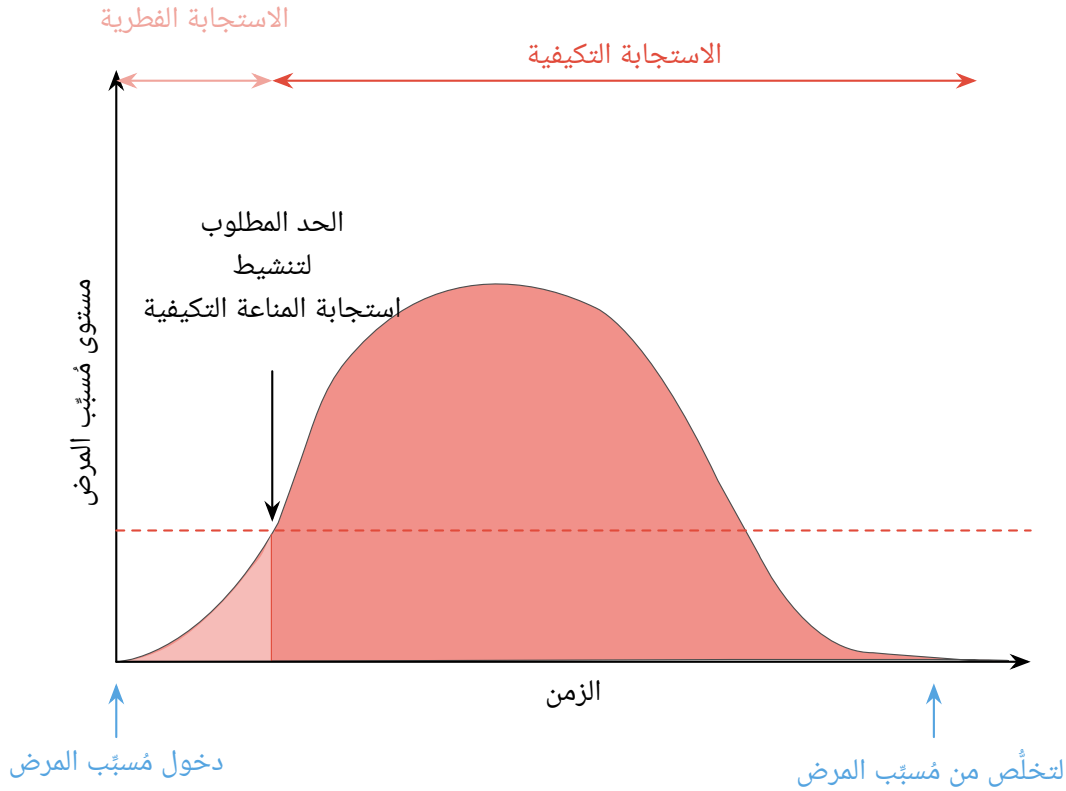
شارح: الاستجابات المناعية المتخصصة: الأجسام المضادَّة

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نَصِف عملية التوسُّع النسيلي، وتكوُّن الأجسام المضادَّة استجابةً لمُولِّد الضدِّ.

المناعة التكيفية 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 النظام المُكمِّل.

يُمثِّل كلٌّ من خطَّي الدفاع الأول والثاني جزءًا من الجهاز المناعي الفطري. تتعامل المناعة الفطرية، وهي المناعة التي وُلِدنا بها، مع كل عدوى أو تهديد مُحتمَل بالطريقة نفسها.

إذا تجاوزت عدوى أو تجاوز أحد مُسبِّبات الأمراض خطَّي الدفاع الأول والثاني، وظلَّ في الجسم لفترة من الزمن؛ يستجيب نظام المناعة التكيفية. يُشار أيضًا إلى المناعة التكيفية بـ «المناعة المُتخصِّصة» أو «المناعة المُكتسَبة»؛ لأنها جزء من الجهاز المناعي الذي يتسبَّب في حدوث استجابة مُتخصِّصة لمُسبِّب مرض مُحدَّد لإزالته. المناعة التكيفية هي المناعة التي تتطوَّر أو تُكتسَب بمرور الزمن. يوضِّح شكل 1 استجابة المناعة الفطرية والتكيفية معًا.



شكل 1: شكل يوضِّح جوانب عديدة للاستجابة المناعية.
تبدأ الاستجابة التكيفية إذا تجاوز مُسبِّب مرض حدَّ تركيز معين
أو استمرَّ لمدَّة معينة.

مصطلح رئيسي: المناعة المُتخصِّصة (المناعة التكيفية أو المُكتسَبة)

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

غالبًا ما يُقسَّم الجهاز المناعي التكيفي إلى فئتين: المناعة الخلوية، والمناعة الخلطية. تُسمَّى المناعة الخلوية أحيانًا مناعة الخلايا التائية؛ لأنها تعتمد في الغالب على عمل الخلايا التائية السامَّة.

أما المناعة الخلطية فتُسمَّى أحيانًا أيضًا بمناعة الخلايا البائية؛ لأنها تعتمد بشكل أساسي على عمل الخلايا الليمفاوية البائية، وهي نوع من الخلايا البائية تُنتِج بروتينات تُسمَّى الأجسام المضادَّة. تُسمَّى المناعة الخلطية أيضًا أحيانًا بمناعة الأجسام المضادَّة. لكنَّ الخلايا البائية لا تتعامل بمفردها، وتحتاج غالبًا إلى المساعدة من عدَّة أنواع أخرى من الخلايا الليمفاوية لتكوين استجابة مناعية فعَّالة.

