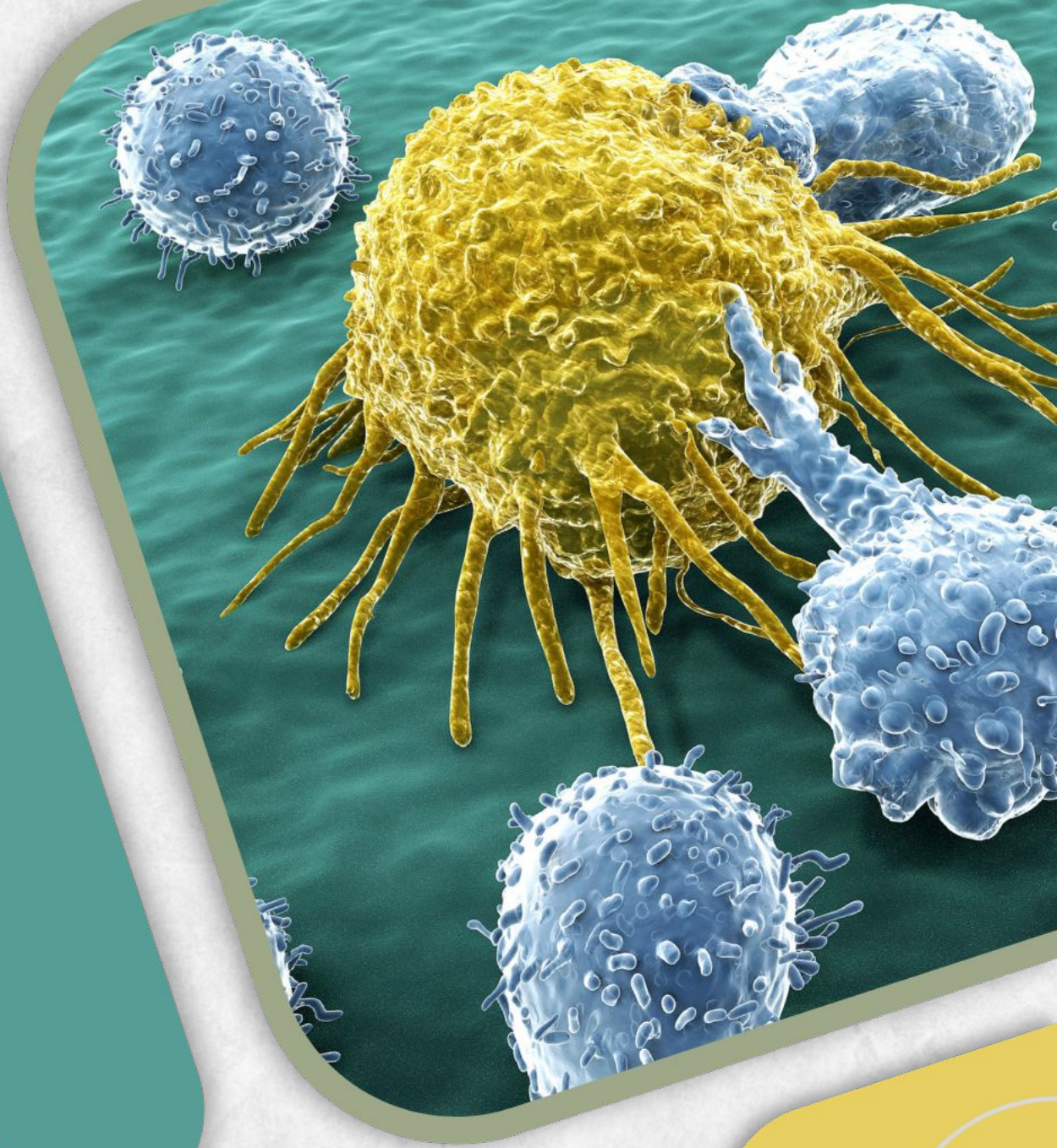
4-8

# خلايا جهاز المناعة

أحياء الصف 12



# الأهداف:

٨- ٨ يصف طريقة عمل الخلايا البلعمية )الخلايا البلعمية الكبيرة وخلايا الدم البيضاء المتعادلة(.

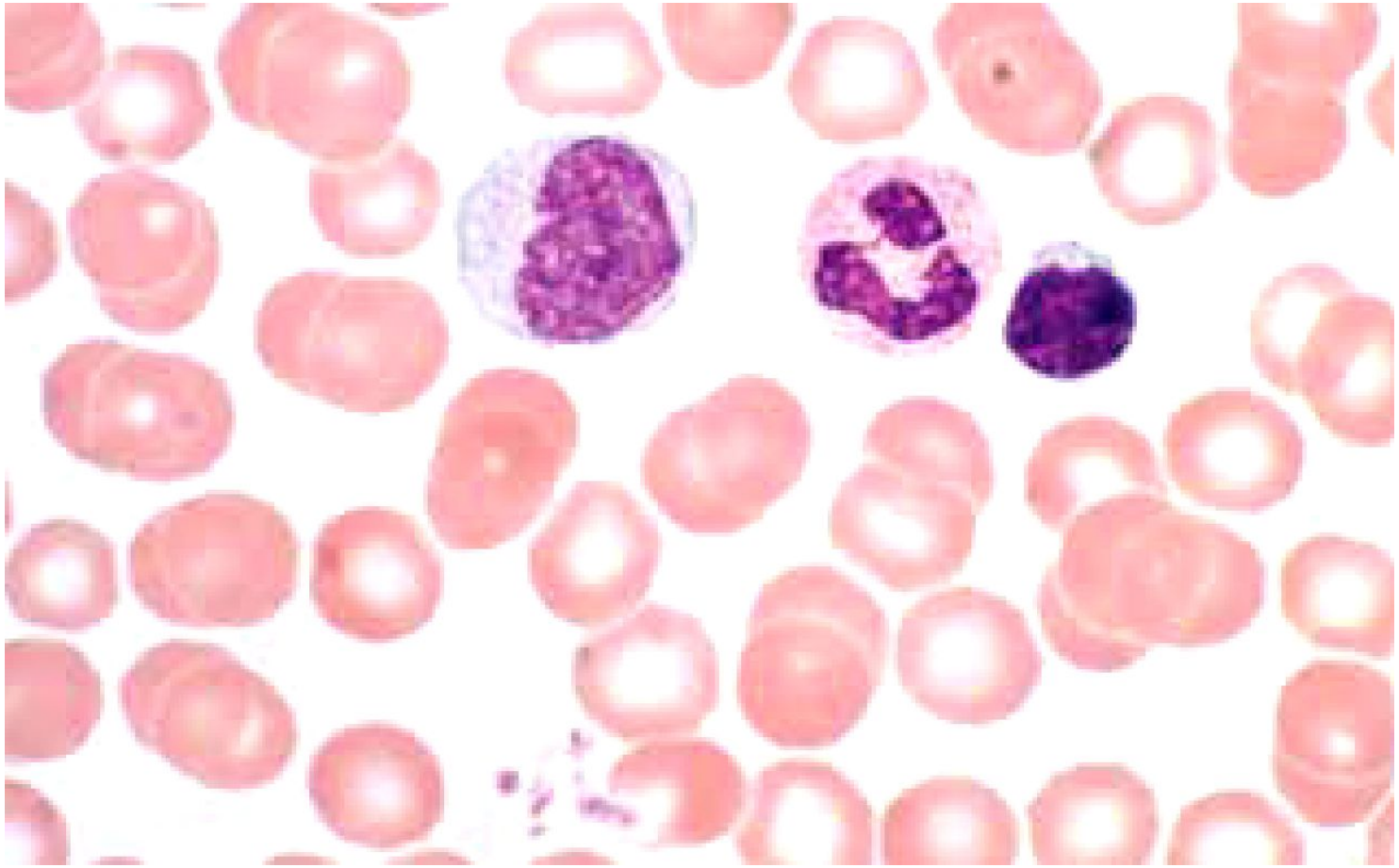
٨- ٩ يصف تسلسل الأحداث أثناء الاستجابة المناعية الأولية مع الإشارة إلى أدوار:

- الخلايا البلعمية الكبيرة
- الخلايا اللمفاوية البائية، بما في ذلك الخلايا البلازمية
- الخلايا اللمفاوية التائية، مقتصرًا على الخلايا التائية المساعدة والخلايا التائية القاتلة.

٨- ١٠ يشرح دور خلايا الذاكرة في الاستجابة المناعية الثانوية وفي المناعة طويلة الأمد.

٨- ١١ يربط التركيب الجزيئي للأجسام المضادة بوظائفها.

تنتج خلايا جهاز المناعة من خلايا جذعية في نخاع العظم.
توجد مجموعتان من هذه الخلايا تشارك في الدفاع



الخلايا البلعمية

الخلايا اللمفاوية

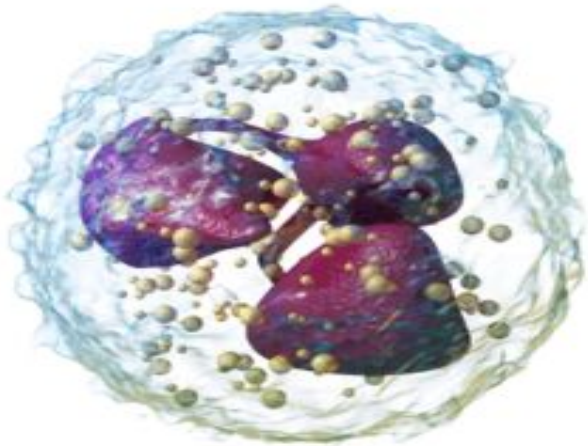
الصورة ٨- ١١

# الخلايا البلعمية

تنتج في نخاع العظم

تخزن في نخاع العظم قبل أن تنتشر في كل أنحاء الجسم

تزيل الخلايا الميتة والكائنات الحية الدقيقة الغازية.



Neutrophil

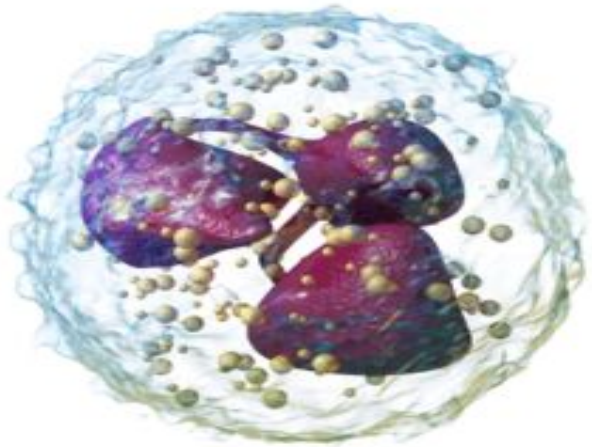
خلايا الدم البيضاء المتعادلة Neutrophils

Neutrophils نوع من الخلايا البلعمية تشكل 60 % تقريبًا من عدد خلايا الدم البيضاء في الدم

كيف ؟

# تغادر خلايا البيضاء المتعادلة الدم

عن طريق انضغاطها عبر جدران الشعيرات الدموية لتمر عبر الأنسجة لتبتلع أي مسبب مرضي تجده.
وأثناء الإصابة بالعدوى، يتم إطلاق خلايا الدم البيضاء المتعادلة من مخازنها بأعداد كبيرة، لكنها خلايا قصيرة العمر



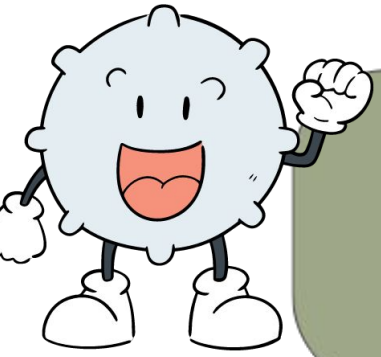
Neutrophil

# خلايا البلعمة الكبيرة Macrophages

- خلايا بلعمية، لكنها أكبر من خلايا الدم البيضاء المتعادلة
- توجد غالبًا في أعضاء مثل الرئتين والكبد والطحال والكُلية والعقد اللمفاوية، بدلًا من بقائها في الدم.

بعد أن تتكوّن الخلايا البلعمية الكبيرة في نخاع العظم تنتقل في الدم على شكل خلايا وحيدة النواة Monocytes

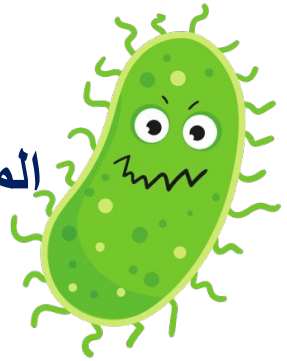
التي تتطور إلى خلايا بلعمية كبيرة عند مغادرتها الدم والاستقرار في الأعضاء، لتزيل أي مادة غريبة تجدها فيها



الخلايا البلعمية الكبيرة طويلة العمر تؤدي دورًا حاسمًا في بدء الاستجابات المناعية، لكنها لا تدمر المسبّبات المرضية تمامًا، بل تقطعها لإبراز الأنتيجينات التي يمكن أن تميزها الخلايا اللمفاوية.

# البلعمة

## كيف ؟

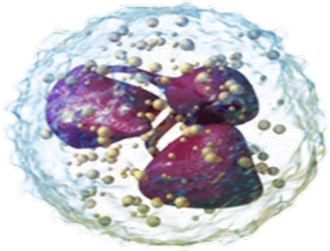


عندما تغزو المسببات المرضية الجسم وتتسبب في حدوث عدوى

تستجيب بعض الخلايا التي تعرضت للغزو بإطلاق مواد كيميائية مثل الهستامين.

