثم إلى الاكلوجيت.
ان وجود الاكلوجيت المتميز بمعدني 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 الخاصيات البنيوية والعيدانية للصخور المتحولة المنتشرة بمناطق الطمر.

	غابرو أوفيوليتي	شيست أزرق ذي كلوكوفان وايبيدوت	اكلوجيت ذو بجادي وجادييت
الملاحظة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			
التركيب العيداني	Cpx = بيروكسين PL = بلاجيوكلاز	Cpx = بيروكسين Glc = كلوكوفان	Cpx = بيروكسين Ep+Glc= كلوكوفان وابيدوت Gt = البجادي

التركيب الكيميائي (لهذه العينات نفس التركيب الكيميائي العام)	العناصر	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	FeO	TiO_2	Al_2O_3	SiO_2
	النسب المئوية	0,4	2,2	9,9	12,7	11	2,3	14,2	47,1

1) قارن بين خصائص الصخور المدروسة.
2) ماذا تستخلص من وجود الكابرو الأفيوليتي بهذه المنطقة وما علاقته بالصخور المتحولة المجاورة.

1) رغم اختلاف بنيتها وتركيبها العيداني، فان لهذه الصخور نفس التركيب الكيميائي العام. إذن الصخور الرسوبية والبلورية لمنطقة الألب الفرنسي الايطالي خضعت للتحول، ودرجة هذا التحول تختلف حسب المناطق.

2) تفيد هذه المعطيات بأن لهذه الصخور أصل مشترك حيث نتجت كلها عن تحول صخرة الكابرو.

يتبين إذن أن تشكل السلسلة الألبية كان مسبوقا باختفاء المحيط الألبي نتيجة طمر صفيحة صخرية تحت أخرى، وانتهت القارتان المحمولتان على هاتين الصفيحتين بالاصطدام، وهي ظروف ملائمة لتكون صخور متحولة.

III – عوامل التحول.

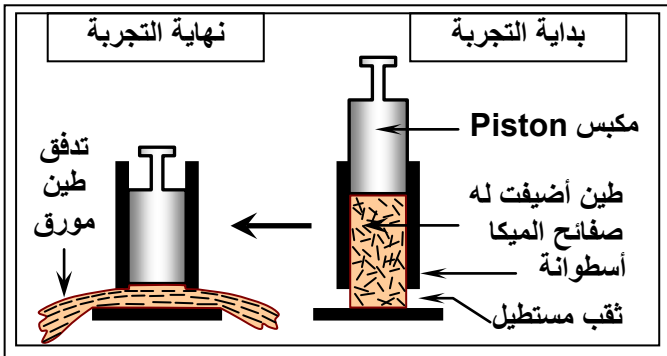
① تجارب الكشف عن ظروف التحول:

أ - **تأثير الضغط: تجربة Daubrée** أنظر الوثيقة 5 شكل أ.

الوثيقة 5: تجارب الكشف عن ظروف التحول.

الشكل أ: تجربة Daubrée: أخضع الباحث Daubrée خليطا من الطين وصفائح بلورية من الميكا لضغط عال بواسطة مكبس داخل أسطوانة بقاعدتها ثقوب مستطيلة الشكل. يوضح الرسم أمامه معطيات ونتائج هذه التجربة.

★ انطلاقا من معطيات الشكل أ، اربط العلاقة بين نتائج تجربة Daubrée والشيستية المميزة للصخور المتحولة.



في نهاية التجربة، يلاحظ ظهور شيستية على مستوى الطين المتدفق من ثقوب الاسطوانة، وتكون متعامدة مع اتجاه قوة الضغط. كما أن صفائح الميكا تصفف في اتجاه الشيستية.

ب - تأثير الحرارة:

a - تجربة طهي الاجور:

بعد تسليط درجة حرارة مرتفعة على عجين الطين يتم الحصول على اجور يفقد خلاله الطين لدونته حتى لو أضفنا إليه الماء من جديد، و هذا يعني أن الحرارة المرتفعة أحدثت تغيرا نهائيا في خصائصه دون حدوث الانصهار، و تبين التفاعلات التالية بعض التحولات العيدانية خلال هذه الظاهرة:

كاولينيت (سيليكات ألومين مميه) ← 500 °C ← ميتاكاولنيت (سيليكات ألومين غير مميه) ← 870 °C ← ميليت (سيليكات ألومين غير مميه)

b - تجربة Winkler: أنظر الوثيقة 5 شكل ب.

الوثيقة 5: تجارب الكشف عن ظروف التحول.

الشكل ب: تجربة Winkler: أخضع الباحث Winkler ومساعدوه صخورا طينية لضغط ثابت (2Kbar) مع ارتفاع تدريجي لدرجة الحرارة:

⇦ عند 570°C تظهر معادن جديدة كالبيوتيت والأندلوسيت حسب التفاعل التالي:

$$Al_4SiO_4(OH)_8 + 2SiO_2 \rightarrow SiO_2 + 4H_2O + 2Al_2SiO_5$$

كاولينيت — أندلوسيت

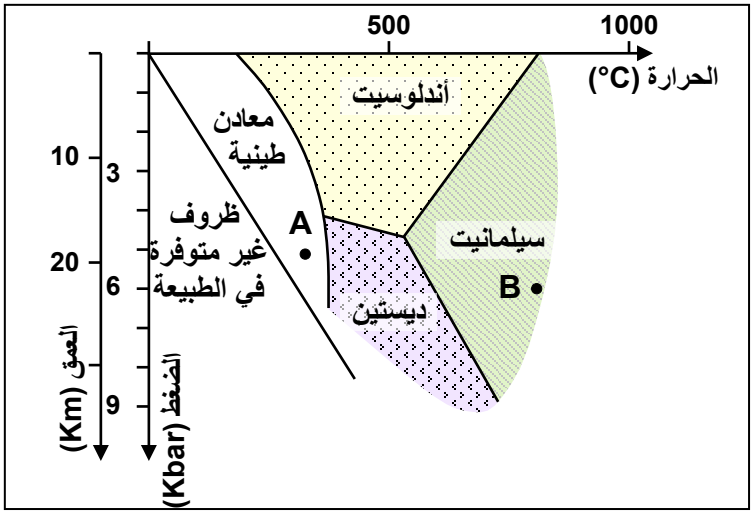
⇦ عند 700°C يبدأ الانصهار حيث يصبح الوسط يضم جزأين: جزء صلب يحتوي على البيوتيت والسيليمانيت، وجزء سائل ناتج عن الانصهار الجزئي للمادة الأصلية.

★ انطلاقا من النتائج السابقة ومعطيات الشكل ب، حدد العوامل المسؤولة عن التحول.

يتبين من خلال هذه التجارب أنه عند ارتفاع درجة الحرارة تخضع الصخرة الصلبة لتغيرات عيدانية حيث تظهر معادن وتختفي أخرى. إذن بالاضافة الى عامل الضغط، فالحرارة مسؤولة عن تغيرات عيدانية للصخرة في حالتها الصلبة.

ت - تأثير الحرارة والضغط: تجربة Richardson ومساعدوه: أنظر الوثيقة 5 شكل ج.

الوثيقة 5: تجارب الكشف عن ظروف التحول.



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، والدستين Disthène، (أنظر المبيان أمامه)

تمثل الخطوط المستقيمة حدود مجال استقرار كل معدن، ويعبر الخط الفاصل بين مجالين عن الظروف اللازمة لكي يتم التفاعل العيداني، وبالتالي تحول معدن إلى آخر.

انطلاقا من تحليل معطيات هذه الوثيقة:

★ أعط التفاعل العيداني الذي يحصل عند مرور صخرة من الظروف A إلى الظروف B. (مبيان الشكل ج)

★ بين سبب الاختلاف في التركيب العيداني 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.

مثلا عند مرور صخرة من الظروف A إلى الظروف B، يظهر أولا 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 الدستين مثلا ⇦ ضغط مرتفع)، بذلك تنعت هذه المعادن بالمعادن المؤشرة.

② **ظروف التحول في الطبيعة:** أنظر الوثيقة 6.

