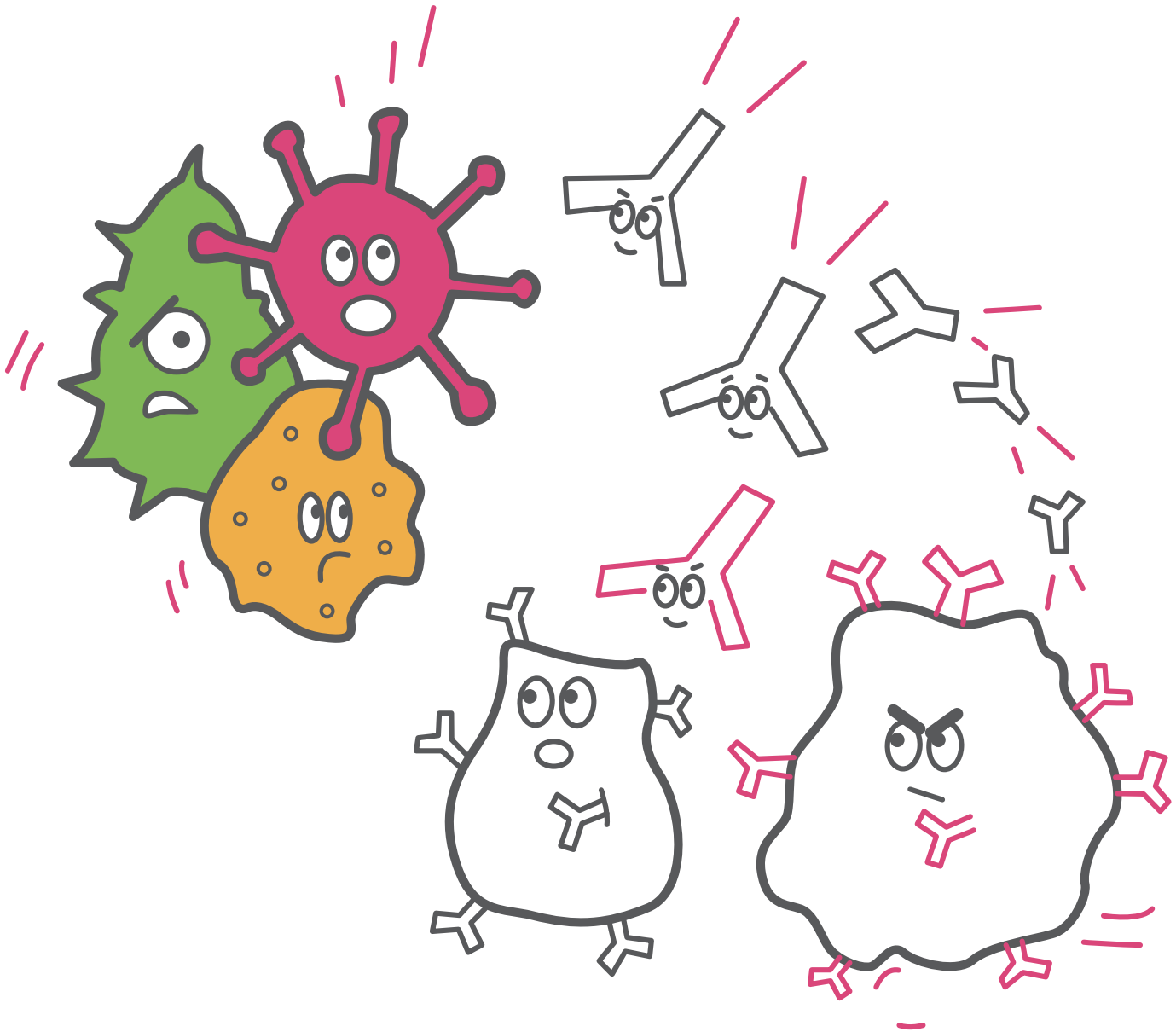


الاستجابات المناعية المتخصصة: الأجسام المضادَّة

أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- وَصْف كيف تحفِّز مولِّدات الضد الموجودة على مسبِّبات الأمراض إنتاج الأجسام المضادَّة (المناعة الخلطية)
- وصف عملية التوسُّع النسيلي في إنتاج الأجسام المضادَّة
- تذكَّر أن الأجسام المضادَّة للخلايا البلازمية لا تستطيع تدمير الخلايا المصابة بالفيروسات

خطوط الدفاع لأجسامنا

المناعة التكيُّفية أو المُتخصِّصة هي «خط الدفاع الثالث» فيما يتعلَّق بمحاربة الأمراض ومُسبِّباتها.

خط الدفاع الأول هو الحواجز الموجودة في الجسم، والمُتخصِّصة في منع مُسبِّبات الأمراض والأجسام الغريبة من الدخول إليه.

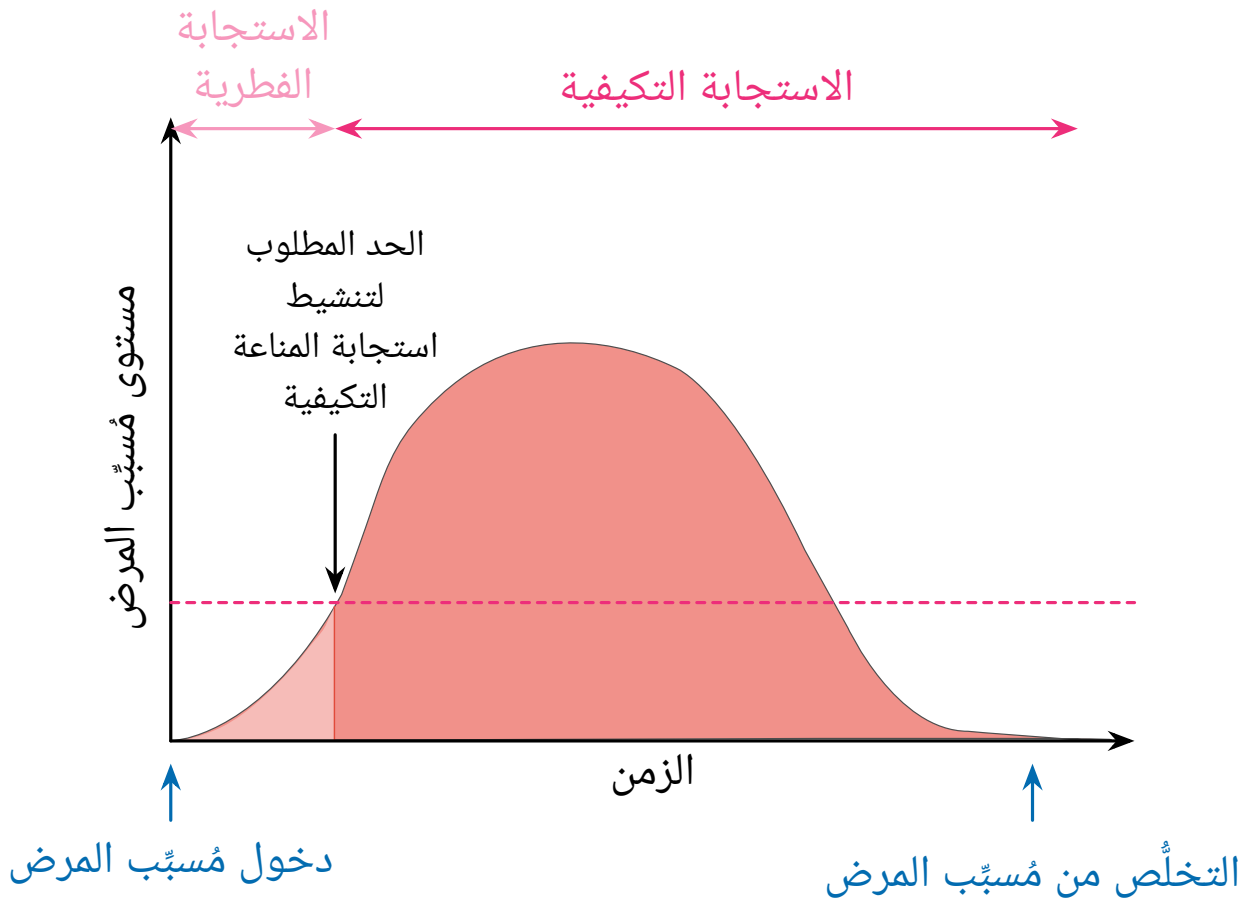
خط الدفاع الثاني هو الاستجابة المناعية غير المُتخصِّصة التي تتضمَّن الالتهاب، والخلايا البلعمية، وبعض جوانب جهاز المتمِّمات.

خطوط الدفاع لأجسامنا (متابعة)

يُمثِّل كلٌّ من خطَّي الدفاع الأول والثاني جزءًا من الجهاز المناعي الفطري. يُمثِّل كلٌّ من خطَّي الدفاع الأول والثاني جزءًا من الجهاز المناعي الفطري.