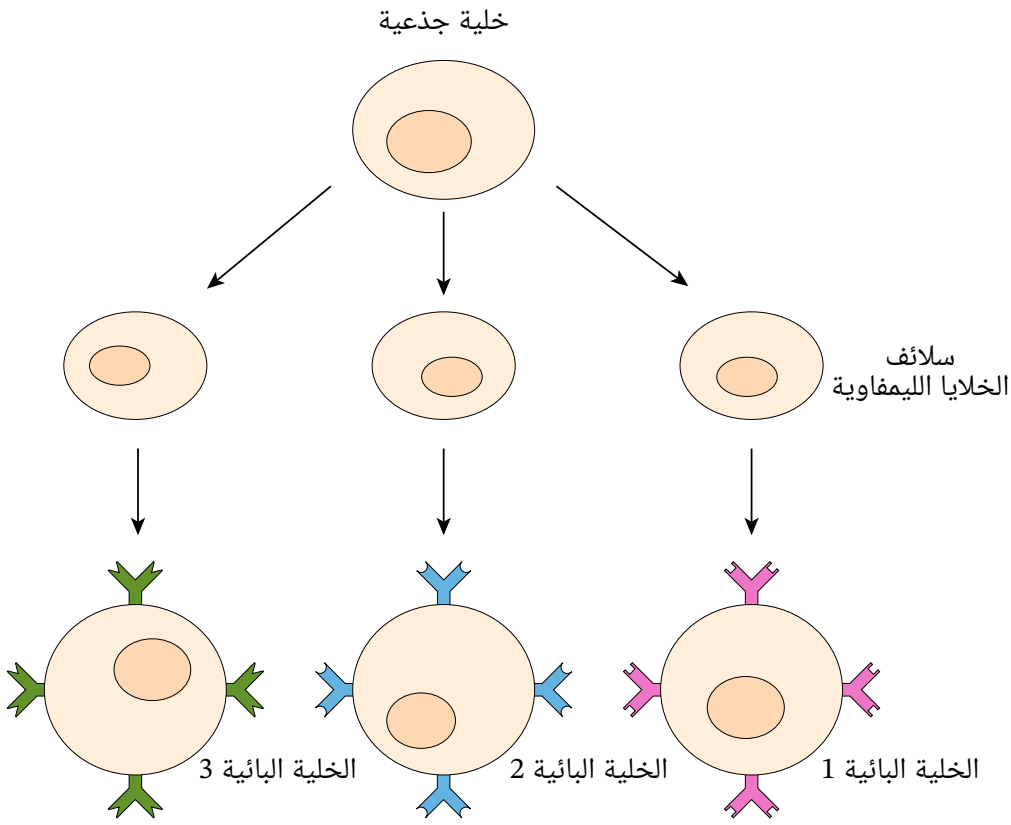
مصطلح رئيسي: الخلية الليمفاوية البائية (الخلايا البائية)

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

مصطلح رئيسي: الأجسام المضادَّة (الجلوبيولين المناعي)

الأجسام المضادَّة بروتينات كروية تُنتِجها الخلايا الليمفاوية البائية، وهي مُتكيِّفة لترتبط بمُولِّد ضدٍّ معين.

هيا نبدأ بالتعرُّف على الخلايا البائية. بشكل عامٍّ الخلايا البائية، التي تُسمَّى أيضًا بالخلايا الليمفاوية البائية، هي 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 تنسخ الشفرة الوراثية لمُستقبِلات الخلية البائية، عن طريق إعادة التركيب الوراثي؛ بحيث تُنتِج العديد من الأنواع العشوائية كما ترى في شكل 2 الآتي:



شكل 2: شكل يوضِّح عملية ظهور العديد من الخلايا البائية المختلفة من خلية سلفية (جذعية) متطابقة. لكلِّ خلية بائية نوع فريد من مُستقبِلات الخلية البائية.

يوضِّح لنا شكل 2 كيف يمكن لخلية جذعية واحدة أن تتمايز إلى عدَّة أنواع مختلفة من الخلايا البائية التي لها مُولِّدات ضدٍّ مختلفة على غشاء السطح الخلوي من خلال إعادة التركيب الجيني.

وبما أن مُستقبِلات الخلايا البائية تُنتَج عشوائيًا، فمن المهمّ التأكُّد من أنها لن تتفاعل مع خلايا الجسم العادية. وبناءً على ذلك، قبل أن تترك الخلايا البائية النخاع العظمي، تُختبَر للتأكُّد من أنها لا تحتوي على مُستقبِلات مضادَّة لـ «نفس الجسم». 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 بروتينات كروية ترتبط بالمواد التي نُسمِّيها مُولِّدات الضدّ.

مُولِّد الضدّ هو أيُّ شيء يمكن أن يرتبط بجسم مضادٍّ، ويتسبَّب معظم مُولِّدات الضدّ في حدوث استجابة مناعية. يمكن أن تكون مُولِّدات الضدّ جزيئات على سطح الخلايا، أو مُسبِّبات الأمراض مثل: البكتريا أو الفيروسات، أو مواد أخرى مثل: السموم أو الطفيليات.

عندما تلتصق الأجسام المضادَّة بسطح خلية بائية أولية غير بالغة بعدُ، فإن هذه الأجسام تُسمَّى مُستقبِلات خلية بائية أو مُستقبِلات أجسام مضادَّة.

مصطلح رئيسي: مُولِّد الضدّ

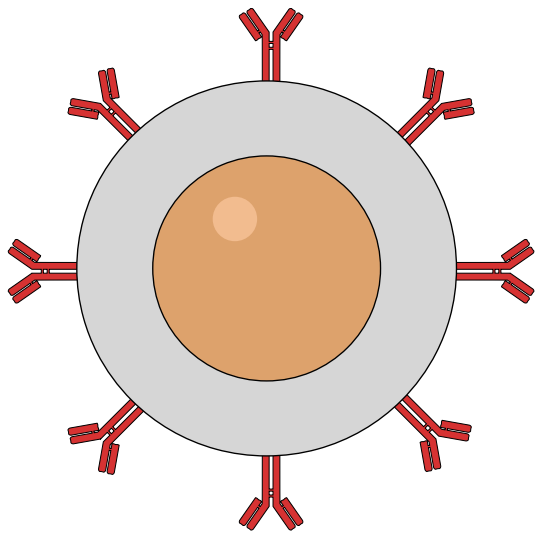
مُولِّدات الضدّ مواد يمكنها التسبُّب في حدوث استجابة مناعية.

مصطلح رئيسي: مُستقبِل الخلية البائية (BCR)

مُستقبِل الخلية البائية جسم مضادٌّ متصل بالغشاء الخلوي للخلية الليمفاوية البائية. عندما يرتبط مُستقبِل الخلية البائية بمُولِّد ضدٍّ مُكمِّل، فإنه يحفِّز الخلية البائية على بدء تنشيطها.