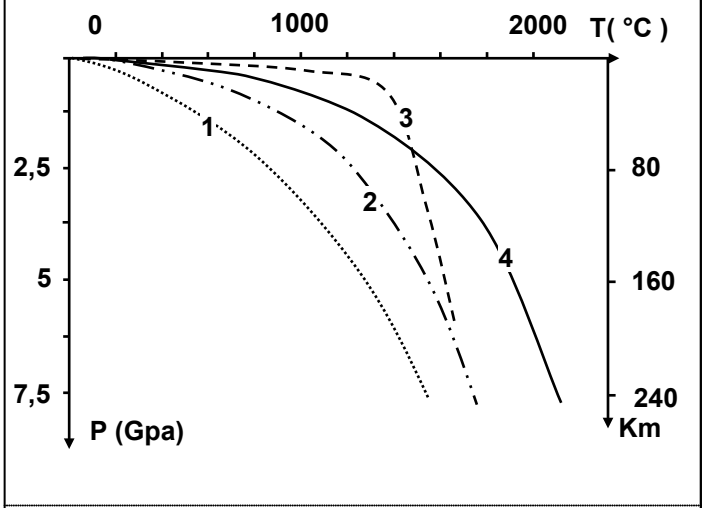
الوثيقة 6: ظروف التحول في الطبيعة.

★ 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 جيولوجيا ومرتفعة في المناطق النشيطة.

★ تخضع المواد في باطن الأرض لضغط تتناسب أهميته مع العمق وكثافة الصخور التي تعلوه. ويسمى بضغط الغلاف الصخري. وتحدد قيمته بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{\text{وزن العمود الصخري}}{\text{مساحة قاعدته}}$$

تضم الصخور بين بلوراتها بعض الموائع (H_2O, CO_2) تتسبب في ضغط إضافي هو الضغط الجزيئي للموائع.



1 = متوسط الدرجة السعيرية القارية
2 = متوسط الدرجة السعيرية المحيطية
3 = الدرجة السعيرية أسفل الدروة
4 = الدرجة السعيرية بالنقط الساخنة

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 – مفهوما المعدن المؤشر والسلسلة التحولية.

① **مفهوم التحول والمعدن المؤشر:** أنظر الشكل أ، ب، ج وثيقة 7.

الوثيقة 7: المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

★ يعطي الشكل أ من الوثيقة ملاحظة بالضوء المستقطب لصفيحة دقيقة لبازلت محيطي قديم متحول، مع رسم تفسيري لهذه الملاحظة.

⇦ يبرز هذا الشكل مظهرا من مظاهر التحول، بين ذلك.

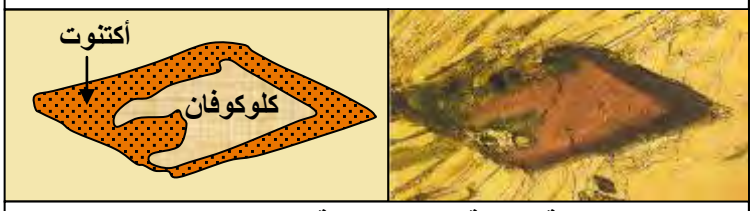
★ يعطي الشكل ب متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني

★ يعطي الشكل ج تغير التركيب العيداني حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة، أي حسب ارتفاع شدة التحول.

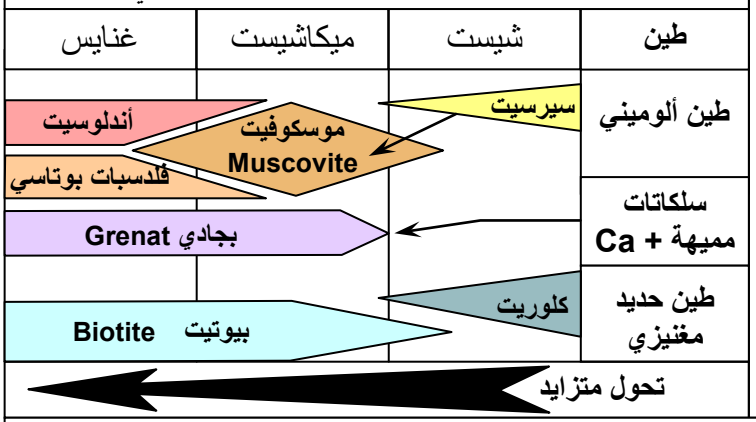
⇦ حلل معطيات الجدولين أ وب واستنتج.

⇦ انطلاقا من كل المعطيات السابقة، أعط تعريفا لمفهوم التحول، المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

الشكل أ: تحول الكلوكوفان إلى أكتنوت (امفبول أخضر) في بازلت متحول



الشكل ب : متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني.



الشكل ج: تغير التركيب العيداني حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة (ارتفاع شدة التحول).

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 سيليمانيت + مرو + بيوتيت	بيوتيت وسيلمانيت (اختفاء الموسكوفيت)
غنايس أبيض	كورديبريت + مرو	اختفاء البيوتيت

ارتفاع شدة التحول ⇩

⇦ 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 فتواجده في صخرة متحولة يمثل ذاكرة للظروف القصوى 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:

الطين (الأصل) ⇦ الشيست ⇦ الميكاشيست ⇦ الغنايس.

⟸ درجة تحول متصاعدة

② **مفهوم سحنة التحول والسلسلة التحولية:** أنظر الشكل د وثيقة 7.

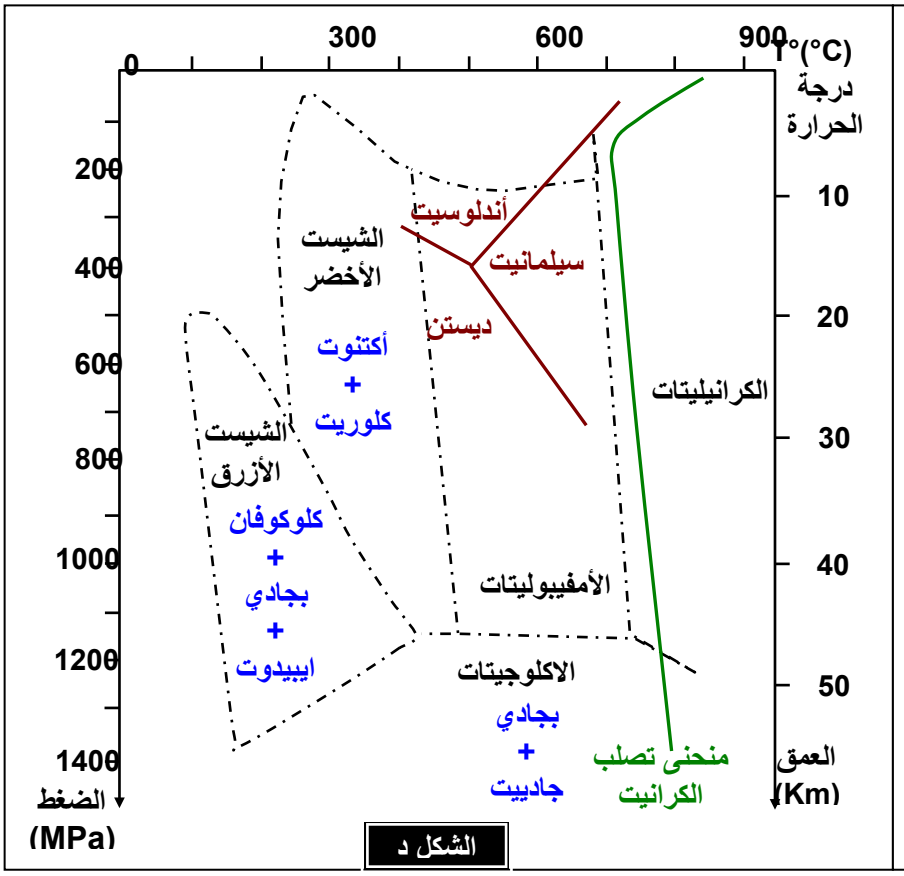
الوثيقة 7:

★ يعطي الشكل د سحنات التحول بالنسبة لصخرة أصلية بازلتية أوغابرو.