إذا تجاوزت عدوى أو تجاوز أحد مُسبِّبات الأمراض خطَّي الدفاع الأول والثاني، وظلَّ في الجسم لفترة من الزمن؛ يستجيب جهاز المناعة التكيُّفية.

يُشار أيضًا إلى المناعة التكيُّفية بـ «المناعة المُتخصِّصة» أو «المناعة المُكتسَبة»؛ لأنها جزء من الجهاز المناعي الذي يتسبَّب في حدوث استجابة مُتخصِّصة لمُسبِّب مرض مُحدَّد لإزالته. المناعة التكيُّفية هي المناعة التي تتطوَّر أو تُكتسَب بمرور الزمن.يوضِّح الشكل استجابة المناعة الفطرية والتكيُّفية معًا.



مصطلح رئيسي: المناعة المُتخصِّصة (المناعة التكيُّفية أو المُكتسَبة)

يَصِف مصطلح المناعة المُتخصِّصة الاستجابة المناعية المُتخصِّصة لمُولِّد ضدٍّ. إنها مناعة تتطوَّر بمرور الزمن نتيجةَ التعرُّض لمُسبِّبات الأمراض المختلفة.

المناعة التكيُّفية

غالبًا ما ينقسم الجهاز المناعي التكيُّفي إلى فئتين: المناعة الخلوية، والمناعة الخلطية.

تُسمَّى المناعة الخلوية أحيانًا مناعة الخلايا التائية؛ لأنها تعتمد في الغالب على عمل الخلايا التائية السامَّة.

تُسمَّى المناعة الخلوية أحيانًا مناعة الخلايا التائية؛ لأنها تعتمد في الغالب على عمل الخلايا التائية السامَّة. تُسمَّى المناعة الخلطية أحيانًا مناعة الخلية البائية؛ لأنها تعتمد في الأساس على عمل الخلايا الليمفاوية البائية، وهي نوع من الخلايا التي تُنتِج بروتينات تُسمَّى الأجسام المضادَّة. أيضًا تُسمَّى المناعة الخلطية أحيانًا بمناعة الأجسام المضادَّة. لكنَّ الخلايا البائية لا تعمل بمفردها، وتحتاج غالبًا إلى المساعدة من عدَّة أنواع أخرى من الخلايا الليمفاوية لتكوين استجابة مناعية فعَّالة.

مصطلحان رئيسيان: الخلية الليمفاوية البائية (الخلايا البائية) والأجسام المضادَّة (الجلوبيولين المناعي)

الخلايا الليمفاوية البائية (الخلايا البائية)

الخلايا الليمفاوية البائية خلايا ليمفاوية تَنْضَج في النخاع العظمي، وتشترك في إنتاج الأجسام المضادَّة.

الأجسام المضادَّة (الجلوبيولين المناعي)

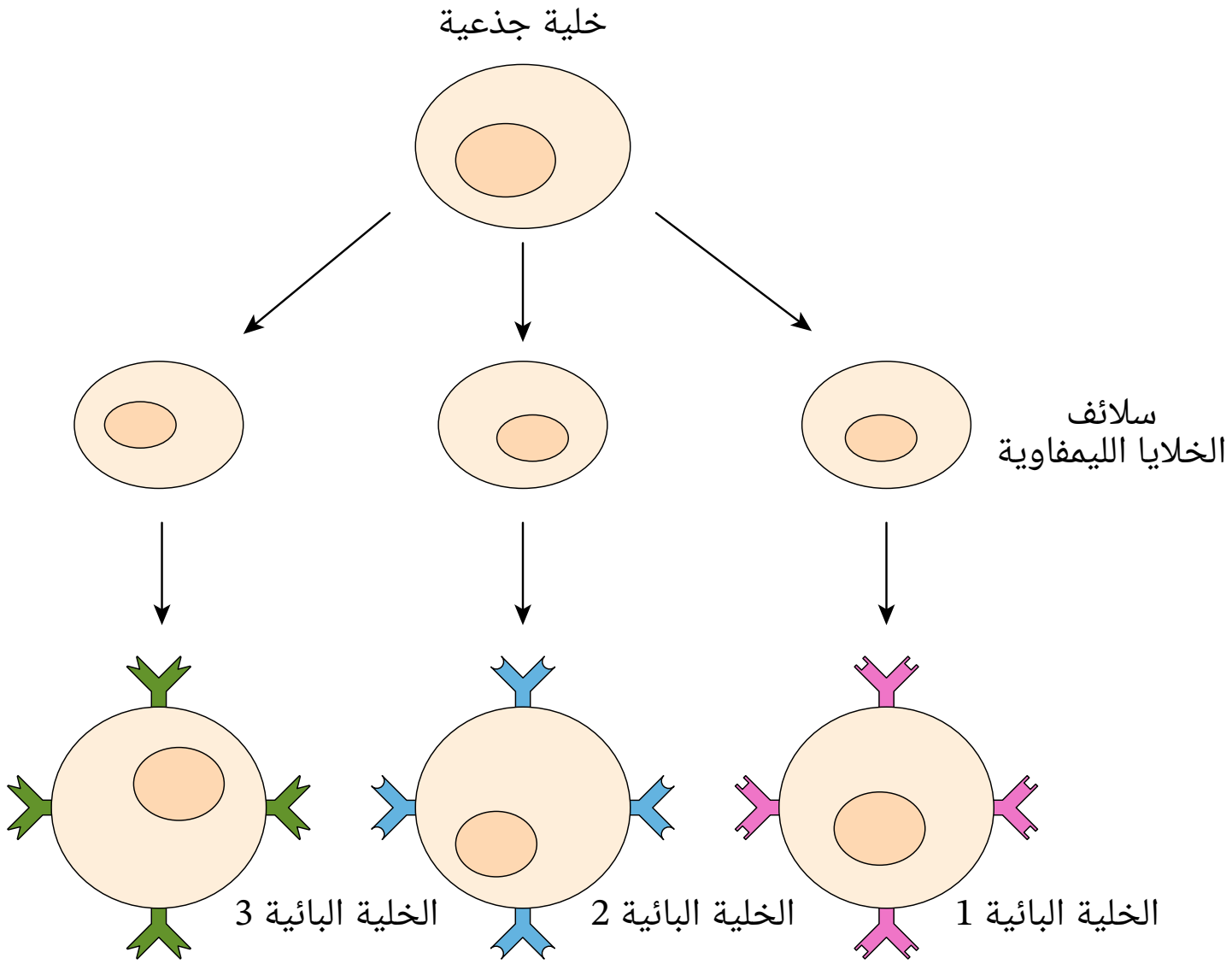
الأجسام المضادَّة بروتينات كروية تُنتِجها الخلايا الليمفاوية البائية، وهي ملائمة لترتبط بمُولِّد ضدٍّ معيَّن.

تطوُّر الخلايا البائية

بشكل عامٍّ، الخلايا البائية، التي تُسمَّى أيضًا بالخلايا الليمفاوية البائية، عبارة عن خلايا ليمفاوية تصل إلى مرحلة النضج في النخاع العظمي.

للخلايا البائية تركيب جيني خاصٌّ يتيح لكلِّ خلية منها تشكيل نوع مختلف من مُستقبِلات الخلايا البائية. يحدث خلط لتركيب الجينات التي تحمل الشفرة الوراثية لمُستقبِلات الخلية البائية، عن طريق إعادة الاتحاد الجيني؛ بحيث تُنتِج العديد من الأنواع العشوائية.

يوضِّح لنا الشكل كيف يمكن لخلية جذعية واحدة أن تتمايز إلى عدَّة أنواع مختلفة من الخلايا البائية التي لها مستقبِلات خلايا بائية مختلفة على غشاء السطح الخلوي من خلال إعادة الاتحاد الجيني.



تطوُّر الخلايا البائية (متابعة)

وبما أن مُستقبِلات الخلايا البائية تُنتَج عشوائيًا، فمن المهمِّ التأكُّد من أنها لن تتفاعل مع خلايا الجسم الطبيعية. وبناءً على ذلك، قبل أن تترك الخلايا البائية النخاع العظمي، تُختبَر للتأكُّد من أنها لا تحتوي على مُستقبِلات «ذاتية» مضادَّة. تُستبعَد الخلية البائية التي تفشل في هذا الاختبار.

كل خلية بائية لها نوع واحد من المُستقبِلات على سطحها. مُستقبِل الخلية البائية في الأساس جسمٌ مضادٌّ مُضمَّن في غشاء الخلية البائية. الأجسام المضادَّة عبارة عن بروتينات كروية ترتبط بالمواد التي نُسمِّيها مُولِّدات الضدِّ.

