المنبر

في

العلوم الحياتية

الثاني الثانوي / م3

للفرعين العلمي والزراعي

الوحدة الثانية: أنشطة فسيولوجية في جسم الإنسان

الفصل الثاني: نقل الغازات وآلية عمل الكلية، والإستجابة المناعية

المنهاج الجديد 2018

إعداد الأستاذ : عبدالرحمن مفلح
0798171595

مدارس الجامعة الثانوية الأولى

أولا : تبادل الغازات ونقلها

- تحدث عمليات تبادل كل من غازي الأكسجين وثاني اكسيد الكربون بين الحويصلات الهوائية والدم في الرئتين من جهة، وبين خلايا الجسم والشعيرات الدموية من جهة أخرى.

1- نقل الأكسجين في الدم

- ينقل **الشريان الرئوي** الدم فقير الأكسجين إلى الرئتين، ويوصله إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية.

- **فسر** :تتم عملية تبادل الغازات في منطقة الشعيرات الدموية؟

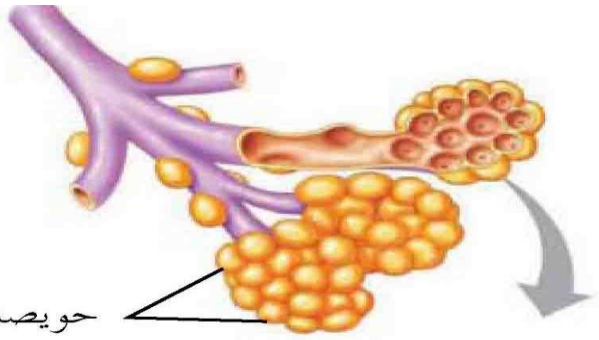
1- لأن الشعيرات الدموية رقيقة الجدران؛ فإنها تسمح بتبادل الغازات بسهولة.

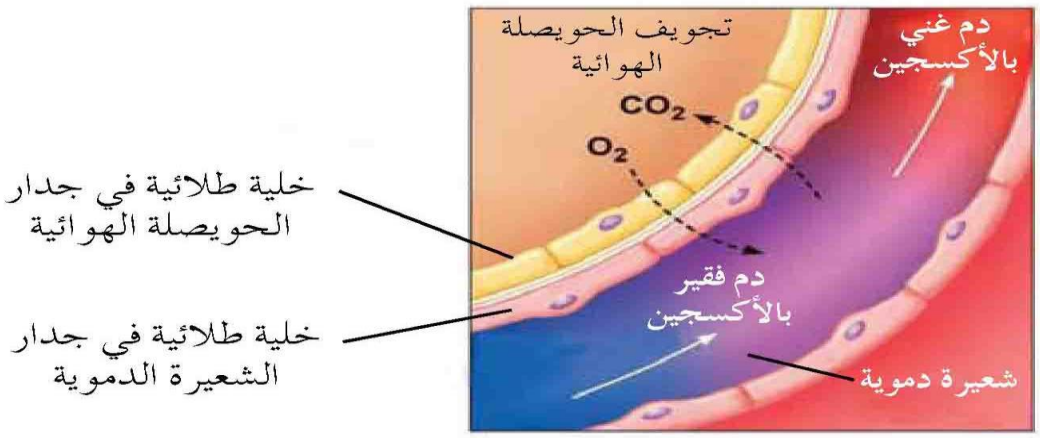
2- مساحة السطح الواسعة للحويصلات الهوائية تزيد من كفاءة عملية تبادل الغازات

3- وجود كميات كبيرة من الدم في الأوعية الدموية المحيطة بها.

- ما إتجاه نقل كل من غازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ؟

ينتقل غاز **الأكسجين** من الحويصلات الهوائية إلى الدم، بينما **غاز ثاني أكسيد الكربون** ينتقل من الدم إلى الحويصلات الهوائية.





الشكل (٢-٢٦): تبادل الغازات في الرئتين.

- ينتقل غاز الأكسجين من الحويصلات الهوائية إلى الدم و يمر خلال جدران الحويصلة الرقيقة، فجدران الشعيرات الدموية، وصولاً إلى بلازما الدم.
- **<u>طرق نقل الأكسجين في الدم:</u>**

أ- **2** % فقط من الأكسجين **يذوب في بلازما الدم**.

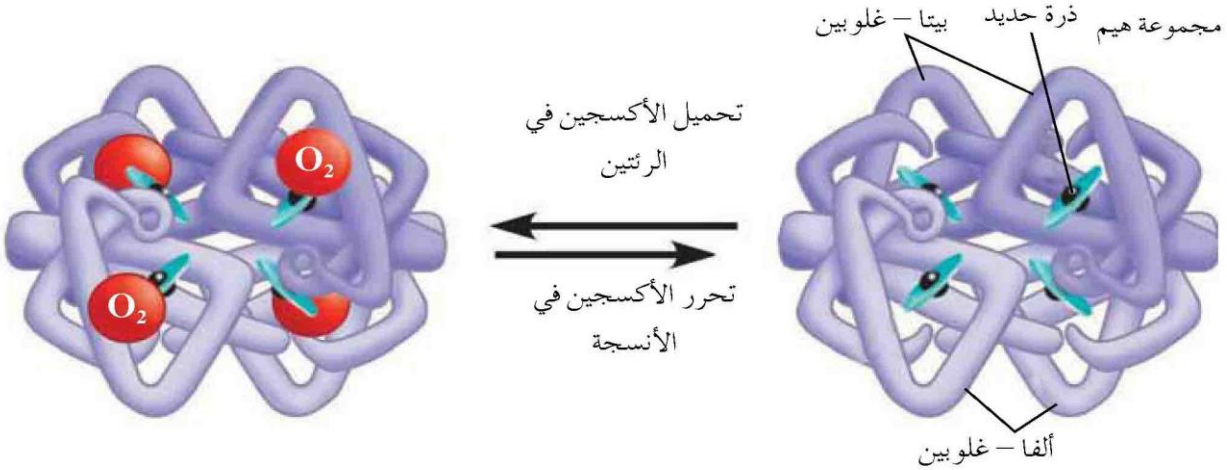
ب- **98** % تنتقل بواسطة **خلايا الدم الحمراء**. حيث يرتبط الأكسجين بمركب **الهيموغلوبين** الموجود في هذه الخلايا.

- **فسر**: النسبة الكبرى من الأكسجين تنتقل عن طريق خلايا الدم الحمراء؟
لأن ذائبية غاز الأكسجين في الماء قليلة .
- **<u>تركيب جزيء الهيموغلوبين:</u>**

- يتركب جزيء الهيموغلوبين من **4** سلاسل من عديد الببتيد: سلستين من نوع **ألفا غلوبين**، وسلسلتين من نوع **بيتا غلوبين**.

- ترتبط بكل سلسلة مجموعة عضوية تسمى **هيم**، وتحتوي كل منها على ذرة **حديد**.

- يمكن لكل ذرة حديد أن ترتبط ارتباطاً ضعيفاً بجزيء واحد من الأكسجين، لذا فإن كل جزيء من الهيموغلوبين قادر على الارتباط بأربعة جزيئات من الأكسجين عند الإشباع، مكوناً مركباً يدعى **الأكسيهيموغلوبين.**



الشكل (٢–٢٧): تركيب جزيء الهيموغلوبين.

- **<u>الضغط الجزئي</u>** لأي غاز يتناسب طردياً مع تركيزه.
- كل غاز في خليط الغازات يساهم في جزء من الضغط الكلي.
- تنتقل المواد من المناطق التي يكون فيها تركيز المادة أو ضغطها الجزئي **عالياً** إلى المناطق التي يكون فيها تركيز المادة أو ضغطها الجزئي قليلاً.

- **<u>العوامل التي تساعد على تحرر الأكسجين من جزيء الأكسيهيموغلوبين:</u>**

1- الضغط الجزئي للأكسجين PO_2	2- درجة الحموضةPH	3- درجة الحرارة
يتحرر الأكسجين من الدم، وينتقل إلى أنسجة الجسم عندما يكون ضغطه الجزئي(تركيزه) في أنسجة الجسم قليلا.	يزداد تحرر الأكسجين عندما تقل درجة الحموضة **PH**، ويزيد تركيز CO_2، في ما يعرف **<u>بتأثير بور</u>**	يزداد تحرر الأكسجين عند ارتفاع درجة حرارة الجسم إلى حد معين، مثل: ارتفاع درجة الحرارة في أثناء ممارسة التمارين الرياضية، وفي بعض الحالات المرضية مثل الإلتهاب .

- **ماذا يحدث عند وصول الدم إلى الشعيرات الدموية في أنسجة الجسم؟**

يكون الضغط الجزئي للأكسجين قليل، حيث يتفكك جزيء الأكسيهيموغلوبين، فيتحرر الأكسجين لتستفيد منه الخلايا تبعاً للمعادلة الآتية:

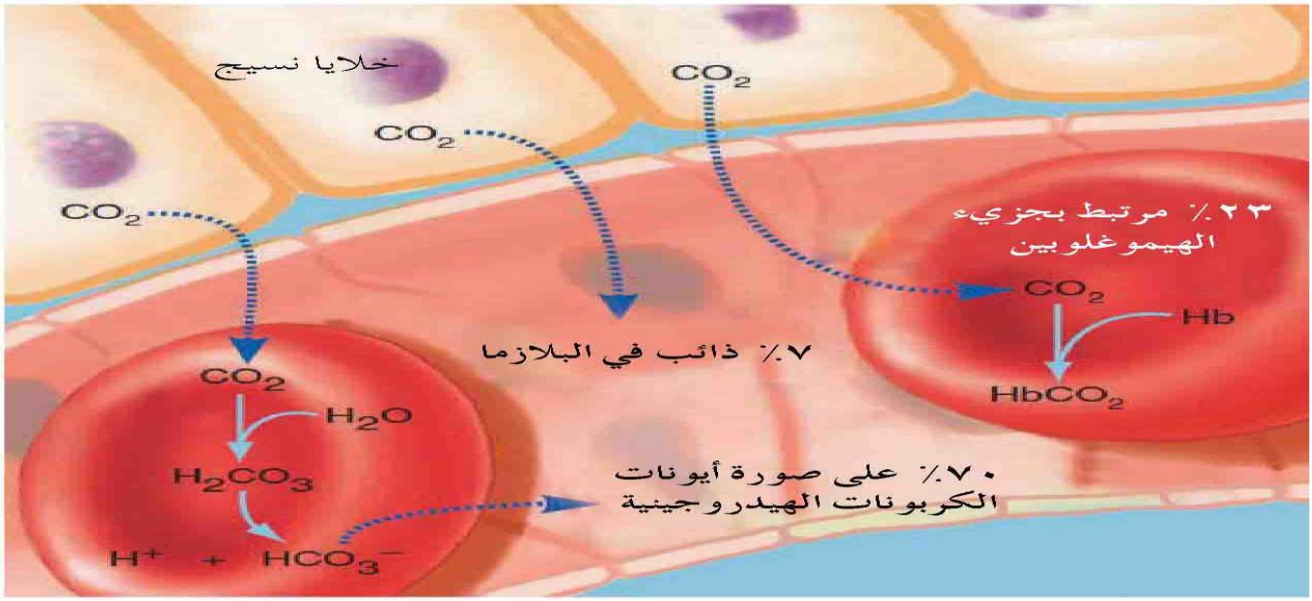
$$Hb + 4\ O_2 \longleftarrow Hb(O_2)_4$$

- **ماذا يحدث بعد وصول الأكسجين إلى خلايا الجسم ؟**

يستهلك بعملية التنفس الخلوي التي ينتج منها ثاني أكسيد الكربون، ونظراً إلى سميته للخلايا، فلا بد من التخلص منه .

2- نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم

- **إتجاه نقل ثاني أكسيد الكربون:** من خلايا الجسم (يكون فيها الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (Pco_2) عالياً) إلى الشعيرات الدموية المحيطة بها(يكون ضغطه الجزئي فيها قليلاً)



الشكل (٢—٢٩): أشكال نقل ثاني أكسيد الكربون في الدم.

- **<u>أشكال نقل (CO_2) في الدم:</u>**

أ- **<u>غاز CO_2 في بلازما الدم</u>** : إن نسبة (CO_2) التي يستطيع الدم نقلها ذائبة في البلازما قليلة، وهي **<u>7%</u>** من (CO_2) المنقول.

ب- **<u>كاربامينوهيموغلوبين</u>** : هو المركب الذي يتكون من اتحاد CO_2 بالهيموغلوبين.