تسمى هذه الحركة باتجاه المنبّه الكيميائي، الانجذاب الكيميائي Chemotaxis

تجذب هذه المواد مع المواد الكيميائية التي يمكن أن تطلقها المسببات المرضية نفسها خلايا الدم البيضاء المتعادلة التي قد تكون قريبة إلى الموقع



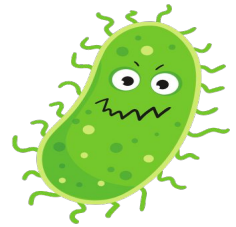
فتدمر خلايا الدم البيضاء المتعادلة المسببات المرضية عن طريق البلعمة

# البلعمة

## كيف ؟

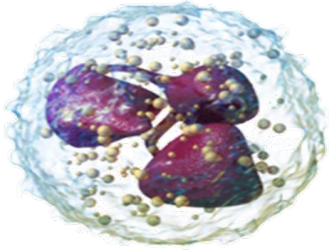
تتحرك خلايا الدم البيضاء المتعادلة باتجاه المسببات المرضية، والتي يتم تجميعها معًا وإحاطتها بالأجسام المضادة ليسهل ابتلاعها

عندها يبتلع غشاء سطح خلية الدم البيضاء المتعادلة المسببات المرضية، وتحتجزها داخل فجوة بلعمية (الإدخال الخلوي) Endocytosis



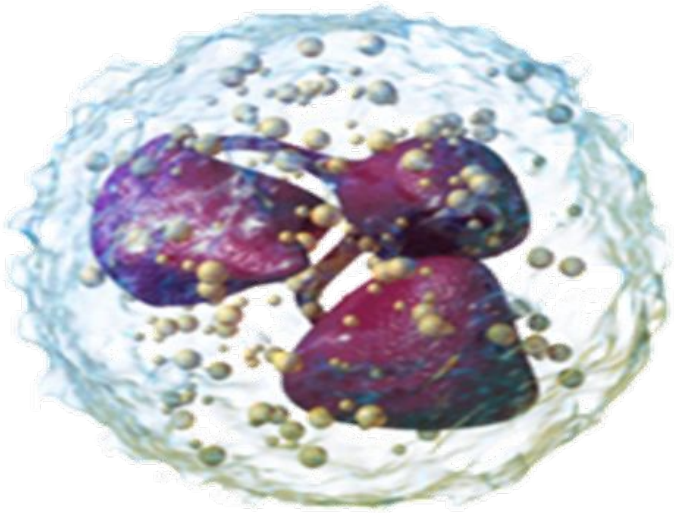
ثم تندمج الليسوسومات مع الفجوات البلعمية مطلقة إنزيمات تحطم المسببات المرضية

توجود بروتينات مستقبلة على سطح خلايا الدم البيضاء المتعادلة تميز الأجسام المضادة وترتبط بها



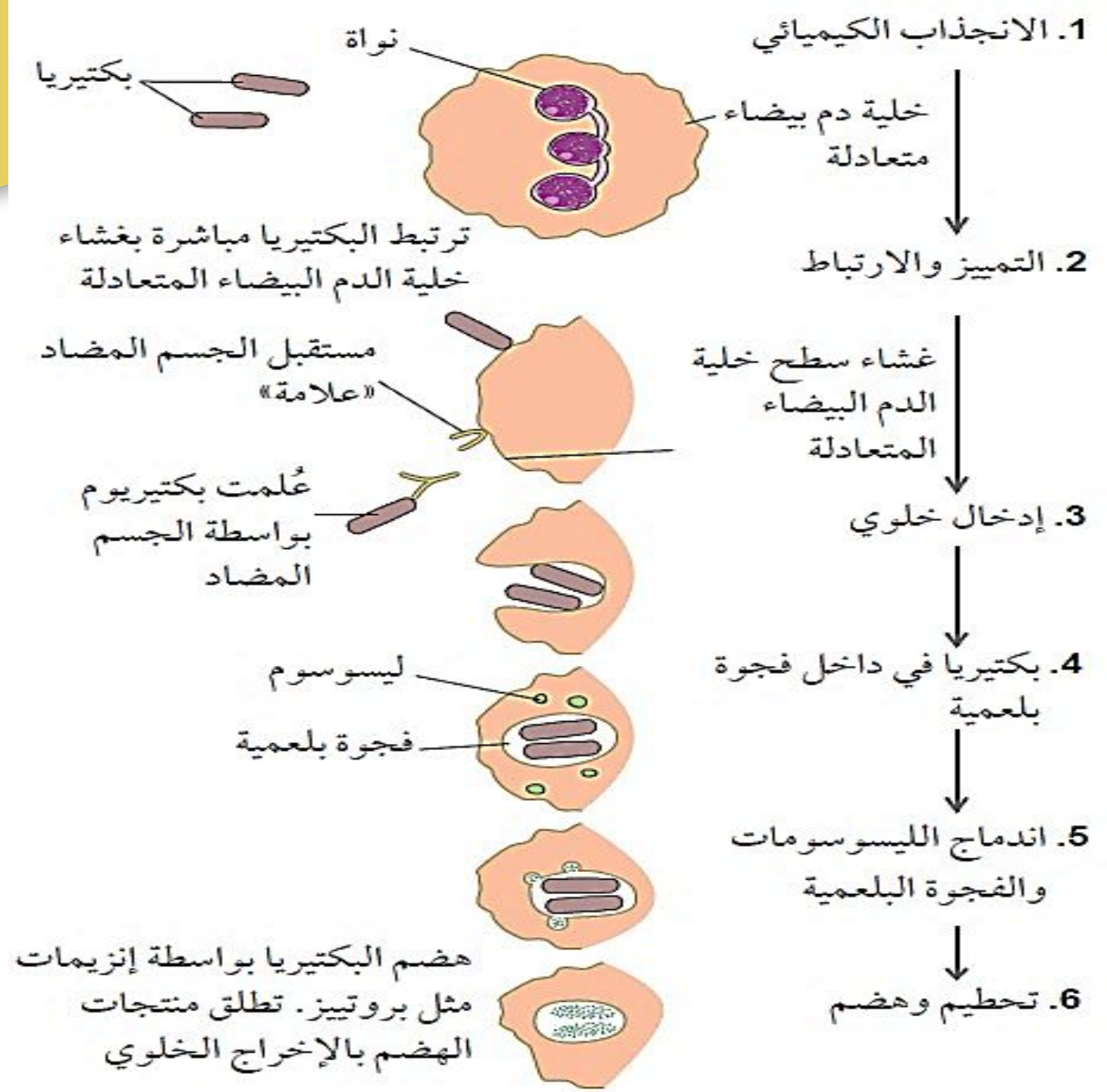
وتحفز الأجسام المضادة أيضًا خلايا الدم البيضاء المتعادلة لتهاجم المسببات المرضية

## البلعمة



عمر خلايا الدم البيضاء المتعادلة قصير، إذ تموت بعد قتل وهضم بعض المسببات المرضية، وغالبًا ما تتجمع خلايا الدم البيضاء المتعادلة الميتة في موقع الإصابة على شكل صديد.

# البلعمة

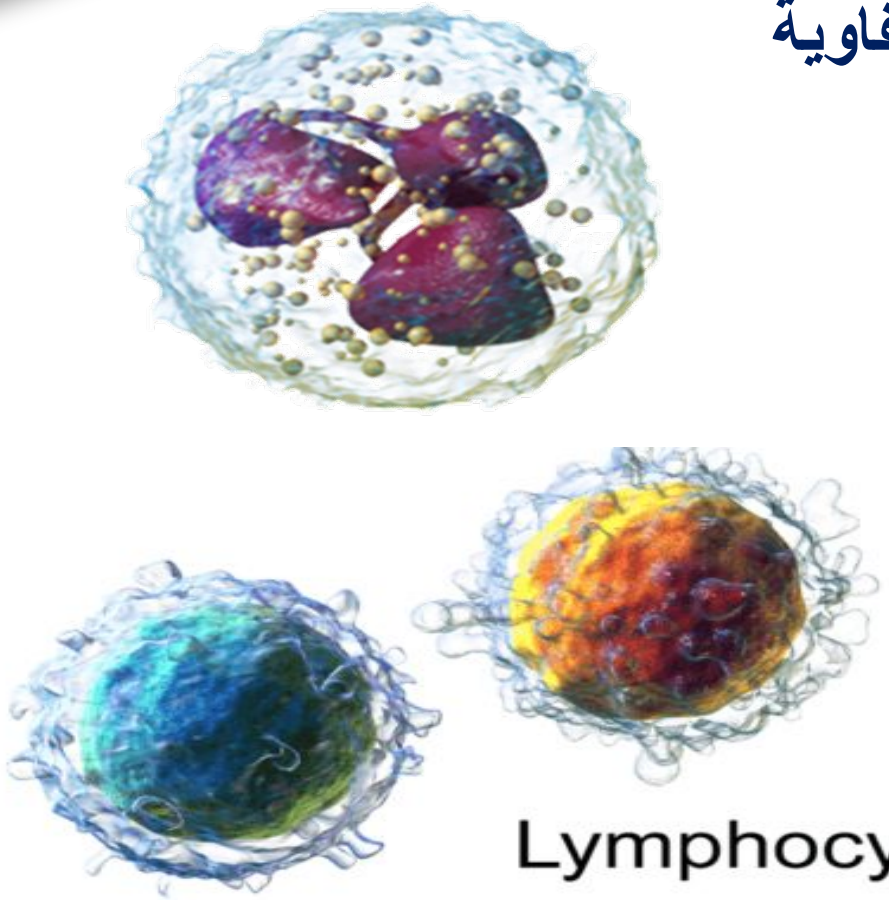



**الشكل ٨- 7 مراحل البلعمة. لم يرسم الجسم المضاد ومستقبل الجسم المضاد بالمقياس نفسه لباقي الرسم التخطيطي**

أسئلة الدرس

# سؤال 21

صف الاختلافات بين خلية الدم البيضاء المتعادلة والخلية اللمفاوية كما تراهما في الصورة ٨- 11



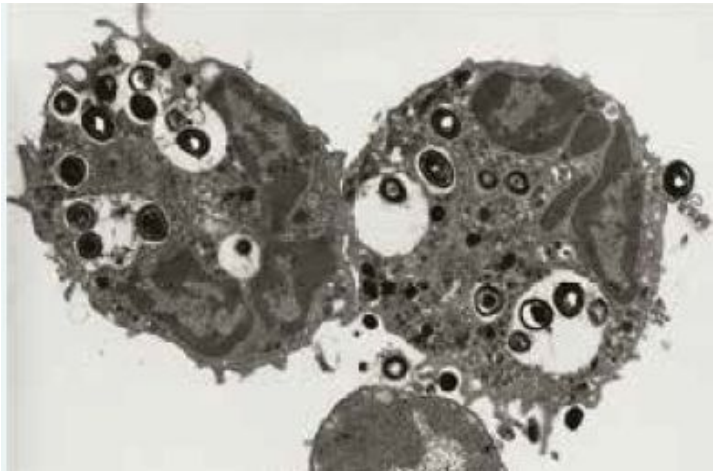

تشغل نواة الخلية اللمفاوية معظم مساحة الخلية، ويوجد سيتوبلازم قليل. تحتوي خلايا الدم البيضاء المتعادلة على نواة مفصصة مع كمية أكبر من السيتوبلازم. خلايا الدم البيضاء المتعادلة أكبر من الخلايا اللمفاوية.

أسئلة الدرس

# سؤال 22

احسب من الصورة ٨- 12 العرض الحقيقي ل:
أ. خلية بكتيرية واحدة.

يبلغ أقصى عرض حقيقي لبكتيريوم 0.8 – 1 µm
خطوات الحساب:
طول أكبر بكتيريا في الصورة ٨- ١٢ يساوي 5mm
)اقبل أي قياس بين 5-6 mm(
= 5000 µm
العرض الحقيقي = قياس الصورة \مقدار التكبير
0.8 µm = 6000 ÷ 5000
اقبل = 0.8 – 1.0 µm -



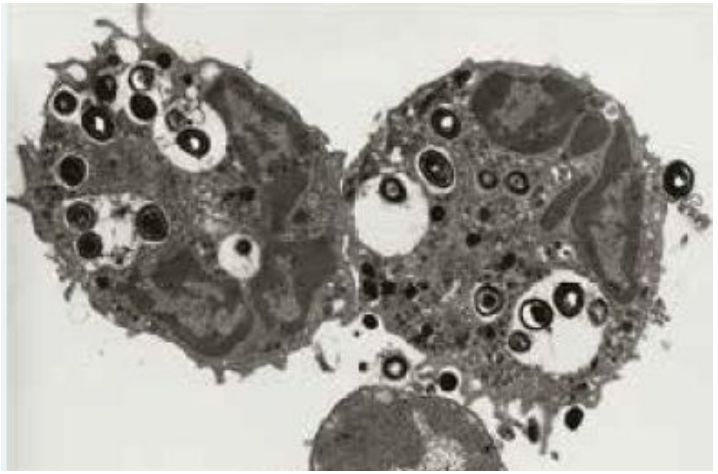
الصورة ٨- ١٢ صورة مجهرية إلكترونية )النافذ( لخليتَي دم بيضاء متعادلتَين ابتلعتا عدة خلايا من بكتيريا المكورات العنقودية x6000 تبدو في أقصى اليمين خلية بكتيريا على وشك أن تُبتلع. قارن هذه الصورة مع الشكل 8-7

أسئلة الدرس

# سؤال 22

احسب من الصورة ٨- 12 العرض الحقيقي ل:
ب . خلية الدم البيضاء المتعادلة على يمين الصورة المجهرية الإلكترونية.

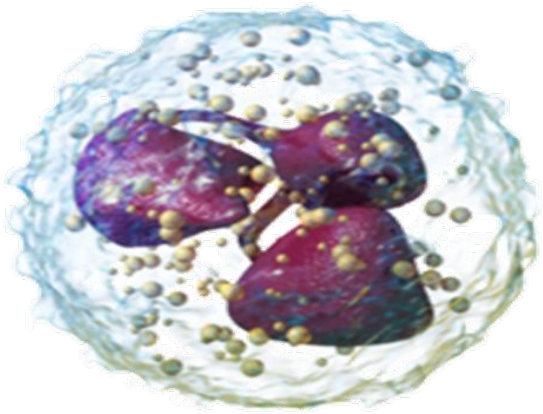
خطوات الحساب:
عرض خلية الدم البيضاء المتعادلة في الصورة 12 -8
50 µm 50000 = mm =
اقبل أي قياس بين 50 و 60 mm
العرض الحقيقي = قياس الصورة\ مقدار التكبير
50000 ÷ 6000 = 8.3 µm
اقبل 8.3 µm – 10.0



الصورة ٨- ١٢ صورة مجهرية إلكترونية )النافذ( لخليتَي دم بيضاء متعادلتَين ابتلعتا عدة خلايا من بكتيريا المكورات العنقودية x6000 تبدو في أقصى اليمين خلية بكتيريا على وشك أن تُبتلع. قارن هذه الصورة مع الشكل 8-7

أسئلة الدرس

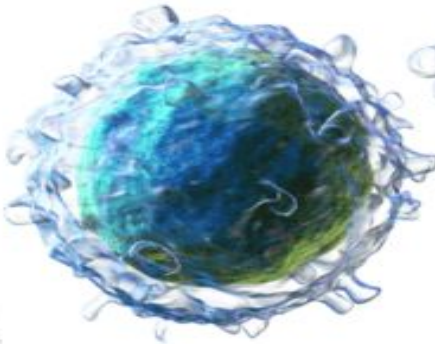
# سؤال 23

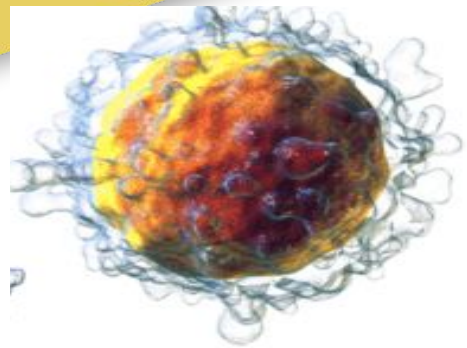


اذكر كيف يمكن تحديد الخلايا في الصورة ٨- 12 على أنها خلايا دم بيضاء متعادلة.

تحتوي الخلايا على نوى مفصصة.

# الخلايا اللمفاوية





- أصغر من الخلايا البلعمية، وتحتوي على نواة كبيرة تملأ معظم الخلية.
- يوجد نوعان من الخلايا اللمفاوية، تنتجان في نخاع العظم قبل الولادة

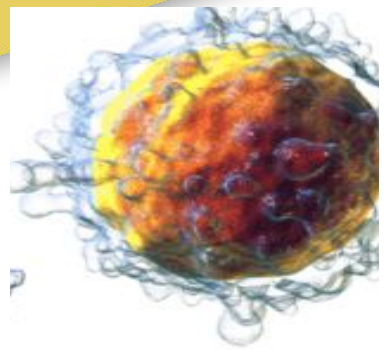
## الخلايا اللمفاوية البائية
## B-lymphocytes خلايا B

تبقى في نخاع العظم وتنضج فيه، ثم تنتشر في جميع أنحاء الجسم، وتتركز في العقد اللمفاوية والطحال.