مُولِّد الضدِّ هو أيُّ شيء يمكن أن يرتبط بجسم مضادٍّ، ويتسبَّب معظم مُولِّدات الضدِّ غير الذاتية في حدوث استجابة مناعية. يمكن أن تَكون مُولِّدات الضدِّ جزيئات على سطح الخلايا، أو سطح مُسبِّبات الأمراض مثل البكتيريا أو الفيروسات، أو مواد أخرى مثل السموم أو الطفيليات.

عندما ترتبط الأجسام المضادَّة بسطح خلية بائية ساذجة بعدُ، فإن هذه الأجسام تُسمَّى مُستقبِلات خلية بائية أو مُستقبِلات أجسام مضادَّة.

مصطلحان رئيسيان: مولِّد الضدِّ ومُستقبِل الخلية البائية (BCR)

مولِّد الضدِّ

مُولِّدات الضدِّ عبارة عن مواد يمكنها التسبُّب في حدوث استجابة مناعية.

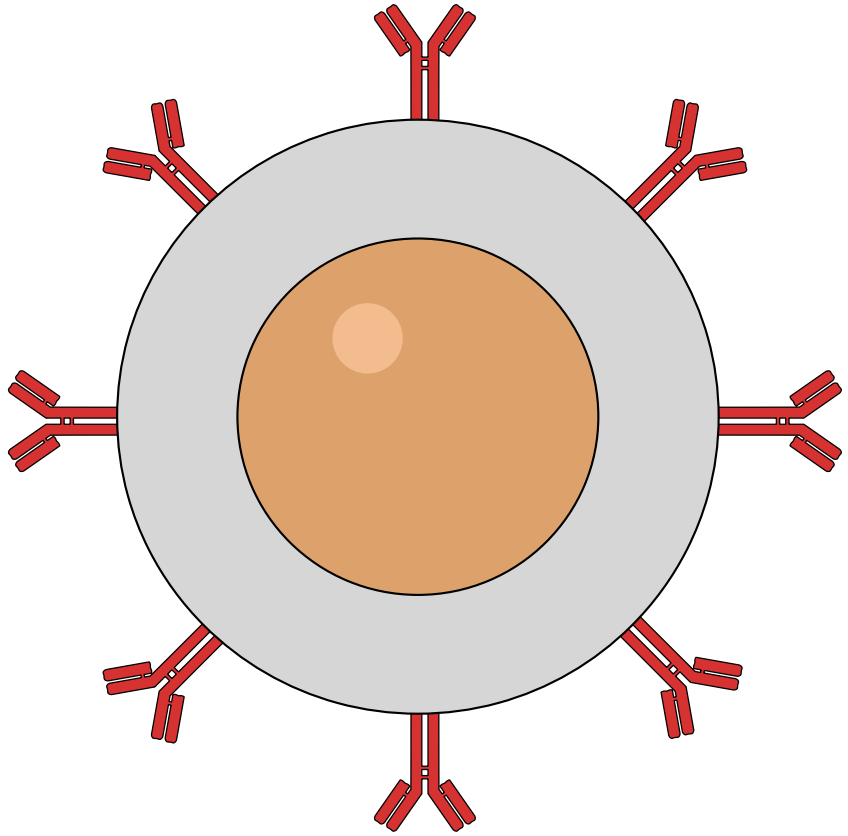
مُستقبِل الخلية البائية (BCR)

مُستقبِل الخلية البائية (BCR) عبارة عن جسمٍ مضادٍّ متصل بالغشاء الخلوي للخلية الليمفاوية البائية. عندما يرتبط مُستقبِل الخلية البائية بمُولِّد ضدٍّ متكامل، فإنه يحفِّز الخلية البائية على بدء تنشيطها.

مثال ١: تذكُّر خواصِّ الخلايا الليمفاوية البائية

يوضِّح الشكل خلية ليمفاوية بائية ومُستقبِلات الأجسام المضادَّة (الجلوبيولين المناعي) على سطح الغشاء الخلوي.

أيُّ هذه العبارات **غير** صواب؟



أ. كلُّ خلية بائية لها نوع مختلف من مُستقبِلات الأجسام المضادَّة على سطحها.

ب. كلُّ خلية بائية لها نوع واحد فقط من مُستقبِلات الأجسام المضادَّة التي ترتبط بمُولِّد ضدٍّ محدَّد واحد.

ج. مُستقبِل مُولِّد الضدِّ للخلية البائية له تركيب مُماثِل لجسم مضادٍّ قابل للذوبان.

د. يُمكِن أن ترتبط الخلية البائية بمُولِّدات الضدِّ الخارج الخلوية أو الداخل الخلوية.

هـ. يُعَدُّ مُستقبِل الجسم المضادِّ للخلية البائية متكاملًا لمُولِّد الضدِّ.

مثال ١ (متابعة)

الخلايا البائية، التي تُسمَّى أيضًا الخلايا الليمفاوية البائية، خلايا مسئولة عن الاستجابة المناعية المُتخصِّصة (التكيُّفية). عادةً ما تنقسم هذه الاستجابة المناعية إلى: المناعة الخلطية، والمناعة الخلوية. تعتمد المناعة الخلطية على عمل الخلايا البائية، وتكون فعَّالة للغاية ضدَّ مُسبِّبات الأمراض الخارج الخلوية، في حين تعتمد المناعة الخلوية على عمل الخلايا التائية السامَّة، وتكون فعَّالة ضدَّ مُسبِّبات الأمراض الداخل الخلوية. يعمل نوعَا المناعة التكيُّفية بشكل متزامن على محاربة العدوى.

للخلية البائية تركيب وراثي مُتخصِّص. تُخلَط جينات الأجسام المضادَّة من خلال نوع من أنواع إعادة الاتحاد الجيني، وهو ما يَنتُج عنه العديد من الأنواع العشوائية من الأجسام المضادَّة. هذا يعني أن لكلِّ خلية بائية جسمًا مضادًّا مختلفًا على سطحها الخلوي، وهو ما يُسمَّى بمُستقبِل خلية بائية، وهذا يعني أيضًا أن لكلِّ خلية بائية نوعًا واحدًا فقط من الأجسام المضادَّة على سطحها.

الأجسام المضادَّة عبارة عن بروتينات كروية ترتبط بالمواد التي نُسمِّيها مُولِّدات الضدِّ. يرتبط كل جسم مضادٍّ بنوع واحد من مُولِّدات الضدِّ.

مثال ١ (متابعة)

مُولِّد الضدّ هو أيُّ شيء يمكن أن يرتبط بجسم مضادٍّ، وتُسبِّب معظم مُولِّدات الضدّ غير الذاتية استجابة مناعية. يمكن أن تَكون مُولِّدات الضدّ جزيئات على سطح مُسبِّبات الأمراض مثل البكتيريا أو الفيروسات، أو مواد أخرى مثل السموم أو الطفيليات. الأجسام المضادَّة ومُستقبِلات الخلايا البائية تستطيع الارتباط بمُولِّدات الضدّ الخارج الخلوية فقط؛ وهي مُولِّدات الضدّ الموجودة خارج الخلايا.

هذا يخبرنا بأن العبارة غير الصحيحة المُتعلِّقة بالخلية الليمفاوية البائية هي أنه يمكن أن ترتبط الخلية البائية بمُولِّدات الضدّ الخارج الخلوية أو الداخل الخلوية.

كيف تعمل المناعة الخلطية؟

عندما يدخل أحد مُسبِّبات الأمراض، مثل خلية بكتيرية أو فيروس، إلى الجسم ويبدأ في التضاعف، فإن الخطوة الأولى في المناعة الخلطية تبدأ عندما تواجه الخلية البائية، الحاملة للأجسام المضادة التي يمكنها الارتباط بمولِّدات الضد على مسبِّب المرض، مُسبِّب المرض هذا. وفور أن ترتبط الخلية البائية بمُولِّد ضدٍّ متكاملًا مع مستقبل الخلية البائية، تنشط ولا تُوصَف بأنها ساذجة.

يُسهِّل الجهاز المناعي حدوث هذه العملية بعدَّة طرق. تحمل بعض الخلايا البلعمية أجزاء من مُسبِّب المرض على سطحها الخلوي. تبتلع هذه الخلايا البلعمية، مثل الخلايا المُتعادِلة والخلايا البلعمية الكبيرة، مُسبِّب المرض من خلال عملية تُسمَّى البلعمة؛ وهي نوع من الإدخال الخلوي. وبعد ذلك تُكسِّر هذه الخلايا مُسبِّب المرض، وتعرض أجزاء مميزة، تُسمَّى مُولِّدات الضدِّ، على سطحها الخلوي متصلة ببروتينات خاصَّة تُسمَّى بروتينات التوافق النسيجي أو MHC.