- تبلغ نسبة (CO_2) المنقول بهذا الشكل نحو **<u>23 %</u>** من CO_2 المنقول .
- يتحلل كاربامينوهيموغلوبين عند وصوله إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالرئتين إلى هيموغلوبين وثاني أكسيد الكربون الذي ينتقل إلى الحويصلات الهوائية .

ج- **<u>أيونات الكربونات الهيدروجينية (HCO_3^-)</u>**:

- تمثل ما نسبته **70**% من **(CO_2)** الكلي المنقول.

1 - يتحد الجزء الأكبر من ثاني أكسيد الكربون مع الماء الموجود داخل خلايا الدم الحمراء بمساعدة **انزيم كربونيك إنهيدريز**، مكوناً **حمض الكربونيك**(H_2CO_3) .

2- يتفكك حمض الكربونيك داخل خلايا الدم الحمراء إلى أيونات الكربونات الهيدروجينية سالبة الشحنة (HCO_3^-)، وأيونات الهيدروجين **(H^+)** , كما في المعادلة التالية :

$$CO_2 + H_2O \underset{\text{كربونيك أنهيدريز}}{\rightleftharpoons} H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

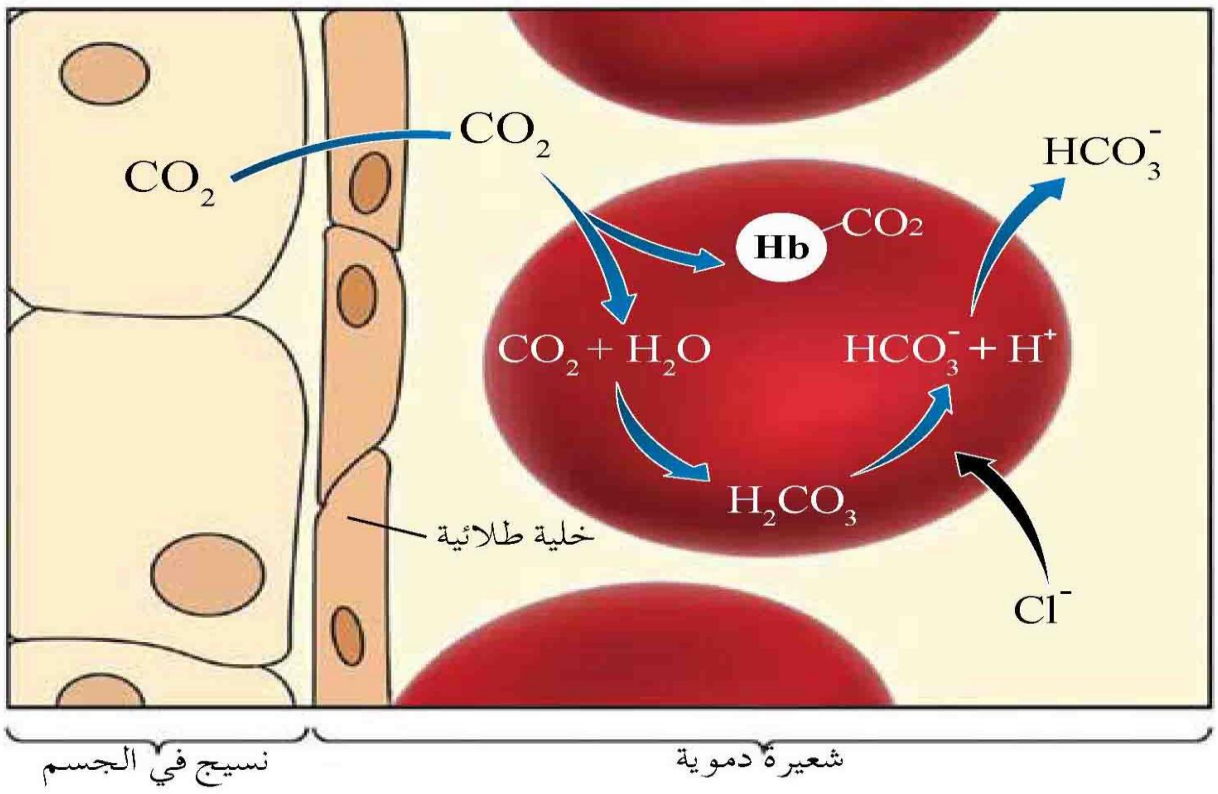
حمض الكربونيك — أيونات الكربونات الهيدروجينية — أيونات الهيدروجين

3-تغادر أيونات الكربونات الهيدروجينية خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم بواسطة **الإنتشار**.

4- يؤدي خروج أيونات الكربونات الهيدروجينية السالبة من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم إلى حدوث خلل في التوازن الكهربائي على جانبي كل غشاء بلازمي لكل خلية دم حمراء.

5-لإعادة التوازن ينتقل أيون الكلور السالب **(Cl^-)** الموجود بكميات كبيرة في بلازما الدم إلى داخل خلايا الدم الحمراء وتسمى هذه العملية : **<u>إزاحة أيونات الكلور</u>** .

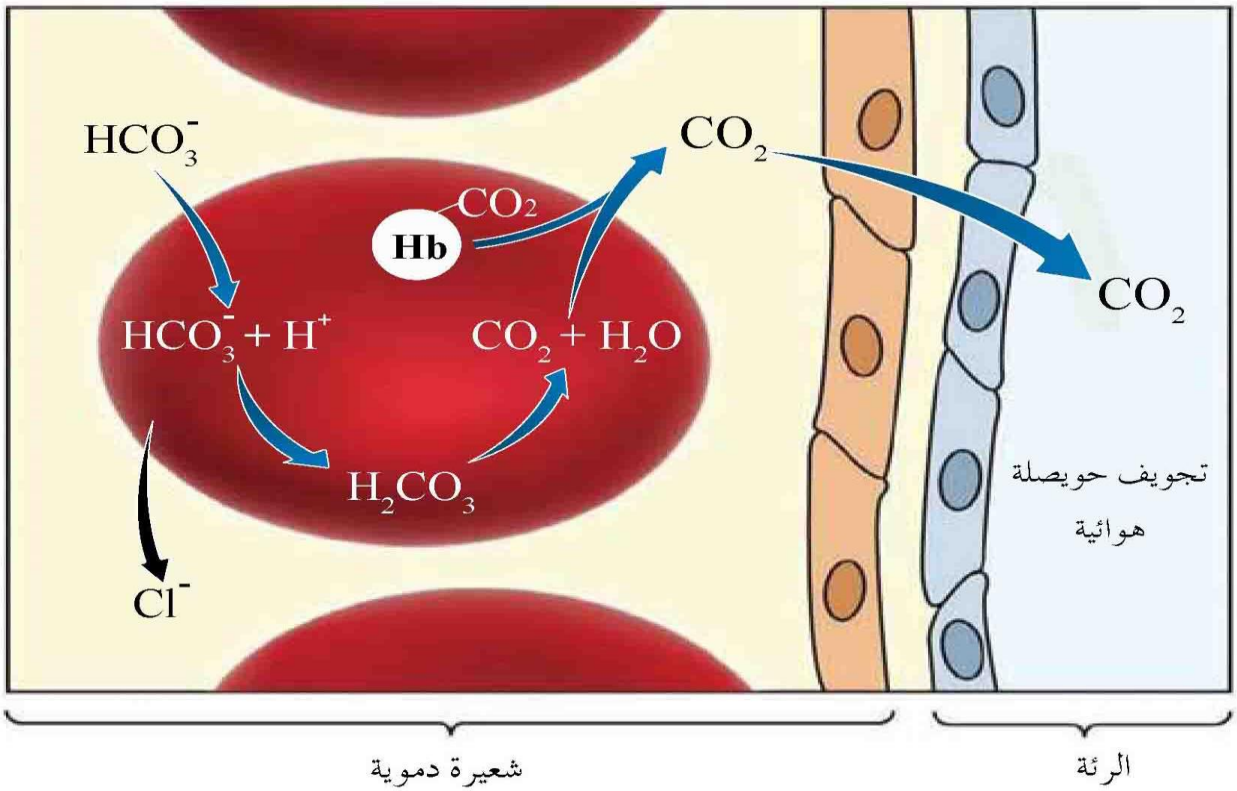
(كيف يمكن إعادة التوازن الكهربائي على جانبي كل غشاء بلازمي لكل خلية دم حمراء ؟)



الشكل (٢–٣٠): انتقال ثاني أكسيد الكربون من أنسجة الجسم إلى الدم.

6- عند وصول الدم إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية تنتشرأيونات الكربونات الهيدروجينية **(HCO_3^-)** في خلايا الدم الحمراء، وترتبط بأيونات الهيدروجين مكونة حمض الكربونيك الذي سرعان ما يتفكك إلى ماء وثاني أكسيد الكربون**(CO_2)** .

7- ينتقل **CO_2** من خلايا الدم الحمراء إلى بلازما الدم، ومنها إلى الحويصلات الهوائية ليغادر الجسم مع هواء الزفير .



الشكل (٢-٣١): انتقال ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الرئتين.

ثانيا : دور الكلية في تكوين البول

- وظائف الكلية :

1- تكوين البول (فضلات نيتروجينية ومواد غير عضوية زائدة عن حاجة الجسم) .

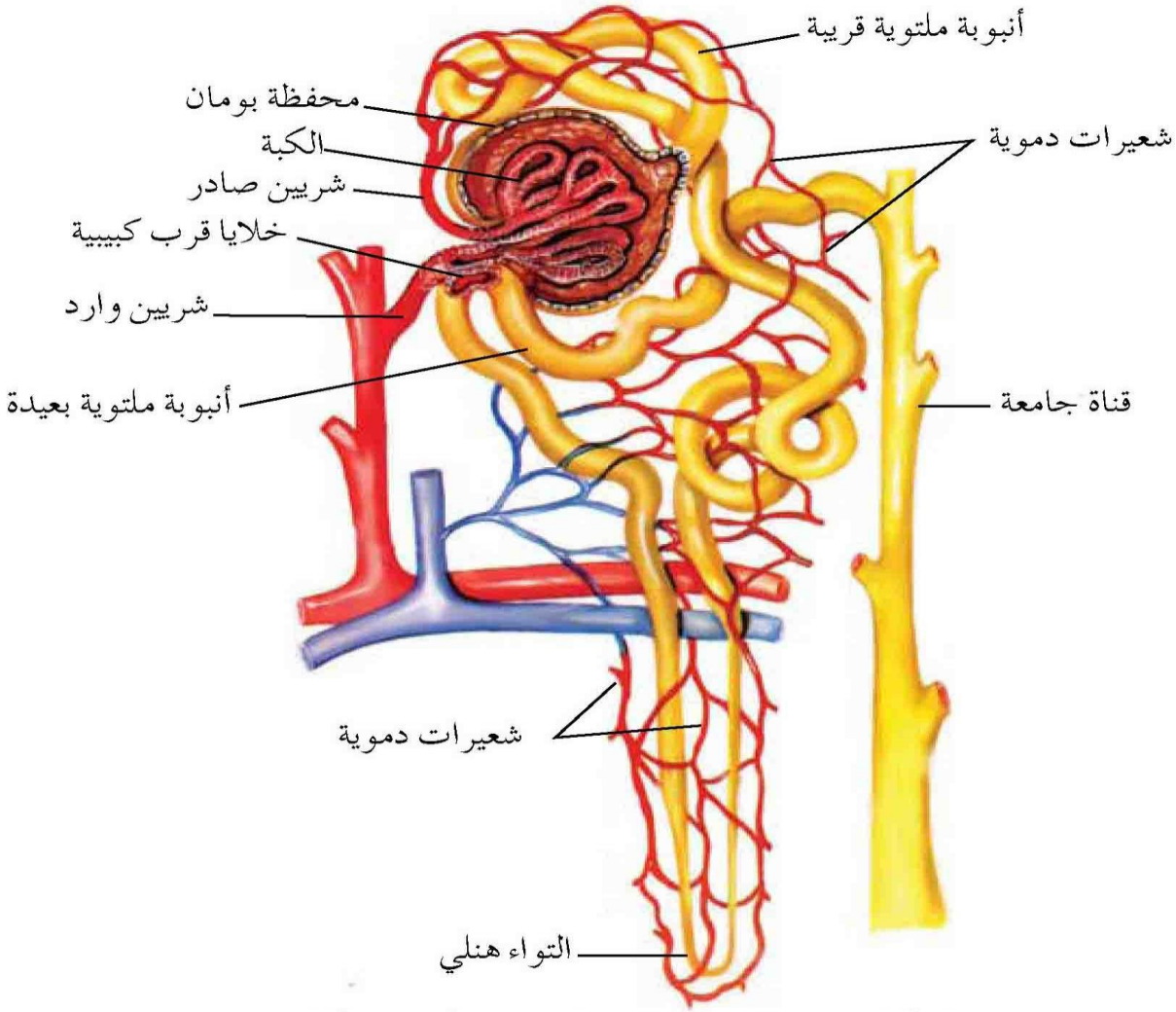
2- المحافظة على إتزان الماء والأملاح في الجسم(المحافظة على الإتزان الداخلي).