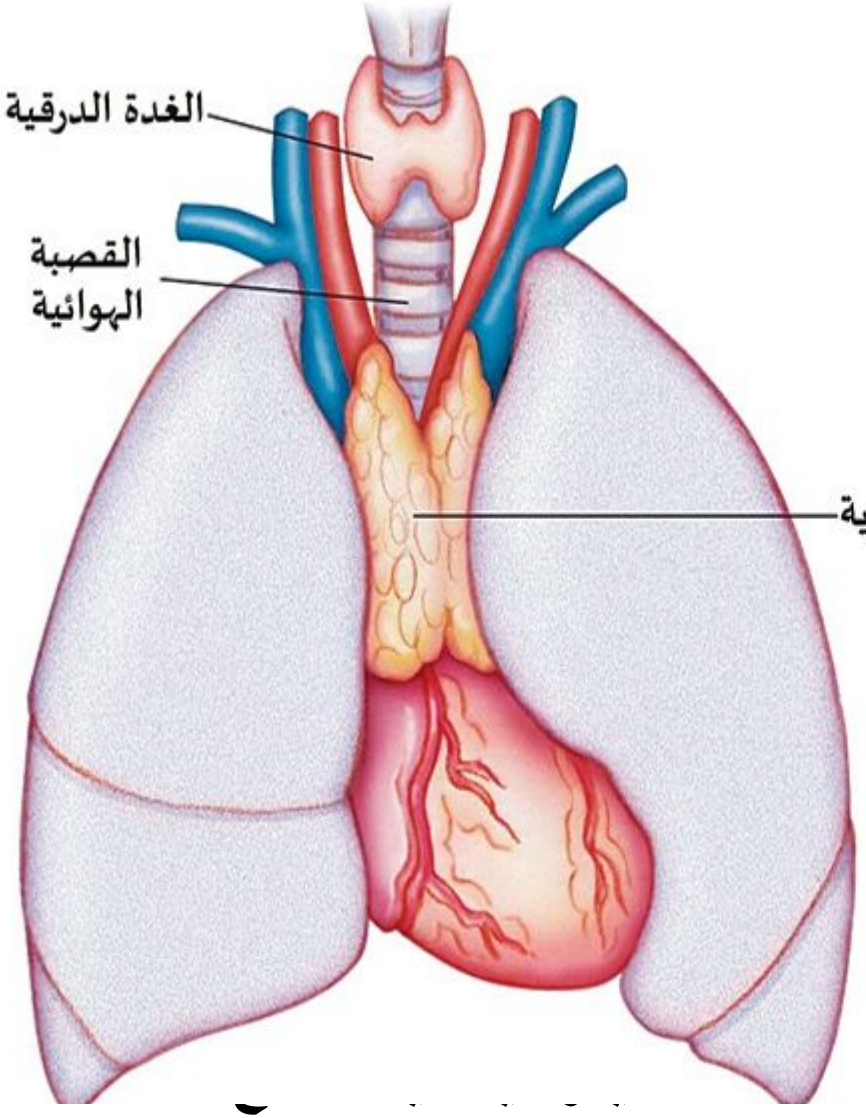
## الخلايا اللمفاوية التائية
## T-lymphocytes خلايا T

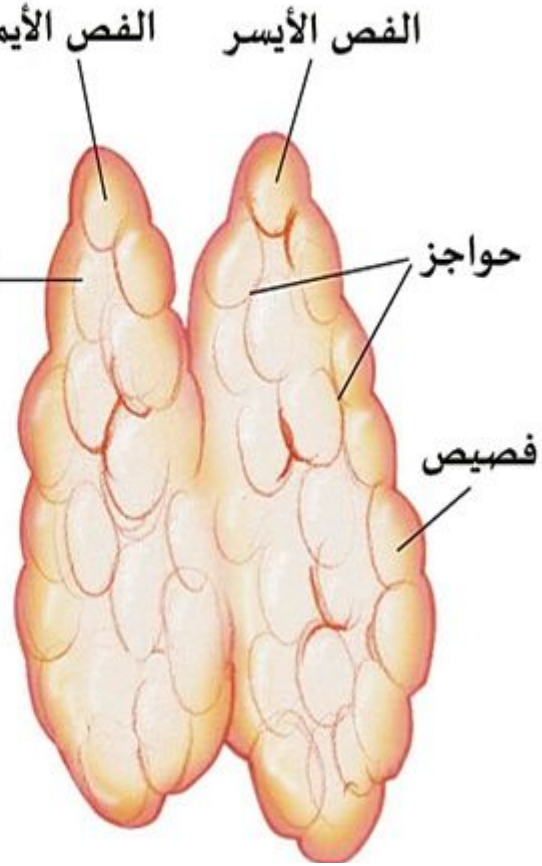
تغادر نخاع العظم وتتجمع في الغدة الزعترية الثيموسية حيث تنضج هناك.

# الخلايا اللمفاوية



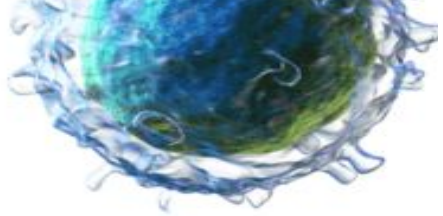
- أصغر من
  تملأ معظم
- يوجد نوعا
  العظم قبل




زعترية

تبقى في نخاع العظم
أنحاء الجسم، وتتركز



# الخلايا اللمفاوية

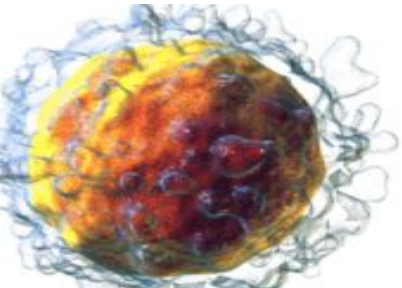
تستطيع الخلايا اللمفاوية الناضجة فقط القيام باستجابة مناعية، وتتطور خلال عملية النضوج فينتج الكثير من أنواع الخلايا اللمفاوية البائية والتائية، إلى ما يقارب عدة ملايين

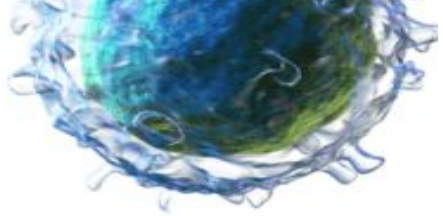
ويكون كل نوع مخصتصًا للاستجابة إلى أنتيجين واحد، ما يوفر لجهاز المناعة القدرة على الاستجابة لأي نوع من المسببات المرضية قد يدخل الجسم

كيف ؟

تتوزع الخلايا اللمفاوية في جميع أنحاء الجسم بحيث تكون على تتلامس مع أي مسبب مرضي ومع بعضها؟

عند النضج، جميع الخلايا البائية والتائية تدور متنقلة بين الدم واللمف .

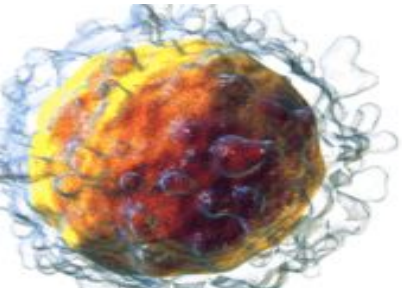




# الاستجابة المناعية

- تعتمد الاستجابة المناعية على تفاعل الخلايا البائية والخلايا التائية بعضها مع بعض لتحقيق دفاع فاعل.
- تنسق بعض الخلايا التائية استجابة مناعية تحفز الخلايا البائية على الانقسام وإفراز الأجسام المضادة إلى الدم
- تميز الأجسام المضادة الأنتيجينات على المسببات المرضية وتساعد على تدميرها
- وتبحث خلايا تائية أخرى عن أي خلايا جسمية مصابة بمسببات مرضية وتقتلها. ولكي تقوم بذلك عليها أن تكون على تماس مباشر مع الخلايا المصابة.

"سنتعرف عليها لاحقا"



أسئلة الدرس

## سؤال 24

**اشرح الاختلاف بين المسبب المرضي والأنتيجين؟**

المسببات المرضية كائنات حية تسبب المرض.
الأنتيجينات مواد، مثل البروتينات، وهي ليست كائنات حية.
تحتوي المسببات المرضية مثل البكتيريا والفيروسات على أنتيجينات على أسطحها.

وتحتوي الفيروسات على أنتيجينات قليلة على أسطحها لأنها صغيرة جدًا بالمقابل تحتوي البكتيريا على الكثير منها.

وتطلق بعض المسببات المرضية مواد هي أنتيجينات كالسموم.

# الخلايا اللمفاوية البائية

تكتسب كل خلية بائية عند نضجها القدرة على تكوين نوع واحد فقط من الأجسام المضادة.

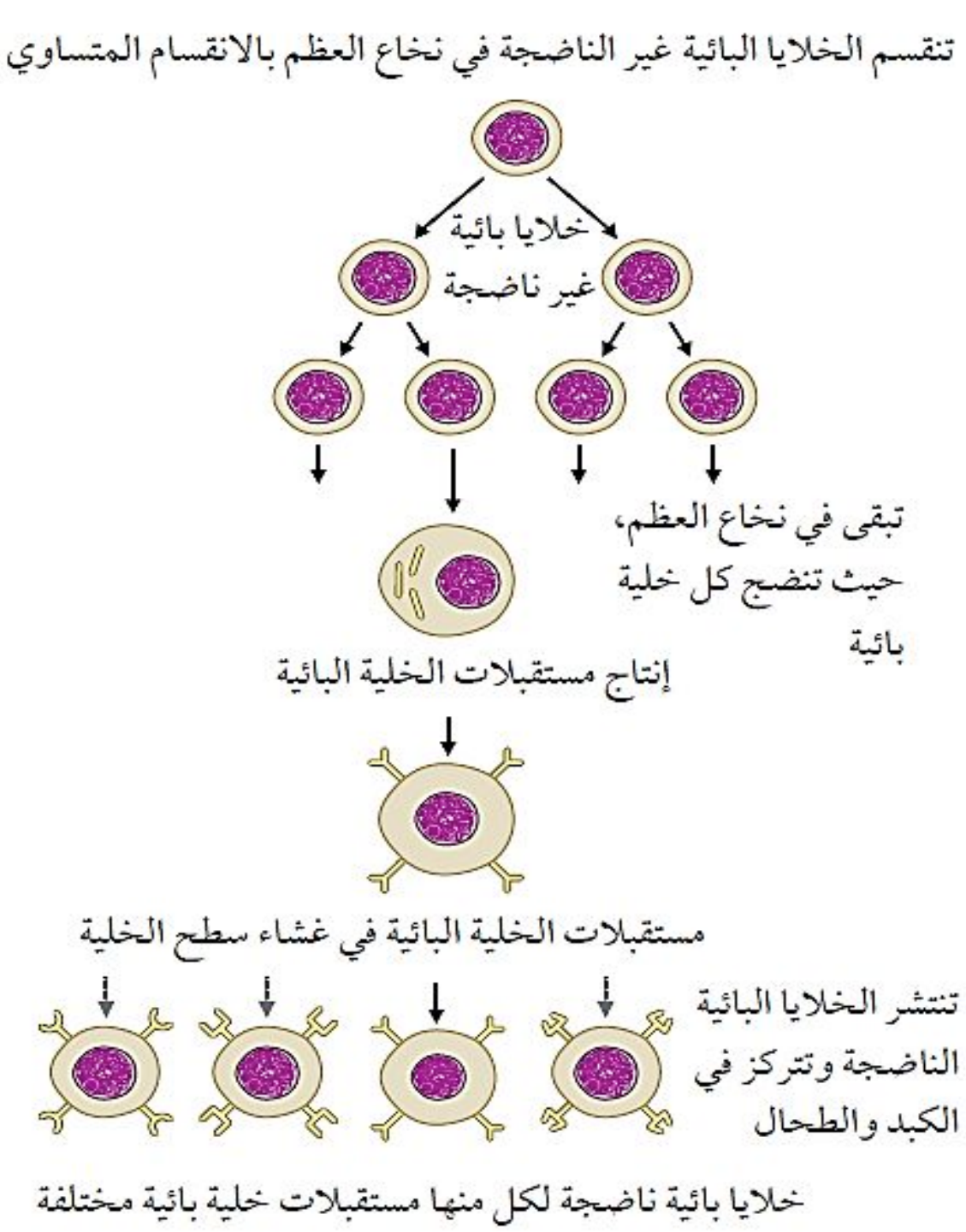
تتغير الجينات التي تشفر للأجسام المضادة المختلفة أثناء نضج الخلايا البائية بعدة طرائق لتشفر للأجسام المضادة المختلفة

ثم تنقسم كل خلية لينتج عدد صغير من الخلايا القادرة على تكوين النوع نفسه من الأجسام المضادة

وكل مجموعة صغيرة من الخلايا المتطابقة تسمى نسيلة Clone ، بحيث تستخدم كل خلية بائية في هذه المرحلة جزءًا من جزيء الجسم المضاد لتكوين مستقبلات في غشاء سطح الخلية.

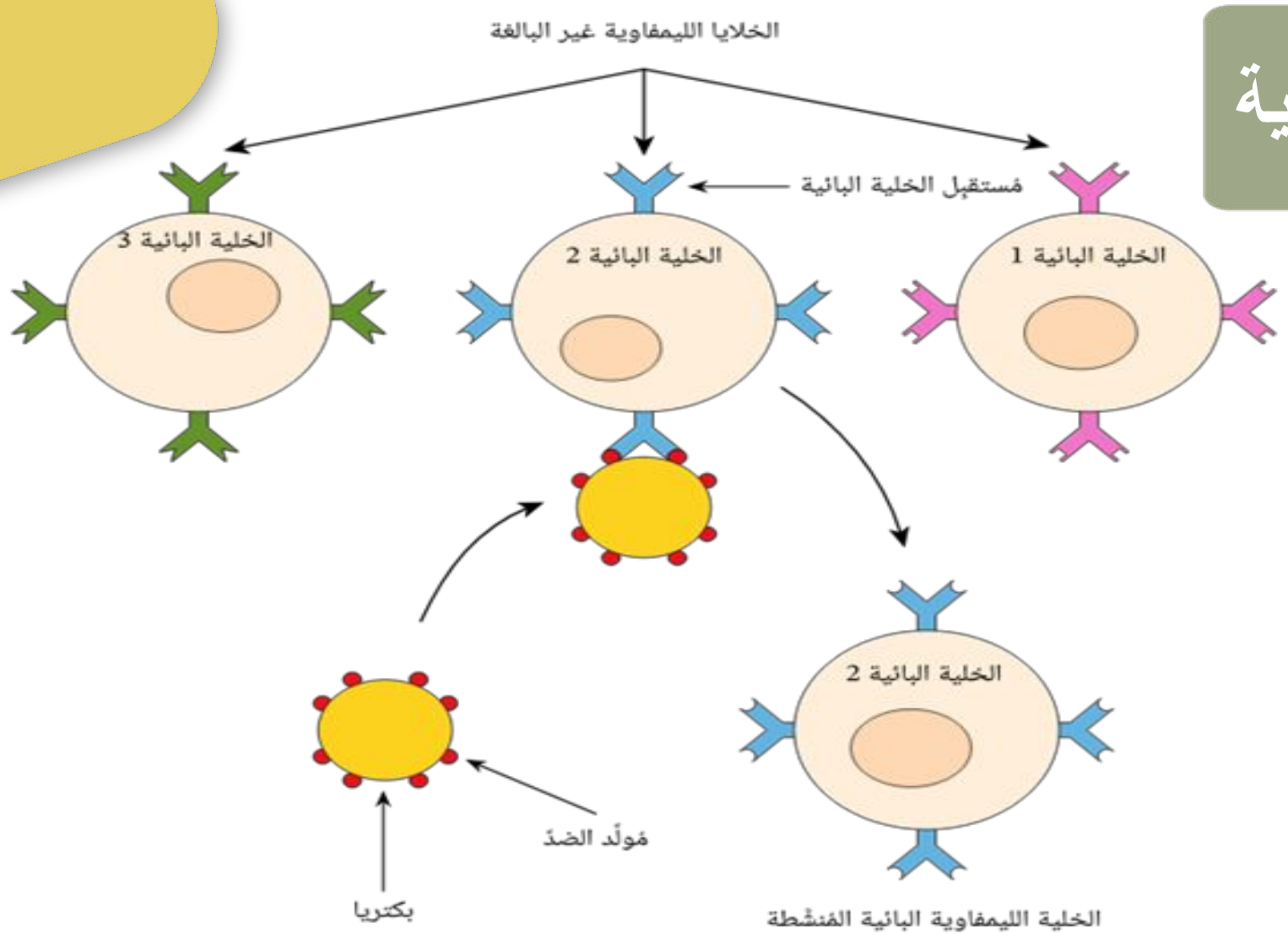
قد ترتبط مستقبلات الخلايا البائية هذه مع أنتيجين واحد معيّن، وإذا دخل الأنتيجين الجسم، فسيكون هناك بعض الخلايا البائية الناضجة مع مستقبلات على سطح الخلية لتمييزه الشكل 8-8

# الخلايا اللمفاوية البائية




**الشكل ٨- ٨ أصل ونضج الخلايا اللمفاوية البائية. عندما تنضج الخلايا في نخاع العظم تصبح قادرة على إفراز نوع واحد من جزيئات الأجسام المضادة ذات شكل محدد. تصبح بعض هذه الجزيئات بروتينات مستقبلة في غشاء سطح الخلية وتعمل كعلامات تمييز. وعند ولادة الطفل، يكون هناك ملايين من الخلايا البائية المختلفة، بكل منها مستقبلات خلية بائية معيّنة. يبيّن الرسم التخطيطي أربعة من هذه المستقبلات فقط.**

# الخلايا اللمفاوية البائية




**شكل 4**: مُستقبِل الخلية البائية الموجود على كل خلية بائية غير بالغة والمُخصَّص لمُولِّد ضدّ مُكمَّل. عندما تُلامِس الخلية البائية مُولِّد الضدّ هذا تُنشَّط.