(تعبر السحنة عن تجمعات معدنية تتقارب في ظروف التشكل والتي تميز صخرة معينة، وهذا يعني أن كل سحنة تقابل مجال معين من الضغط والحرارة. تمكن هذه السحنات من تمييز الصخور المتحولة و تحديد ظروف تشكلها).

⇦ ماذا تستنتج من معطيات الشكل د من الوثيقة، إذا علمت أن للشيست الأخضر والشيست الأزرق والأمفيبوليت والاكلوجيت تركيب كيميائي مماثل للتركيب الكيميائي لكل من البازلت والغابرو ؟

⇦ أعط تعريفا دقيقا لسحنة التحول وللسلسلة التحولية.



الشكل د

⇦ يتبين من معطيات الوثيقة أن هناك اختلاف في التركيب العيداني لكل من الشيست الأخضر والشيست الأزرق والاكلوجيت 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 والحرارة. وتمكن من معرفة تطورات الضغط والحرارة التي خضعت لها الصخرة الأصلية في العمق.

③ **خلاصة:**

لتحديد التركيب العيداني لصخرة متحولة (شيست، غنايس ...) ننجز صفيحة دقيقة لهذه الصخرة في المختبر، وبعد تحديد المعادن المتحولة، نتعرف على سحنة التحول والمتتالية المنتمية لها الصخرة ومن تم نتعرف على الظروف التكتونية التي تشكلت فيها.

V – مفهوم التحول الديناميي والتحول الديناميي الحراري.

① **مجالات التحول في الطبيعة:** أنظر وثيقة 8.

الوثيقة 8: مجالات التحول في الطبيعة.

ترتبط أنواع التحول بدينامية الصفائح، لذا فهي تختلف من مكان لآخر. واعتمادا على تغير الضغط والحرارة في أعماق الغلاف الصخري، وضع Winkler تصورا يحدد مختلف أنواع التحول حسب مجالات تأثير هذين العاملين معا.

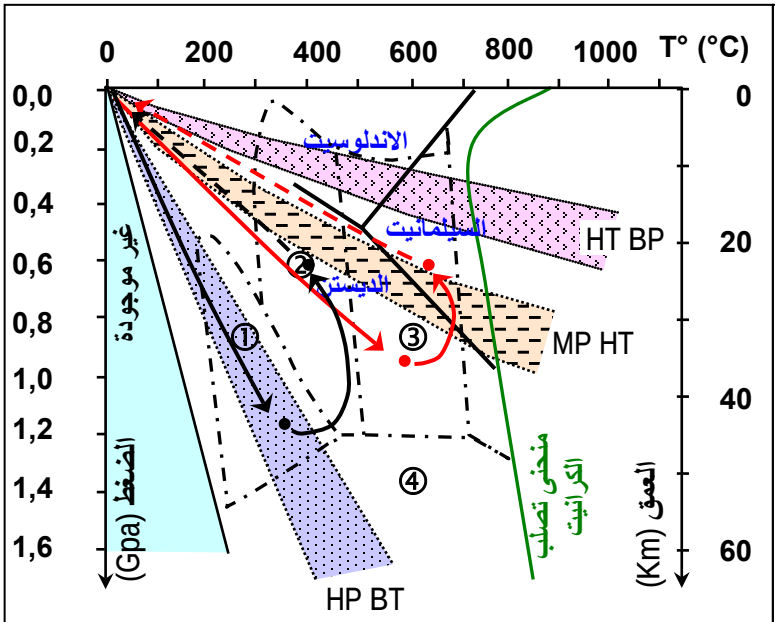
★ في مناطق الاصطدام، يحدث ارتفاع متزامن لكل من الضغط والحرارة فيكون التحول دينامي – حراري = تحول إقليمي = تحول عام.

★ في مناطق الطمر، يرتفع الضغط بسرعة، في حين يكون ارتفاع الحرارة منخفضا فيحصل تحول دينامي.

★ أثناء صعود الصهارات تتعرض الصخور المحيطة لارتفاع مفاجئ في درجات الحرارة فيحصل تحول حراري.

تمثل الوثيقة أمامه مختلف أنماط التحول في الطبيعة. اعتمادا على معطيات الوثيقة:

1) عرف مختلف أنواع التحول.
2) تتبع مسار تحول الصخور المدروسة واربط العلاقة بين هذا المسار وسحنات التحول، والظروف السائدة في كل من مناطق الاصطدام ومناطق الطمر.



① = مجال الشيست الأزرق ③ = مجال الأمفيبوليتات

② = مجال الشيست الأخضر ④ = مجال الاكلوجيتات

HT BP = ضغط منخفض ـ حرارة مرتفعة

MP HT = ضغط متوسط إلى مرتفع ـ حرارة مرتفعة

HP BT = ضغط عالي ـ حرارة منخفضة

= مسار التحول لقطعة من البازلت الأوفيوليتي الألبي

= مسار التحول لقطعة من الميكاشيست للغلاف القاري

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.

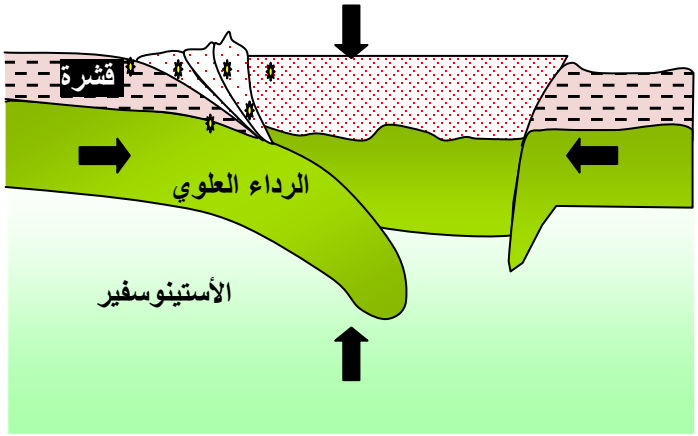
② ظروف التحول في مناطق الاصطدام: أنظر وثيقة 9.

الوثيقة 9: ظروف التحول في مناطق الاصطدام.

يعود التحول في مناطق الاصطدام إلى ارتفاع متزامن لدرجة الحرارة والضغط. (ضغط موجه ناتج عن القوى التكتونية وضغط الكتلة الصخرية).

التحول بهذه المناطق هو تحول دينامي حراري.

استخرج ظروف التحول في مناطق الاصطدام.



ضغط الكتلة الصخري

قوى تكتونية انضغاطية

توازن تضاغطي

في مناطق الاصطدام تخضع الصخور لارتفاع متزامن لكل من الضغط والحرارة نتيجة اصطدام صفيحتين قاريتين، فيحصل تحول دينامي حراري (تحول إقليمي Métamorphisme régional).

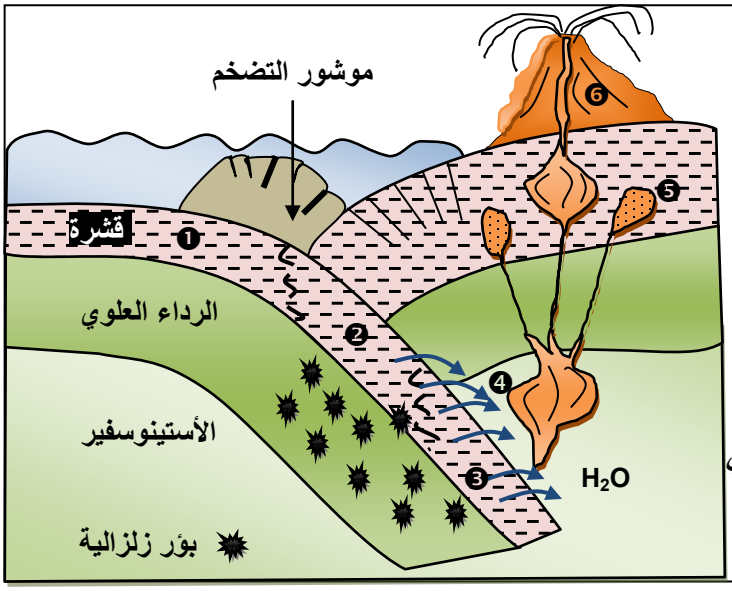
③ ظروف التحول في مناطق الطمر: أنظر وثيقة 10.