مثال ١: تذكُّر خواصّ 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 واحد.

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

د. يُمكِن أن ترتبط الخلية البائية بمُولِّدات الضدِّ خارج الخلوية أو داخل الخلوية.

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

الحل

الخلايا البائية التي تُسمَّى أيضًا الخلايا الليمفاوية البائية خلايا مسئولة عن الاستجابة المناعية المُكتسَبة أو التكيفية أو المُتخصِّصة. عادةً ما تنقسم هذه الاستجابة المناعية إلى: المناعة الخلطية، والمناعة الخلوية. تعتمد المناعة الخلطية على عمل الخلايا البائية، وتكون فعَّالة للغاية ضدَّ مُسبِّبات الأمراض التي توجد خارج الخلية، في حين تعتمد المناعة الخلوية على عمل الخلايا التائية السامَّة، وتكون فعَّالة ضدَّ مُسبِّبات الأمراض الموجودة داخل الخلية. يعمل نوعَا المناعة التكيفية بالتزامن في نفس الوقت على محاربة العدوى.

للخلية البائية تركيب وراثي مُتخصِّص. تُخلَط جينات الأجسام المضادَّة من خلال نوع من أنواع إعادة التركيب الجيني، وهو ما يَنتُج عنه العديد من الأنواع العشوائية من الأجسام المضادَّة. هذا يعني أن لكلِّ خلية بائية جسمًا مضادًّا 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 بروتينات كروية ترتبط بالمواد التي نُسمِّيها مُولِّدات الضدِّ. يرتبط كل جسم مضادٍّ بنوع واحد من مُولِّدات الضدِّ. مُولِّد الضدِّ هو أيُّ شيء يمكن أن يرتبط بجسم مضادٍّ، وتُسبِّب معظم مُولِّدات الضدِّ استجابة مناعية. يمكن أن تكون مُولِّدات الضدِّ جزيئات على سطح مُسبِّبات الأمراض: مثل البكتريا أو الفيروسات، أو مواد أخرى مثل: السموم أو الطفيليات. الأجسام المضادَّة ومُستقبِلات الخلايا البائية تستطيع الارتباط بمُولِّدات الضدِّ الموجودة خارج الخلية فقط؛ وهي مُولِّدات الضدِّ الموجودة خارج حدود الخلايا.

هذا يخبرنا بأن العبارة غير الصحيحة المُتعلِّقة بالخلية الليمفاوية البائية هي أنه يمكن أن ترتبط الخلية البائية بمُولِّدات الضدِّ الموجودة خارج الخلية أو داخل الخلية.

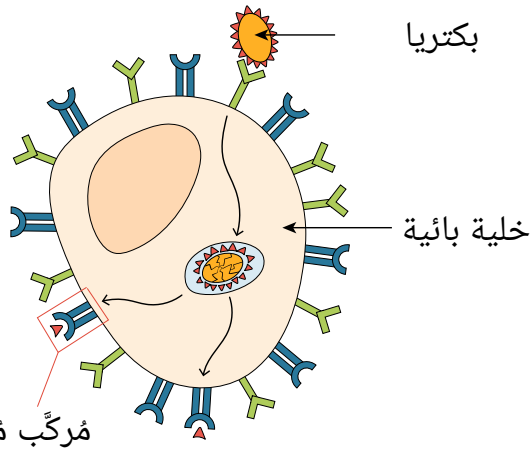
عندما يدخل أحد مُسبِّبات الأمراض، مثل بكتريا أو فيروس، إلى الجسم ويبدأ في التضاعف، فإن الخطوة الأولى في المناعة الخلطية هي إيجاد الخلية البائية التي تحتوي على أجسام مضادَّة يمكن أن ترتبط بمُولِّدات الضدِّ في مُسبِّب المرض. وبمجرَّد أن تُلامِس الخلية البائية مُولِّد ضدٍّ مُكمِّلًا للمُستقبِل على سطح الخلية البائية، تَنْضَج وتنشط ولا تُوصَف بأنها غير بالغة.

يُيسِّر 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 الالتقام الخلوي. وبعد ذلك تُكسِّر هذه الخلايا مُسبِّب المرض وتُنتِج أجزاء مميزة، تُسمَّى مُولِّدات الضدِّ، على سطحها الخلوي متصلة ببروتينات خاصَّة تُسمَّى بروتينات التوافق النسيجي.

مصطلح رئيسي: بروتين التوافق النسيجي (MHC)

بروتين التوافق النسيجي بروتين يعمل على ربط مُولِّدات الضدّ التي يتمُّ التعامل معها، ويعرضها على سطح الخلية لكي تستطيع الخلايا المناعية التعرُّف عليها.

الخلايا القادرة على تقديم مُولِّدات الضدّ للخلايا الأخرى في الجهاز المناعي تُسمَّى خلايا عارضة لمُولِّد الضدّ (APC). يوضِّح شكل 3 خلية بلعمية عارضة لمُولِّد الضدّ.



مُركَّب مُولِّد الضدّ وبروتين التوافق النسيجي (MHC)