# الاستجابة المناعية

ماذا يحدث للخلايا البائية أثناء الاستجابة المناعية عندما يدخل أنتيجين إلى الجسم مرتين منفصلتين؟

عندما يدخل أنتيجين الجسم لأول مرة، تحفز الأعداد الصغيرة من الخلايا البائية التي تحتوي على مستقبلات غشاء الخلية المكملة للأنتيجين، لتنقسم عن طريق الانقسام المتساوي

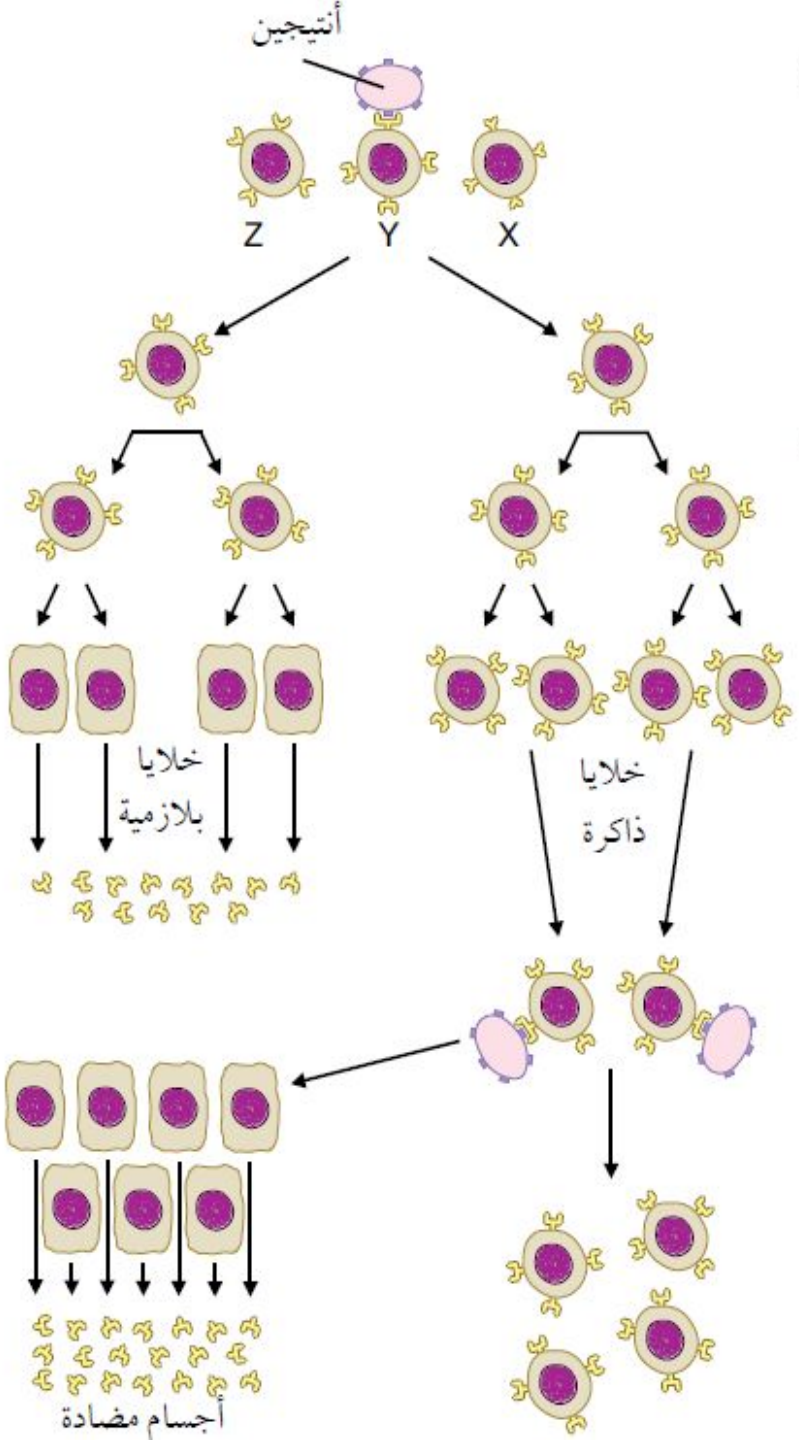
تعرف هذه المرحلة باسم الانتقاء النسيلي Clonal selection.

النسيلة الصغيرة من الخلايا مع المستقبلات الخاصة بأنتيجين المسبب المرضي على سطحها، تنقسم بشكل متكرر بالانقسامات المتساوية

تعرف هذه المرحلة باسم التوسع النسيلي Clonal expansion

بحيث تُنتج أعداد كبيرة من الخلايا البائية في غضون أسابيع قليلة

# الاستجابة المناعية




1. خلية واحدة فقط من هذه الخلايا البائية تحتوي على مستقبل سطح خلية بائية، وهو متخصص بشكل الأنتيجين الذي دخل الجسم.

2. تنقسم الخلية البائية المتخصصة بالانقسام المتساوي. وتتمايز بعض الخلايا الناتجة إلى خلايا بلازمية، ويتمايز بعضها الآخر إلى خلايا ذاكرة.

3. تفرز الخلايا البلازمية أجسامًا مضادة ترتبط بشكل خاص مع الأنتيجين الذي دخل الجسم.

في وقت لاحق...

4. يدخل الأنتيجين الجسم للمرة الثانية، فتستجيب خلايا الذاكرة التي نتجت أثناء المرحلة (2)، وتنقسم لتنتج خلايا بلازمية تفرز أجسامًا مضادة. تكون الاستجابة في المرحلة (4) أسرع بكثير من المراحل 1–3 لوجود العديد من خلايا الذاكرة من النسيلة Y في الجسم.

**الشكل ٨- 9 دور الخلايا اللمفاوية البائية أثناء الاستجابة المناعية.**
**X و Y و Z خلايا من ثلاث نسيلات من الخلايا اللمفاوية البائية.**
**تظهر التغيرات الناتجة في تركيز الأجسام المضادة في الشكل ٨- ١٥**

# مصطلحات علمية

## الانتقاء النسيلي
## Clonal selection

خلايا لمفاوية مفردة مع مستقبلات على سطح الخلية خاصة لنوع واحد من الأنتيجينات.
يتم تحديد هذا التخصص عندما تنضج الخلايا اللمفاوية وقبل دخول الأنتيجين إلى الجسم )الخلايا اللمفاوية الوحيدة التي تستجيب أثناء الاستجابة المناعية هي تلك التي تحمل مستقبلات معيّنة
بالأنتيجينات على سطح المسبب المرضي الغازي

## التوسع النسيلي
## Clonal expansion

الزيادة في عدد نسيلات خلايا لمفاوية معيّنة بالانقسام المتساوي أثناء الاستجابة المناعية

أسئلة الدرس

# سؤال 25

**يعتقد بعض الناس أن المسببات المرضية في الاستجابة المناعية تختار الخلايا اللمفاوية التي ستدمرها. هل تتفق مع هذا الاعتقاد؟ ولماذا؟**

لا أتفق. **تنشيط** نسائل معيّنة من الخلايا اللمفاوية **يحدث فقط** عند تلامس أنتيجين على سطح مسبب مرضي مع المستقبلات على سطح الخلايا البائية.
يشير المصطلح «يختار » إلى أن المسبب المرضي يبحث بنشاط عن الخلايا اللمفاوية المناسبة، وهذا لا يحدث، بل إن التفاعل بين المسبب المرضي والخلايا اللمفاوية يحدث بشكل عشوائي، حيث يمر المسبب المرضي عبر الأماكن التي يوجد فيها أعداد كبيرة من الخلايا اللمفاوية، كما في الطحال والعقد اللمفاوية.

أسئلة الدرس

## سؤال 26

لم ترسم المستقبلات الموجودة على سطح الخلايا البائية الناضجة المبيّنة في الشكل ٨- ٨ بحسب المقياس. لا تشاهد المستقبلات على أسطح الخلايا بهذا التكبير، لكن يمكن أن تشاهد في الرسوم التخطيطية مثل هذا الرسم. ناقش مع زملائك سبب وجود نوع واحد فقط من مستقبلات خلايا B في كل نسيلة.

توفر مستقبلات الخلايا البائية لكل خلية بائية تخصصيتها. المستقبلات هي بروتينات بشكل محدد مكمل فقط لأنتيجين واحد. وهذا يعني أن جميع الخلايا البائية التي لها التخصصية نفسها )نسيلة الخلايا البائية( ستصبح نشطة فقط عند كشف ذلك الأنتيجين. هذا يعني بالمقابل أنه ستنتج الخلايا البائية فقط ذات الفرصة الأكبر الأجسام المضادة التي سوف ترتبط بالمسبب المرضي الذي يحمل ذلك الأنتيجين. هذا يوفر/ يحفظ الموارد )الأحماض الأمينية اللازمة لتكوين الأجسام المضادة( والطاقة اللازمة لبنائها. يجب أن تعتمد المناقشة على المعرفة بتركيب البروتين وتخصصية الإنزيم- المادة المتفاعلة والتأشير
الخلوي من الصف الحادي عشر.

أسئلة الدرس

# سؤال 27

غالبًا ما تفيد المقارنات في العلوم، إذ يستخدم التشبيه لمحاولة شرح موضوع غير مألوف بمقارنته بشيء مألوف أكثر، على سبيل المثال يقارن عمل القلب بمضخة. حاول التفكير بتشبيه لشرح الانتقاء النسيلي.

يجب أن ينقل التشبيه لفكرة أنه من بين مجموعة كبيرة جدًا من العناصر يوجد عدد قليل منها مكملة لأنتيجين معيّن.

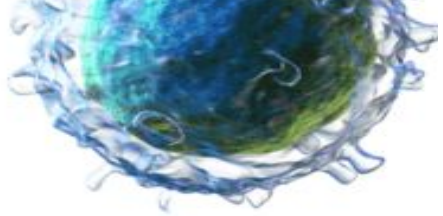
مثال: يبحث برنامج مكافحة الفيروسات الإلكترونية عن فيروس معيّن يوجد فقط في الأجهزة التي «أصيبت » بالفيروس

أسئلة الدرس

# سؤال 28

استفد من الشكل ٨- ٩ لشرح سبب استجابة الخلايا في النسيلة ***٧*** فقط للأنتيجين.

**تحتوي الخلايا البائية في النسيلة ٧ فقط على مستقبلات بالتخصصية الصحيحة / مكملة لشكل الأنتيجين.**

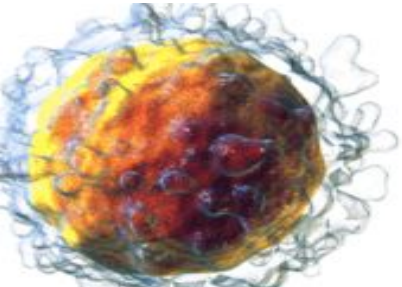


# الخلايا البلازمية

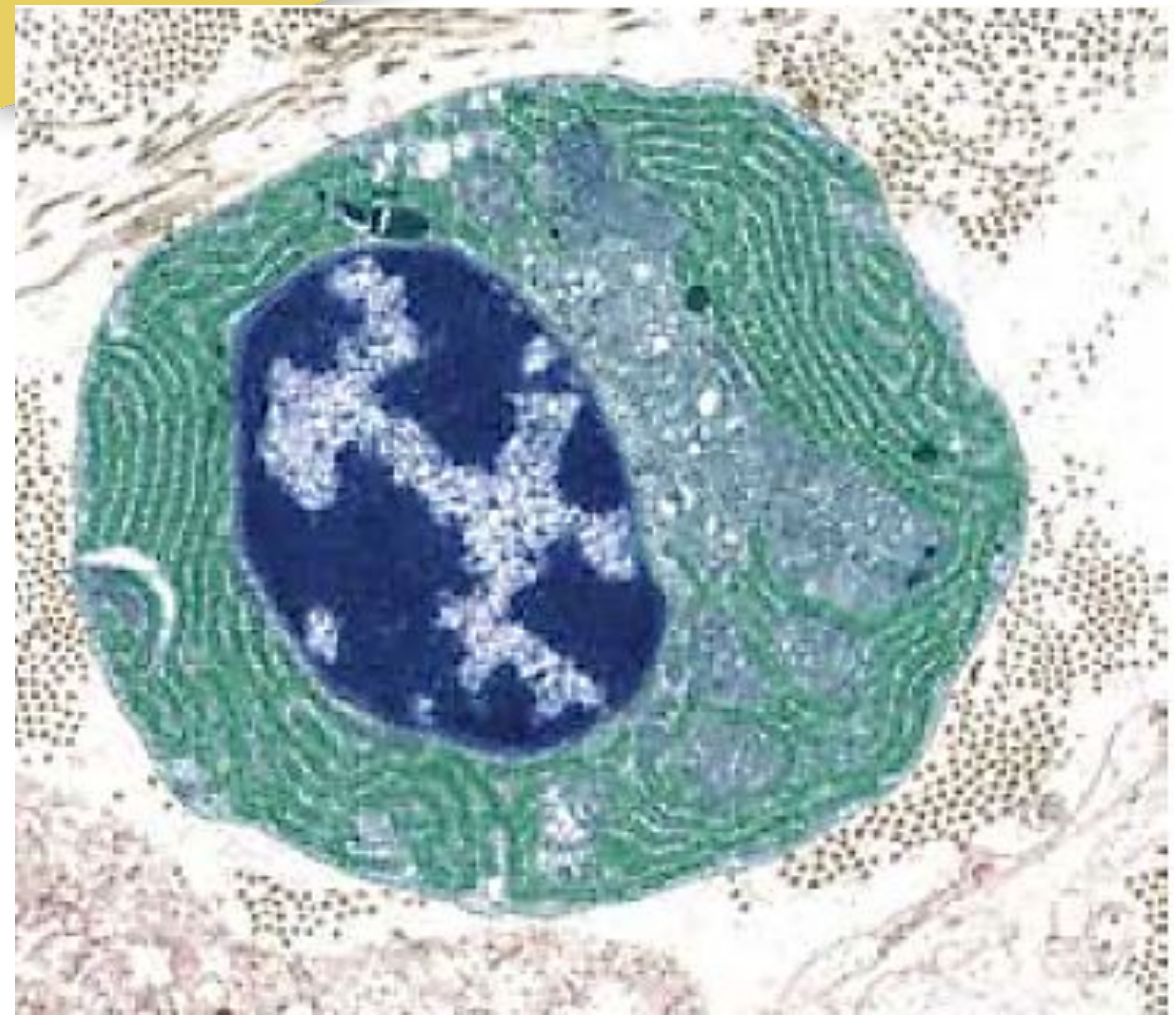
تصبح بعض الخلايا البائية النشطة خلايا بلازمية Plasma cells

تنتج الأجسام المضادة بسرعة كبيرة- تصل إلى عدة آلاف في الثانية.
تفرز الخلايا البلازمية الأجسام المضادة في الدم واللمف أو على بطانة الرئتين والأمعاء.