الوثيقة 10: ظروف التحول في مناطق الطمر.

عند حدوث الطمر، ينغرز الغلاف الصخري المحيطي تحت الغلاف الصخري القاري، فتتغير الظروف التي تخضع لها الصخور المنغرزة كالارتفاع الكبير في الضغط.

قد يحدث أن تصعد صخور القشرة المحيطية إلى الأعلى نتيجة ظروف جيولوجية مختلفة فيلاحظ تكون صخور جديدة تختلف عن تلك التي انغرزت.

استخرج ظروف التحول في مناطق الطمر.



❶ سحنة الشيست الأخضر ❹ تحرير الماء وانصهار جزئي

❷ سحنة الشيست الأزرق ❺ تصلب الصهارة في العمق

❸ سحنة الاكلوجيت ❻ تدفق الصهارة إلى السطح

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.

الوحدة السادسة، الفصل الثالث:

الكرانيتية وعلاقتها بظاهرة التحول

مقدمة: تعتبر الصخور الكرانيتية صخورا صهارية بلوتونية، ناتجة عن تبريد وتصلب صهارة في العمق، وهي المكون الأساسي للقشرة القارية.

- **ما هي ظروف تشكل الصخور الكرانيتية؟**
- **ما هي علاقتها بظاهرة التحول؟**

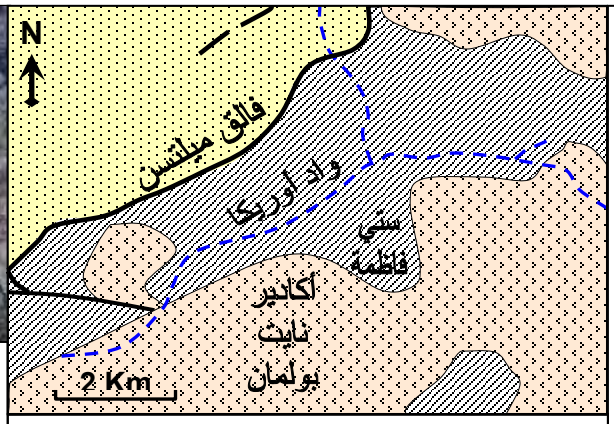
I – الكرانيت الاناتيكتي Le granite d'anatexie مثال كرانيت أوريكا العليا:

① **ملاحظات ميدانية:** أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: ملاحظة ميدانية لاستسطاح الكرانيت الأناتيكتي والصخور المتحولة المجاورة له

تمثل الوثيقة أمامه خريطة جيولوجية مبسطة لناحية أوريكا العليا، صحبة منظر لاستسطاح سحنة تتداخل فيها المجموعة الكرانيتية بالمجموعة المتحولة.

انطلاقا من تحليل الخريطة الجيولوجية، ومن ملاحظة العينة الصخرية حدد العلاقة الممكنة بين الصخور المكونة لمنطقة ستي فاطمة.

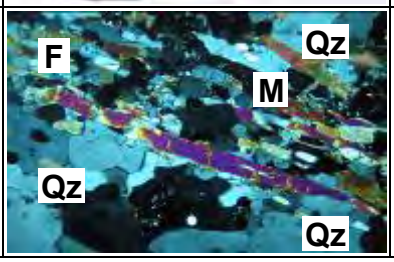
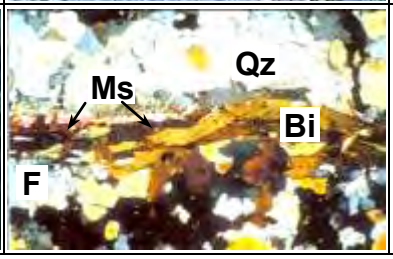
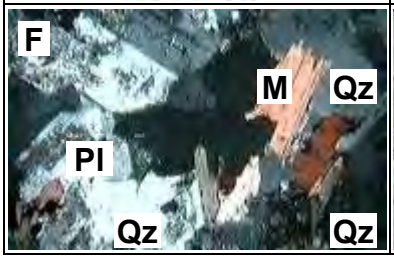


منظر لاستسطاح الميكماتيت بمنطقة ستي فاطمة يبرز تداخل الغنايس مع الكرانيت

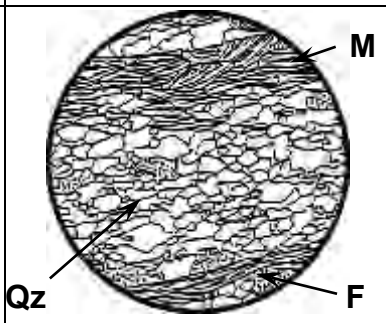
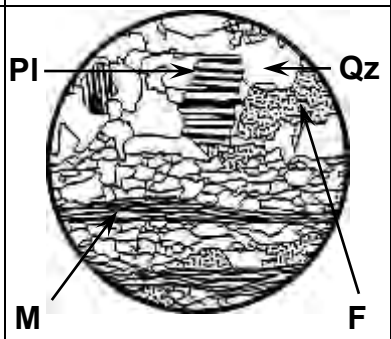
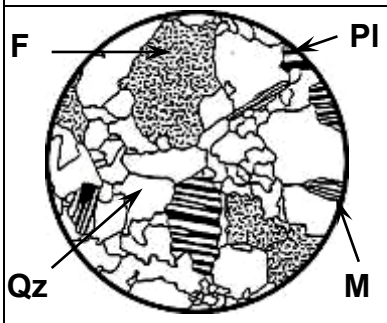
يرتبط كرانيت ستي فاطمة بصخور شديدة التحول مثل الغنايس وبعدة تشوهات على شكل فوالق أساسا.
لا توجد حدود واضحة بين استسطاح الكرانيت ذي اللون الفاتح والصخور المتحولة المجاورة، حيث تتشكل منطقة المرور من الكرانيت إلى الصخور المجاورة (الغنايس) من تشكيلات وسيطة عبارة عن خليط من الكرانيت والغنايس تسمى بالميكماتيت.(خليط = mélange = migma). وهي تدل على نهاية المتتالية التحولية مرورا من ظروف التحول إلى ظروف الانصهار.

② **بعض خصائص الصخور المستسطحة بمنطقة ستي فاطمة:** أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: التعرف على بعض خصائص الصخور المستسطحة بمنطقة ستي فاطمة (أوريكا العليا).

العينة الصخرية	الغنايس	الميكماتيت	الكرانيت
ملاحظة الصخرة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			

(تابع) الوثيقة 2: التعرف على بعض خصائص الصخور المستسطحة بمنطقة ستي فاطمة (أوريكا العليا).

العينة الصخرية	الغنايس	الميكماتيت	الكرانيت
رسم تفسيري للملاحظة المجهرية			
التركيب العيداني	Qz = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. M = ميكا سوداء.	Qz = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. Pl = فيلدسبات بلاجيوكلاز. M = ميكا سوداء.	Qz = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. Pl = فيلدسبات بلاجيوكلاز. M = ميكا سوداء.
البنية	مورقة	مورقة - محببة	محببة

★ قارن بين العينات الصخرية.
★ تعبر هذه العينات عن مرور تدريجي نحو الكرانيت. أبرز ذلك معتمدا المعطيات الخاصة بالميكماتيت.

★ الكرانيت صخرة صلبة، ذات بنية حبيبية، تتكون من ثلاثة معادن رئيسية هي المرو، الميكا السوداء (البيوتيت)، والفيلدسبات الذي يكون ورديا ويسمى أورتوز، أو أبيض غير لامع ويسمى البلاجيوكلاز. (معادن غير موجهة).

★ الغنايس صخرة صلبة ذات بنية مورقة،، تتكون من المرو، الفيلدسبات، البيوتيت والسيليمانيت. (معادن موجهة).