3-ضبط درجة حموضة الدم. **4** -ضبط ضغط الدم وحجمه.

- تعد **الوحدة الانبوبية الكلوية** الوحدة الأساسية المكونة للكلية؛ إذ يوجد في الكلية الواحدة نحو **(1.3)** مليون وحدة أنبوبية كلوية .

- يرشح الدم في الكلية مرات كثيرة في اليوم، وينتج من ذلك نحو **(1.5)** لتر يومياً من البول .

-يبين الشكل التالي تركيب الوحدة الأنبوبية الكلوية :



الشكل (٢-٣٢): تركيب الوحدة الأنبوبية الكلوية.

1- عمليات تكوين البول

- يتكون البول بـ **3** عمليات هي: **الإرتشاح، وإعادة الامتصاص، والإفراز الأنبوبي.**

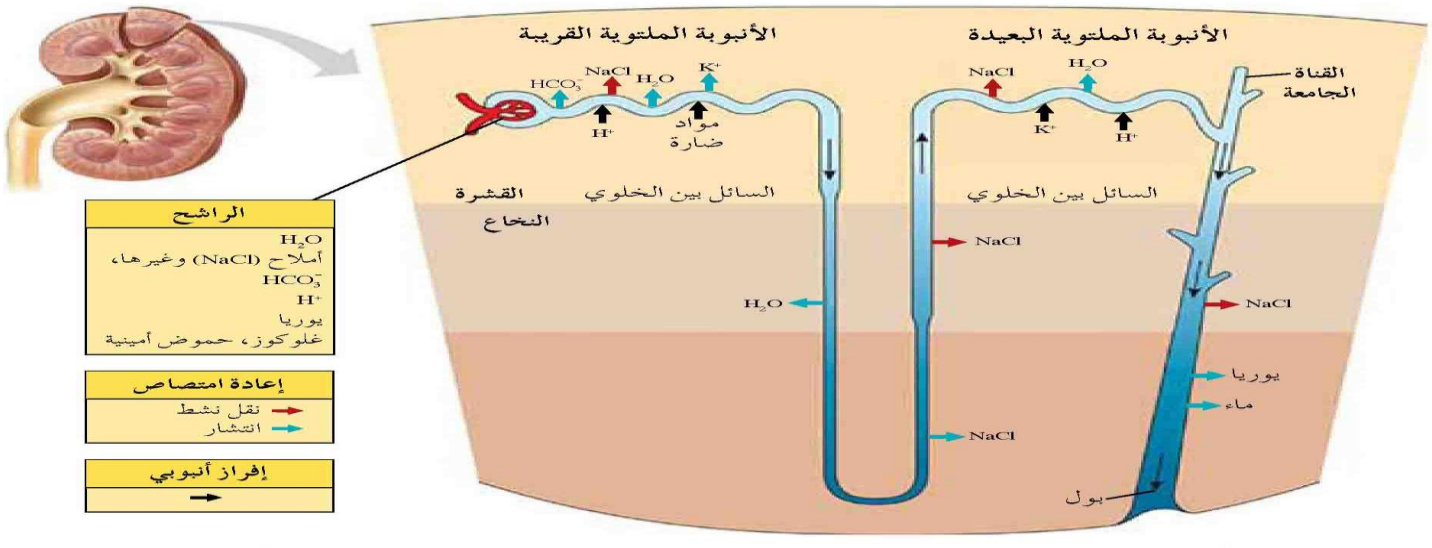
أ- الإرتشاح :

- يحدث الارتشاح في **الكبة**(هي **شبكة من الشعيرات الدموية عالية النفاذية** في الحويصلة الكلوية التي تتألف من الكبة ومحفظة بومان) .**(فسر: يحدث الإرتشاح في الكبة ؟)**
- ترشح المواد **صغيرة الحجم** (أيونات الصوديوم، وأيونات الكلور، وأيونات البوتاسيوم، وجزئيات الغلوكوز، والحموض الأمينية، والفضلات النيتروجينية الذائبة في البلازما) من الدم الذي يأتي عبر الشرايين الواردة، والذي يتجه نحو تجويف محفظة بومان.
- **خلايا الدم الحمراء** والمواد ذات **الحجم الجزئي الكبير** (مثل بروتينات البلازما) لا ترشح. ثم ينتقل ما تبقى من الدم في الشريين الصادر إلى الشعيرات الدموية المحيطة بالأنابيب الملتوية.
- يضبط الجهاز العصبي الذاتي معدل الارتشاح إذ تتحكم الأعصاب الودية في العضلات الملساء المكونة للشريين الوارد، وتساهم الهرمونات في هذه العملية.

(وضح كيف يضبط الجهاز العصبي الذاتي معدل الارتشاح؟)

ب- إعادة الإمتصاص :

- تحدث عملية إعادة الامتصاص في أجزاء الوحدة الأنبوبية الكلوية جميعها ما عدا الكبة .
- يحتوي الراشح على كثير من المواد التي لا يمكن الإستغناء عنها مثل: الغلوكوز، والحموض الأمينية، وأيونات الصوديوم، وأيونات البوتاسيوم، لذا يعاد امتصاص معظم هذه المواد.
- يعاد امتصاص ما نسبته **99**% من حجم الراشح الموجود في تجويف الأنبوبة الملتوية القريبة، والتواء هنلي، والأنبوبة الملتوية البعيدة، والقناة الجامعة، وما يحتويه من ماء ومواد مفيدة يحتاج إليها الجسم.
- يمكن إعادة امتصاص المواد إما **بالنقل النشط**، وإما **بالإنتشار** إلى السائل بين الخلوي، ثم إلى الشعيرات الدموية المحيطة بأجزاء الوحدة الانبوبية الكلوية.



الشكل (٢-٣٣): إعادة امتصاص بعض المواد في الوحدة الأنبوبية الكلوية.

ج- الإفراز الأنبوبي:

- يحدث في الأنبوبة الملتوية القريبة، والأنبوبة الملتوية البعيدة، والقناة الجامعة.

1- تنتقل **المواد السامة والضارة ونواتج أيض بعض العقاقير** تجنباً لخطرها من الشعيرات الدموية المحيطة بالوحدة الأنبوبية الكلوية الى تجاويف كل من : الأنبوبة الملتوية القريبة، والأنبوبة الملتوية البعيدة، والقناة الجامعة.

2- **يساهم الإفراز الأنبوبي في تنظيم درجة الحموضة في الجسم** (كيف ؟) وذلك بالتخلص من أيونات الهيدروجين **(H^+)** الزائدة وطرحها خارج الجسم، وامتصاص أيونات الكربونات الهيدروجينية **(HCO_3^-)** في ما يعرف **بالتوازن الحمضي القاعدي** .

- يكون الافراز الأنبوبي إما **بالنقل النشط،** وإما **بالإنتشار**.
- فسر : تعد عملية الإفراز الأنبوبي من العمليات المهمة التي تقوم بها الوحدة الأنبوبية الكلوية؟
  الجواب : **1** , **2** .

2- دور الهرمونات في ضبط عمل الكلية

أ- الهرمون المانع لإدرار البول (ADH)

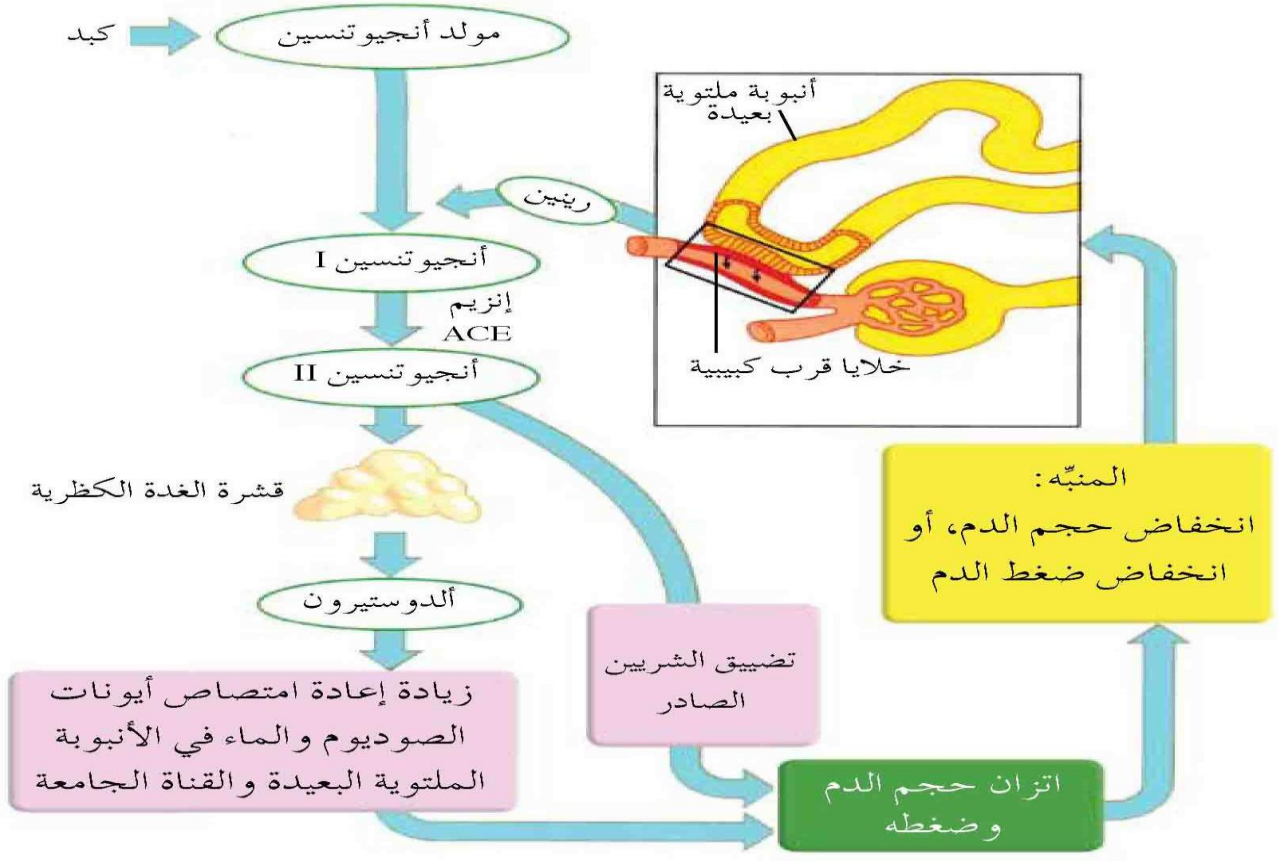
- تساهم الكلية وتحت المهاد والغدة النخامية الخلفية في **المحافظة على إتزان الماء في الجسم** عن طريق الهرمون المانع لإدرار البول . **(وظيفة الهرمون المانع لإدرار البول)**
- تؤدي زيادة تركيز المواد الذائبة في الدم إلى زيادة ضغطه الأسموزي، فتعمل المراكز الحسية للمستقبلات الأسموزية في تحت المهاد على تحفيز الغدة النخامية الخلفية المخزنة للهرمون المانع لإدرار البول (**ADH**) على إفرازه. (**آلية إفراز الـ ADH**)
- يزيد الـ **ADH** من نفاذية القناة الجامعة والجزء الأخر من الأنبوبة الملتوية البعيدة للماء؛ ما يؤدي إلى **زيادة إعادة امتصاصه** نحو السائل بين الخلوي، ثم إلى الشعيرات الدموية.
- تعمل زيادة تركيز المواد الذائبة في الدم أيضاً على تحفيز مراكز العطش، فيتناول الإنسان كميات أكبر من الماء، فيعود تركيز المواد الذائبة إلى الوضع الطبيعي .
- زيادة إفراز الهرمون المانع لإدرار البول تؤدي إلى نقص حجم البول.
- نقص إفراز الهرمون المانع لإدرار البول تؤدي إلى زيادة حجم البول.