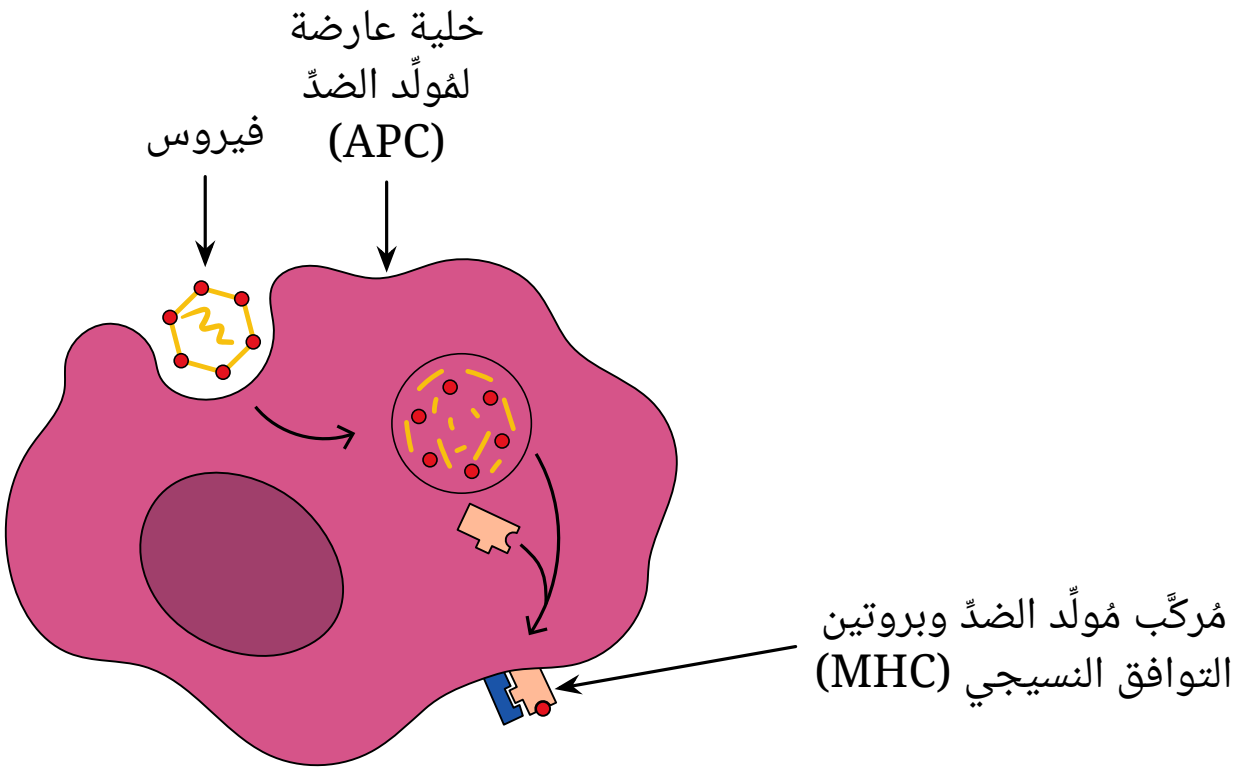
مصطلح رئيسي: بروتين التوافق النسيجي (MHC)

بروتين التوافق النسيجي (MHC) بروتين يعمل على ربط مُولِّدات الضدّ التي تُعالَج، ويعرضها على سطح الخلية لكي تستطيع الخلايا المناعية التعرُّف عليها.

مصطلح رئيسي: خلية عارضة لمُولِّد الضدِّ (APC)

الخلايا القادرة على تقديم مُولِّدات الضدِّ للخلايا الأخرى في الجهاز المناعي تُسمَّى الخلايا العارضة لمُولِّد الضدِّ (APC). يوضِّح الشكل خلية بلعمية عارضة لمُولِّد الضدِّ.

تنتقل هذه الخلايا إلى العقد الليمفاوية في الجهاز المناعي؛ حيث تتفاعل مع الخلايا الليمفاوية الموجودة هناك، ومنها الخلايا البائية. بدلًا من ذلك، قد يكون مُسبِّب المرض نفسه موجودًا في السائل الليمفاوي أو في الدم الذي رُشِّح خلال العقد الليمفاوية، وقد يرتبط بخلية مناعية بهذه الطريقة.



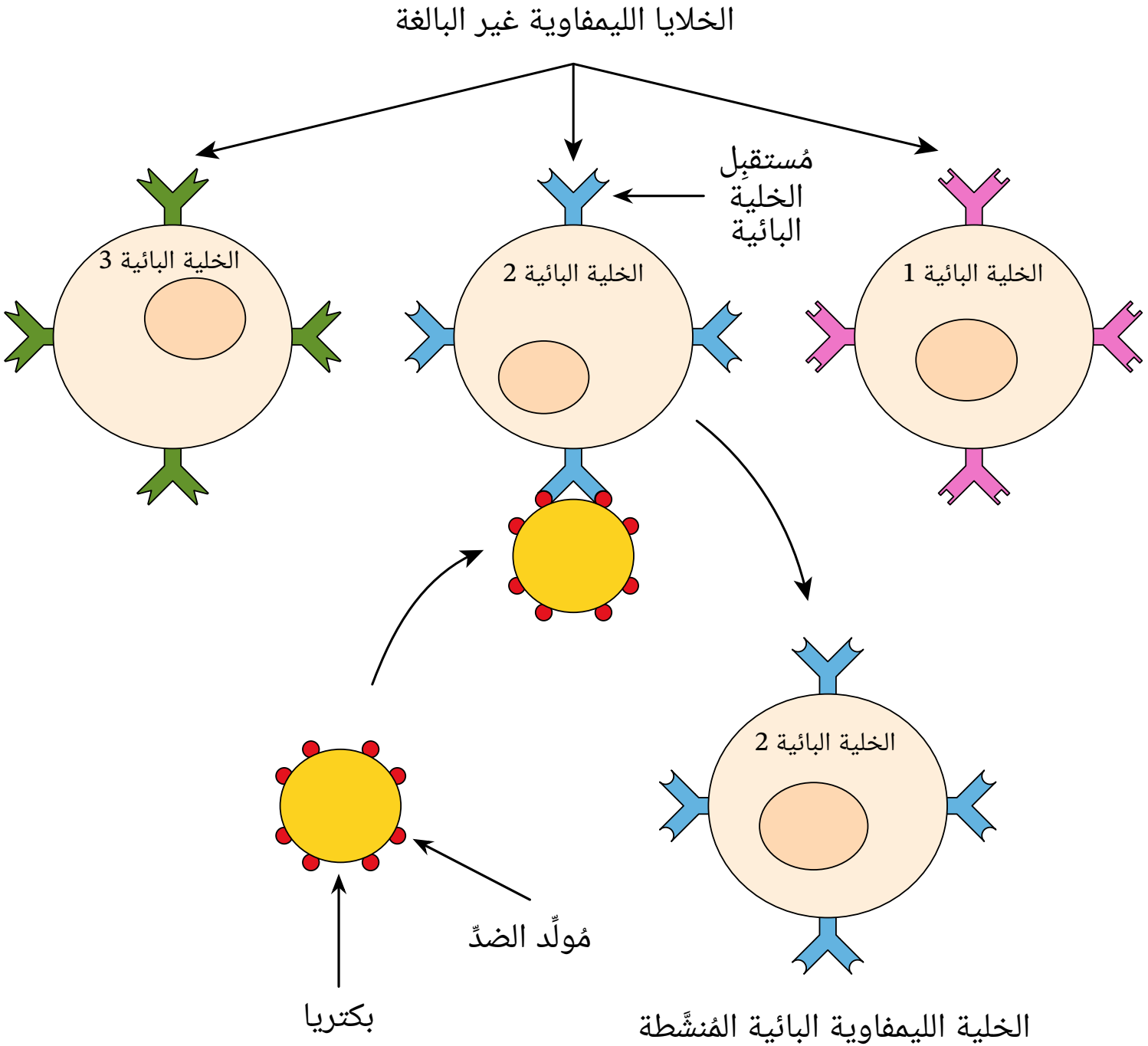
مصطلح رئيسي: خلية عارضة لمُولِّد الضدِّ (APC)

الخلية العارضة لمُولِّد الضدِّ نوع من الخلايا المناعية التي تُسهِّل حدوث الاستجابة المناعية من خلال عرض مُولِّدات الضدِّ المرتبطة ببروتين التوافق النسيجي (APC) الموجود على سطحها لخلايا جهاز المناعة الأخرى.