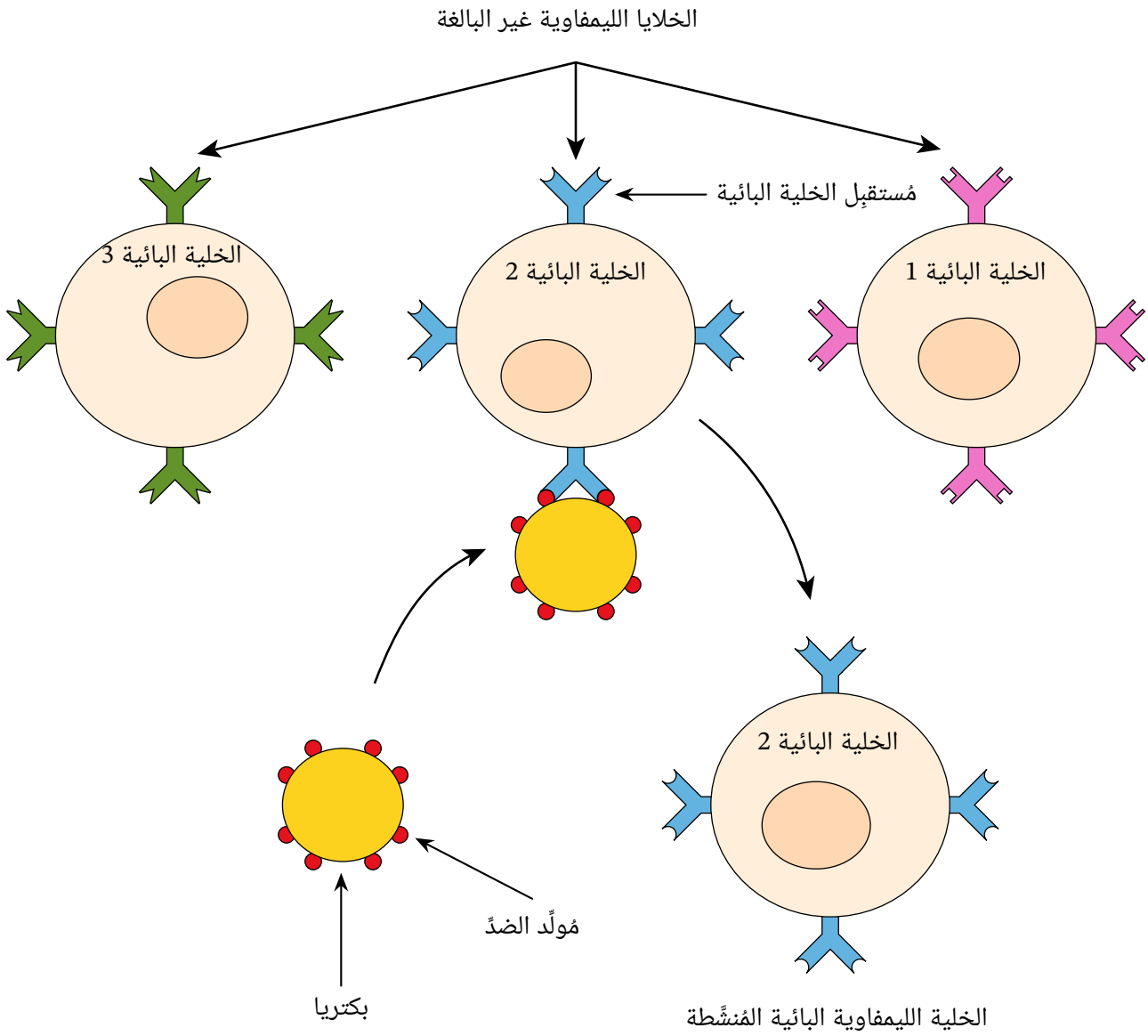
شكل 3: شكل يوضِّح كيفية ابتلاع الخلايا العارضة لمُولِّد ضدٍّ مُسبِّبٍ لمرضٍ من خلال الخلايا البلعمية الكبرى، وتقسيمه إلى أجزاء، وبعد ذلك ترتبط مُولِّدات الضدّ ببروتينات التوافق النسيجي لتظهر على سطح الخلية.

مصطلح رئيسي: خلية عارضة لمُولِّد الضدّ (APC)

الخلية العارضة لمُولِّد الضدّ نوع من الخلايا المناعية التي تُسهِّل حدوث الاستجابة المناعية من خلال توضيح أن مُولِّدات الضدّ تربط بروتين التوافق النسيجي الموجود على سطحها لخلايا النظام المناعي الأخرى.

تنتقل هذه الخلايا إلى العقد الليمفاوية في الجهاز المناعي؛ حيث تتفاعل مع الخلايا الليمفاوية الموجودة هناك، بما في ذلك الخلايا البائية. في مسار آخَر، قد يكون العامل المُسبِّب للمرض نفسه موجودًا في السائل الليمفاوي أو في الدم الذي رُشِّح خلال العقد الليمفاوية، وقد يُلامِس خلية المناعة بهذه الطريقة.

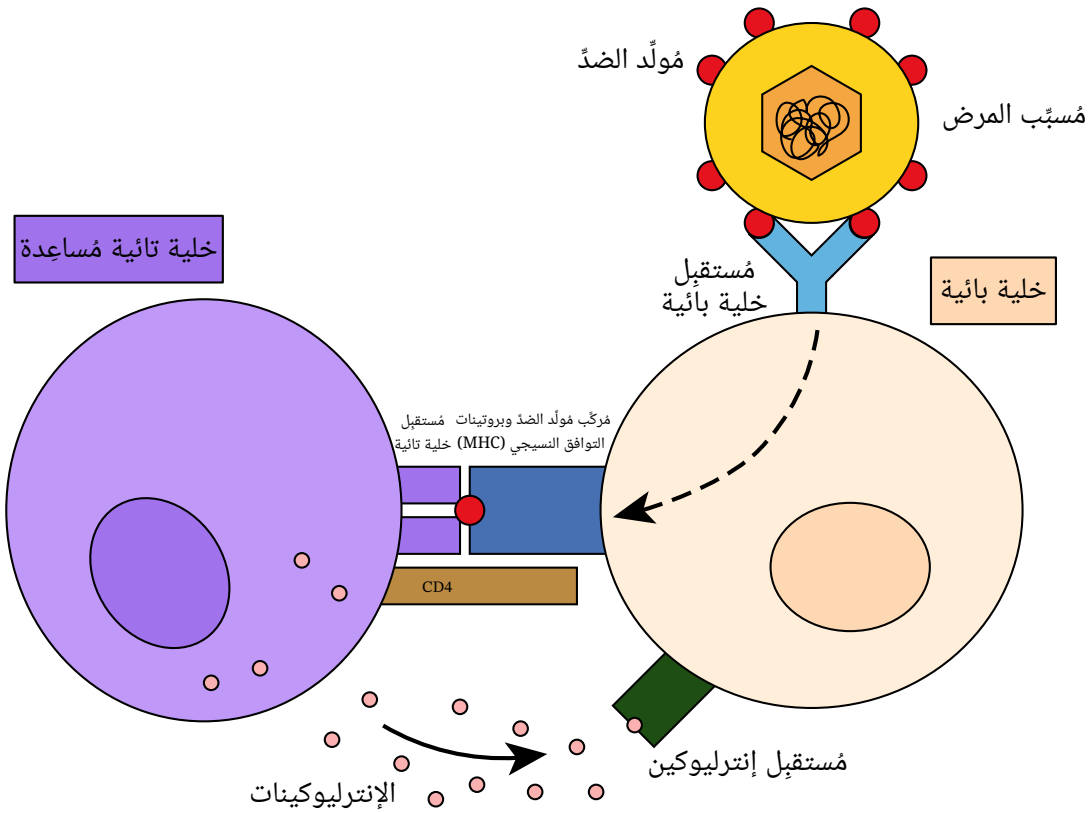
عندما يرتبط الجسم المضادُّ الموجود على سطح الخلية البائية بمُولِّد الضدّ الذي يمكنها التعرُّف عليه، تنشط هذه الخلية البائية. يحدث هذا التنشيط بإحدى طريقتين، واحدة منهما موضَّحة فيما يأتي في شكل 4:



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

تنشط بعض الخلايا البائية ببساطة بسبب وجود مُولِّد ضدٍّ مُكمِّل، وهو ما يمكن مشاهدته في شكل 4 السابق. بمجرَّد أن ترتبط الخلايا البائية بمُولِّد الضدّ الذي يطابق الجسم المضادّ، تُنشَّط وتتمايز إلى ما يُسمَّى بخلايا البلازما. تتضاعف هذه الخلايا بسرعة، وتُنتِج كميات كبيرة من الأجسام المضادَّة التي تُفرَز من الخلية إلى سوائل الجسم.

تحتاج بعض الخلايا البائية إلى ما يُسمَّى بالتنشيط المُعتمِد على الخلايا التائية. في هذه الحالة، يتعرَّف الجسم المضادُّ، أو مُستقبِل الخلية البائية، الموجود على سطح الخلية البائية على مُولِّد ضدٍّ مُتوافِق، وهو ما يحفِّز الخلية البائية على ابتلاع مُولِّد الضدِّ من خلال البلعمة. بعد ذلك، يتحطَّم مُولِّد الضدِّ إلى أجزاء، وتُربَط هذه الأجزاء بجزيء يُسمَّى بروتين التوافق النسيجي. وعندئذٍ، يظهر بروتين التوافق النسيجي المُرتبِط بمُولِّد الضدِّ على سطح الخلية البائية. يوضِّح شكل 5 تمثيلًا توضيحيًّا للخلية التائية المُساعِدة التي تتفاعل مع الخلية البائية.



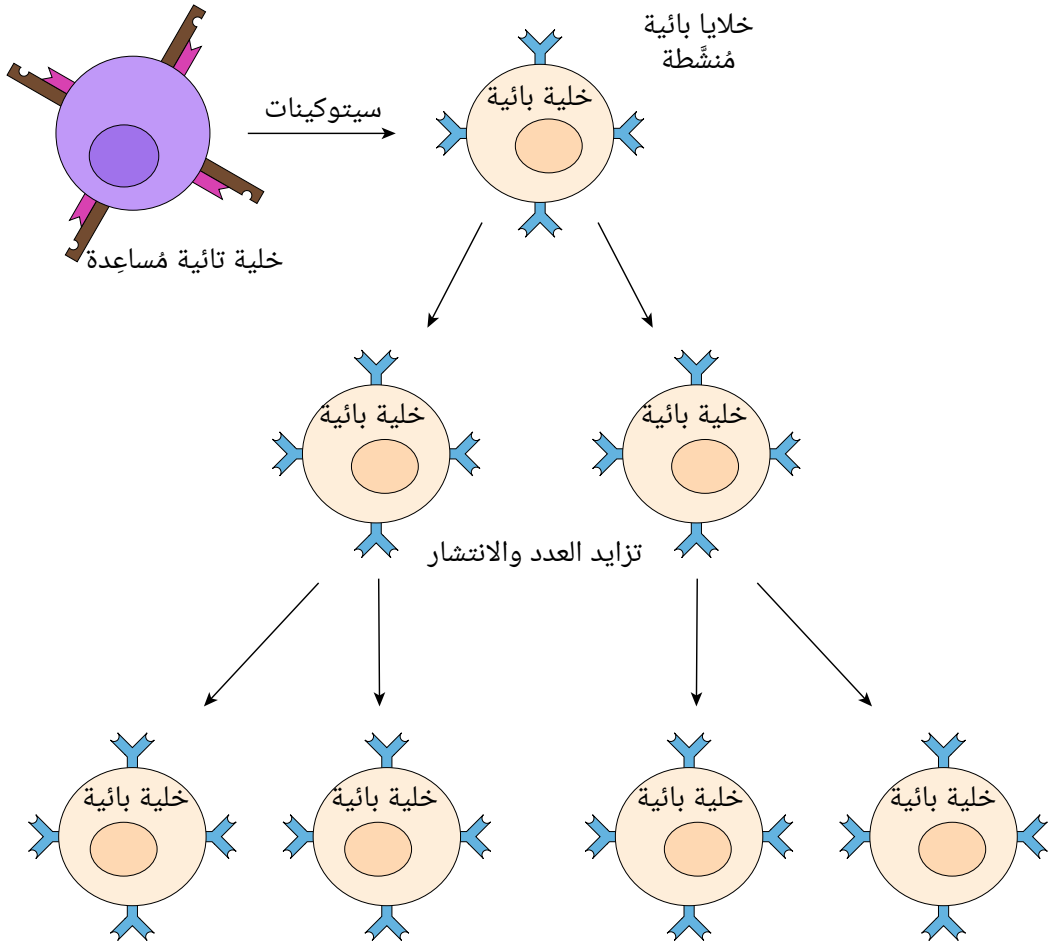
شكل 5: يمكن تنشيط الخلية التائية المُساعِدة بواسطة مُولِّد ضدٍّ مرتبط ببروتين تَوَافُق نسيجي موجود على سطح خلية بائية. تُطلِق الخلية التائية المُساعِدة، التي نُشِّطت، سيتوكينات تُسمَّى الإنترليوكينات التي تستكمل عملية تنشيط الخلية البائية.