- (وضح كيف ينظم الـ **ADH** الضغط الأسموزي للدم؟)
- (ما تأثير الـ **ADH** على القناة الجامعة و الأنبوبة الملتوية البعيدة ؟)
-(على أي عملية من عمليات تكوين البول يؤثر الـ**ADH** ؟)

زيادة تركيز المواد الذائبة في الدم(زيادة الضغط الأسموزي) ← تحفيز الغدة النخامية الخلفية على إفراز **ADH** ← يزيد هذا الهرمون من نفاذية القناة الجامعة والجزء الأخر من الأنبوبة الملتوية البعيدة للماء وتحفيز مراكز العطش فيتناول الإنسان المزيد من الماء

ب- رينين – أنجيوتنسين - ألدوستيرون

- عندما تقل كمية الدم الوردة إلى الكبة نتيجة **انخفاض حجم ضغط الدم** يقل تركيز أيونات الصوديوم وينخفض ضغط الدم في الشريين الوارد إلى الكلية، فتفرز الخلايا قرب الكبيبية الموجودة في جدران هذا الشريين إنزيم رينين .
- يحول إنزيم الرنين بروتين يسمى مولد أنجيوتنسين (المصنع في الكبد، والذي ينتقل في بلازما الدم) إلى أنجيوتنسين **I** .
- يتحول أنجيوتنسين**I** بفعل إنزيم يسمى محول أنجيوتنسين **ACE** (الذي تفرزه الخلايا الطلائية المبطنة للحويصلات الهوائية في الرئتين) إلى أنجيوتنسين **II**.
- يضيق أنجيوتنسين **II** الشريين الصادر، فيرفع ضغط الدم في الكلية، ويحفز قشرة الغدة الكظرية على إفراز **هرمون ألدوستيرون** الذي يسبب زيادة إعادة امتصاص أيونات الصوديوم والماء، فيرتفع مستواها في الدم، مسببة انتقال الماء بالخاصية الأسموزية من الأنبوبة الملتوية البعيدة والقناة الجامعة إلى السائل بين الخلوي ومنه إلى الدم، **فيزداد حجم الدم وضغطه** .
- س **1** : أين تحدث عملية تحويل أنجيوتنسين **I** إلى أنجيوتنسين **II**؟
- س **2** : ما تأثير أنجيوتنسين **II** في كل من : أ- الشريين الصادر , ب- قشرة الغدة الكظرية؟
- س **3** : ما تأثير ألدوستيرون في أجزاء الوحدة الأنبوبية الكلوية؟



الشكل (٢ – ٣٤): آلية عمل رينين– أنجيوتنسين – ألدوستيرون.

ج- العامل الأذيني المدر للصوديوم (ANF) :

- تفرزه خلايا متخصصة في الأذينين في القلب .
- يفرز عند زيادة ضغط الدم وحجمه .
- يعمل على تثبيط إفراز إنزيم رينين، وتثبيط الألدوستيرون، وهو ما يثبط إعادة إمتصاص أيونات الصوديوم والماء، **فيقل حجم الدم وضغطه**.
- ما تأثير زيادة إفراز الجسم للعامل الأذيني المدر للصوديوم في حجم البول؟ **زيادة حجم البول**

ثالثا : الإستجابة المناعية

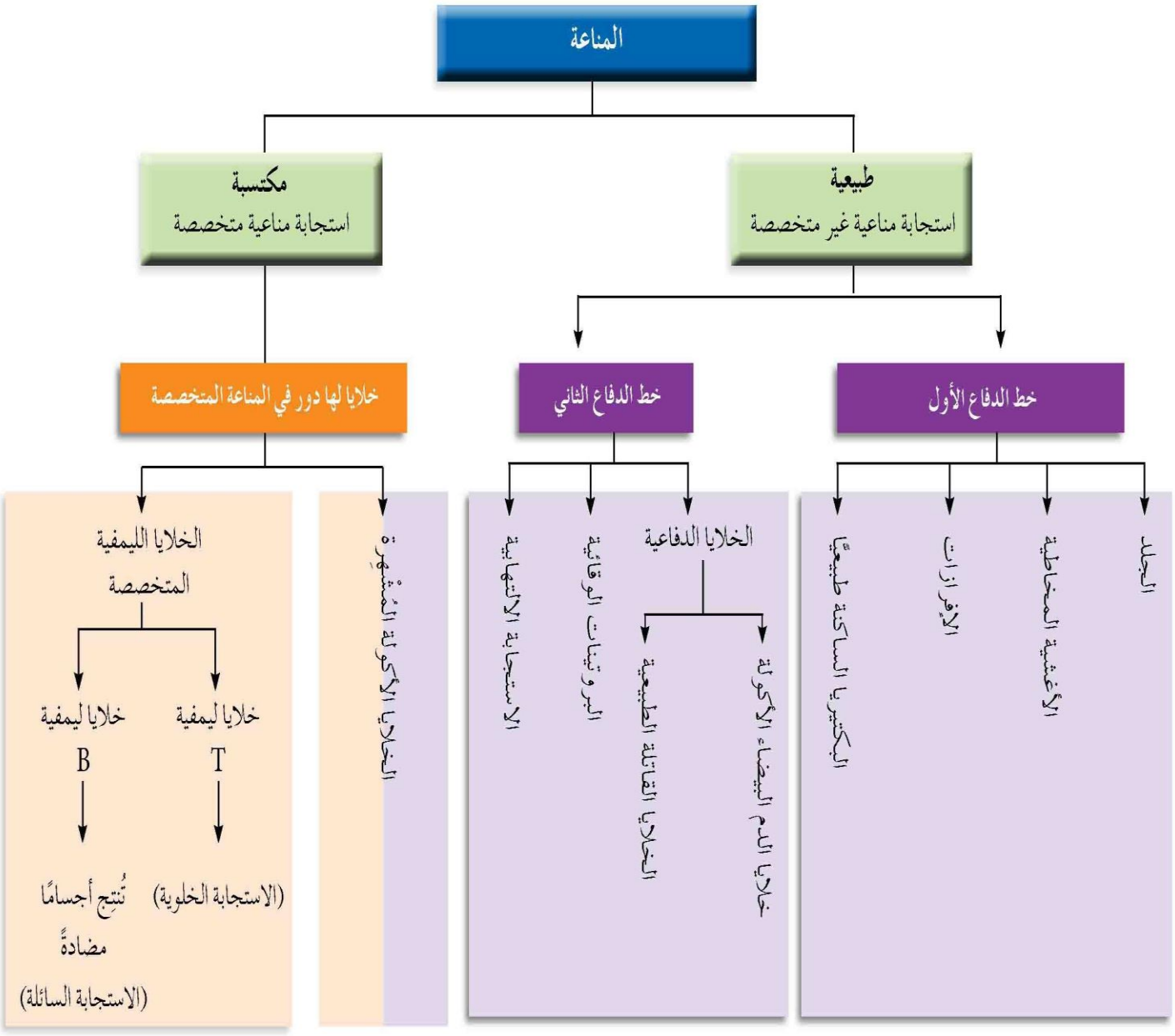
- وظيفة جهاز المناعة : حماية الجسم من مسببات الأمراض، ومقاومتها، والقضاء عليها وعلى الخلايا السرطانية والخلايا المصابة بالفيروسات .
- يتكون جهاز المناعة من مجموعة من الحواجز **الكيميائية والفيزيائية** ومن خلايا دم بيضاء قادرة على ابتلاع مسببات المرض وتحليلها , أو منع تكاثرها .

1-أنواع المناعة

- تقسم الاستجابة المناعية (المناعة) لدى الإنسان إلى نوعين رئيسيين، هما:

أ- المناعة الطبيعية (غير المتخصصة) .

ب-المناعة المكتسبة (المتخصصة) .



أ- المناعة الطبيعية (غير المتخصصة)

- **وظيفتها** : **1**- منع دخول مسببات الأمراض إلى الجسم . **2**- القضاء عليها فور دخولها
3- التخلص من الخلايا المصابة بها .
- تعد هذه المناعة غير متخصصة **(فسر)** لأنها لا تستهدف نوعاً محدداً من مسببات الأمراض .
- المناعة الطبيعية هي مناعة فطرية **(فسر)** : لأنها تتكون في جسم الإنسان منذ لحظة ولادته، وهي مناعة غير متخصصة تتصدى للأجسام الغريبة جميعها حال دخولها الجسم.

- **تشمل المناعة الطبيعية ما يأتي**:

1-خط الدفاع الأول

أ-حاجز الجلد: يعد الجلد السليم **حاجزاً فيزيائياً** مهماً يمنع دخول مسببات الأمراض، ويسبب العرق المفرز من الجلد إنخفاضاً في درجة حموضة الجلد، فيوفر رقماً هيدروجينياً منخفضاً، مما يقلل نمو كثير من أنواع البكتيريا على الجلد.

ب-الأغشية المخاطية: يمنع المخاط المفرز من الأغشية المخاطية المبطنة للقناة التنفسية والقناة الهضمية والجهاز البولي والتناسلي مسببات الأمراض من دخول خلايا الجسم.

ج-الإفرازات : يمثل كل من **الدموع واللعاب** حاجزاً يمنع وصول مسببات الأمراض إلى داخل الجسم بسبب احتواءها على انزيمات تحلل الأجسام الغريبة، فضلاً عن **حمض الهيدروكلوريك الموجود في المعدة** الذي يهضم الكثير من مسببات الأمراض الموجودة في الطعام.

د-البكتيريا الساكنة طبيعياً في الجسم: هي بكتيريا نافعة تعيش في أجزاء مختلفة من الجسم، مثل: سطح الجلد، والقناة الهضمية، وتعمل على ما يلي :
1- تنتج مواد تقتل البكتيريا الضارة مباشرة.
2- تفرز مواد تغير من درجة حموضة الوسط لجعله غير ملائم لعيش البكتيريا الضارة .
3- تستنفذ المواد الغذائية المتوافرة فتمنع حصول البكتيريا الضارة على غذائها، مما يسبب موتها.

2- خط الدفاع الثاني:

- يتكون هذا الخط من : الخلايا الدفاعية والبروتينات الوقائية والإستجابة الإلتهابية .

أ- الخلايا الدفاعية: تشتمل على خلايا **الدم البيضاء الأكولة، والخلايا القاتلة الطبيعية.**

خلايا الدم البيضاء الأكولة:

تضم هذه الخلايا أنواعاً عدة ، أبرزها:

- **الخلايا المتعادلة**: توجد هذه الخلايا في الدم، وفي أعضاء أخرى، مثل الكبد، والطحال، والرئتين، واللوزتين، وهي خلايا نهمة في ابتلاع مسببات الأمراض البكتيرية، لكنها لا تعيش طويلاً.
- **الخلايا الأكولة الكبيرة** : تعد هذه الخلايا في الأساس وحيدة النواة، وقد تكون **حرة** بحيث تتحول من نسيج إلى آخر، أو **مستقرة** في أعضاء معينة، مثل الطحال، والكبد.

الخلايا القاتلة الطبيعية :

- هي خلايا ليمفية توجد في الطحال، والعقد الليمفية، ونخاع العظم، ويمكنها تمييز الخلايا المصابة بالفيروسات والخلايا السرطانية، وقتلها لكنها غير متخصصة.
- تفرز الخلايا القاتلة الطبيعية مادتين هما:

1-برفورين: تحدث ثقوباً في غشاء الخلية المصابة.

2- إنزيمات حبيبية : تدخل خلال الثقوب لتحلل بروتينات الخلية المصابة مسببة موتها، ثم تبتلع الخلايا الأكولة الكبيرة الخلية الميتة بعملية البلعمة.

ب-البروتينات الوقائية: تشتمل على **البروتينات المتممة والإنترفيرونات .**

البروتينات المتممة

تتسبب في تحلل مسببات الأمراض الداخلة في الجسم، وتسهل عملية بلعمتها.

الإنترفيرونات

هي بروتينات تفرزها الخلايا المصابة بالفيروسات، فترتبط بالخلايا المجاورة، وتحفزها إلى إنتاج بروتينات مضادة للفيروسات تمنع تضاعف أعداد الفيروسات المهاجمة لها.