★ تتميز الميكماتيت 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.

③ خلاصة:

★ إن المرور التدريجي من الصخور المتحولة (الغنايس) إلى الكرانيت ووجود صخرة وسيطة (الميكماتيت) 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.

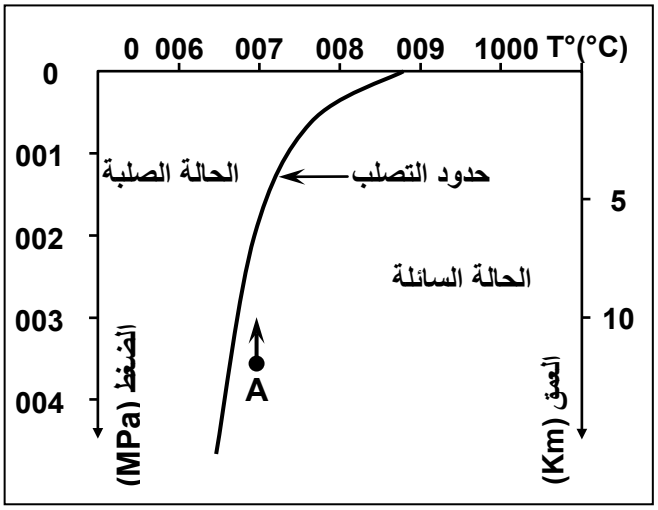
★ بما أن توجيه المعادن يفقد في صخرة الكرانيت، فيمكن أن نفترض أن المرور من الغنايس إلى الكرانيت يتم بظهور حالة سائلة: يعني أن الصخرة الأصلية تنصهر بفعل الضغط والحرارة فتعطي عند تبردها الكرانيت. نسمي هذا النوع من الكرانيت بالكرانيت الأناتيكتي.

II – الأناتيكتية وعلاقتها بتشكل 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) اعتمادا 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 مثلا أن صهارة كرانيتة 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 بعضا 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 السطح سائلة يلزم أن تتوفر على حرارة تفوق 900°C، وهذا لا يتوفر إلا نادرا فتعطي الصهارة حينئذ بعد تصلبها صخرة الريوليت.

خلاصة:

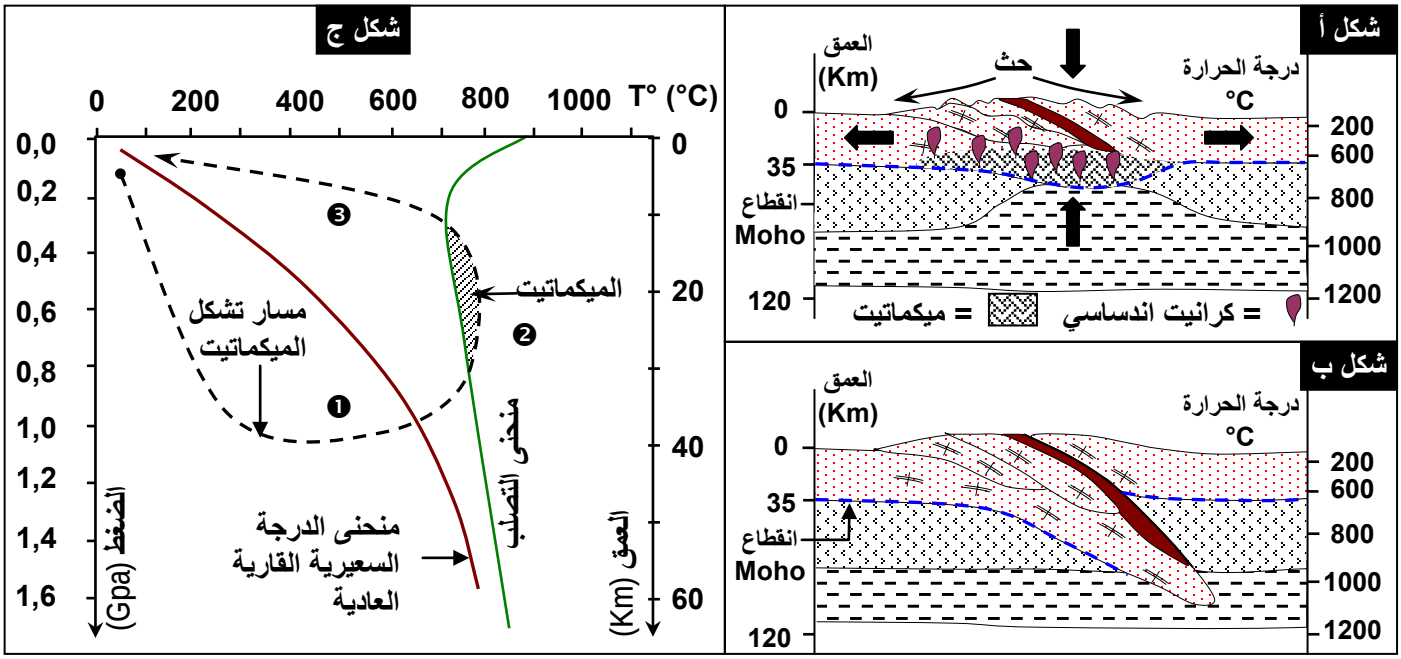
عندما تبلغ درجة حرارة الصخور 700 °C وتحت الضغوط السائدة في أعماق المناطق غير المستقرة، تخضع لانصهار جزئي لتعطي سائلا ذا تركيب كرانيتي (الأناتيكتية).
تتركز القطرات الأولى من السائل الناتج على شكل أكوام، وتعطي بتبلورها مادة كرانيتية حديثة التكون، تبقى مرتبطة بمادة لم تنصهر بعد، الشيء الذي يفسر تكون صخور الميكماتيت. وعندما تزداد نسبة السائل الناتج، يمكنه أن يتصلب في موقعه ليعطي الكرانيت الأناتيكتي.

② علاقة الكرانيتية بالسلاسل الجبلية: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: علاقة الكرانيت الأناتيكتي 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 الأناتيكتي الذي يعطي صهارة كرانيتية أناتيكتية تتبرد في مكانها.
يعطي الشكل أ والشكل ب، رسوم تخطيطية لتوضيح أصل الكرانيت الأناتيكتي خلال تشكل سلاسل الاصطدام.
يعطي الشكل ج مسار تشكل الميكماتيت حسب تغير كل من الضغط والحرارة خلال تشكل سلاسل الاصطدام.

★ وظف معطيات المبيان على الشكل ج لتفسير تشكل الكرانيت الأناتيكتي في مناطق تشكل السلاسل الجبلية.
★ أبرز دور العوامل التكتونية في تشكل الكرانيت الأناتيكتي المصاحب للسلاسل الجبلية.



★ في مناطق الاصطدام، تؤدي القوى الانضغاطية إلى طمر بعض الوحدات الصخرية للقشرة القارية مما يعرضها لدرجات حرارة وضغط مرتفعين (الجزء ❶ 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 ميكماتيت وكرانيت أناتيكتي (الجزء ❷ من السهم الممثل في الشكل "أ" والمرحلة b في الشكل "ب").