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

تُطلِق الخلايا التائية المُساعِدة التي نُشِّطت بدورها سيتوكينات تُسمَّى الإنترليوكينات التي تكمل عملية تنشيط الخلايا البائية. يؤدِّي هذا إلى تنشيط الخلية البائية التي تبدأ بعد ذلك في الانقسام تنشيطًا تامًا. تتمايز بعض الخلايا البائية التي نُشِّطت لتصبح خلايا بلازما. تتضاعف خلايا البلازما سريعًا، وتُفرِز كمية كبيرة من الأجسام المضادَّة. تبدأ أيضًا الخلايا التائية التي نُشِّطت في التضاعف لتنشيط المزيد من الخلايا البائية.

يمكن أيضًا تنشيط الخلايا التائية بمُولِّدات الضدّ الموجودة في مُركَّب مُولِّد الضدّ وبروتين التوافق النسيجي (MHC) على 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 المناعة الخلطية والمناعة الخلوية.

في عملية تنشيط الخلية البائية، يمكن تنشيط الخلايا البائية فقط التي لها أجسام مضادَّة قادرة على الارتباط بمُولِّد الضدّ لمُسبِّب المرض الذي يهاجم الجسم؛ وذلك عن طريق السيتوكينات. نُطلِق على هذا الانتقاء النسيلي، وهو موضَّح في الخطوة الأولى من شكل 6؛ حيث تُنشَّط الخلية البائية.



شكل 6: تُحدَّد الخلايا البائية النشطة التي بها الأجسام المضادَّة المُتخصِّصة بمُولِّد ضدٍّ معين من خلال الانتقاء النسيلي. تتضاعف من خلال الانقسام الميتوزي في عملية تُسمَّى التوسع النسيلي.

تتمايز الخلايا البائية المُنشَّطة إلى خلايا مستجيبة تُسمَّى خلايا البلازما، وتتضاعف بسرعة، وتتسبَّب في وجود الجسم المضادِّ نفسه الموجود في الخلية البائية الأصلية المُنشَّطة. نُطلِق على هذه العملية التوسُّع النسيلي. يمكنك ملاحظة حدوث التوسُّع النسيلي عندما تزداد أعداد الخلايا البائية المُنشَّطة والموضَّحة في الجزء العلوي من شكل 6 من خلال الانقسام الميتوزي.

نتوصَّل إلى هذين المصطلحين من حقيقة أن نسخة واحدة من الخلية البائية تُنتَقى أو تُختَار. ومن ثَمَّ يُعاد إنتاجها أكثر من مرة، أو تُوسَّع أعدادها. جميع هذه الخلايا الآتية مُستنسَخ من الخلية الأولى، ويُنتِج الجسم المضادَّ نفسه.

مصطلح رئيسي: الانتقاء النسيلي

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

مصطلح رئيسي: التوسُّع النسيلي

التوسُّع النسيلي هو إنتاج خلايا وليدة يَنتُج جميعها من خلية أبوية واحدة. في التوسُّع النسيلي للخلايا الليمفاوية تكون كل الخلايا الوليدة خاصَّة بمُولِّد الضدّ نفسه.

لكلِّ مُسبِّب من مُسبِّبات الأمراض العديد من جزيئات السطح التي تعمل بمثابة مُولِّدات ضدّ. في هذه الحالة، قد يُنشَّط أكثر من نوع واحد من الخلايا البائية، أو قد تخضع لتوسُّع نسيلي؛ ولذلك يتوَّلد أكثر من نوع من الأجسام المضادَّة لمواجهة مُسبِّب المرض.

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

فيروس نقص المناعة البشرية (HIV) يُصيب 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) اختصار 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 يُصيب الخلايا التائية المُساعِدة ويُدمِّرها.

الخلايا التائية المُساعِدة نوع من أنواع الخلايا الليمفاوية التائية، وهي نوع من أنواع خلايا الدم البيضاء التي تلعب دورًا في النظام المناعي. تلعب الخلايا التائية المُساعِدة دورًا في كلٍّ من جوانب المناعة المُتخصِّصة الخلطية والخلوية، التي تُسمَّى أيضًا بالاستجابة المناعية المُكتسَبة أو التكيفية. تُنشَّط هذه الخلايا عندما تتعرَّف مُستقبِلات الخلايا التائية الموجودة على سطحها على مُولِّد ضدٍّ معين في خلية بلعمية عارضة لمُولِّد ضدٍّ، وترتبط به.

بمجرَّد تنشيطها، تخضع الخلايا التائية المُساعِدة للتوسُّع النسيلي، وهو ما يؤدِّي إلى زيادة عدد الخلايا التائية المُساعِدة المُنشَّطة التي تتعرَّف على مُولِّد ضدٍّ معين. 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. الأجسام المضادَّة بروتينات كروية خاصَّة بمُولِّد ضدٍّ معين. هذا يعني أن كل نوع من الأجسام المضادَّة يرتبط بنوع واحد من مُولِّدات الضدّ. عادةً ما تُنشَّط الخلايا البائية باستخدام السيتوكينات التي تَنطلِق من الخلايا التائية المُساعِدة المُنشَّطة قبل تمايزها إلى خلايا البلازما التي تُنتِج كميات كبيرة من الأجسام المضادَّة وتفرزها في مجرى الدم.

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 المُنشَّطة، فإنه يوجد أيضًا عدد أقل من الخلايا البائية. هذا يعني أن عدد الأجسام المضادَّة الناتجة سيكون أقل؛ حيث يوجد عدد أقل من الخلايا البائية المُنشَّطة، ومن ثَمَّ يوجد عدد أقل من خلايا البلازما التي يمكن أن تُنتَج.