تنشيط الخلايا البائية

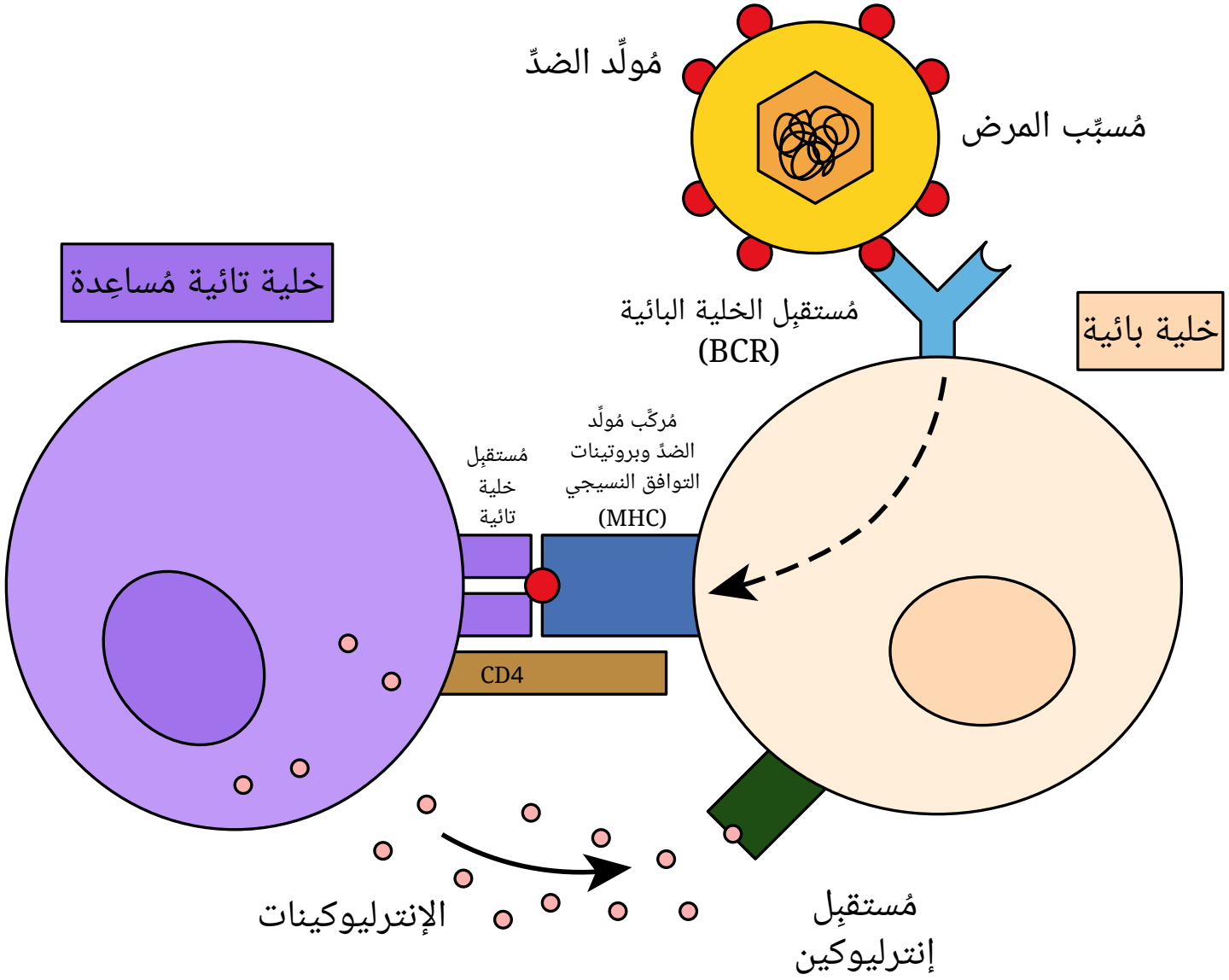
عندما يرتبط الجسم المضادُّ الموجود على سطح الخلية البائية بمُولِّد الضدِّ الذي يمكنها التعرُّف عليه، تنشط هذه الخلية البائية. يحدث هذا التنشيط بإحدى طريقتين.

تنشط بعض الخلايا البائية ببساطة بسبب وجود مُولِّد ضدٍّ متكامل، وهو ما يمكن ملاحظته في الشكل. فور أن ترتبط الخلايا البائية بمُولِّد الضدِّ الذي يتوافق مع الجسم المضاد، تُنشَّط هذه الخلايا وتتمايز إلى ما يُسمَّى بالخلايا البلازمية. تتضاعف هذه الخلايا بسرعة، وتُنتِج كميات كبيرة من الأجسام المضادَّة التي تُفرَز من الخلية إلى سوائل الجسم.



تنشيط الخلايا البائية (متابعة)

في بعض الأحيان تحتاج بعض الخلايا البائية إلى ما يُسمَّى بالتنشيط المُعتمِد على الخلايا التائية. في هذه الحالة، يتعرَّف الجسم المضادُّ المدمج في غشاء الخلية البائية، أو مُستقبِل الخلية البائية، على مُولِّد ضدٍّ مُتوافِق. عندما يحدث ذلك، تبتلع الخلية البائية مُولِّد الضدِّ من خلال الإدخال الخلوي. بعد ذلك، يتحطَّم مُولِّد الضدِّ، وتُربَط أجزاء بجزيء يُسمَّى بروتين التوافق النسيجي (MHC). وعندئذٍ، يُعرَض مولِّد الضد المرتبط ببروتين التوافق النسيجي (MHC) على سطح الخلية البائية. يمكن للخلايا التائية المُساعِدة عند ذلك أن تتفاعل مع مولِّد الضدِّ هذا الذي تعرضه الخلية البائية على بروتين التوافق النسيجي (MHC). يوضِّح الشكل تمثيلًا توضيحيًّا لخلية تائية مُساعِدة تتفاعل مع خلية بائية.



الخلايا التائية المساعدة: التنشيط والوظيفة

بعض الخلايا الليمفاوية التائية، التي تُسمَّى الخلايا التائية المُساعِدة، لها مُستقبِلات تتعرَّف على مُركَّب مُولِّد الضدِّ وبروتين التوافق النسيجي (MHC)، وترتبط به. تتميَّز الخلايا التائية المُساعِدة بوجود جزيئات على سطحها تُسمَّى CD4. ولها أيضًا مُستقبِلات تُسمَّى مُستقبِلات الخلية التائية. يتعرَّف كلٌّ من مُستقبِلات الخلية التائية هذه وجزيئات سطح الخلية CD4 على مُركَّب مُولِّد الضدِّ وبروتين التوافق النسيجي على سطح الخلايا البائية، ويرتبط بهما، وهو ما يُنشِّط الخلايا التائية المُساعِدة.

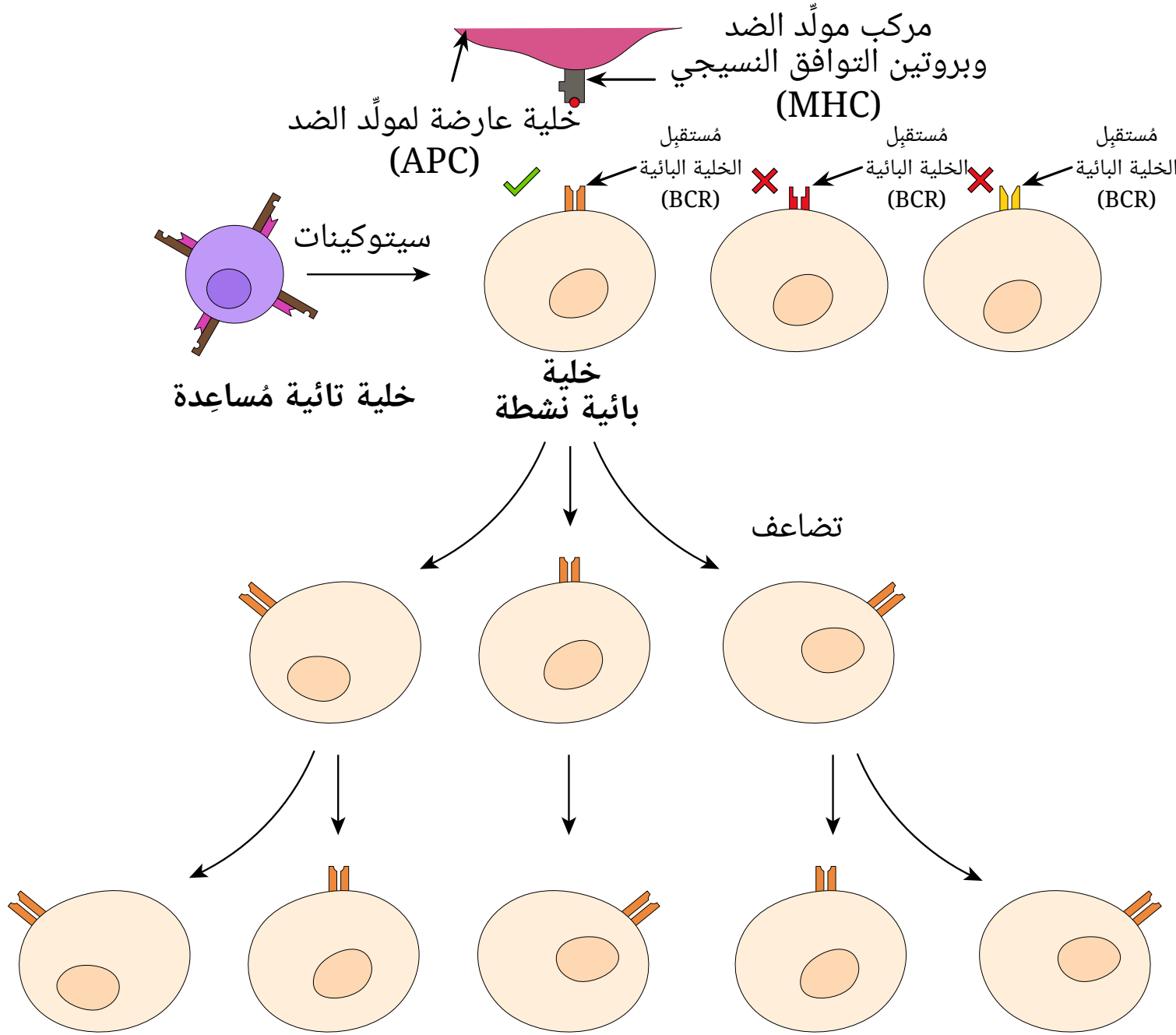
تُطلِق الخلايا التائية المُساعِدة النشطة بدورها سيتوكينات تُسمَّى الإنترليوكينات التي تكمل عملية تنشيط الخلايا البائية. يؤدِّي هذا إلى تنشيط الخلية البائية، التي تبدأ بعد ذلك في الانقسام، تنشيطًا تامًّا. تتمايز بعض الخلايا البائية النشطة لتصبح خلايا بلازمية تُفرِز كمية كبيرة من الأجسام المضادَّة. تبدأ أيضًا الخلايا التائية في التضاعف لتنشيط المزيد من الخلايا البائية.