ج- الإستجابة الإلتهابية :

- تعمل مجموعة من المواد الكيميائية المفرزة من مسببات المرض وخلايا الجسم المصابة على جذب الخلايا الأكولة إلى منطقة الاصابة، وتزيد من تدفق الدم نحوها، إضافة إلى تزايد نفاذية الشعيرات الدموية في منطقة الإصابة، وهو ما يساعد على زيادة أعداد خلايا الدم البيضاء في المنطقة. **(وضح آلية عمل الإستجابة الإلتهابية ؟)**

- أعراض الإستجابة الإلتهابية:

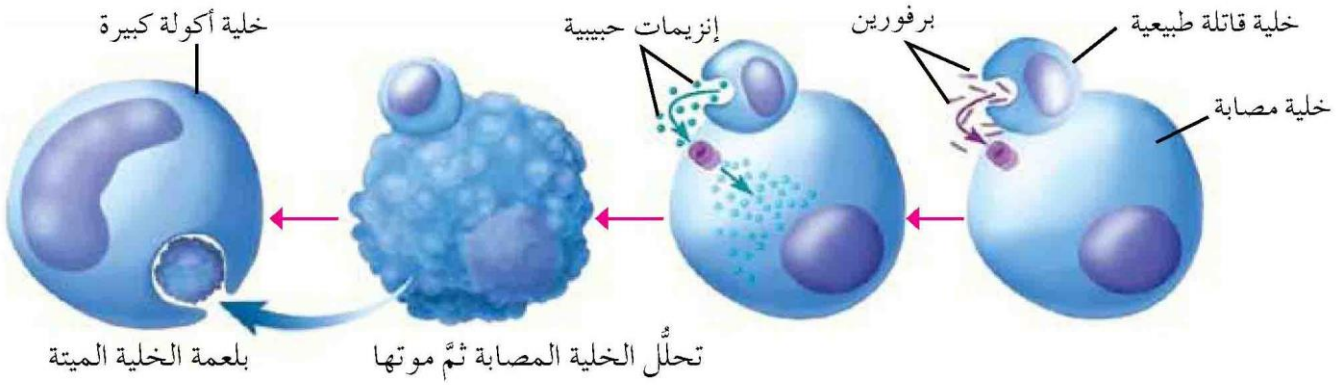
1- الإحمرار بسبب توسع الشعيرات الدموية.

2- الانتفاخ بسبب خروج البلازما من الدم.

3- احساس بالألم نتيجة تهيج النهايات العصبية.

4- ارتفاع درجة حرارة النسيج المصاب.

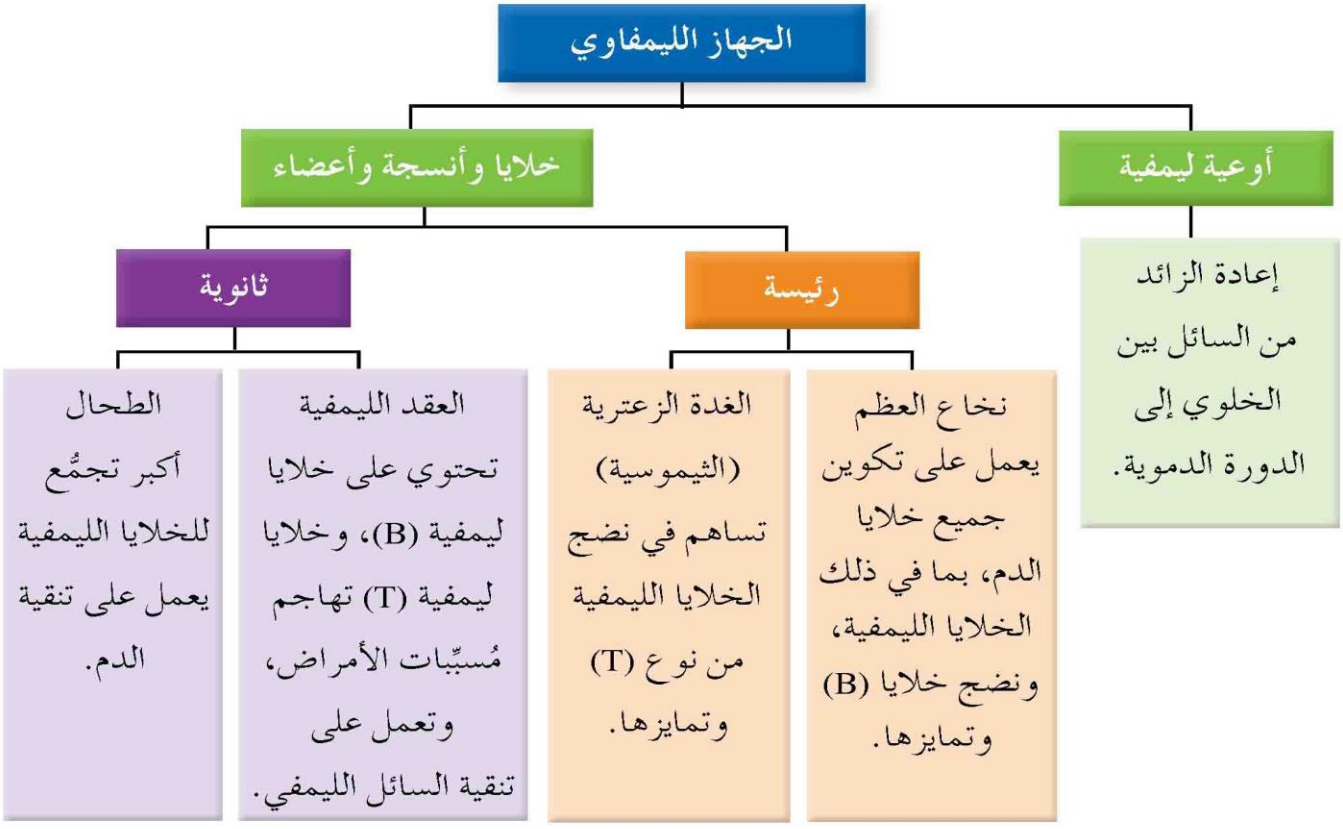
- يمثل الشكل التالي آلية عمل الخلايا القاتلة الطبيعية :



الشكل (٢-٣٦): آلية عمل الخلايا القاتلة الطبيعية.

ب- المناعة المكتسبة (المتخصصة)

- متى تحدث الاستجابة المناعية المكتسبة؟ حين يتجاوز مسبب المرض خط الدفاع الثاني.
- يعتمد حدوث هذه الاستجابة على الجهاز الليمفاوي.
- يتكون الجهاز الليمفاوي من عدة أجزاء:



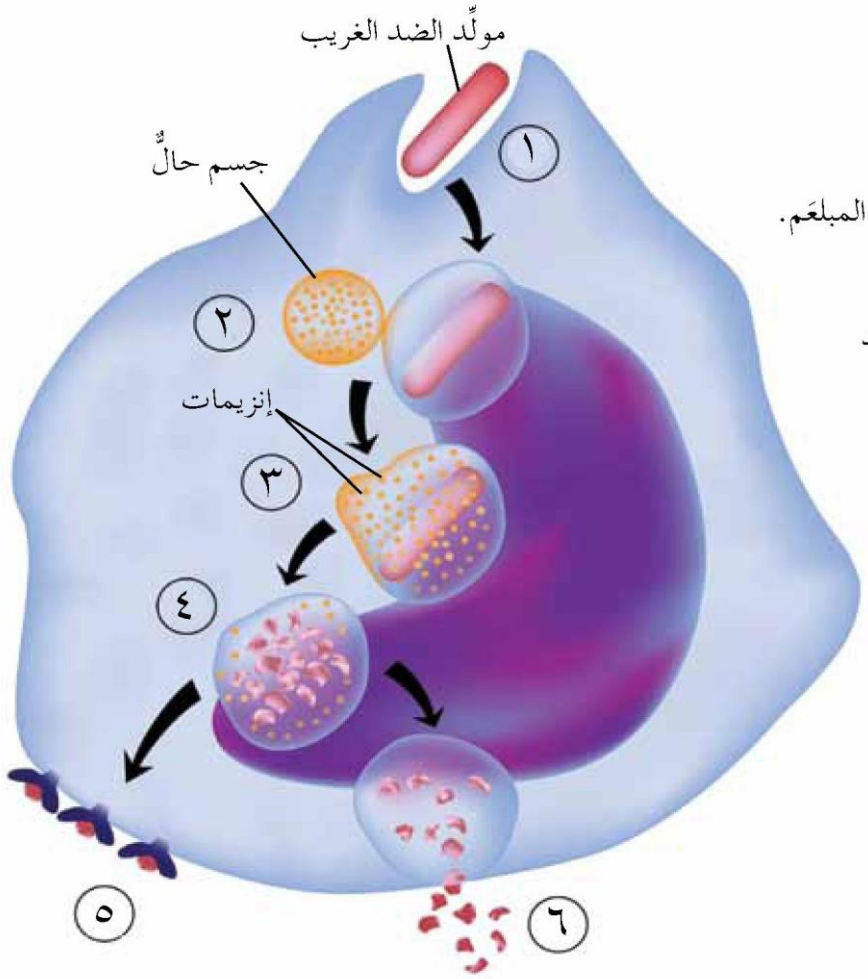
الشكل (٢-٣٧): بعض أجزاء الجهاز الليمفاوي، ووظائفها.

- يمتاز السطح الخارجي لخلايا جسم الإنسان بوجود الكثير من البروتينات التي يرتبط بعضها بمواد سكرية، ويميز الجسم هذه البروتينات السكرية بوصفها ذاتية (تخصه) .
- **مولد الضد الغريب** : أي مادة غريبة تحفز الجهاز المناعي إلى إحداث استجابة مناعية خاصة عند دخولها الجسم .

- **خلايا لها دور في المناعة المتخصصة:**

أ-الخلايا الأكولة المشهرة :

- هي خلايا أكولة كبيرة تشهر مولد الضد الغريب المسبب للمرض على سطحها .
-يمثل الشكل التالي آلية عمل الخلايا الأكولة المشهرة :



١ بلعمة مولِّد الضد الغريب.

٢ اتحاد الجسم الحالِّ مع الجسم المبلعَم.

٣ بدء الإنزيمات تحليل مولِّد الضد الغريب.

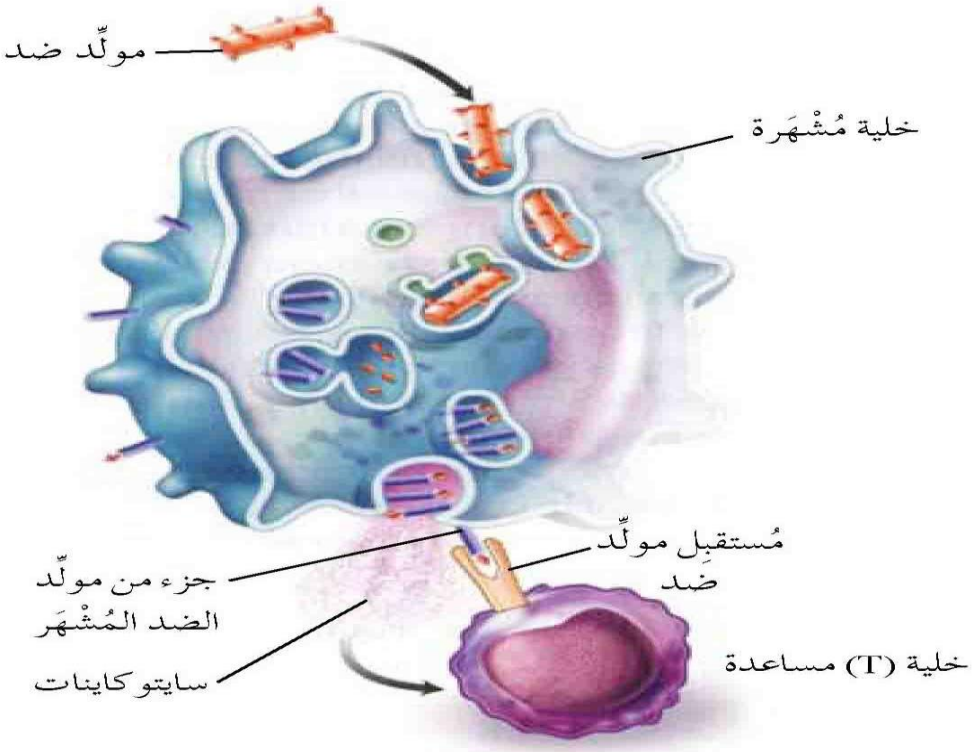
٤ تحطيم مولِّد الضد الغريب إلى أجزاء صغيرة.

٥ إشهار أجزاء من مولِّد الضد الغريب على سطح الخلية.

٦ التخلص من الأجزاء الأخرى بوساطة الإخراج الخلوي.

الشكل (٢-٣٨): آلية عمل الخلايا المُشْهِرة.

- تتحرك الخلايا المشهرة للبحث عن الخلايا الليمفية المسماة **خلايا (T)المساعدة** التي تحمل المستقبل الخاص بمولد الضد المشهر لترتبط بها.
- يعد ارتباط خلية **(T)** المساعدة بمولد الضد المشهر عملية منشطة لعمل خلايا **(T)** المساعدة.



الشكل (٢-٣٩): ارتباط خلية (T) المساعدة بمولّد الضد المُشْهَر.