لا تعيش هذه الخلايا البلازمية لفترة طويلة، إذ تنخفض أعدادها بعد عدة أسابيع، وتبقى جزيئات الأجسام المضادة التي أنتجتها في الدم لفترة أطول، حتى ينخفض تركيزها في النهاية أيضًا



# الخلايا البلازمية



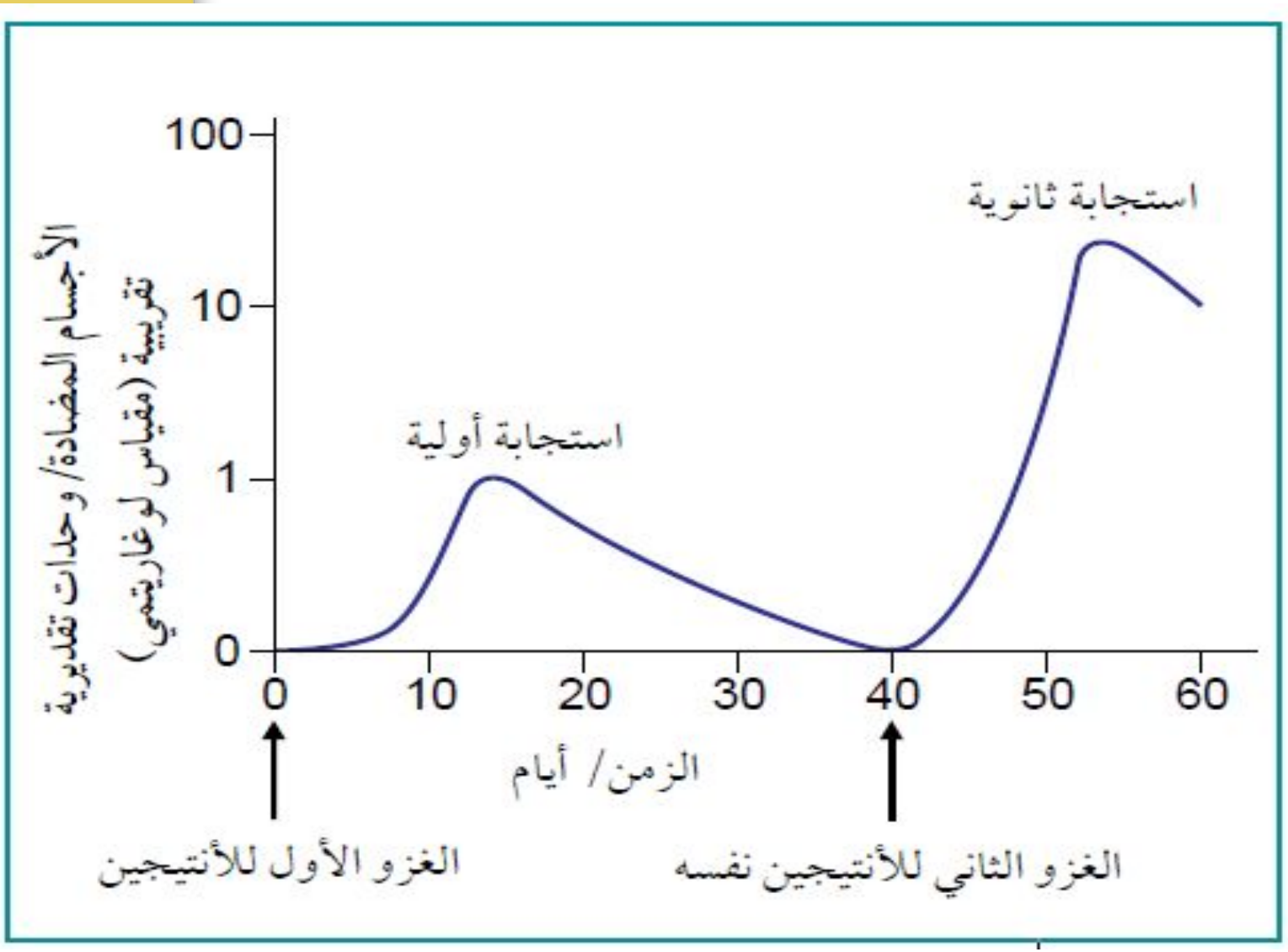
الصورة ٨- 13 صورة مجهرية إلكترونية )نافذ( بألوان زائفة لمحتوى خلية بلازمية )x6000 توجد شبكة إندوبلازمية خشنة واسعة في السيتوبلازم )بالأخضر( لإنتاج الأجسام المضادة، والتي تفرزها الخلايا البلازمية في الدم أو اللمف بالإخراج
الخلوي. توفر الميتوكندريا )الأزرق الفاتحATP لبناء البروتين وحركة الحويصلات الإفرازية

# خلايا الذاكرة

تصبح الخلايا البائية الأخرى خلايا ذاكرة Memory cells . تبقى هذه الخلايا تدور متنقلة في الجسم لفترة طويلة، ثم تنقسم بسرعة كبيرة

وتتمايز إلى خلايا بلازمية والمزيد من خلايا الذاكرة، إذا دخل الأنتيجين نفسه مرة أخرى بعد بضعة أسابيع أو أشهر من العدوى الأولى.

ويتكرر ذلك مع كل غزو لاحق لمسبب مرضي بالأنتيجين نفسه، ما يعني أنه يمكن تدمير مسببات المرض الغازية وإزالتها قبل أن تطوّر أية أعراض للمرض.




**الشكل ٨- ١٠ التغيرات في تركيز الأجسام المضادة في الدم أثناء الاستجابة الأولية والثانوية للأنتيجين نفسه.**

# تحليل الشكل 8-10

يبيّن الشكل ٨- ١٠ التغيرات في تركيز الأجسام المضادة في الدم عندما يواجه الجسم أنتيجينًا.

تكون أول استجابة **الاستجابة المناعية الأولية Primary immune response** بطيئة، لوجود عدد قليل جدًا من الخلايا البائية المتخصصة بالأنتيجين هذا في هذه المرحلة

**يزداد عدد الخلايا** في كل نسيلة منتقاة من الخلايا البائية أثناء الاستجابة المناعية الأولية، حيث يوجد العديد من الخلايا البائية المتخصصة بالمسبب المرضي الذي غزا الجسم.

وتكون **الاستجابة المناعية الثانوية Secondary immune response** أسرع، لوجود العديد من خلايا الذاكرة، التي تنقسم وتتمايز بسرعة إلى خلايا بلازمية

يُنتَج العديد من الأجسام المضادة في الاستجابة المناعية الثانوية، وهي تقريبًا تُنتج فورًا عند الكشف عن الأنتيجين

# خلايا الذاكرة

- خلايا الذاكرة هي أساس الذاكرة المناعية Immunological memory . تدوم خلايا الذاكرة لعدة سنوات، وغالبًا مدى الحياة

**عند إصابة شخص بمسبب مرضي يحتوي على أنتيجينات مختلفة يجب حدوث استجابة مناعية أولية قبل أن تتكوّن لديه مناعة، ومن الممكن أن يصبح مريضًا أثناء هذه الفترة**

عدم ا
ب

توجد سلالة واحدة فقط من الفيروس المسبب للحصبة، وتحدث استجابة مناعية سريعة في كل مرة تصيب فيها الجسم

ررة بالزكام
لونزا

لوجود العديد من السلّالات المختلفة والجديدة من الفيروسات التي تسبب هذه الأمراض، ولكل منها أنتيجينات مختلفة

أسئلة الدرس

# سؤال 29

احسب قطر الخلية البلازمية في الصورة ٨- 13 في أقصى عرض لها.

خطوات العمل:

عرض الخلية البلازمية في الصورة 8- 13

= mm = 74000 µm 74

اقبل 1 74 mm ±

العرض الحقيقي = قياس الصورة /مقدار التكبير

µm 12.3 = 6000 ÷ 74000

اقبل 12.2 – 12.5µm

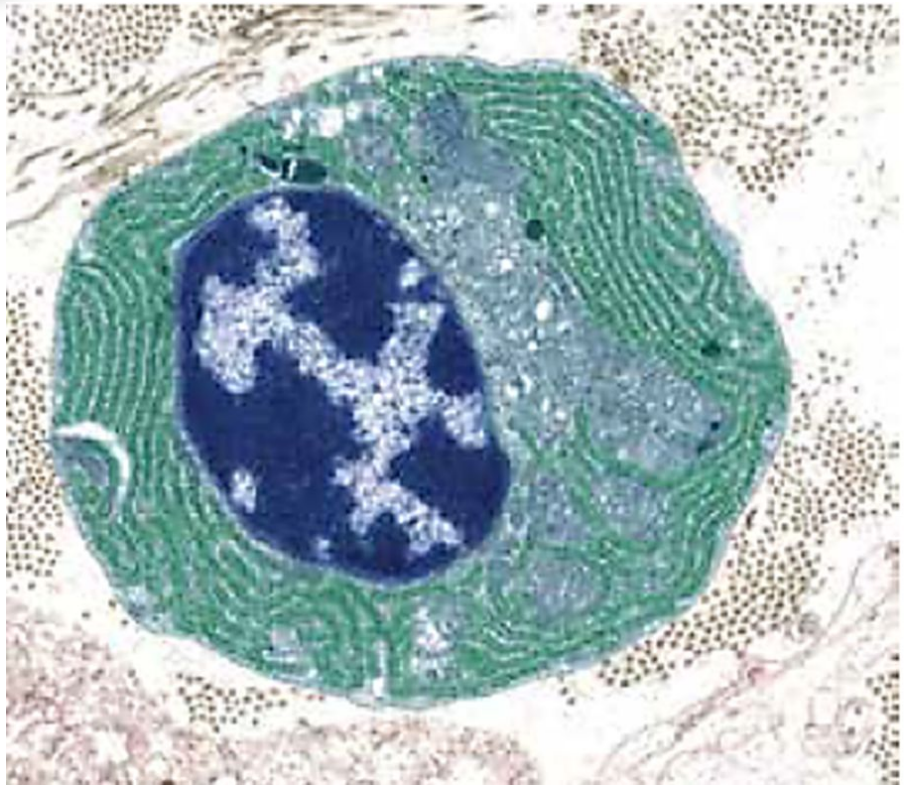
# سؤال 30

اشرح سبب انقسام الخلايا البائية بالانقسام المتساوي أثناء الاستجابة المناعية

أثناء تطور الخلايا البائية/ خلايا B يعاد تنظيم جينات الجسم المضاد ليشفر لجسم مضاد معيّن.
ينتج الانقسام المتساوي خلايا متطابقة جينيًا بحيث تحتوي جميع الخلايا في النسيلة التي تطورت من خلية بائية واحدة على DNA نفسه.
ستكون الخلايا البلازمية مطابقة للخلية البائية الأصلية وستنتج بالتالي بالضبط جزيئات الأجسام المضادة نفسها.
كما ستكون خلايا الذاكرة متطابقة، وبالتالي ستنتج جزيئات الأجسام المضادة نفسها خلال أي استجابة مناعية لاحقة للأنتيجين نفسه.

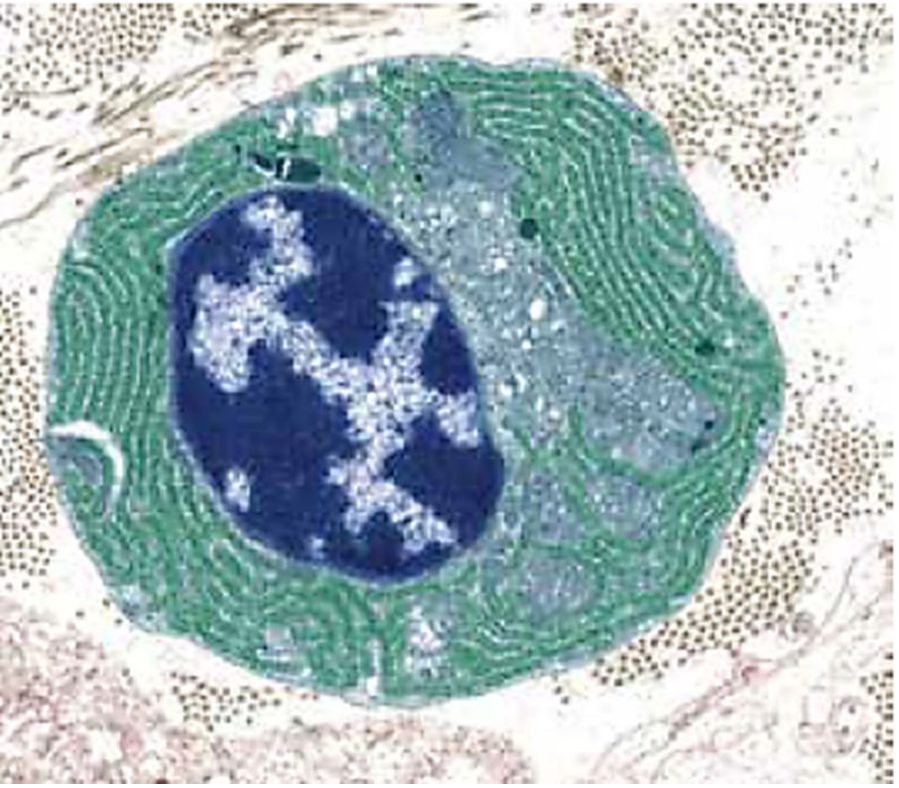
# سؤال 31

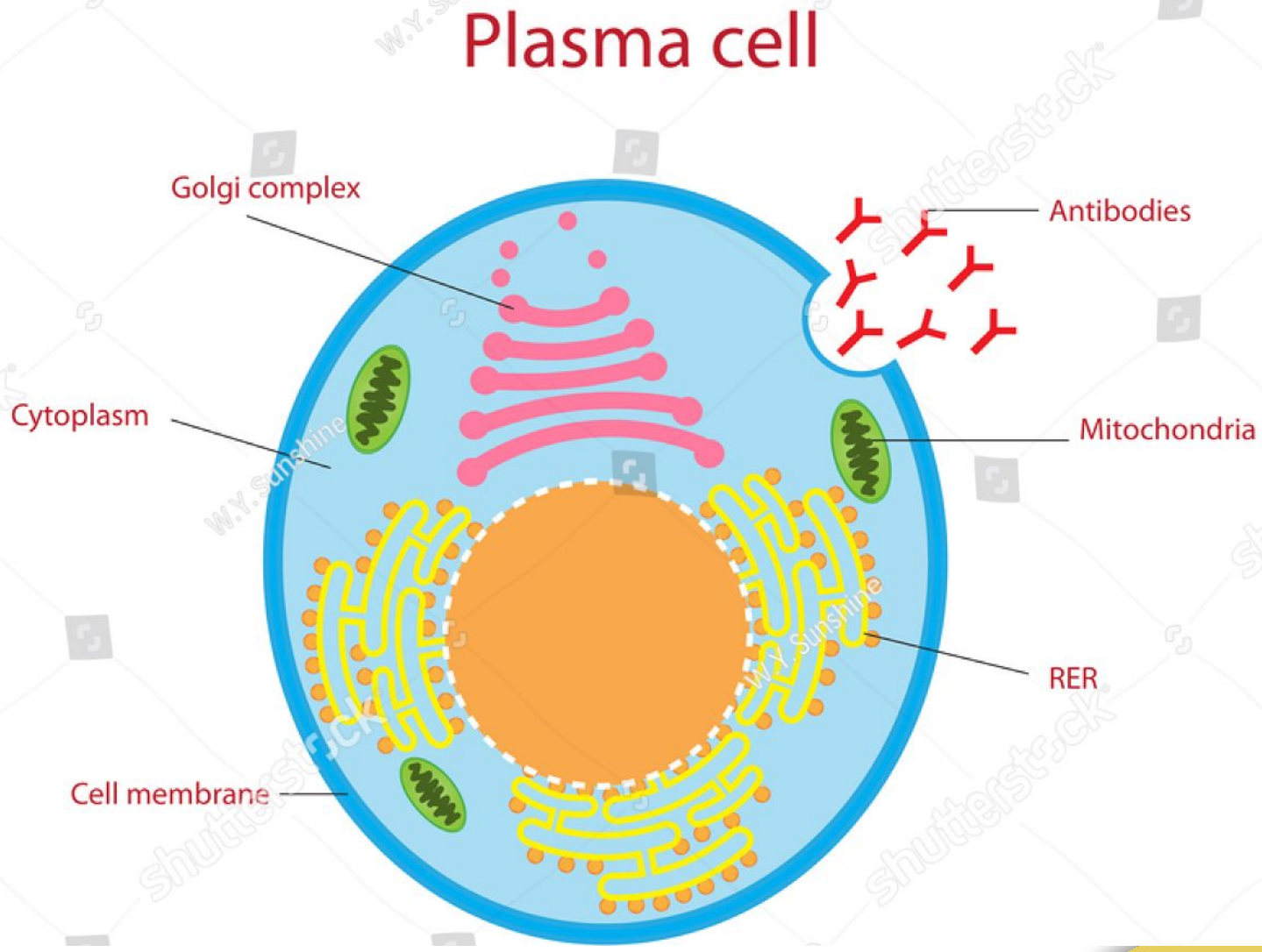
اشرح كيف تتلاءم الخلايا البلازمية، مثل تلك الظاهرة في الصورة ٨- 13 ، لإفراز أعداد كبيرة من الأجسام المضادة.