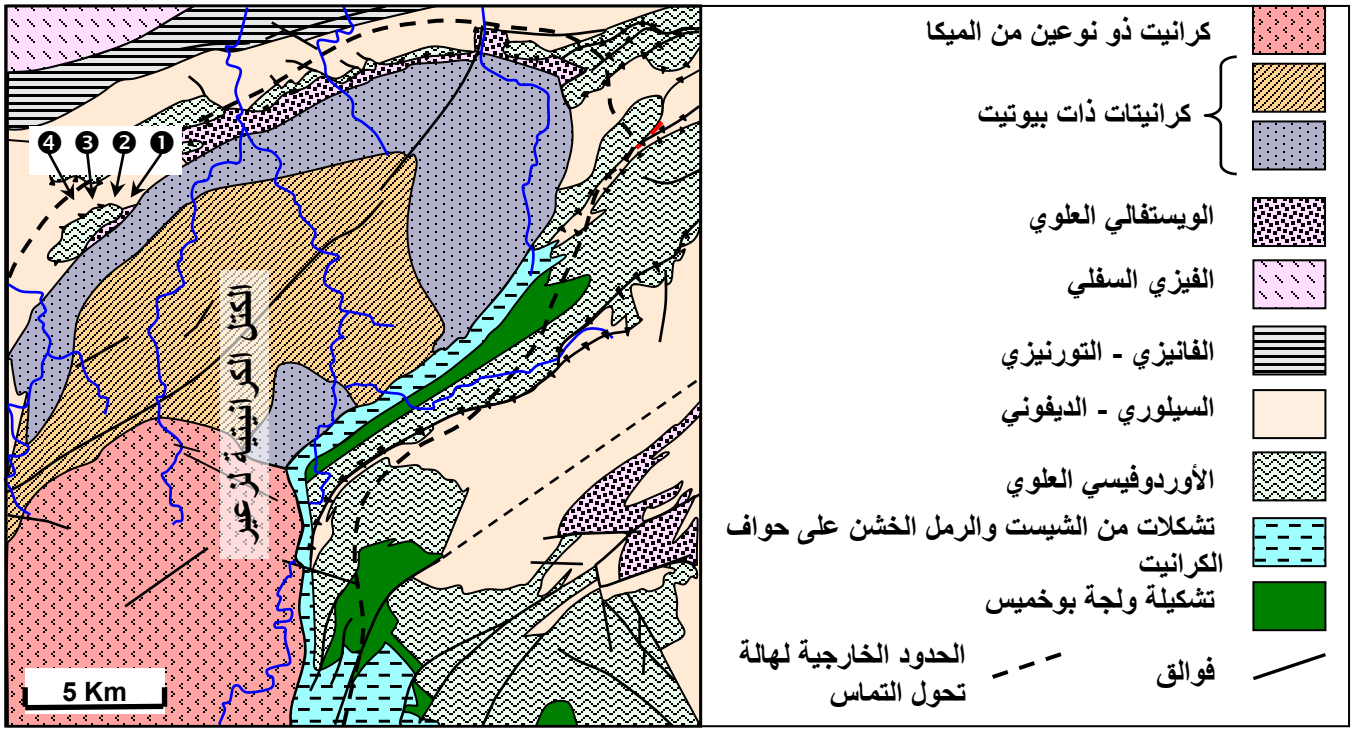
★ لا يستسطح تيينارك إلا بعد حث الصخور التي كانت تعلوه وذلك بعد ملايين السنين من تشكله.

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.

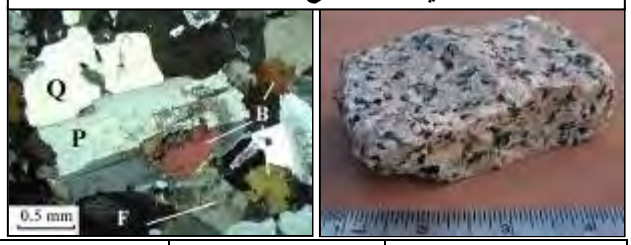


(تابع) الوثيقة 5: علاقة الكرانيت الأناتيكتي بسلاسل الاصطدام.

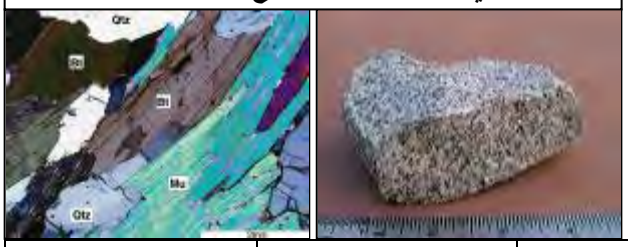
الصخرة	❶	❷	❸	❹
المميزات العيدانية	فلدسبات بوتاسي	كورديبريت + أندلوسيت	أندلوسيت + بيوتيت	بيوتيت (كلوريت) + سيريسيت

نعطي كذلك بعض العينات الكرانيتية صحبة صفائح دقيقة ملاحظة بالضوء المستقطب.

كرانيت ذي بيوتيت مع الملاحظة المجهرية



كرانيت ذي نوعين من الميكا مع الملاحظة المجهرية



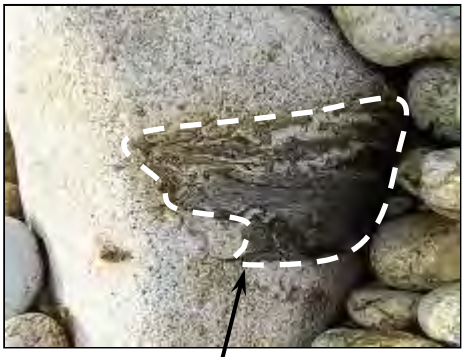
B = Bt = بيوتيت	Q=Qtz= مرو	P= فيلدسبات بلاجيوكلاز	F= فيلدسبات بوتاسي	Mu= موسكوفيت

1) انطلاقا من تحليل الخريطة الجيولوجية حدد خاصيات كرانيت زعير وعلاقته بالصخور المتحولة.
2) قارن بين مختلف العينات الصخرية المقترحة. فسر اختفاء الشيستية عند الاقتراب من كتلة الكرانيت واختفاء وظهور معادن جديدة كالأندلوسيت (معدن مميز للضغط المنخفض والحرارة المرتفعة).
3) انطلاقا من مختلف المعطيات حدد نمط التحول الذي خضعت له الصخور المجاورة لكتلة الكرانيت.

توجد في حدود الكتلة الكرانيتية لزعير حبيسات تختلف من حيث البنية والتركيب العيداني عن الكرانيت الذي يضمها (الصورة أمامه). ويمكن التعرف على أصلين أساسيين للحبيسات:

★ أصل عميق (حبيسات تحتوي على الكوراندون والسبينيل وهي معادن تتشكل في ظروف 5Kb = 16Km).

★ أصل من الصخور المحيطة بالكرانيت (حبيسات ذات أندلوسيت، سليمانيت وبيوتيت وهي معادن تتشكل في ظروف 2.5Kb = 8Km).



حبيسة من الميكاشيست داخل الكرانيت

4) فسر وجود الحبيسات على جوانب الكتل الكرانيتية محددا أهميتها في تعرف أصل الصهارة الكرانيتية.

1) انطلاقا من الخريطة الجيولوجية يظهر كرانيت زعير:
- بحدود واضحة حيث أن منطقة تماسه مع الصخور المجاورة صريحة.
- متجانس (منطقة المرور من الكرانيت إلى الصخور المجاورة لا تتضمن صخرة الميكماتيت).
- في وضع متنافر مع الصخور المجاورة حيث يقطعها ويتموضع وسطها كما لو أنه أزاح جزءا منها وحل محله.
- يحيط به حزام من صخور متحولة تسمى بهالة التحول، لها امتداد جغرافي ضيق (لا تتعدى2Km).

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 اندساسي (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 نصادف داخل الكرانيت الاندساسي بعض الحبيسات، وهي بقايا الصخرة الأصلية التي لم تهضم من طرف الصهارة الكرانيتية.