ب-خلايا (T) المساعدة:

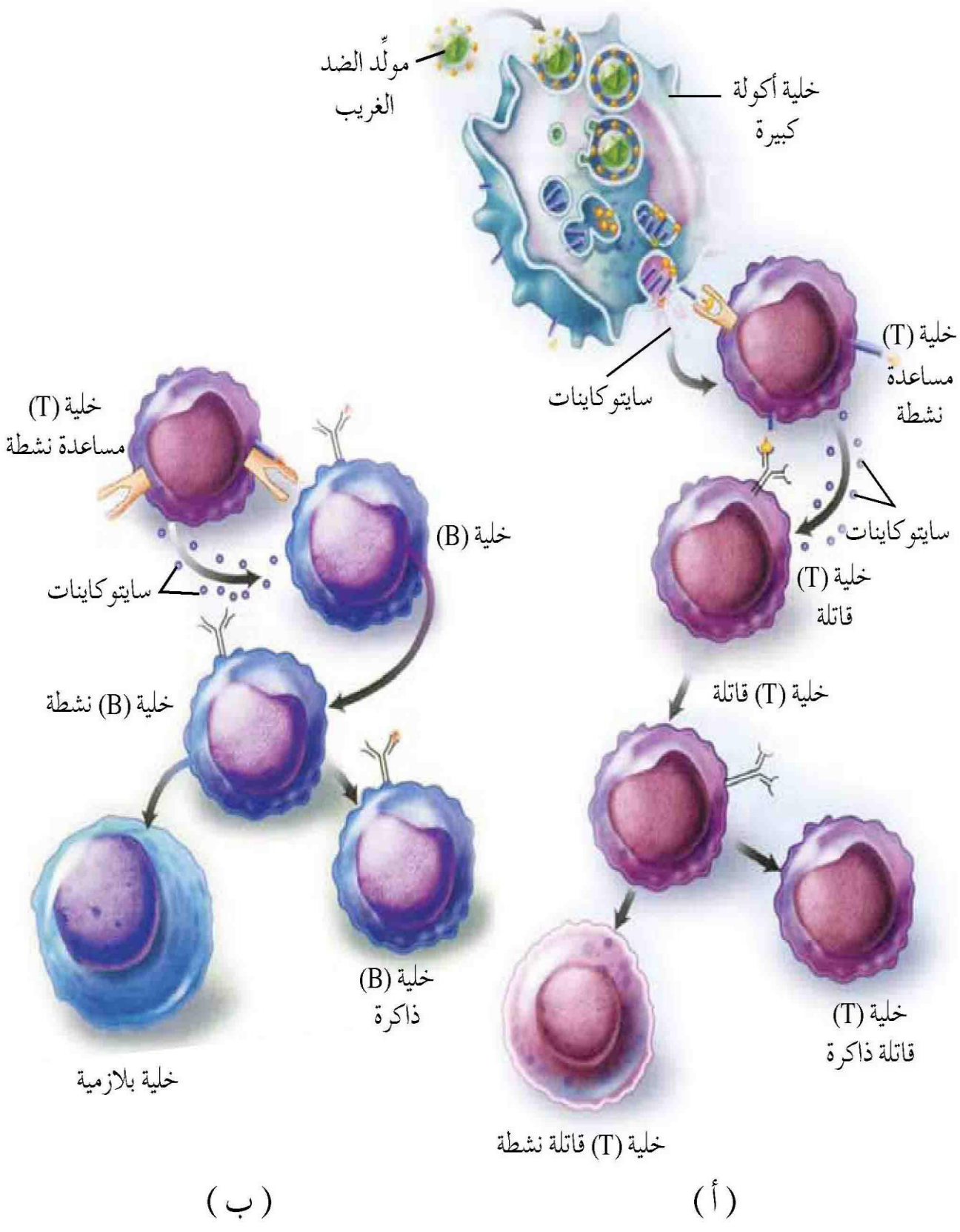
- هي خلايا ليمفية تساعد على اتمام عمل الخلايا المناعية الأخرى.
- يسبب ارتباط خلايا**(T)** المساعدة بمولد الضد المشهر إفراز الخلايا الأكولة المشهرة مواد كيميائية تسمى **سايتوكاينات** .
- وظيفة السايتوكاينات :

1- تحفز انقسام خلية **(T)** المساعدة، وتمايزها إلى نوعين من الخلايا، هما: **خلايا (T) مساعدة نشطة، وخلايا (T) مساعدة ذاكرة.**

2- تفرز خلايا **(T)** المساعدة النشطة سايتوكاينات تنشط **خلايا (T) القاتلة**، وتحفزها إلى الانقسام لتكوين : **خلايا (T) قاتلة نشطة، وخلايا (T) قاتلة ذاكرة** .

3-تحفز السايتوكاينات التي تفرزها خلايا **(T)** المساعدة النشطة، **خلايا (B)** فتصبح نشطة، وتنقسم لإنتاج :**خلايا بلازمية(تنتج أجسام مضادة) ، وخلايا (B) ذاكرة** .

- يوضح الشكل التالي آلية عمل خلايا **T** المساعدة :



الشكل (٢-٤٠): آلية عمل خلايا (T) المساعدة.

ج- خلايا (T) القاتلة:

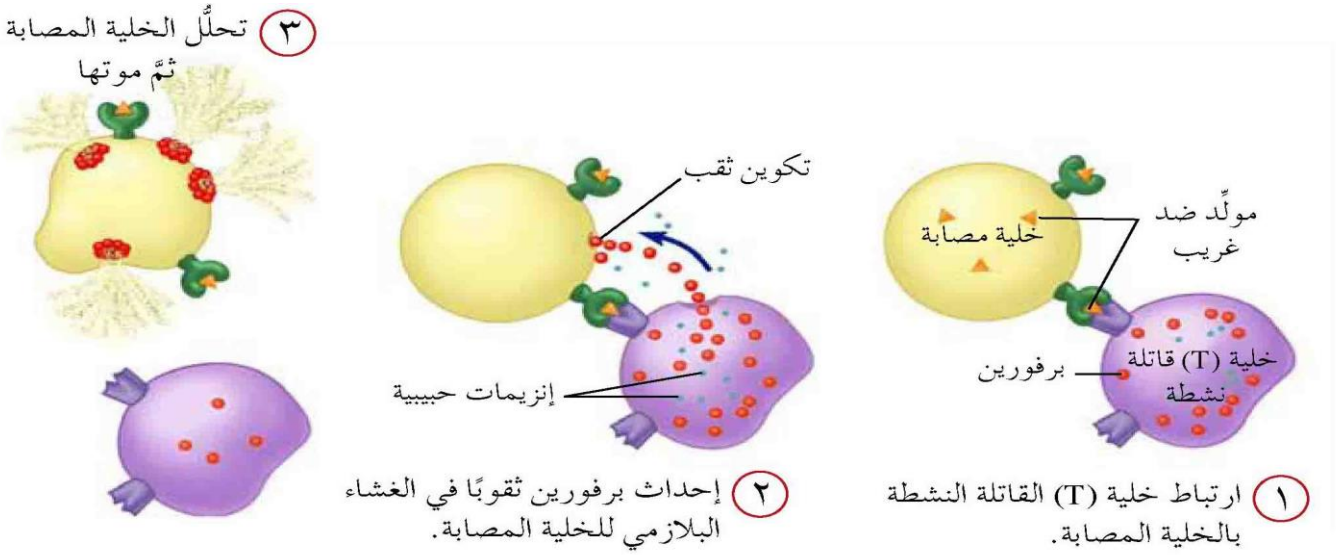
- هي خلايا ليمفية تهاجم الخلايا المصابة على النحو التالي :

1- تتعرف خلايا **(T)** القاتلة النشطة مولد الضد المشهر على سطح الخلايا المصابة بالمرض، وترتبط به فتفرز مادة كيميائية تسمى **برفورين** .

2- تعمل برفورين على إحداث ثقوب في الغشاء البلازمي للخلايا المصابة بالمرض.

3- ما يسمح بدخول إنزيمات حبيبية خاصة تحلل بروتينات الخلية المصابة مسببة موتها.

- الاستجابة المناعية التي تنتج من عمل الخلايا **(T)** الليمفية تعرف باسم **الاستجابة الخلوية**.



الشكل (٢–٤١): آلية عمل خلايا (T) القاتلة.

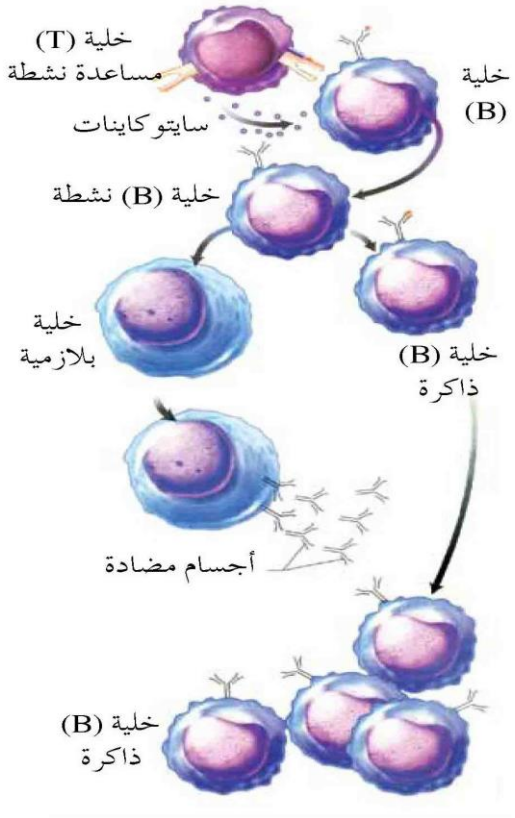
د- خلايا (B) :

- هي خلايا ليمفية تساهم بفاعلية في الاستجابة المناعية، وتتكامل مع خلايا مناعية أخرى.

- تبدأ خلايا **(B)** النشطة الانقسام لتكوين أعداد كبيرة من خلايا النوع نفسه، بحيث تتمايز إلى خلايا ذاكرة، وأخرى بلازمية تنتج **أجساماً مضادة** .

- **الجسم المضاد**: هو بروتين تنتجه الخلايا البلازمية لوجود مولد ضد معين بغرض تثبيطه.

- تعرف الاستجابة المناعية التي تعتمد على إنتاج الأجسام المضادة باسم **الاستجابة السائلة**.



الشكل (٢–٤٢): آلية عمل خلايا (B).

آلية عمل الاجسام المضادة :

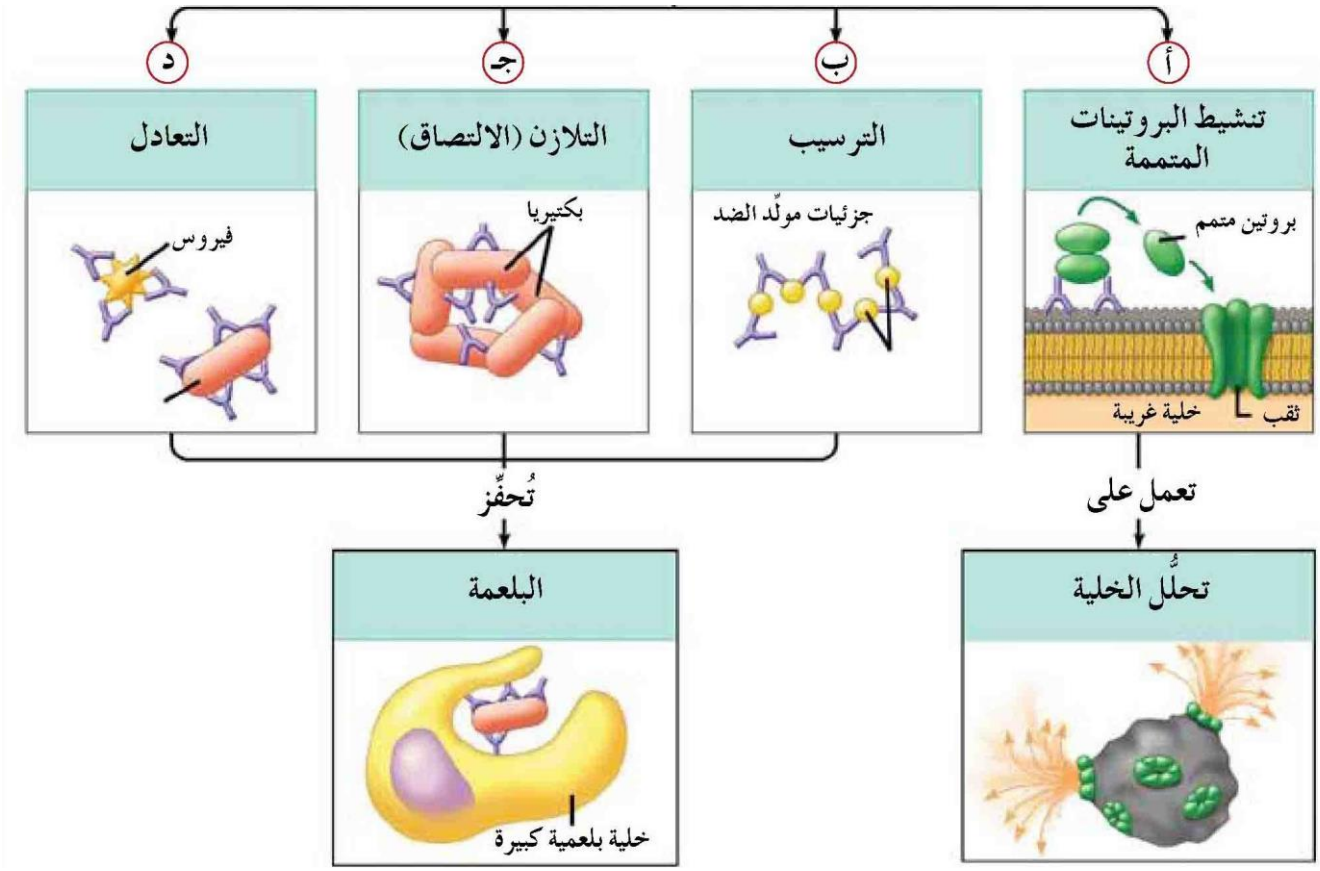
- من طرائق تثبيط مولد الضد عند ارتباطه بالجسم المضاد ما يلي :