يمكن أيضًا تنشيط الخلايا التائية بمُولِّدات الضدِّ المعروضة على مُركَّب مُولِّد الضدِّ وبروتين التوافق النسيجي على سطح الخلايا البلعمية الأخرى؛ مثل الخلايا البلعمية الكبرى. تُطلِق هذه الخلايا التائية الإنترليوكينات التي يمكن أن تُنشِّط الخلايا البائية التي تحتوي على أجسام مضادَّة مُرتبِطة بمُولِّد ضدٍّ. تُنشِّط الإنترليوكينات خلايا مناعية أخرى؛ مثل الخلايا التائية السامَّة. وبهذه الطريقة، تلعب الخلايا التائية المُساعِدة دورًا في كلٍّ من المناعة الخلطية والمناعة الخلوية.

الانتقاء النسيلي والتوسع النسيلي

في عملية تنشيط الخلية البائية، يمكن تنشيط الخلايا البائية فقط التي لها أجسام مضادَّة قادرة على الارتباط بمُولِّد الضدِّ لمُسبِّب المرض الذي يهاجم الجسم؛ ويتم هذا التنشيط عن طريق السيتوكينات. نُطلِق على هذا الانتقاء النسيلي، وهو موضَّح في الخطوة الأولى من الشكل.

تتمايز الخلايا البائية النشطة إلى خلايا مستجيبة تُسمَّى الخلايا البلازمية، وتتضاعف بسرعة؛ ممَّا ينتج عنه العديد من الخلايا التي لها نفس الجسم المضادِّ الموجود على الخلية البائية الأصلية النشطة. نُطلِق على هذه العملية التوسُّع النسيلي. يمكنك ملاحظة حدوث التوسُّع النسيلي في الشكل عندما تزداد أعداد الخلايا البائية النشطة من خلال الانقسام الميتوزي.



الانتقاء النسيلي والتوسع النسيلي (متابعة)

نتوصَّل إلى هذين المصطلحين (الانتقاء النسيلي والتوسع النسيلي) من حقيقة أن نسخة واحدة من الخلية البائية تُنتَقى أو تُختَار. ومن ثَمَّ يُعاد إنتاجها عدة مرات، أو تزداد أعدادها. جميع هذه الخلايا الآتية نسيلة من الخلية الأولى، وتُنتِج الجسم المضادَّ نفسه.

لكلِّ مُسبِّب من مُسبِّبات الأمراض العديد من الجزيئات على سطحه يعمل مُولِّدات ضدٍّ. في هذه الحالة، قد يُنشَّط أكثر من نوع واحد من الخلايا البائية، أو قد تخضع لتوسُّع نسيلي؛ ولذلك يتولَّد أكثر من نوع من الأجسام المضادَّة لمواجهة مُسبِّب المرض.

مصطلحان رئيسيان: الانتقاء النسيلي والتوسع النسيلي

الانتقاء النسيلي

الانتقاء النسيلي هو العملية التي تُنتَقى من خلالها الخلايا التائية والخلايا البائية التي بها مُستقبِلاتٌ ترتبط بمُولِّدات ضدٍّ مُحدَّدة لعملية التوسُّع النسيلي.

التوسُّع النسيلي

التوسُّع النسيلي هو إنتاج خلايا بنوية يَنتج جميعها من خلية أبوية واحدة. في التوسُّع النسيلي للخلايا الليمفاوية تكون كل الخلايا البنوية متخصِّصة لمُولِّد الضدِّ نفسه.

مثال ٢: تحديد تأثير فيروس نقص المناعة البشرية (HIV) على إنتاج الأجسام المضادَّة

فيروس نقص المناعة البشرية (HIV) يُصيِب الخلايا التائية المُساعِدة بالعدوى ويدمِّرها. كيف تؤثِّر العدوى بفيروس نقص المناعة البشرية على استجابة الجسم بالأجسام المضادَّة لعدوى بكتيرية جديدة؟

أ. ترتفع تركيزات الأجسام المضادَّة بدرجة أكبر وأسرع.

ب. يَنتُج نوع واحد فقط من الأجسام المضادَّة.

ج. يُنتَج نفس مستوى الأجسام المضادَّة، ولكنه يستغرق وقتًا أطول.

د. يقلُّ إنتاج الخلايا البائية من الأجسام المضادَّة.

هـ. لا تأثير لها على الاستجابة بالأجسام المضادَّة.

الحل

فيروس HIV اختصارٌ لفيروس نقص المناعة البشرية، وهو مُسبِّب مرض يُنقَل عن طريق الدم، ويمكن أن يؤدِّي، مع مرور الوقت، إلى متلازمة نقص المناعة المُكتسَبة (AIDS). يَصِف مصطلح «نقص المناعة» الحالة التي لا يؤدِّي فيها الجهاز المناعي وظيفته بشكل كامل. يوضِّح السؤال أن فيروس نقص المناعة البشرية يُصيِب الخلايا التائية المُساعِدة ويُدمِّرها.

مثال ٢ (متابعة)

الخلايا التائية المُساعِدة نوعٌ من الخلايا الليمفاوية التائية التي تلعب دورًا في كلٍّ من المناعة الخلطية والخلوية للاستجابة المناعية المُتخصِّصة. تُنشَّط هذه الخلايا عندما تتعرَّف مُستقبِلات الخلايا التائية الموجودة على سطحها على مُولِّد ضدٍّ معيَّن في خلية بلعمية عارضة لمُولِّد ضدٍّ، وترتبط به.

فور تنشيطها، تخضع الخلايا التائية المُساعِدة للتوسُّع النسيلي، وهو ما يؤدِّي إلى زيادة عدد الخلايا التائية المُساعِدة النشطة التي تتعرَّف على مُولِّد ضدٍّ معيَّن. هذه الخلايا بدورها تُنشِّط الخلايا البائية والخلايا التائية السامَّة. تتعرَّف الخلايا التائية السامَّة على الخلايا العائلة المُصابَة بالفيروس وتُدمِّرها.

الخلايا البائية هي الخلايا المُكوِّنة للأجسام المضادَّة (بروتينات كروية خاصَّة بمُولِّد ضدٍّ معيَّن). هذا يعني أن كل نوع من الأجسام المضادَّة يرتبط بنوع واحد من مُولِّدات الضدِّ. عادةً ما تُنشَّط الخلايا البائية باستخدام السيتوكينات التي تَنطلِق من الخلايا التائية المُساعِدة النشطة قبل تمايزها إلى خلايا بلازمية تُنتِج كميات كبيرة من الأجسام المضادَّة وتفرزها في مجرى الدم.

مثال ٢ (متابعة)

بما أن فيروس نقص المناعة البشرية يُصيب الخلايا التائية المُساعِدة ويُدمِّرها، فعادةً ما يكون هناك عدد أقل من الخلايا التائية المُساعِدة المُتاحة خلال العدوى لكي تُنشَّط. ونظرًا لوجود عدد أقل من الخلايا التائية المُساعِدة النشطة، فإنه يوجد أيضًا عدد أقل من الخلايا البائية النشطة. هذا يعني أن عدد الأجسام المضادَّة الناتجة سيكون أقل؛ حيث يوجد عدد أقل من الخلايا البائية النشطة؛ ومن ثَمَّ يوجد عدد أقل من الخلايا البلازمية التي يمكن أن تُنتَج.