سيتوبلازم الخلايا البلازمية مليء **بالشبكة الإندوبلازمية الخشنة** حيث يحدث بناء البروتين. يوجد **جهاز جولجي** لتعديل البروتينات لتصبح جزيئات أجسام مضادة، وتعبئتها في **حويصلات للإخراج الخلوي**. توفر **الميتوكندريا** الطاقة لبناء البروتين وحركة الحويصلات إلى غشاء سطح الخلية لتفرز بالإخراج الخلوي

# أسئلة الدرس




Plasma cell
Golgi complex
Antibodies
Cytoplasm
Mitochondria
RER
Cell membrane

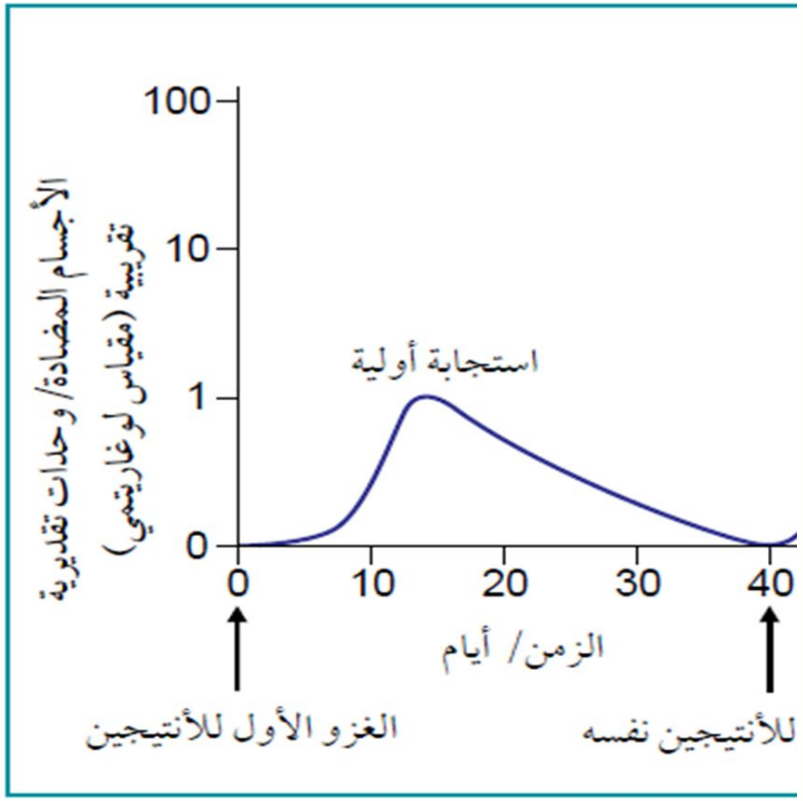
أسئلة الدرس

## سؤال 32

استفد من الشكل ٨- ١٠ ، واذكر كيـ
الاستجابة المناعية الأولية.

نوية عن

الاستجابة المناعية الثانوية أسرع وتنتج تركيـ
من جزيئات الجسم المضاد مقارنة بالاستجابة
المناعية الأولية




### مصطلحات علمية

**الاستجابة المناعية الأولية Primary immune response:** الاستجابة المناعية الأولى لأنتيجين معيّن.

**الاستجابة المناعية الثانوية Secondary immune response:** الاستجابة المناعية الثانية واللاحقة للأنتيجين نفسه.

**الذاكرة المناعية Immunological memory:** قدرة جهاز المناعة على تكوين استجابة أكبر وأكثر سرعة للأنتيجين الذي تعرّض له سابقًا.

# الخلايا البائية والأجسام المضادة

بروتينات سكرية كروية ذات تركيب رابعي

ويحتوي كل جزيء على منطقتين متغيرتين Variable regions متطابقتين تكوّنتا من بعض أجزاء السلاسل الخفيفة والثقيلة

تشكل مجموعة من البروتينات البلازمية تسمى الجلوبيولينات المناعية

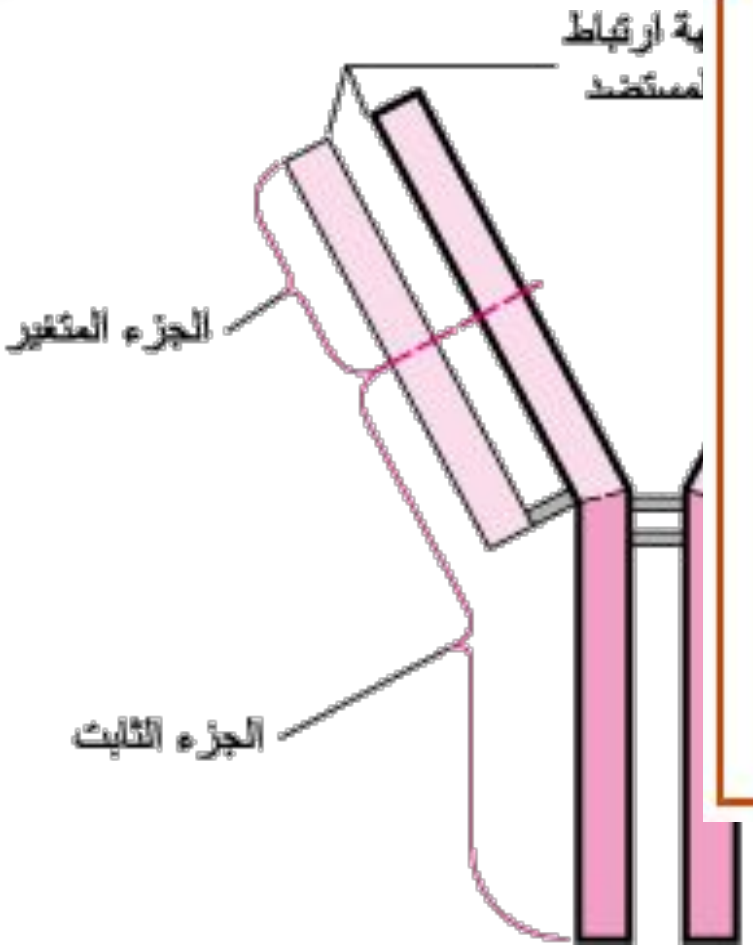
يتكوّن كل جزيء جسم مضاد من أربع سلاسل عديد الببتيد: سلسلتَين «طويلتَين » أو «ثقيلتَين »، وسلسلتَين «قصيرتَين »أو «خفيفتَين » وتربط روابط ثنائي الكبريتيد السلاسل معًا

# الخلايا البائية والأجسام المضادة

- تأخذ سلاسل الأحماض
محددة ترتبط مع أنتيج

تكوّن كل نسيلة من الخلا
لدى جميعها المناطق اله
ذات شكل مكمل لأنتيجين

توفر منطقة «المفصل »
المضاد ليرتبط مع الأنتي
المسبب المرضي

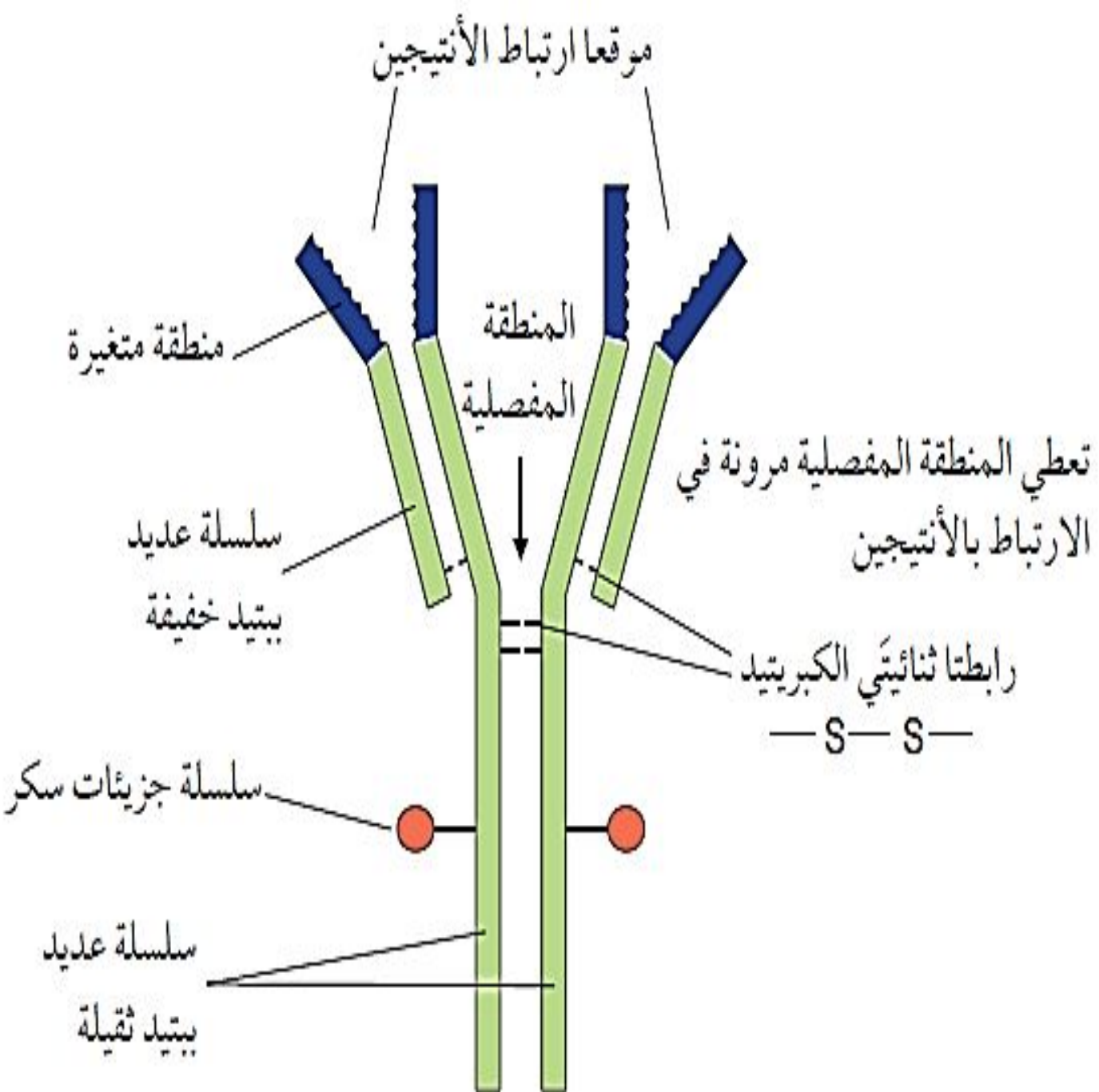



## مصطلحات علمية

**المنطقة المتغيرة Variable region:**

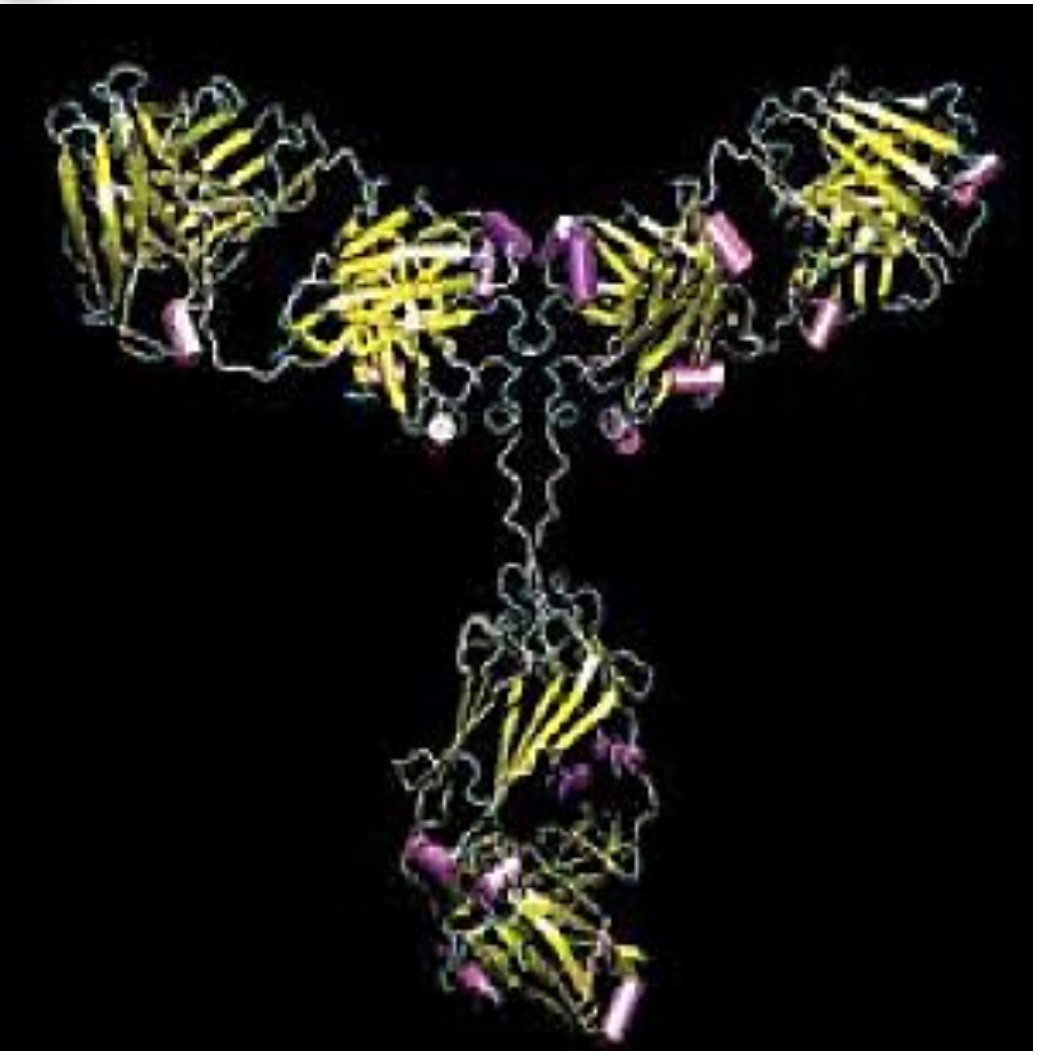
منطقة من الجسم المضاد تتكوّن من سلاسل عديد ببتيد خفيفة وثقيلة تشكل موقع ارتباط الأنتيجين. تكوّن سلسلة الأحماض الأمينية للموقع المتغير شكلًا محددًا مكملًا لأنتيجين معيّن.