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

إن عمليتَي التوسع والانتقاء النسيلي توضِّحان مصدر الأجسام المضادَّة. الأجسام المضادَّة بروتينات موجودة على سطح الخلايا البائية الليمفاوية، وبمجرَّد تنشيطها تَنتُج الأجسام المضَّادة بكميات كبيرة وتَنطلِق في الدم والسائل الليمفاوي. دعونا نُجب الآن عن السؤال المُتعلِّق بكيفية سماح الأجسام المضادَّة للجهاز المناعي بمحاربة العدوى.

بمجرَّد تنشيط الخلية البائية الصحيحة، تتمايز إلى ما يُسمَّى بخلية البلازما. تُعدُّ خلية البلازما نوعًا من الخلايا البائية المستجيبة التي تصنع وتفرز الأجسام المضادَّة نفسها الموجودة على سطح خليتها؛ مثل: الخلية البائية. يُسمَّى هذا الجسم المضادُّ الناتج في بعض الأحيان جسمًا مضادًّا قابلًا للذوبان. تتضاعف خلايا البلازما بسرعة مُكوِّنةً مزيدًا من الخلايا التي تُنتِج الجسم المضادَّ نفسه. الخلايا المستجيبة خلايا تستجيب بشكل فعَّال للمُحفِّزات وتبدأ في التغيير. تُنتِج خلايا البلازما هذا الجسم المضادَّ القابل للذوبان بكمِّيات كبيرة وتُطلِقه في مجرى الدم.

مصطلح رئيسي: خلية البلازما (الخلية البلازمية، الخلية البلازمية البائية)

الخلية البلازمية نوع من الخلايا المناعية التي تُنتِج كمِّيات كبيرة من جسم مضادٍّ معين. خلايا البلازما 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. خلايا البلازما

الحل

الأجسام المضادَّة، التي تُسمَّى أيضًا الجلوبيولين المناعي، هي بروتينات كروية ترتبط بمُولِّد ضدٍّ معين. تُنتِج الخلايا البائية الأجسام المضادَّة. تكون للخلايا البائية غير الناضجة مُستقبِلاتُ أجسام مضادَّة، وتُسمَّى أيضًا مُستقبِلات الخلايا البائية. هذه المُستقبِلات أجسام مضادَّة متصلة بالغشاء الخلوي للخلايا البائية. عندما يرتبط مُستقبِل الخلية البائية بجسم مضادٍّ مُكمِّل تُنشَّط الخلية البائية. قد تحتاج الخلايا البائية أيضًا إلى المزيد من تبادُل الإشارات من الخلايا التائية المُساعِدة لتُنشَّط. بمجرَّد تنشيطها تبدأ في التكاثر. يَنتُج عن ذلك عدد الخلايا البائية التي بها نفس مُستقبِلات الخلايا البائية التي تتعرَّف على مُولِّد ضدٍّ معين. تتمايز الخلايا البائية المُنشَّطة الناضجة إلى أحد نوعين من الخلايا. بعضها يصبح خلايا

الذاكرة البائية، التي تعيش لفترة طويلة في الجهاز المناعي، وهي على استعداد للتنشيط سريعًا إذا أُثِيرَت بمُولِّد الضدِّ نفسه في المُستقبَل. ومعظم هذه الخلايا يتمايز إلى خلايا بلازما. خلايا البلازما خلايا بائية ليمفاوية تُنتِج كمِّيات كبيرة من الأجسام المضادَّة القابلة للذوبان والتي تُفرَز في مجرى الدم وسوائل الجسم الأخرى، وذلك بدلًا من وجود مُستقبِلاتٍ للأجسام المضادَّة محيطةٍ بسطح الخلية.

هذا يعني أن الخلايا المناعية التي تُفرِز الأجسام المضادَّة هي خلايا البلازما.

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

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

لنلقِ نظرة على بعض الطرق العديدة التي يمكن للأجسام المضادَّة من خلالها أن تُكافِح العدوى.

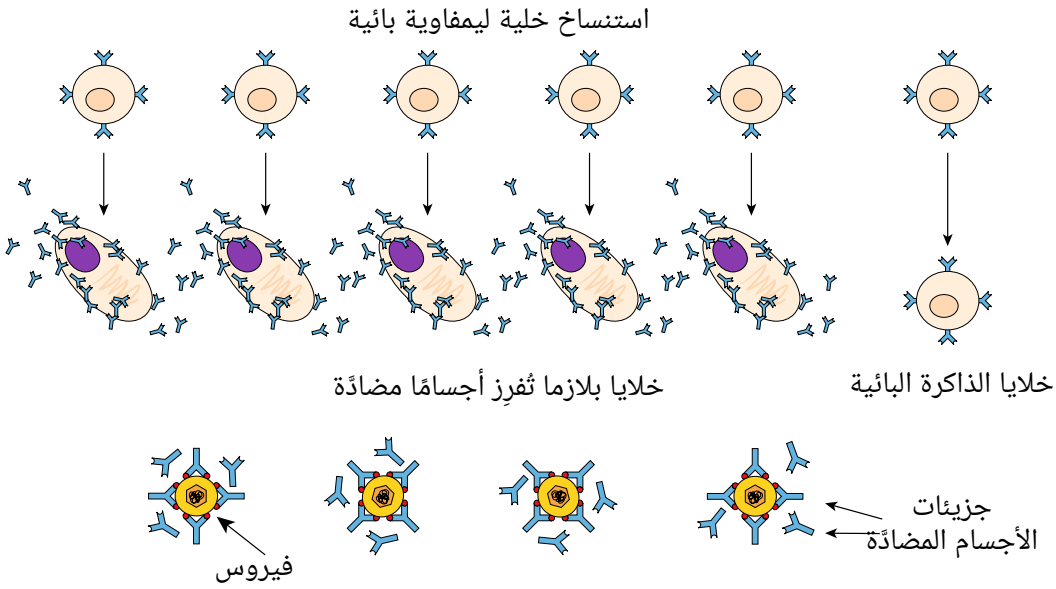
تتسبَّب الأجسام المضادَّة المرتبطة بسطح أحد مُسبِّبات الأمراض في ابتلاع الخلايا البلعمية الكبيرة لمُسبِّب المرض. إذا كان مُسبِّب المرض قابلًا للذوبان، على سبيل المثال أحد أنواع السم، يمكن أن تجعله الأجسام المضادَّة غير قابل للذوبان. هذه العملية تُسمَّى الترسيب. هذا يُسهِّل على الخلايا البلعمية الكبيرة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

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

وأخيرًا، يمكن للأجسام المضادَّة تحييد أيِّ مُسبِّب للمرض، مثل الفيروس، من خلال تغطية سطحه ومنعه من الدخول إلى الخلايا ليصيبها، أو من خلال منعه من إطلاق مادته الجينية بمجرَّد دخوله.