هذا يعني أن العدوى بفيروس نقص المناعة البشرية ستؤثِّر على الاستجابة بالأجسام المضادَّة في الجسم لأيِّ التهاب بكتيري جديد؛ لأن الخلايا البائية ستُنتِج عددًا أقل من الأجسام المضادَّة.

الأجسام المضادة: من أين تكوَّنت، وكيف تساعد في مكافحة العدوى؟

إن عمليتَي التوسع النسيلي والانتقاء النسيلي للخلايا البائية توضِّحان مصدر الأجسام المضادَّة. الأجسام المضادَّة عبارة عن بروتينات موجودة على سطح الخلايا البائية الليمفاوية، وفَوْر تنشيطها تَنتُج الأجسام المضَّادة بكميات كبيرة وتَنطلِق في الدم والليمف. هيا نُجِب الآن عن السؤال المُتعلِّق بكيفية سماح الأجسام المضادَّة للجهاز المناعي بمحاربة العدوى.

فَوْر تنشيط الخلية البائية الصحيحة، تتمايز إلى ما يُسمَّى بخلية بلازمية. الخلية البلازمية هذه تُسمَّى أيضًا بالخلية البائية المستجيبة التي تصنع وتُفرِز الأجسام المضادَّة نفسها الموجودة على سطح خليتها؛ مثل الخلية البائية. يُسمَّى هذا الجسم المضادُّ الناتج في بعض الأحيان جسمًا مضادًّا قابلًا للذوبان. تتضاعف هذه الخلايا البلازمية بسرعة مُكوِّنةً مزيدًا من الخلايا التي تُنتِج الجسم المضادَّ نفسه. الخلايا المستجيبة خلايا تستجيب بشكل فعَّال للمثيرات وتُحدِث تغييرًا. تُنتِج الخلايا البلازمية هذا الجسم المضادَّ القابل للذوبان بكمّيات كبيرة وتُطلِقه في مجرى الدم.

مصطلح رئيسي: الخلية البلازمية (الخلية البلازمية البائية)

الخلية البلازمية نوعٌ من الخلايا المناعية التي تُنتِج كمِّيات كبيرة من جسم مضادٍّ معيَّن. الخلايا البلازمية خلايا مستجيبة ناتجة من الخلايا البائية التي نُشِّطت.

مثال ٣: تذكُّر الخلايا المناعية التي تُفرِز الأجسام المضادَّة

ما نوع الخلايا المناعية التي تُفرِز الأجسام المضادَّة؟

أ. الخلايا البلعمية الكبيرة

ب. خلايا الذاكرة

ج. الخلايا التائية المُساعِدة

د. الخلايا المُتعادِلة

هـ. الخلايا البلازمية

الحل

الأجسام المضادَّة، التي تُسمَّى أيضًا الجلوبيولين المناعي، عبارة عن بروتينات كروية ترتبط بمُولِّد ضدٍّ معيَّن. تُنتِج الخلايا البائية الأجسام المضادَّة. الخلايا البائية الساذجة تحتوي على مُستقبِلات أجسام مضادَّة، وتُسمَّى أيضًا مُستقبِلات الخلايا البائية. مُستقبِلات الخلايا البائية هذه متصلة بالغشاء الخلوي للخلايا البائية. عندما يرتبط مُستقبِل الخلية البائية بجسم مضادٍّ متكامل تَنشط الخلية البائية.

مثال ٣ (متابعة)

قد تحتاج الخلايا البائية أيضًا إلى المزيد من تبادُل الإشارات من الخلايا التائية المُساعِدة لتنشيطها في عملية تُسمَّى الانتقاء النسيلي. فَوْر تنشيطها تبدأ في التكاثر من خلال عملية تُسمَّى التوسُّع النسيلي. يَنتُج عن ذلك تجمُّع من الخلايا البائية النسيلة يحتوي جميعها على نفس مُستقبِلات الخلايا البائية التي تتعرَّف على مُولِّد ضدٍّ معيَّن. تتمايز الخلايا البائية النشطة إلى أحد نوعين من الخلايا. بعضها يصبح خلايا الذاكرة البائية، التي تعيش لفترة طويلة في الجهاز المناعي، وهي مهيَّئة لتنشط سريعًا إذا حفَّزها مُولِّد الضدِّ نفسه في المُستقبَل. ومعظم الخلايا البائية تصبح خلايا بلازمية. الخلايا البلازمية خلايا ليمفاوية بائية تُنتِج كمِّيات كبيرة من الأجسام المضادَّة القابلة للذوبان، التي تُفرَز في مجرى الدم وسوائل الجسم الأخرى، وذلك بدلًا من وجود مُستقبِلات الأجسام المضادَّة المرتبطة بسطح الخلية.

هذا يعني أن الخلايا المناعية التي تُفرِز الأجسام المضادَّة هي الخلايا البلازمية.

الأجسام المضادة: من أين تكوَّنت، وكيف تُساعِد في مكافحة العدوى؟ (متابعة)

ترتبط الأجسام المضادَّة القابلة للذوبان بمُولِّدات الضدّ الخارج الخلوية أينما وُجِدَت. هذا يمكن أن يحدث على سطح مُسبِّب المرض أو على سطح الخلايا العائلة المُصابَة. لا يمكن للأجسام المضادَّة أن تدخل إلى الخلايا؛ لأنها بروتينات كبيرة نسبيًّا. الأجسام المضادَّة فعَّالة فقط في محاربة مُولِّدات الضدّ الخارج الخلوية، أو مُولِّدات الضدّ الموجودة خارج الخلايا العائلة.

الأجسام المضادَّة مُتخصِّصة جدًّا بوجه عامٍّ. يرتبط كل جسم مضادٍّ بنوع واحد من مُولِّدات الضدّ. ومع ذلك، فإن الأجسام المضادَّة ملائمة جيِّدًا لتدمير أيِّ شيء يحمل مُولِّد الضدّ، الذي تتَّصل به، وإزالته. ولهذا السبب، فإن الأجسام المضادَّة التي تستهدف مُولِّدات الضدّ «الذاتية» خطيرة جدًّا، ولهذا أيضًا يجب فَحْص الخلايا البائية غير الناضجة وانتقاؤها بعناية.

الطرق المختلفة التي يمكن للأجسام المضادَّة من خلالها أن تُكافِح العدوى

تتسبَّب الأجسام المضادَّة المرتبطة بسطح أحد مُسبِّبات الأمراض في ابتلاع الخلايا البلعمية الكبيرة لمُسبِّب المرض. إذا كان مُسبِّب المرض قابلًا للذوبان، على سبيل المثال أحد أنواع السموم، يمكن أن تجعله الأجسام المضادَّة غير قابل للذوبان. هذه العملية تُسمَّى الترسيب. هذا يُسهِّل على الخلايا البلعمية الكبيرة تحديد مُسبِّب المرض، وابتلاعه.