# الخلايا البائية والأجسام المضادة




**الشكل ٨- ١٢ رسم تخطيطي لجزيء الجسم المضاد. يحدث ارتباط الأنتيجين- الجسم المضاد في المناطق المتغيرة. يتلاءم الأنتيجين مع موقع الارتباط مثل ملاءمة المادة المتفاعلة مع الموقع النشط في الإنزيم. الجزء من الجسم المضاد المبيّن باللون الأخضر يكون متطابقًا في جميع الأجسام المضادة المسماة IgG ، التي تحتوي على أربعة من عديد الببتيد**

# الخلايا البائية والأجسام المضادة



الشكل ٨- ١١ نموذج لجسم مضاد جرى تكوينه باستخدام رسوم الحاسوب. يكون الجزيء على شكل Y مع المنطقة الثابتة التي تشكل الجزء الأسفل، والمنطقتَين المتغيرتَين في نهايات فروع Y. كما تظهر لوالب- ألفا باللون الأرجواني وصفائح بيتا باللون الأصفر.
قارن هذا الشكل مع الشكل ٨- ١٢ .
يعرف هذا النوع من الأجسام المضادة المكون من أربعة جزيئات عديد الببتيد باسم الجلوبيولين المناعي G، واختصارًا IgG . الأنواع الأكبر من جزيئات الأجسام المضادة هي IgA )أربعة مواقع ربط للأنتيجين ( و IgM )عشرة مواقع ربط للأنتيجين(.

أسئلة الدرس

## سؤال 33

اشرح سبب معاناة الناس من المرض في كثير من الأحيان لعدة أسابيع بعد إصابتهم بالمرض على الرغم من قدرتهم على انتاج أجسام مضادة ضد المرض؟

الاستجابة المناعية الأولية للأنتيجين بطيئة، ويمكن أن تأخذ عدة أسابيع لتنتج ما يكفي من جزيئات الجسم المضاد لمحاربة العدوى بفاعلية. تظهر عادة خلال هذا الوقت أعراض المرض.

## سؤال 34

استفد مرة أخرى من الشكل ٨- 7، واقترح سبب أهمية كون المنطقة الثابتة لجميع الأجسام المضادة هي نفسها.

لجميع الأجسام المضادة المنطقة الثابتة نفسها، لذلك سيتم التعرف عليها جميعا بالمستقبل نفسه الذي على سطح الخلايا البلعمية. وهذا يسهل على الخلايا البلعمية تمييز مسببات المرض المغلفة بجميع الأجسام المضادة بالتخصصات المختلفة، ما يعني أن جميعها بمناطق متغيرة مختلفة

# سؤال 35

اقترح سبب كون جزيء الجسم المضاد الظاهر في الشكل ٨- 12 :

أ. يُظهر المستويات الأربعة لتركيب البروتين.

ب . بروتين سكري.

أ. يحتوي كل من عديدات الببتيد الأربعة على تركيب أولي وثانوي وثالثي. **التركيبان الثانوي والثالثي مرئيان في الشكل 8- 11.**

يتكوّن كل جزيء جسم مضاد من أربعة عديدات ببتيد )اثنين ثقيلَين واثنين خفيفين، ولأن كل جزيء يتكوّن من أكثر من عديد ببتيد واحد **فإنه يظهر تركيبًا رابعيًا.**

ملاحظة: أن التركيب الرابعي لا يعني وجود أربعة عديدات ببتيد. تحتوي بعض جزيئات الإنزيم على عديدي ببتيد وتظهر تركيبًا رابعيًا كذلك.

ب. تحتوي عديدات الببتيد الثقيلة على سلسلة من جزيئات السكر المرتبطة بها.

# سؤال 36

أسئلة الدرس

اشرح سبب عدم مناسبة عديدات التسكر لتكوين جزيئات أجسام مضادة.

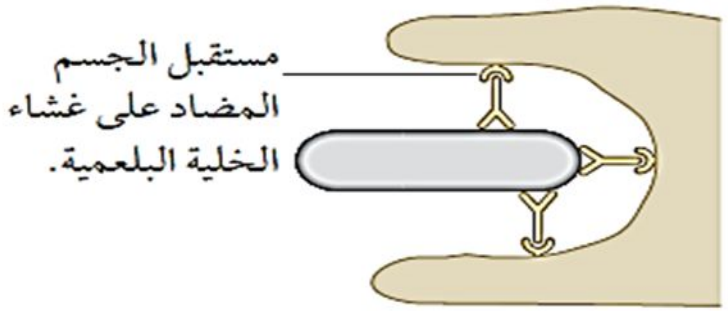
تتكوّن عديدات التسكر من عدد صغير فقط من سكريات مختلفة على عكس البروتينات، والتي تتكوّن من 20 حمضًا أمينيًا مختلفًا.
لن توفر عديدات التسكر العدد الكبير من الأشكال الجزيئية المختلفة في المناطق المختلفة من الأجسام المضادة كالذي توفره البروتينات

# طرق عمل الأجسام المضادة

تعمل بعض الأجسام المضادة **كعلامات** لتحديد الأنتيجينات للخلايا البلعمية كأهداف مناسبة لتدميرها **الرسم التخطيطي 5، الشكل ٨- 13 (.**

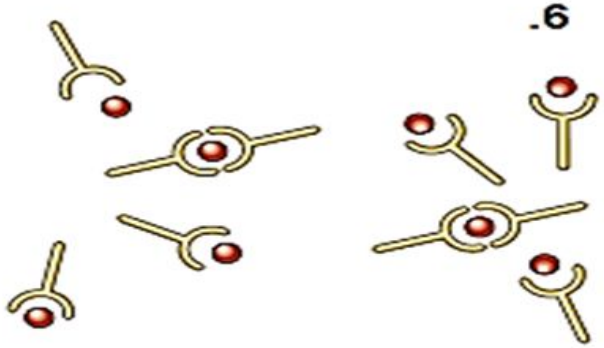
توجد مجموعة خاصة من الأجسام المضادة تسمّى مضادات السموم، ترتبط مع السموم وتوقف البكتيريا عن إفرازها، مثل البكتيريا التي تسبب الكوليرا والدفتيريا والكزاز، لمنعها من إتلاف خلايا العائل )
**الرسم التخطيطي 6، الشكل ٨- 13 (**

.5



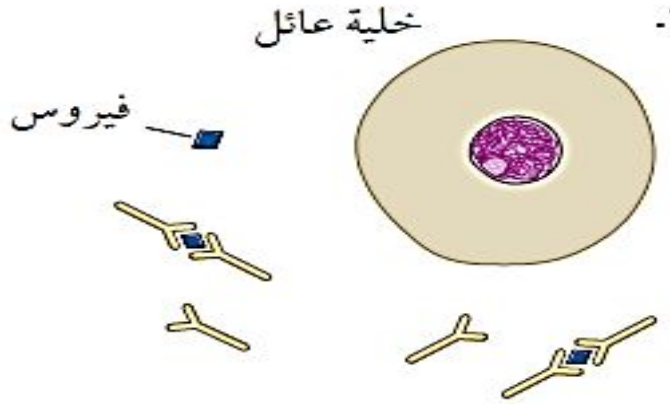

تغلف الأجسام المضادة البكتيريا الأمر الذي يسهل على الخلايا البلعمية ابتلاعها، وتحتوي الخلايا البلعمية على بروتينات مستقبلة للمناطق الثابتة من الأجسام المضادة.

.6



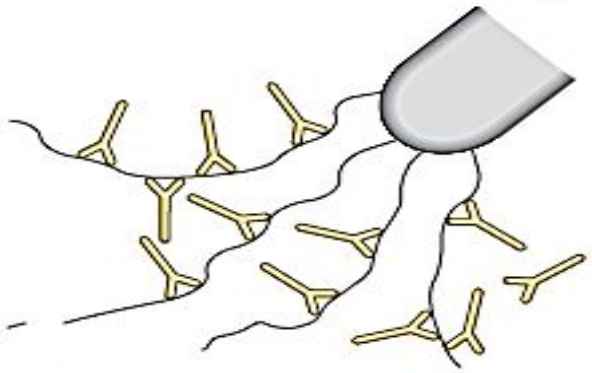
تتحد الأجسام المضادة مع السموم، فتعادلها وتجعلها غير ضارة، تسمى هذه الأجسام المضادة مضادات السموم.

.1



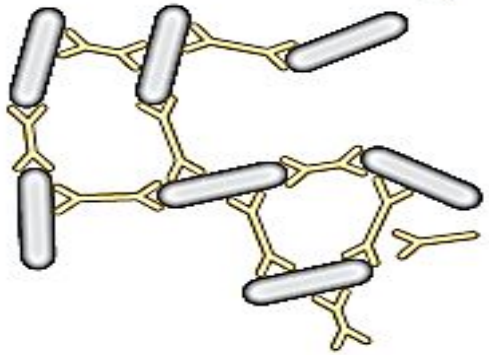

ترتبط الأجسام المضادة بالفيروسات فتمنعها من دخول الخلايا أو إتلافها.

.2



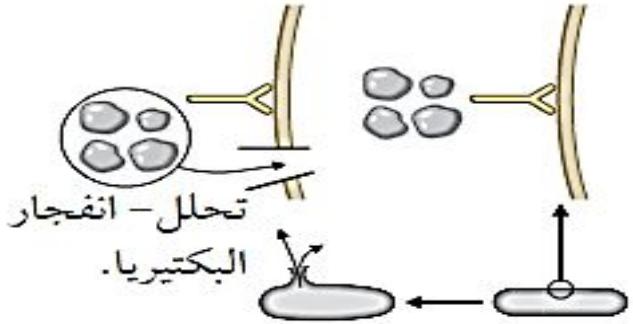
تلتصق الأجسام المضادة بأسواط البكتيريا فتجعلها أقل نشاطًا ويسهل على الخلايا البلعمية ابتلاعها.

.3



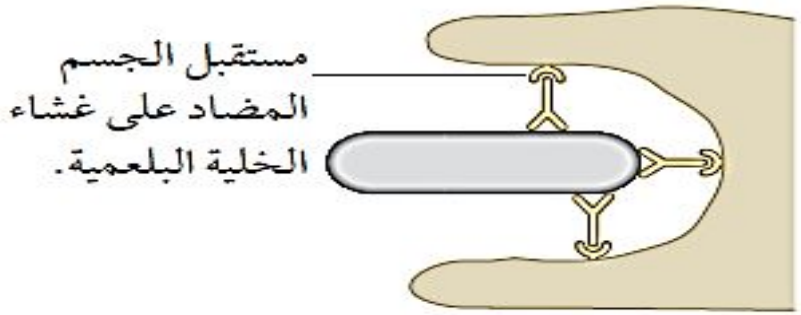
تسبب الأجسام المضادة التي تحتوي على مواقع ارتباط متعددة تلازن ( تكتل) البكتيريا بما يقلل من فرص انتشارها في الجسم.

.4



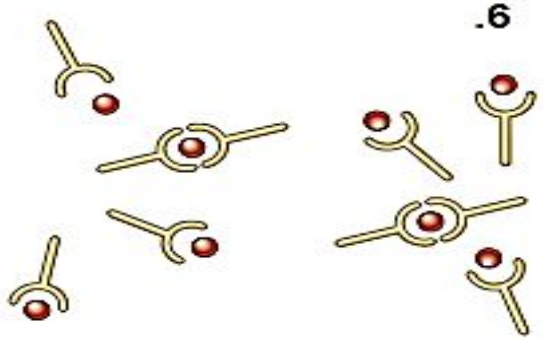

تستطيع بعض الأجسام المضادة بالتعاون مع بعض الجزيئات الأخرى أن تحفر ثقوبًا في جدران خلايا البكتيريا، ما يسبب انفجارها عندما تمتص الماء بالأسموزية.

.5




تغلف الأجسام المضادة البكتيريا الأمر الذي يسهل على الخلايا البلعمية ابتلاعها، وتحتوي الخلايا البلعمية على بروتينات مستقبلة للمناطق الثابتة من الأجسام المضادة.

.6

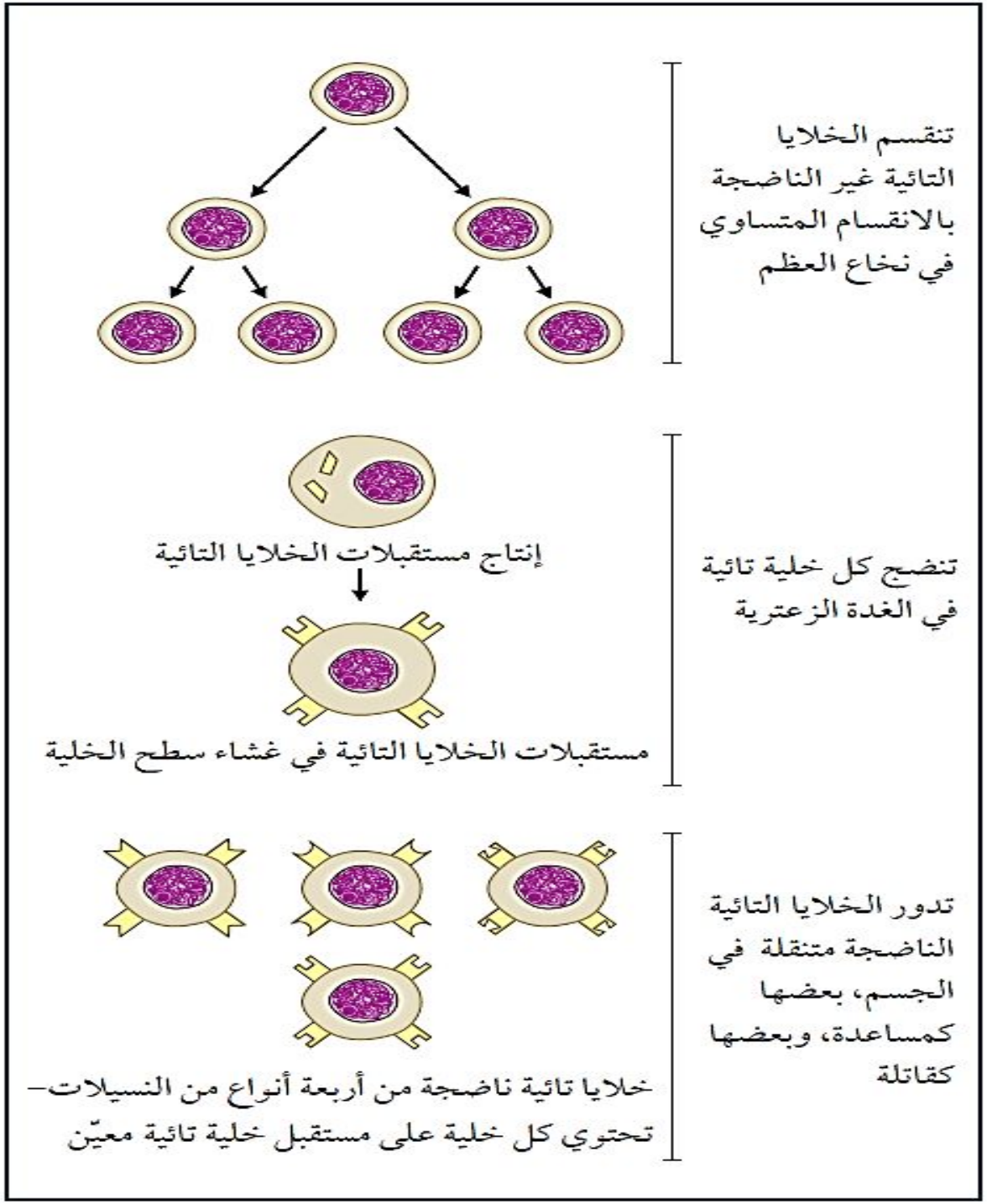


تتحد الأجسام المضادة مع السموم، فتعادلها وتجعلها غير ضارة، تسمى هذه الأجسام المضادة مضادات السموم.