أ- ارتباط الاجسام المضادة بالغشاء البلازمي للخلية المسببة للمرض (مولد الضد)، يليه **تنشيط البروتينات المتممة**، فيؤدي الارتباط إلى إحداث ثقوب في الغشاء البلازمي للخلية المسببة للمرض، ودخول السوائل إلى داخل الخلية، **فتتحلل الخلية**.

ب- إرتباط الأجسام المضادة بمولدات الضد مسببة **ترسيبها**، فتنشط الخلايا الأكولة، وتحدث عملية **البلعمة**.

ج- ارتباط الأجسام المضادة بمجموعة من مولدات الضد مسببة التصاق بعضها ببعض **(تلازنها)** فتنشط الخلايا الأكولة، وتحدث عملية **البلعمة**.

د- ارتباط الأجسام المضادة بمسبب المرض (مولد الضد) فيمنعه من الارتباط بخلايا الجسم وإلحاق الضرر بها**(التعادل)**، وتنشط الخلايا الأكولة، وتحدث عملية **البلعمة**.



- **فسر** : تمتاز الاستجابة المناعية المكتسبة (المتخصصة) بأنها موجهة؟

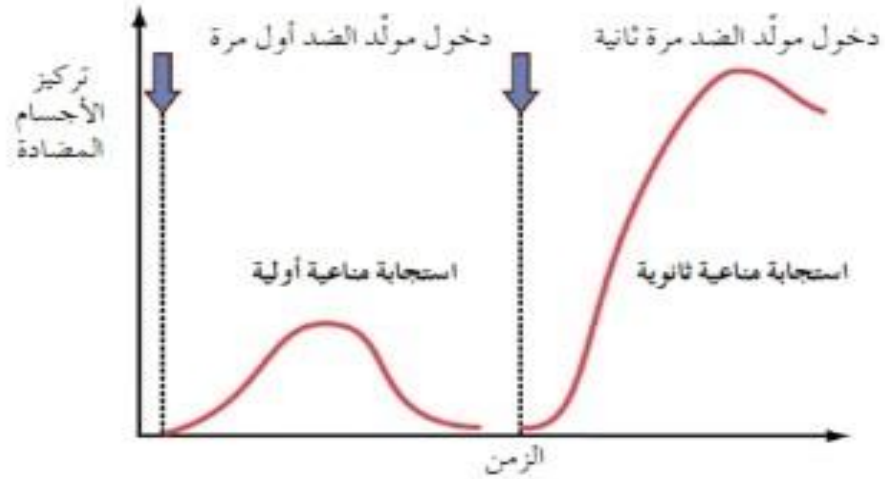
أي أنها قادرة فقط على :

1- تمييز مولد الضد الغريب الذي يسبب الاستجابة.

2- تكوين خلايا ذاكرة قادرة على تمييز مولد الضد إذا دخل مرة أخرى، والتعامل معه على نحو أسرع من تعاملها معه في المرة الأولى.

سؤال

ادرس الشكل (٢–٤٤) الذي يُوضّح الاستجابة المناعية عند تعرُّض الجسم لمولّد الضد الغريب نفسه في المرتين الأولى (استجابة مناعية أولية)، والثانية (استجابة مناعية ثانوية).



الشكل (٢–٤٤): الاستجابة المناعية لدى تعرُّض الجسم لمولّد الضد.

- قارن بين الاستجابة المناعية الأولية والاستجابة المناعية الثانوية من حيث تركيز الأجسام المضادة.
- أيُّهما تستغرق وقتًا أطول لبدء إنتاج الأجسام المضادة: الاستجابة المناعية الأولية أم الثانوية؟ فسّر إجابتك.

*** الجواب :**

- تركيز الأجسام المضادة في الاستجابة المناعية الأولية(دخول مولد الضد أول مرة) أقل من تركيزها في الاستجابة المناعية الثانوية (دخول مولد الضد مرة ثانية) .
- يستغرق انتاج الأجسام المضادة في الاستجابة المناعية الثانوية وقتا أقل من الوقت الذي يلزم لتكوينها في الاستجابة المناعية الأولية **(فسر)** وذلك بسبب تمييز مولد الضد الغريب من قِبل خلايا الذاكرة على نحو أسرع .

2- بعض إختلالات الجهاز المناعي

أ-تفاعل الحساسية:

- **فسر** : يعد تفاعل الحساسية اختلالاً مناعياً ؟

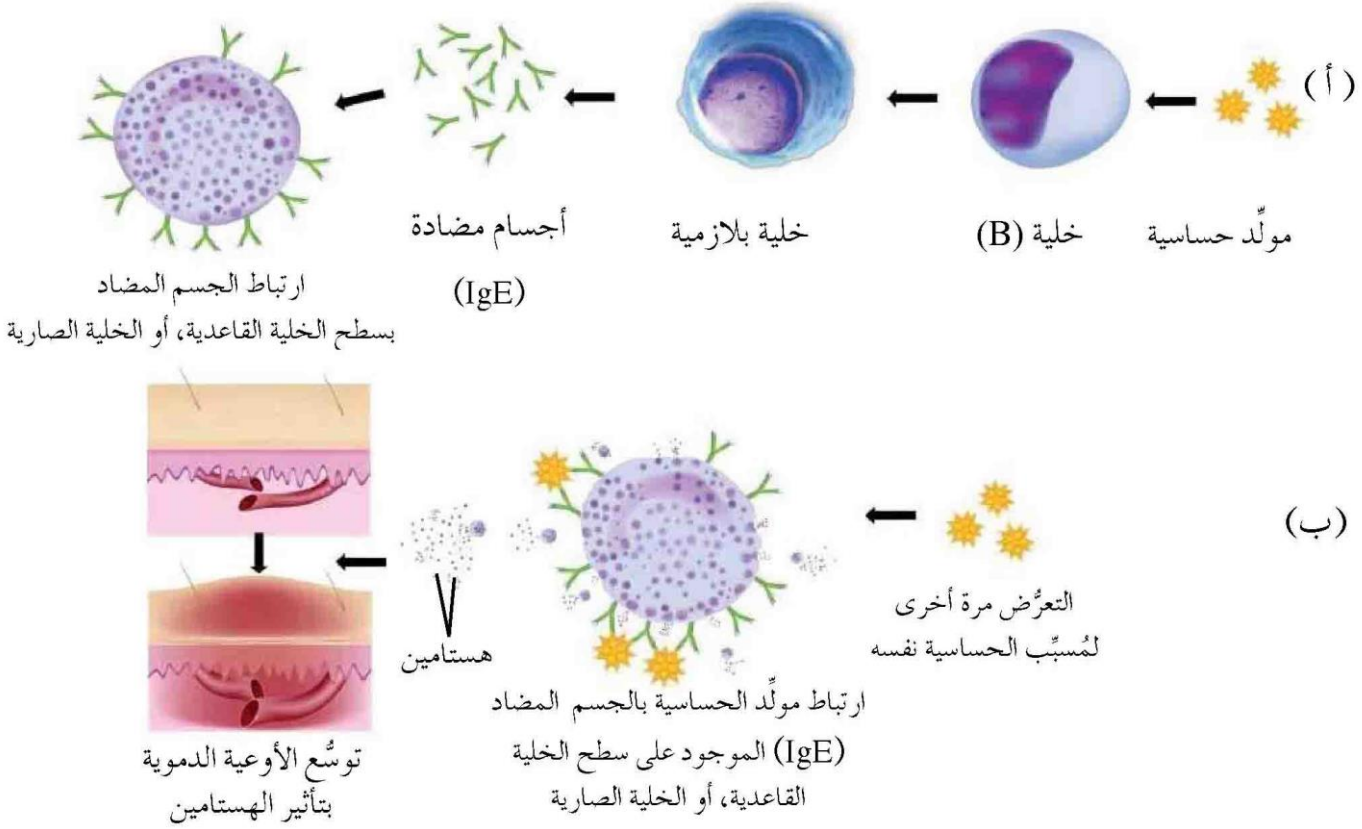
لأن جهاز المناعة يهاجم مواد غير ضارة تدخل الجسم. وتعرف هذه المواد باسم **المواد المسببة للحساسية** ,ومن أمثلتها: حبوب اللقاح، وابواغ بعض الفطريات، وبعض أنواع الأغذية.

- **سؤال** : وضح آلية تفاعل الحساسية عند التعرض لمسبب الحساسية أول مرة ؟

يحدث تفاعل الحساسية الأنفية مثلاً حين يتعرض الشخص لمولد الحساسية الذي يرتبط بالخلايا الليمفية **(B)** محفزاً إياها إلى الانقسام لتكوين خلايا بلازمية تنتج كميات كبيرة من أحد أنواع الأجسام المضادة الذي يسمى **(IgE)** , حيث يرتبط**(IgE)** بمستقبلات خاصة على الخلايا الصارية، والخلايا القاعدية الموجودة في الأنسجة.

- **سؤال** : وضح آلية تفاعل الحساسية عند التعرض لمسبب الحساسية نفسه مرة أخرى ؟

وعند التعرض مرة أخرى لمولد الحساسية نفسه يرتبط مولد الحساسية بالجسم المضاد **(IgE)** الموجود في الخلايا الصارية أو الخلايا القاعدية، محفزاً الحبيبات داخل هذه الخلايا إلى إفراز مادة **الهستامين** التي تعمل على توسع الأوعية الدموية لتصبح أكثر نفاذية للسوائل فضلاً عن ظهور بعض الأعراض مثل: الاحمرار، والانتفاخ، وزيادة افراز المخاط .



الشكل (٢-٤٥): تفاعل الحساسية: (أ) عند التعرُّض لمُسبِّب الحساسية أول مرة.

- كيف تعالج حالات الحساسية ؟
تعالج بأدوية تسمى **مضادات الهستامين** التي تعمل على ابطاء وصول الهستامين إلى الخلايا الهدف، مثل:الخلايا المفرزة للمخاط، وخلايا الأوعية الدموية، أو منعه من الوصول إليها.