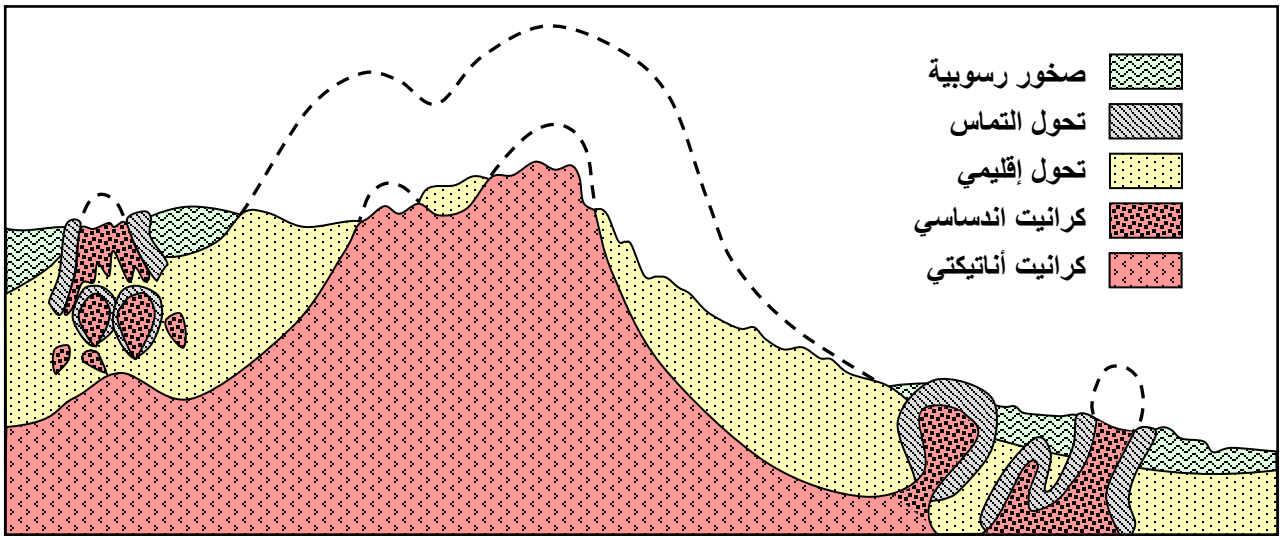
② خلاصة:

في بعض الحالات يمكن للصهارة الأناتيكتية 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 الأناتيكتي والكرانيت الاندساسي: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: العلاقة بين التحول الإقليمي والكرانيت الاناتيكتي من جهة وتحول التماس والكرانيت الاندساسي من جهة أخرى.

يمثل المقطع التالي رسما للتصور العام للعلاقة بين كل من الكرانيت الأناتيكتي والتحول الإقليمي من جهة، والكرانيت الاندساسي وتحول التماس من جهة أخرى.
انطلاقا من هذه المعطيات، استنتج العلاقة بين الكرانيت الاندساسي والكرانيت الأناتيكتي. لخص ذلك في جدول موضحا العلاقة بين كل من الكرانيت الأناتيكتي والكرانيت الاندساسي والتحول الإقليمي وتحول التماس.



يدرج الجدول التالي العلاقة بين نوعي الكرانيت ونوعي التحول المرتبطين بهما:

	الكرانيت الأناتيكتي وعلاقته بالتحول الإقليمي	الكرانيت الاندساسي وعلاقته بتحول التماس
أصل الكرانيت	صهارة ناتجة عن ظاهرة **الأناتيكتية تتبلور في موقع تشكلها.**	صهارة ناتجة عن ظاهرة **الأناتيكتية تغادر موقعها الأصلي، تصعد عبر الصخور التي تعلوها وتحل محلها.**

العلاقة بين الكرانيت والتحول	يدخل الكرانيت الأناتيكتي ضمن متتالية **التحول العام** (يشكل حلقة **قصوى** من درجات "التحول").	الكرانيت الاندساسي هو المسؤول عن حدوث **التحول** الذي حوله (هالة التحول).
المميزات الميدانية للحدود بين الكرانيت والصخور المتحولة.	انتقال **تدريجي** من الصخور المتحولة إلى الكرانيت الأناتيكتي، الحدود **غير صريحة** تتميز بظهور صخرة **الميكماتيت**، الصخرة المزيج بين الكرانيت والغنايس.	حدود **صريحة** بين الكرانيت الاندساسي والصخور المتحولة التي تحيط به. تتميز الحدود بتواجد **حبيسات** مؤشرة على بقايا صخور أصلية لم تهضم بفعل الصهارة الكرانيتية المندسة.
مميزات الصخور 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)

برنامج السنة الثانية شعبة العلوم التجريبية مسلك علوم الحياة والأرض

1 ـ الوحدة الأولى	استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة	الحصص
2 ـ المكتسبات القبلية	* الأولى الإعدادية: العلاقات بين الكائنات الحية وتفاعلها مع الوسط * الثالثة الإعدادية: الوحدة الوظيفية للجسم، التربية الغذائية * الجذع المشترك العلمي: علم البيئة ـ التوالد عند النباتات * السنة الأولى بكالوريا شعبة العلوم التجريبية: إنتاج المادة العضوية وتدفق الطاقة.	
3 ـ المضامين المراد دراستها والغلاف الزمني المخصص لكل منها	* **التفاعلات المسؤولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية على مستوى الخلية**.... ـ مراحل الحلال الكليكوز على مستوى الجبلة الشفافة. ـ المراحل الأساسية لدورة Krebs على مستوى الميتوكندري ودور السلاسل التنفسية في التفسفر المؤكسد. ـ فوق بنية الميتوكندري. ـ أهم مراحل التخمر اللبني على مستوى الجبلة الشفافة. ـ مقارنة الحصيلة الطاقية لكل من التنفس والتخمر: مفهوم المردود الطاقي. * **دور العضلة الهيكلية المخططة في تحويل الطاقة** ..... ـ تسجيل التقلصات العضلية وتحليل التسجيلات المحصل عليها. ـ الظواهر المرافقة للتقلص العضلي: حرارية وكيميائية. ـ آليات التقلص العضلي: بنية وفوق بنية الخلية العضلية المخططة. ـ استهلاك ATP وإنتاج الطاقة اللازمة للتقلص العضلي. ـ تجديد ATP ومختلف طرق تجديده. * **استعمال المادة العضوية والطاقة في بناء وتجديد المادة الحية**..... تركيب البروتينات على مستوى الخلية: + موقع تركيب البروتينات. + المسار الضمخلوي للجزيئات المركبة. + فوق بنية العضيات المتدخلة في تركيب البروتينات. **حصيلة:** خطاطة تركيبية لاستهلاك المادة وتدفق الطاقة على مستوى الخلية.....	12 س 11 س 04 س 02 س
4 ـ التقويم والدعم * التقويم القبلي * التقويم التكويني + الدعم * التقويم الإجمالي	في بداية معالجة الوحدة ..... في منتصف الوحدة ..... عند نهاية الوحدة ..... عند نهاية معالجة الوحدة وينبغي أن يشمل مكونات الوحدة	30 د 60 د 90 د 120 د
المجمـــوع		34 س

1 ـ الوحدة الثانية	طبيعة الخبر الوراثي وآلية تعبيره ـ الهندسة الوراثية	الحصص
2 ـ المكتسبات القبلية	* الثانية الإعدادية: التوالد عند الكائنات الحية وانتقال الصفات الوراثية عند الإنسان. * الجذع المشترك العلمي: التوالد عند النباتات.	
3 ـ المضامين المراد دراستها والغلاف الزمني المخصص لكل منها	* **مفهوم الخبر الوراثي** ..... ـ تموضع الخبر الوراثي داخل نواة الخلية ـ دور الصبغيات في نقل الخبر الوراثي من خلية إلى أخرى + مراحل الانقسام غير المباشر عند خلية نباتية وأخرى حيوانية + الدورة الخلوية ـ الطبيعة الكيميائية للمادة الوراثية + تركيب وبنية كل من الصبغيات وجزيئة ADN + آلية مضاعفة ADN ـ تعريف كل من الصفة والمورثة والحليل و الطفرة ـ علاقة صفة ـ بروتين ومورثة ـ بروتين + الدلالة الوراثية للطفرة ـ الرمز الوراثي * **آلية تعبير الخبر الوراثي: مراحل تركيب البروتينات** (الاستنساخ، الترجمة، الاستطالة)..... * **الهندسة الوراثية: مبادئها وتقنياتها** ..... ـ مراحل نقل مورثة: مفهوم التغيير الوراثي + انتقال مورثات Agrobacterium tumefaciens إلى نبات + نقل مورثة إلى بكتيرية معينة ـ بعض الأمثلة لتطبيق الهندسة الوراثية + الإنتاج الصناعي لهرمون النمو والأنسولين البشري + الإنتاج الصناعي لبروتينات سامة توجه ضد الحشرات الضارة + الرفع من المردود الزراعي بواسطة المتعضيات المعدلة وراثيا	14 س 04 س 11 س
4 ـ التقويم والدعم * التقويم القبلي * التقويم التكويني + الدعم * التقويم الإجمالي	في بداية معالجة الوحدة ..... في منتصف الوحدة ..... عند نهاية الوحدة ..... عند نهاية معالجة الوحدة وينبغي أن يشمل مكونات الوحدة	30 د 60 د 90 د 120 د
المجمـــوع		34 س