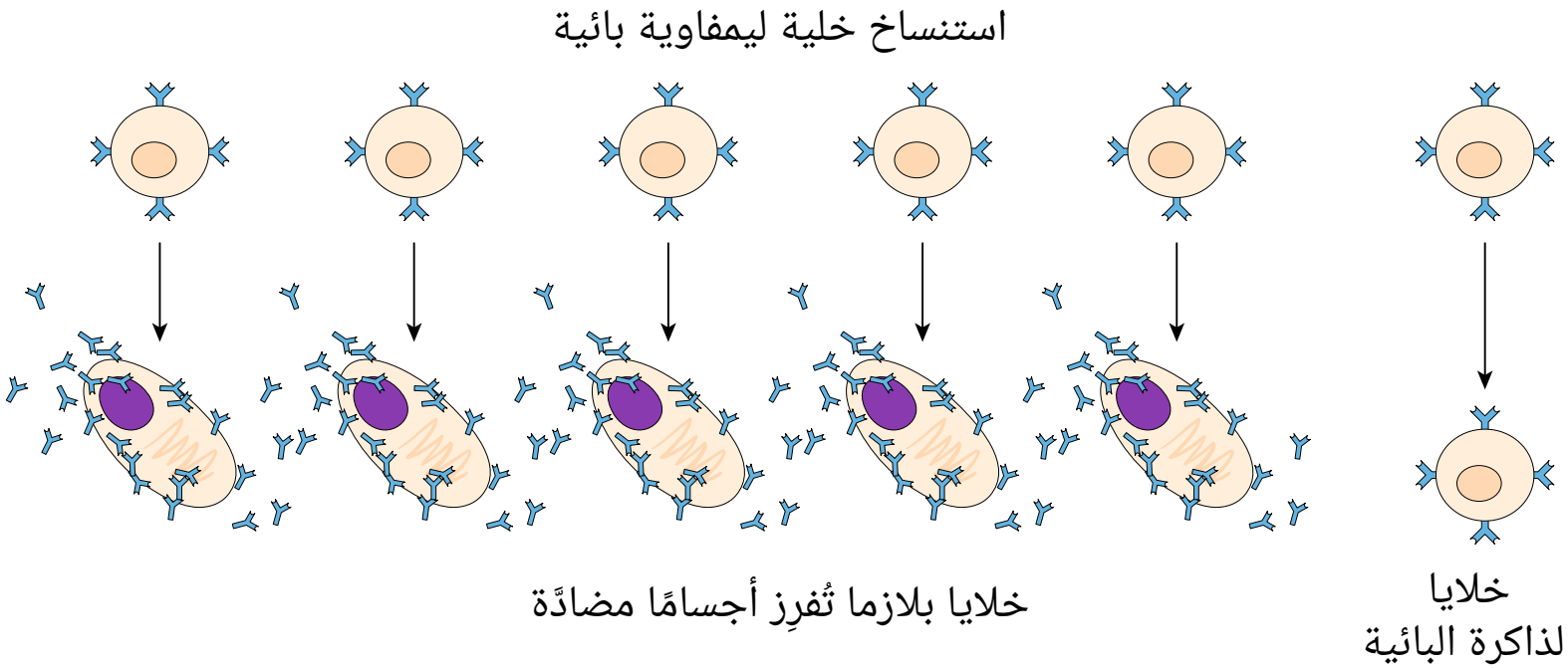
يمكن أيضًا أن تتسبَّب الأجسام المضادَّة في تجمُّع مُسبِّبات الأمراض في الدم معًا، وهي عملية تُسمَّى التلازن، وهو ما يُسهِّل تحديد موقعها وتدميرها. يمكن للأجسام المضادَّة أن تحُثَّ جهاز المتمِّمات على تكوين مُركَّب كيميائي يستطيع أن يُحلِّل الغشاء الخلوي لمُسبِّب المرض. هذا يؤدِّي إلى تكسير مُسبِّب المرض إلى أجزاء، وهو ما يقتله، وتتخلَّص الخلايا البلعمية من هذه الأجزاء.

وأخيرًا، يمكن للأجسام المضادَّة معادلة مُسبِّب مرض، مثل الفيروس، من خلال تغطية سطحه ومنعه من الدخول إلى الخلايا ليصيبها، أو من خلال منعه من إطلاق مادته الجينية فور دخوله.

الذاكرة المناعية

فَوْر أن يستجيب الجهاز المناعي لعدوى أوَّلية، كيف نحتفظ بهذه المناعة لنفس مُسبِّب المرض إذا أصاب أجسامنا مرة أخرى؟

تتمايز بعض الخلايا البائية لتصبح خلايا بلازمية يمكن أن تُنتِج كميات كبيرة من الأجسام المضادَّة، اللازمة لمحاربة العدوى، وتُفرِزها. تتمايز أيضًا الخلايا البائية النشطة لتصبح ما نُسمِّيه بخلايا الذاكرة البائية. يوضِّح هذا الشكل كيفية تمايز الخلايا الليمفاوية البائية إلى خلايا بلازمية وخلايا ذاكرة بائية.



الذاكرة المناعية (متابعة)

لا تُفرِز خلايا الذاكرة البائية الأجسام المضادَّة. هناك أجسام مضادَّة على سطحها الخلوي؛ مثل الخلايا البائية الساذجة. خلايا الذاكرة البائية خلايا في حالة سكون تعيش في الجهاز المناعي. هذه الخلايا تتميَّز بعمر طويل. وهي ملائمة لتسمح للجهاز المناعي بالاستجابة بسرعة أكبر لعدوى ثانية من قِبَل مُسبِّب المرض نفسه.

تُكوِّن أجسامنا خلايا الذاكرة؛ لأنه إذا تعرَّض كائن حيٌّ لمُسبِّب مرض مرةً، فمن المُحتمَل أن يتعرَّض له مرةً أخرى. وجود خلايا الذاكرة يعني أنه عند تعرُّض الجسم لمُسبِّب المرض مرةً ثانية، يمكن أن يتفاعل جهاز المناعة بسرعة أكبر؛ ولذلك قد لا نلاحظ وجود مُسبِّب المرض أو نمرض بسببه.

مصطلح رئيسي: خلايا الذاكرة البائية

خلية الذاكرة البائية خلية تتكوَّن بعد عدوى أوَّلية. تتميَّز خلايا الذاكرة البائية بعمرها الطويل، كما أنها قادرة على استحثاث استجابة سريعة عند العدوى الثانية.

مثال ٤: وَصْف الفرق بين خلايا الذاكرة والخلايا البلازمية

كيف تختلف خلايا الذاكرة عن الخلايا البلازمية؟

أ. تفقد خلايا الذاكرة القدرة على التضاعف والتمايز.
ب. يوجد نوع واحد فقط من مُستقبِلات الأجسام المضادَّة على سطح خلايا الذاكرة.
ج. خلايا الذاكرة ذات مُعدَّل أعلى لتخليق البروتين.
د. تبقى خلايا الذاكرة في الدورة الدموية لفترة زمنية أطول.
هـ. خلايا الذاكرة قادرة على الاستجابة لمجموعة كبيرة من مُولِّدات الضدِّ.

الحل

غالبًا ما ينقسم الجهاز المناعي التكيُّفي إلى فئتين: المناعة الخلوية، والمناعة الخلطية. تُسمَّى المناعة الخلوية أحيانًا مناعة الخلايا التائية؛ لأنها تعتمد في الغالب على عمل الخلايا التائية السامَّة. تُسمَّى المناعة الخلطية أحيانًا مناعة الخلية البائية؛ لأنها تعتمد في الأساس على عمل الخلايا الليمفاوية البائية، وهي نوع من الخلايا التي تُنتِج بروتينات تُسمَّى الأجسام المضادَّة.

مثال ٤ (متابعة)

الأجسام المضادَّة عبارة عن بروتينات كروية ترتبط بمُولِّد ضدٍّ واحد معيَّن. الخلايا البائية الساذجة تحتوي على مُستقبِلات أجسام مضادَّة، وتُسمَّى أيضًا مُستقبِلات الخلايا البائية. هذه المُستقبِلات أجسام مضادَّة مرتبطة بالغشاء الخلوي للخلايا البائية. عندما يرتبط مُستقبِل الخلية البائية بجسم مضادٍّ متكامل، تُنشَّط الخلية البائية. قد تحتاج الخلايا البائية أيضًا إلى المزيد من تبادُل الإشارات من الخلايا التائية المُساعِدة لتنشيطها.

وفَوْر تنشيط الخلية البائية تبدأ في التضاعف من خلال التوسُّع النسيلي. يَنتُج عن ذلك تجمُّع من الخلايا البائية يحتوي جميعها على نفس مُستقبِلات الخلايا البائية التي تتعرَّف على مُولِّد ضدٍّ معيَّن. تُسمَّى هذه العملية بالتوسُّع النسيلي. تتمايز الخلايا البائية النشطة إلى أحد نوعين من الخلايا. بعضها يصبح خلايا الذاكرة البائية، التي تعيش لفترة طويلة في الجهاز المناعي، وهي مهيئة لأن تنشط سريعًا إذا حفَّزها مُولِّد الضدِّ نفسه في المُستقبَل. ومعظم الخلايا البائية تتمايز إلى خلايا بلازمية. الخلايا البلازمية خلايا ليمفاوية بائية تُنتِج كمِّيات كبيرة من الأجسام المضادَّة القابلة للذوبان، التي تُفرَز في مجرى الدم وسوائل الجسم الأخرى، وذلك بدلًا من وجود مُستقبِلات الأجسام المضادَّة المرتبطة بسطح الخلية.

باستخدام هذه المعلومات، يمكننا استنتاج أن خلايا الذاكرة تختلف عن الخلايا البلازمية؛ لأن خلايا الذاكرة تبقى في الدورة الدموية فترة زمنية أطول.

النقاط الرئيسية

- يتضمَّن الجهاز المناعي التكيُّفي كلًّا من المناعة الخلوية والمناعة الخلطية.
- المناعة الخلطية تعتمد بشكل أساسي على عمل الخلايا الليمفاوية البائية.
- تُنشَّط الخلايا البائية التي تحتوي على أجسام مضادَّة قادرة على الارتباط بمُولِّد ضدٍّ مُسبِّب المرض الذي يُصيب الجسم.
- تتمايز الخلايا البائية النشطة لتصبح خلايا بلازمية وخلايا ذاكرة.
- مناعة الأجسام المضادَّة فعَّالة ضدَّ مُسبِّبات الأمراض الخارج الخلوية.