بمجرَّد أن يستجيب الجهاز المناعي لعدوى أولية، كيف نحافظ على هذه المناعة لنفس مُسبِّب المرض إذا أصاب أجسامنا مرة أخرى؟

تتمايز بعض الخلايا البائية لتصبح خلايا البلازما التي يمكن أن تُنتِج كميات كبيرة من الأجسام المضادَّة اللازمة لمحاربة العدوى وتُفرِزها. تتمايز أيضًا الخلايا البائية المُنشَّطة لتصبح ما نُسمِّيه بخلايا الذاكرة البائية. يوضِّح شكل 7 كيفية تمايز الخلايا الليمفاوية البائية إلى خلايا بلازما وخلايا ذاكرة بائية.



شكل 7: شكل يوضِّح كيفية تمايز الخلايا البائية المُنشَّطة إلى أجسام مضادَّة تُفرِز خلايا البلازما وخلايا الذاكرة البائية التي تعيش لمدة طويلة.

لا تُفرِز خلايا الذاكرة البائية الأجسام المضادَّة. هناك أجسام مضادَّة على سطحها الخلوي؛ مثل الخلايا البائية غير البالغة. خلايا الذاكرة البائية خلايا في حالة سكون تعيش في الجهاز المناعي. هذه الخلايا تتميَّز بعمر طويل. إنها قد تتكيَّف لتسمح للجهاز المناعي بالاستجابة بسرعة أكبر للعدوى الثانية من قِبَل مُسبِّب المرض نفسه.

مصطلح رئيسي: خلايا الذاكرة البائية

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

مثال ٤: وَصْف الفرق بين خلايا الذاكرة وخلايا البلازما

كيف تختلف خلايا الذاكرة عن خلايا البلازما؟

أ. تفقد خلايا الذاكرة القدرة على التضاعف والتمايز.

ب. يوجد نوع واحد فقط من مُستقبِلات الأجسام المضادَّة على سطح خلايا الذاكرة.

جـ. خلايا الذاكرة ذات مُعدَّل أعلى لتخليق البروتين.

د. تبقى خلايا الذاكرة في الدورة الدموية لفترة زمنية طويلة.

هـ. خلايا الذاكرة قادرة على الاستجابة لمجموعة كبيرة من مُولِّدات الضدِّ.

الحل

غالبًا ما ينقسم الجهاز المناعي التكيفي 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.

الأجسام المضادَّة بروتينات كروية ترتبط بمُولِّد ضدٍّ واحد معين. الخلايا البائية غير الناضجة تحتوي على مُستقبِلات أجسام مضادَّة، وتُسمَّى أيضًا مُستقبِلات الخلايا البائية. هذه المُستقبِلات أجسام مضادَّة متصلة بالغشاء الخلوي للخلايا البائية. عندما يرتبط مُستقبِل الخلية البائية بجسم مضادٍّ مُكمِّل، تُنشَّط الخلية البائية. قد تحتاج الخلايا البائية أيضًا إلى المزيد من تبادُل الإشارات من الخلايا التائية المُساعِدة لتنشيطها.

وبمجرَّد تنشيط الخلية البائية يزيد عددها، وتنتشر. يَنتُج عن ذلك عدد خلايا بائية يحتوي جميعها على مُستقبِلات خلايا بائية تتعرَّف على مُولِّد ضدٍّ معين. تُسمَّى هذه العملية بالانتقاء النسيلي. تتمايز الخلايا البائية المُنشَّطة الناضجة إلى أحد نوعين من الخلايا. بعضها يصبح خلايا الذاكرة البائية، التي تعيش لفترة طويلة في الجهاز المناعي، وهي على استعداد للتنشيط سريعًا إذا حفَّزها مُولِّد الضدِّ نفسه في المُستقبَل. ومعظم الخلايا البائية تصبح خلايا بلازما. خلايا البلازما خلايا بائية ليمفاوية تُنتِج كمِّيات كبيرة من الأجسام المضادَّة القابلة للذوبان والتي تُفرَز في مجرى الدم وسوائل الجسم الأخرى، وذلك بدلًا من وجود مُستقبِلاتٍ للأجسام المضادَّة محيطةٍ بسطح الخلية.

باستخدام هذه المعلومات يمكننا استنتاج أن خلايا الذاكرة تختلف عن خلايا البلازما؛ لأن خلايا الذاكرة تظلُّ في الدورة الدموية لمدَّة أطول.

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

غالبًا ما يُوصَف كلٌّ من الاستجابة المناعية الخلطية والاستجابة المناعية الخلوية بشكل منفصل، لكنهما تحدثان في الوقت نفسه داخل الجسم. العديد من الجوانب المُتعلِّقة بالاستجابة المناعية الخلطية يؤثِّر على استجابة المناعة الخلوية والعكس. هذان النوعان من الاستجابة المناعية هما وجهَا جهاز المناعة المكتسبة أو المُتخصِّصة.

النقاط الرئيسية

- يتضمَّن النظام المناعي التكيفي كلًّا من المناعة الخلوية والمناعة الخلطية.
- المناعة الخلطية تعتمد بشكل أساسي على عمل الخلايا الليمفاوية البائية التي تُنتِج بروتينات تُسمَّى الأجسام المضادَّة.
- تُنشَّط الخلايا البائية التي تحتوي على أجسام مضادَّة قادرة على الارتباط بمُولِّد ضدٍّ مُسبِّب المرض الذي يصيب الجسم.
- تتمايز الخلايا البائية المُنشَّطة لتصبح خلايا بلازما وخلايا ذاكرة.
- مناعة الأجسام المضادَّة فعَّالة ضدَّ مُسبِّبات الأمراض التي تُوجَد خارج الخلية.