1 ـ الوحدة الثالثة	نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي ـ علم الوراثة البشرية	الحصص
2 ـ المكتسبات القبلية	* الثانية الإعدادية: التوالد عند الكائنات الحية وانتقال الصفات الوراثية عند الإنسان. * الجذع المشترك العلمي: التوالد عند النباتات.	
3 ـ المضامين المراد دراستها والغلاف الزمني المخصص لكل منها	* **نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي** ..... ـ دور الانقسام الاختزالي والإخصاب في تخليط الحليلات وفي الحفاظ على ثبات عدد الصبغيات عند نفس النوع من جيل لآخر + مراحل الانقسام الاختزالي + ملاحظة خرائط صبغية لأنواع ثنائية الصيغة الصبغية + دورات النمو * **القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية**..... ـ انتقال زوج من الحليلات وتأويله الصبغي + لمورثة غير مرتبطة بالجنس (السيادة التامة، تساوي السيادة، المورثة المميتة) + لمورثة مرتبطة بالجنس ـ انتقال زوجين من الحليلات وتأويله الصبغي (مورثتان مستقلتان، مورثتان مرتبطتان) ـ أهمية ظاهرة العبور في تنوع الأجيال ووضع الخريطة العاملية * **علم الوراثة البشرية**..... ـ شجرات النسب والخرائط الصبغية + أمراض وراثية غير مرتبطة بالصبغيات الجنسية + أمراض وراثية مرتبطة بالصبغيات الجنسية ـ الشذوذ الصبغي وعواقبه ـ إمكانية تشخيص الشذوذ الصبغي قبل الولادة وأهميته	10 س 10 س 09 س
4 ـ التقويم والدعم * التقويم القبلي * التقويم التكويني + الدعم * التقويم الإجمالي	في بداية معالجة الوحدة ..... في منتصف الوحدة ..... عند نهاية الوحدة ..... عند نهاية معالجة الوحدة وينبغي أن يشمل مكونات الوحدة	30 د 60 د 90 د 120 د
المجمـــــوع		34 س

1 ـ الوحدة الرابعة	التغير و علم وراثة الساكنة	الحصص
2 ـ المكتسبات القبلية	* الأولى الإعدادية: العلاقات بين الكائنات الحية وتفاعلها مع الوسط * الجذع المشترك العلمي: علم البيئة ـ التوالد عند النباتات. * الوحدة الثانية: طبيعة الخبر الوراثي وآلية تعبيره. * الوحدة الثالثة: نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي ـ علم الوراثة البشرية .	
3 ـ المضامين المراد دراستها والغلاف الزمني المخصص لكل منها	* **الدراسة الكمية للتغير** (القياس الإحيائي)..... ـ تغير متواصل و تغير غير متواصل ـ مفهوم السلالة النقية * **علم وراثة الساكنة** (Génétique des populations) ..... ـ توازن الساكنة + مفهوم الساكنة؛ تعريفها + المحتوى الجيني للساكنة (Le pool de gènes) + قانون Hardy و Weinberg ـ عوامل تغير الساكنة + الطفرات + الانتقاء الطبيعي + الانحراف الجيني(*) (La dérive génique) + الهجرة (Migration) ـ التطور الضمنوعي + المعايير المميزة للنوع + تعريف النوع + دراسة مثال لتطور نوع معين	12 س 17 س
4 ـ التقويم والدعم * التقويم القبلي *التقويم التكويني + الدعم *التقويم الإجمالي	في بداية معالجة الوحدة ..... في منتصف الوحدة ..... عند نهاية الوحدة ..... عند نهاية معالجة الوحدة وينبغي أن يشمل مكونات الوحدة	30 د 60 د 90 د 120 د
المجمـــــوع		34 س

1 ـ الوحدة الخامسة	علـم المناعـة	الحصص
2 ـ المكتسبات القبلية	* الثانية الإعدادية: التوالد عند الكائنات الحية وانتقال الصفات الوراثية عند الإنسان. * الثالثة الإعدادية: مناعة الجسم وصحته * الوحدة الثانية: طبيعة الخبر الوراثي وآلية تعبيره.	
3 ـ المضامين المراد دراستها والغلاف الزمني المخصص لكل منها	* **مفهوم الذاتي وغير الذاتي** ..... واسمات الذاتي: ـ المركب الرئيسي للتلاؤم النسيجي ـ واسمات الفصائل الدموية * **وسائل دفاع الجسم عن ما هو ذاتي** ..... ـ وسائل الدفاع غير النوعية ـ وسائل الدفاع النوعية + آليات الاستجابة المناعية عبر مسلك خلوي + آليات الاستجابة المناعية عبر مسلك خلطي ـ حصيلة: خطاطة تركيبية لمراحل الاستجابات المناعية * **بعض اضطرابات النظام المناعي** ..... ـ الأرجية الناتجة عن الحساسية المفرطة الفورية ـ المناعة الذاتية: بعض الأمراض المرتبطة بها ـ داء فقدان المناعة المكتسب * **وسائل تدعيم النظام المناعي** ..... ـ التلقيح ـ الاستمصال ـ إزالة التحسس الأرجي ـ زرع النخاع العظمي	04 س 14 س 08 س 03 س
4 ـ التقويم والدعم * التقويم القبلي * التقويم التكويني + الدعم * التقويم الإجمالي	في بداية معالجة الوحدة ..... في منتصف الوحدة ..... عند نهاية الوحدة ..... عند نهاية معالجة الوحدة وينبغي أن يشمل مكونات الوحدة	30 د 60 د 90 د 120 د
المجمـــوع		34 س

1 ـ الوحدة السادسة	الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح	الحصص
2 ـ المكتسبات القبلية	* الأولى الإعدادية: الظواهر الجيولوجية الخارجية. * الثانية الإعدادية: الظواهر الجيولوجية الباطنية. * السنة الأولى بكالوريا شعبة علوم تجريبية: الظواهر الجيولوجية الخارجية.	
3 ـ المضامين المراد دراستها والغلاف الزمني المخصص لكل منها	* **السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح** ..... ـ سلاسل الطمر ـ سلاسل الاصطدام ـ سلاسل الطفو * **طبيعة التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر وسلاسل الاصطدام** ..... ـ الطيات ـ الفوالق ـ السدائم * **التحول وعلاقته بدينامية الصفائح** ..... ـ المميزات العيدانية والبنيوية للصخور المتحولة بمناطق الطمر والاصطدام ـ ظروف الضغط ودرجة الحرارة المسؤولة عن تشكل هذه الصخور ـ مفهوما المعدن المؤشر والسلسلة التحولية ـ مفهوما تحول الطمر (الديناميي) والتحول الديناميي ـ حراري * **الكرانيتية وعلاقتها بظاهرة التحول** ..... ـ أصل وتموضع الكرانيت الأناتيكتي + العلاقة بين الصخور الكرانيتية والصخور المتحولة المجاورة + دراسة مقارنة للبنية والتركيب العيداني للكرانيت الأناتيكتي والصخور المتحولة المجاورة ـ تأثير ظاهرة انسناس الصهارة الكرانيتية على الصخور المجاورة: مفهوم تحول التماس **حصيلة: علاقة مختلف الظواهر الجيولوجية المدروسة بتكتونية الصفائح**.....	04 س 04 س 11 س 08 س 02 س
4 ـ التقويم والدعم * التقويم القبلي * التقويم التكويني + الدعم * التقويم الإجمالي	في بداية معالجة الوحدة ..... في منتصف الوحدة ..... عند نهاية الوحدة ..... عند نهاية معالجة الوحدة وينبغي أن يشمل مكونات الوحدة	30 د 60 د 90 د 120 د
المجمـــوع		34 س