**.)الشكل ٨- 13 وظائف الأجسام المضادة. للأجسام المضادة وظائف مختلفة تبعًا لنوع الأنتيجين الذي ترتبط به**

# الخلايا اللمفاوية التائية

تحتوي الخلايا التائية خلايا-T الناضجة على مستقبلات محددة على سطح الخلية تسمى مستقبلات خلايا- T




**الشكل ٨- ١٤ أصل ونضج الخلايا اللمفاوية التائية.**

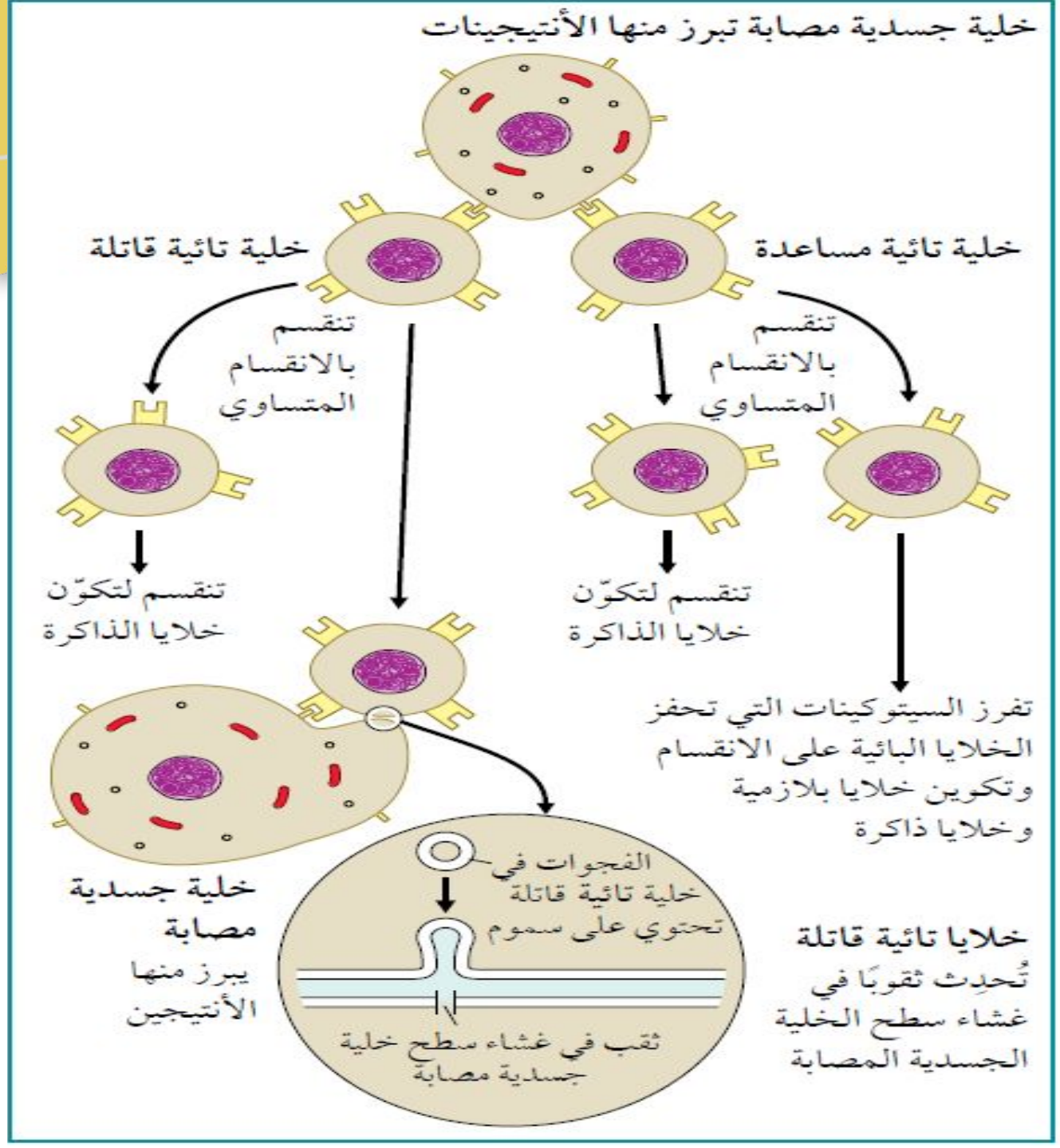
عندما تنضج الخلايا T في الغدة الزعترية، تنتج المستقبلات البروتينية للخلايا التائية.

لكل خلية مستقبل معيّن. بعض الخلايا تصبح خلايا تائية مساعدة، وبعضها الآخر تصبح خلايا تائية قاتلة.

# الخلايا اللمفاوية التائية

- لمستقبلات خلايا- T تركيب يشبه تركيب الأجسام المضادة، ويتخصص كل منها بأنتيجين واحد.
- تنشط الخلايا –T عندما تُميز وجود هذا الأنتيجين على خلية أخرى من العائل )أي في خلايا الشخص نفسه.
- تكون هذه الخلية في بعض الأحيان بلعمية كبيرة تبتلع المسبب المرضي وتجزئه لإبراز جزيئات سطح المسبب المرضي، أو قد تكون خلية جسمية جرى غزوها من مسبب مرضي، فتبرز الأنتيجين بنفس الطريقة على غشاء سطح الخلية كنوع من إشارة «المساعدة ».
- يُعرف إبراز الأنتيجينات على سطح الخلية بهذه الطريقة باسم إشهار الأنتيجين Antigen presentation .
وتستجيب خلايا- T التي تحمل مستقبلات مكملة للأنتيجين بالانقسام المتساوي لتزيد عدد الخلايا

# الخلايا اللمفاوية التائية




**الشكل ٨- ١٥ وظائف الخلايا اللمفاوية التائية أثناء الاستجابة المناعية.**

**تستجيب الخلايا التائية المساعدة والخلايا التائية القاتلة ذات مستقبلات خلايا تائية بروتينية متخصصة بالأنتيجين وتنقسم بالانقسام المتساوي.**

**تحفز الخلايا التائية المساعدة المنشطة الخلايا البائية للانقسام والتطور إلى خلايا بلازمية )الشكل ٨- 9(.**

**ترتبط الخلايا التائية القاتلة بالخلايا المصابة وتقتلها.**

# الخلايا اللمفاوية التائية

وكنُسيلات الخلايا البائية، تمر الخلايا التائية بمرحلتي الانتقاء النسيلي والتوسع النسيلي )الشكل ٨- 5(. يوجد نوعان رئيسيان من الخلايا التائية:

- الخلايا التائية المساعدة T- helper cells.
- الخلايا التائية القاتلة T-killer cells )تعرف أيضًا باسم الخلايا T – السامة T-cytotoxic cells(.

# آلية عمل الخلايا اللمفاوية التائية

عندما تنشط الخلايا التائية المساعدة تُطلق السيتوكينات Cytokines

وهي جزيئات تأشير خلوي تحفز الخلايا البائية المناسبة على الانقسام والتمايز إلى خلايا ذاكرة وخلايا بلازمية تفرز الأجسام المضادة

تفرز بعض الخلايا التائية المساعدة السيتوكينات التي تحفز الخلايا البلعمية الكبيرة على البلعمة بنشاط أكبر

وتبحث الخلايا التائية القاتلة في الجسم عن الخلايا التي غزتها مسببات مرضية وتبرز أنتيجينات غريبة من المسببات المرضية على أغشية سطح الخلايا المصابة

تُميز الخلايا التائية القاتلة الأنتيجينات، وترتبط بسطح الخلايا المصابة، وتفرز مواد سامة مثل بيروكسيد الهيدروجين، فتقتل خلايا الجسم والمسببات المرضية بداخله

تفرز بعض الخلايا التائية المساعدة سيتوكينات تحفز الخلايا التائية القاتلة لتنقسم بالانقسام المتساوي وتتمايز لتكوين الخلايا التائية القاتلة مع فجوات ممتلئة بالسموم

# آلية عمل الخلايا اللمفاوية التائية

تُنتج الخلايا التائية المساعدة الذاكرة
والخلايا التائية القاتلة الذاكرة
وتبقى في الجسم، وتنشط بسرعة كبيرة
أثناء الاستجابة الثانوية للأنتيجينات.

# مصطلحات علمية

## إشهار الأنتيجين

**Antigen presentation**: عملية إبراز أنتيجينات على سطح خلايا العائل (على سبيل المثال، الخلايا البلعمية الكبيرة) لتُميزها الخلايا اللمفاوية التائية.

## الخلية التائية القاتلة

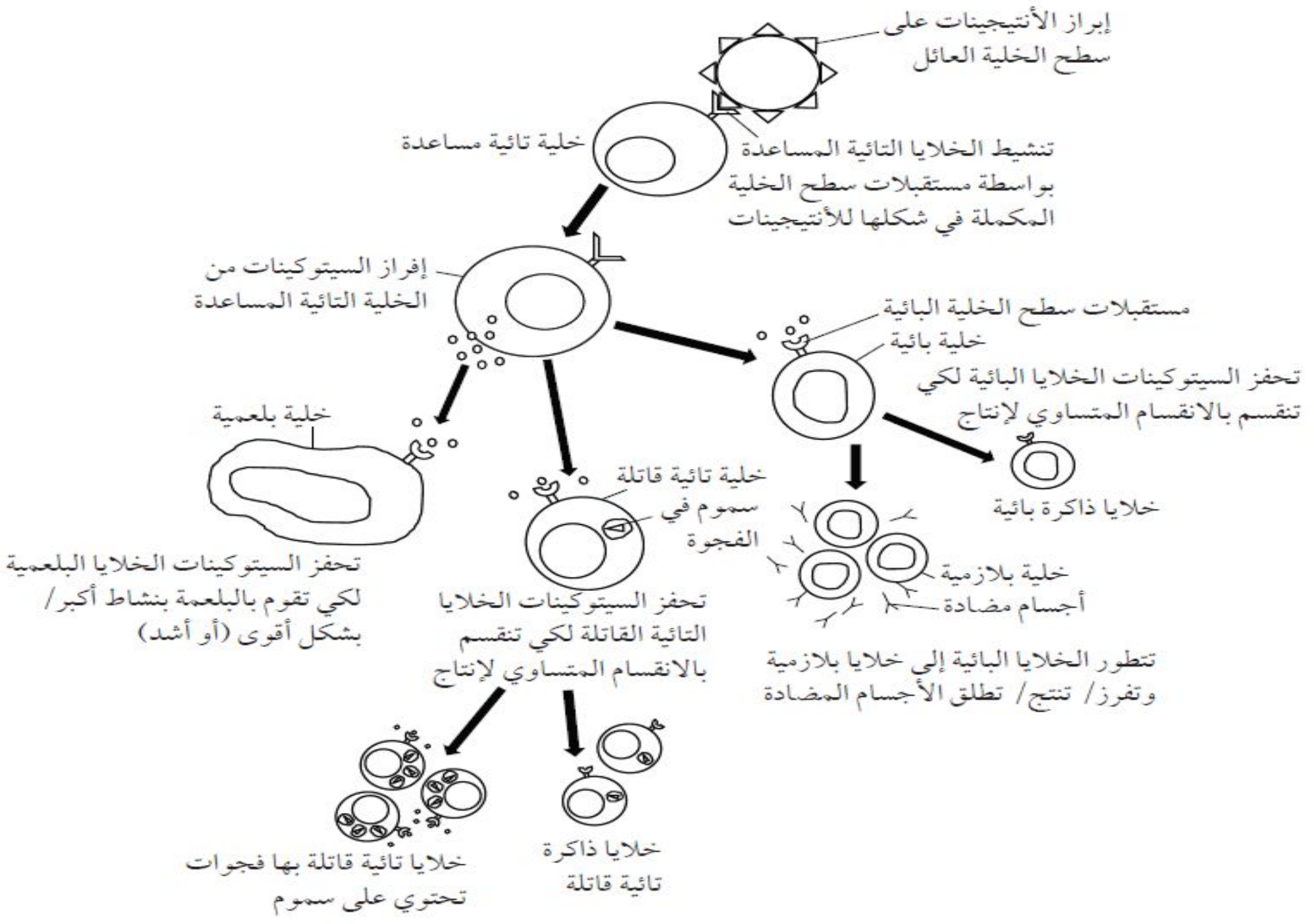
**T-killer cell**: نوع من الخلايا اللمفاوية التائية ترتبط بالخلايا، تفرز مواد سامة لتقتل الخلايا المصابة والخلايا السرطانية.

## الخلية التائية المساعدة

**T- helper cell**: نوع من الخلايا اللمفاوية التائية يفرز سيتوكينات لتنسيق نشاط خلايا أخرى أثناء الاستجابة المناعية.

**السيتوكين Cytokine**: أي جزيء تأشير تطلقه الخلايا ليؤثر في تمايز الخلايا نفسها أو خلايا أخرى.

## أسئلة الدرس


إبراز الأنتيجينات على سطح الخلية العائل
خلية تائية مساعدة
تنشيط الخلايا التائية المساعدة بواسطة مستقبلات سطح الخلية المكملة في شكلها للأنتيجينات
إفراز السيتوكينات من الخلية التائية المساعدة
مستقبلات سطح الخلية البائية
خلية بائية
تحفز السيتوكينات الخلايا البائية لكي تنقسم بالانقسام المتساوي لإنتاج
خلايا ذاكرة بائية
خلية بلعمية
خلية تائية قاتلة سموم في الفجوة
خلية بلازمية أجسام مضادة
تحفز السيتوكينات الخلايا البلعمية لكي تقوم بالبلعمة بنشاط أكبر/ بشكل أقوى (أو أشد)
تحفز السيتوكينات الخلايا التائية القاتلة لكي تنقسم بالانقسام المتساوي لإنتاج
تتطور الخلايا البائية إلى خلايا بلازمية وتفرز/ تنتج/ تطلق الأجسام المضادة
خلايا تائية قاتلة بها فجوات تحتوي على سموم
خلايا ذاكرة تائية قاتلة

أسئلة الدرس

# سؤال 38

لخص تسلسل الأحداث التي تتبع:

أ. إطلاق السم من البكتيريا الوتدية الخناقية Corynebacterium diphtheriae ، هو الكائن الحي المسبب للدفتيريا )الخناق(.

تنشط الخلايا البائية ذات المستقبلات المكملة للسم وتنقسم بالانقسام المتساوي لتكوين خلايا بلازمية وخلايا ذاكرة. وتفرز الخلايا البلازمية الأجسام المضادة / مضادات السموم التي تتحد مع جزيئات سم البكتيريا الوتدية الخناقية وتجعله غير ضار. كما تنشط خلايا الذاكرة إذا حدثت عدوى أخرى لتصبح الاستجابة المناعية الثانوية سريعة جدًا.

أسئلة الدرس

# سؤال 38

ب . غزو الفيروس المسبب للحصبة لخلايا في جهاز تبادل الغازات.

تنشط الخلايا التائية القاتلة ذات المستقبلات المكملة للأنتيجينات على سطح فيروس الحصبة وتنقسم لتكون نسيلة أكبر من الخلايا التي تميز أنتيجينات الحصبة. تبحث هذه الخلايا القاتلة عن أي خلية مصابة بفيروس الحصبة وتقتلها بحيث تمنع تكاثر الفيروس داخل الخلايا المصابة في جهاز تبادل الغازات.

أسئلة الدرس

# سؤال 39

يوجد العديد من السلّالات المختلفة للفيروس الأنفي Rhinovirus . اشرح السبب الذي يؤدّي إلى إصابة الناس بعدة أنواع مختلفة من الزكام خلال أشهر قليلة.

المناعة ضد سلالة واحدة لا توفر مناعة ضد جميع السلالات، حيث إنه لا تتشارك جميعها بالأنتيجينات نفسها.