ب- متلازمة نقص المناعة المكتسبة (AIDS):

- يصيب فايروس **(HIV)** الذي يسبب مرض الأيدز، الخلايا الليمفية **(T)** المساعدة .
-يؤثر فيروس (**HIV**) في خلايا **(T)** المساعدة بالطرق التالية :
1- يتكاثر داخل هذه الخلايا منتجاً فيروسات **(HIV)** جديدة كثيرة تصيب خلايا **(T)** مساعدة أخرى فيحللها، وبمرور الزمن تصبح أعداد الخلايا **(T)** المساعدة قليلة جداً وبالتالي يقل عدد خلايا **T** المساعدة النشطة وخلايا **T** المساعدة الذاكرة .
2-يقل تنشيط خلايا **T** القاتلة ويقل تحفيزها على الإنقسام **(ضعف الإستجابة الخلوية).**
3-تقليل تحفيز خلايا **B** فيقل إنتاج خلايا **B** الذاكرة والخلايا البلازمية وبالتالي قلة إنتاج الأجسام المضادة **(ضعف الإستجابة السائلة).**

3- الرفض المناعي

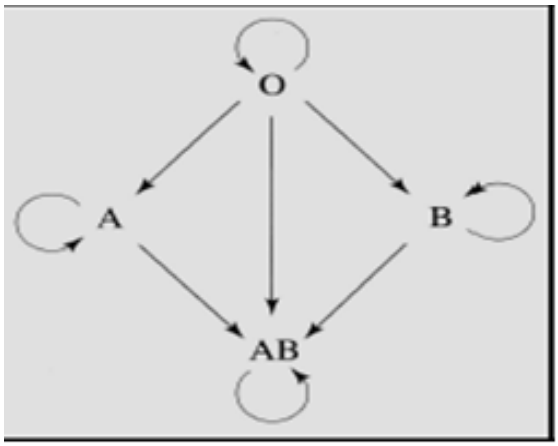
- يستطيع جهاز المناعة تمييز مولدات الضد الذاتية من مولدات الضد غير الذاتية، وبالتالي يتخلص من الأجسام الغريبة التي قد تدخل الجسم.
- ولكن الانسان في بعض الحالات المرضية، أو عند تعرضه لحادث معين، قد يحتاج إلى إجراء عملية زراعة عضو يتبرع به إنسان آخر، أو لعملية نقل دم من متبرعين.

- وفي هذه الحالات تجرى الكثير من الفحوصات لكل من المستقبل والمتبرع للتأكد من أنهما متوافقان مناعياً، وذلك تجنباً لحدوث **الرفض المناعي** في جسم المستقبل للعضو أو الدم المنقول ؛ إذ إن حدوثه يعرض المستقبل لخطر شديد قد يودي بحياته.

- لتوضيح الرفض المناعي سنعرض عملية نقل الدم بوصفها مثالاً على ذلك في حال عدم توافق كل من فصيلة دم المتبرع والمستقبل مناعياً.

أ- فصائل الدم حسب نظام ABO :

فصيلة الدم	مولد الضد على سطوح خلايا الدم الحمراء	الأجسام المضادة في بلازما الدم	فصيلة/ فصائل دم المتبرعين الملائمين
A	**A**	**Anti-B**	**O,A**
B	**B**	**Anti-A**	**O.B**
AB	**A,B**	**-------**	**O,B,A,AB**
O	**--------**	**Anti- A, Anti -B**	**O**



- حسب نظام **ABO** تعتبر فصيلة الدم **O معطي عام**.
- حسب نظام **ABO** تعتبر فصيلة الدم **AB مستقبل عام**
- عند نقل دم من شخص إلى آخر , يهتم الأطباء بـ :

1- نوع موّلد الضد الموجود على سطح خلايا الدم الحمراء لدم المتبرع.

2-نوع الأجسام المضادة في بلازما دم المستقبل.

- **فسر** : يحدث رفض مناعي عند نقل دم من شخص فصيلة دمه **B** إلى آخر فصيلة دمه **A** ؟

لأنه توجد أجسام مضادة **(Anti-B)** في بلازما دم الشخص الذي فصيلة دمه **(A)**؛ لذا لا يمكن نقل دم خلايا حمراء فصيلتها **(B)** إلى جسمه لأنها تحمل مولد الضد **(B)**، وتقتصر فصائل الدم المناسب نقلها إليه على فصيلة **(A)** أو فصيلة **(O)** فقط.

- **ماذا يحدث إذا نقل دم من متبرع فصيلة دمه غير متوافقة مناعيا مع فصيلة دم المستقبل ؟ (ماذا يحدث إذا اجتمع في الدم مولد ضد وجسم مضاد من نفس النوع , مثلا : مولد ضد A مع جسم مضاد Anti- A) ؟**

ترتبط الأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستقبل بمولدات الضد الموجودة على سطوح خلايا الدم الحمراء المنقولة إليه، مسببة تحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة فترتفع درجة حرارة المستقبل، ويحدث ارتعاش في جسمه، وفشل كلوي أحياناً، وقد تؤدي إلى وفاته في حال كانت كمية الدم المنقولة إليه كبيرة.

- فسر: يمكن للشخص صاحب فصيلة الدم **(AB)** استقبال دم من متبرعين فصائل دمهم :

(A,B,AB,O)

لأن بلازما دمه لايحمل أجسام مضادة , وبالتالي لا يحصل مضاعفات إذا إستقبل من **A**(يحمل مولد ضد **A**) أو من **B** (يحمل مولد ضد **B**) , أو من **O**(لا يحمل مولدات ضد) .

- **فسر** : حدوث رفض مناعي في جسم انسان فصيلة دمه **O** عند نقل دم إليه من متبرع فصيلة دمه **(A)** أو **(B)** ؟

ب-فصائل الدم حسب النظام الريزيسي (Rh) :

- يكون الشخص **موجب العامل الريزيسي (Rh^+)** في حال وجود مولد الضد **(D)** على سطوح خلايا دمه الحمراء، في حين يكون **سالب العامل الريزيسي (Rh^-)** في حال عدم وجود مولد الضد **(D)** على سطوح خلايا دمه الحمراء .
-يعبر عن **عدم** وجود مولد الضد (**D**) باستخدام الحرف الصغير **(d)**.
- جين وجود مولد الضد (**D**) سائد على جين عدم وجوده (**d**) .

*** ملاحظة :** - الطراز الجيني لشخص موجب العامل الريزيسي : **Dd** أو **DD**

- الطراز الجيني لشخص سالب العامل الريزيسي : **dd**

النظام الريزيسي	مولد الضد D	Anti- D
موجب العامل الريزيسي Rh^+	يوجد	لا يوجد
سالب العامل الريزيسي Rh^-	لا يوجد	لا يوجد

- لا يوجد أجسام مضادة لموّلد الضد **D** (**Anti- D**) في الحالة الطبيعية في دم سالبي العامل الريزيسي، بل تتكون فقط عندما يتعرض هؤلاء الأشخاص لموّلد الضد **D** (أي عندما ينتقل إليهم دم من أشخاص موجبو العامل الريزيسي) .
- يجب الأخذ في الاعتبار التوافق المناعي حسب نظام العامل الريزيسي عند إجراء أي عملية نقل دم.
- يمكن للشخص سالب العامل الريزيسي **(Rh^-)** التبرع بالدم للأشخاص سالبي العامل الريزيسي وموجبي العامل الريزيسي بشرط توافق الدم بينهما مناعياً بحسب نظام **(ABO)**.
- يمكن للشخص موجب العامل الريزيسي **(Rh^+)**. التبرع بالدم لآخر موجب العامل الريزيسي شريطة توافق الدم بينهما مناعياً بحسب نظام **(ABO)** لكنه **لا يستطيع** التبرع بالدم لشخص سالب العامل الريزيسي، إذ يتسبب دخول خلايا دم المتبرع التي تحمل مولد الضد **(D)** إلى جسم المستقبل في تكوين المستقبل أجساماً مضادة **(Anti- D)** في جسمه.
- يمكن لشخص فصيلة دمه **(B^-)** التبرع بالدم لشخص فصيلة دمه **(B^+)** غير أنه لا يمكن حدوث العكس.
- حسب نظام العامل الريزيسي تعتبر فصيلة الدم سالبة العامل الريزيسي**(Rh^-)** معطي عام .
- حسب نظام العامل الريزيسي تعتبر فصيلة الدم موجبة العامل الريزيسي**(Rh^+)** مستقبل عام .
- حسب نظام **ABO** ونظام العامل الريزيسي معا تعتبر فصيلة الدم **O^-** معطي عام .
- حسب نظام **ABO** ونظام العامل الريزيسي معا تعتبر فصيلة الدم **AB^+** مستقبل عام .

- **سؤال:** ماذا يحدث عند اجتماع مولد الضد **(D)** مع الجسم المضاد **(Anti- D)** في دم المستقبل؟

ترتبط الأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستقبل بمولدات الضد الموجودة على سطوح خلايا الدم الحمراء المنقولة إليه، مسببة تحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة فترتفع درجة حرارة المستقبل، ويحدث ارتعاش في جسمه، وفشل كلوي أحياناً، وقد تؤدي إلى وفاته في حال كانت كمية الدم المنقولة إليه كبيرة.

- **فسر** : لا يمكن لشخص فصيلة دمه O^+ التبرع بالدم لشخص فصيلة دمه AB^- ؟

حسب نظام **ABO** يمكن نقل دم من شخص فصيلة دمه **O** إلى آخر فصيلة دمه **AB** ولكن حسب نظام العامل الريزيسي فإنه لا يمكن نقل دم من شخص موجب العامل الريزيسي Rh^+ إلى آخر سالب العامل الريزيسي Rh^- , لأنه تتكون **(Anti- D)**عند الشخص السالب عندما يتعرض لموّلد الضد **D** وبالتالي يجتمع مولد الضد **D** و **(Anti- D)** في دم المستقبل ,فترتبط الأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستقبل بمولدات الضد الموجودة على سطوح خلايا الدم الحمراء المنقولة إليه، مسببة تحلل خلايا الدم الحمراء المنقولة .

- **سؤال:** ماهي فصائل الدم التي يمكن لأ صحابها التبرع بالدم لشخص فصيلة دمه B^- ؟

- سؤال : تزوج شاب فصيلة دمه **A** موجب النظام الريزيسي من فتاة فصيلة دمها **B** موجبة النظام الريزيسي فأنجبا طفلا فصيلة دمه **O** سالب النظام الريزيسي :

أ- أكتب الطرز الجينية لكل من الشاب , الفتاة , الطفل ؟

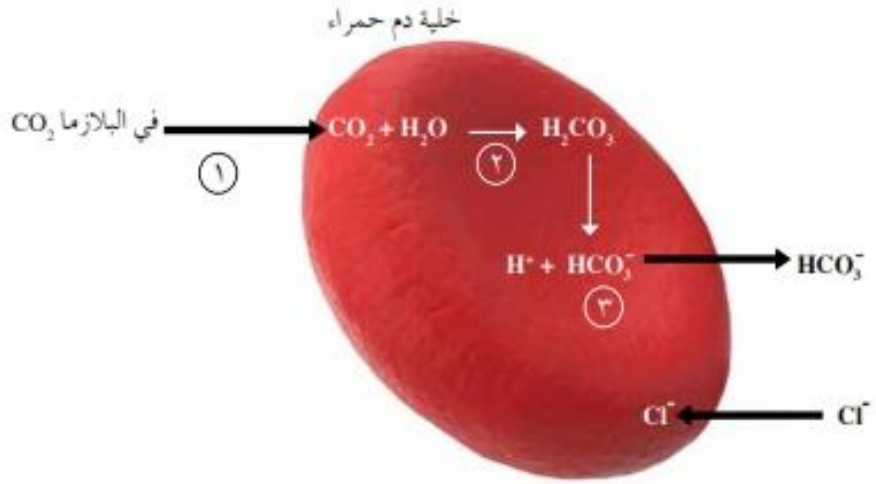
ب- أكتب جاميتات كل من الشاب , الفتاة ؟

ج- ما احتمال إنجاب طفل فصيلة دمه AB^- ؟

أسئلة الفصل

١ – اذكر العوامل التي تساعد على تحرُّر الأكسجين من الأكسيهيموغلوبين.

٢ – يُوضِّح الرسم (٢–٤٦) انتقال غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الدم. ادرسه، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٢–٤٦): أحد أشكال انتقال (CO_2).

أ – أيُّ أشكال نقل غاز ثاني أكسيد الكربون يُمثِّله الرقم (١)؟

ب – ما اسم الإنزيم الممثَّل بالرقم (٢)؟

جـ – ما اسم المادة المشار إليها بالرقم (٣)؟

د – فسِّر سبب انتشار أيونات الكلور السالبة داخل خلية الدم الحمراء.

٣ – يتصف أول أكسيد الكربون بأنه غاز لا لون له ولا رائحة، وبقدرته الفائقة على الارتباط بالهيموغلوبين. ما أثر وجود تركيز عالٍ من هذا الغاز الناتج من عمليات الاحتراق غير الكاملة في انتقال غاز الأكسجين في الدم؟

٤ – يعاني أحدُ الأشخاص وجودَ بروتينٍ في البول. برأيك، أيُّ أجزاء الوحدة الأنبوبية الكلوية أصابها الضرر؟ ولماذا؟

٥ – نُقِل شخص إلى المستشفى بعد فقده كميات كبيرة من الدم. كيف يُؤثّر ذلك في إفراز الرينين، والألدوستيرون، والعامل الأذيني المُدِرّ للصوديوم؟ وما تأثير كلٍّ منها؟

٦ – قارن بين المناعة الطبيعية والمناعة المتخصصة من حيث الخلايا التي تُشارِك في كلٍّ منها.

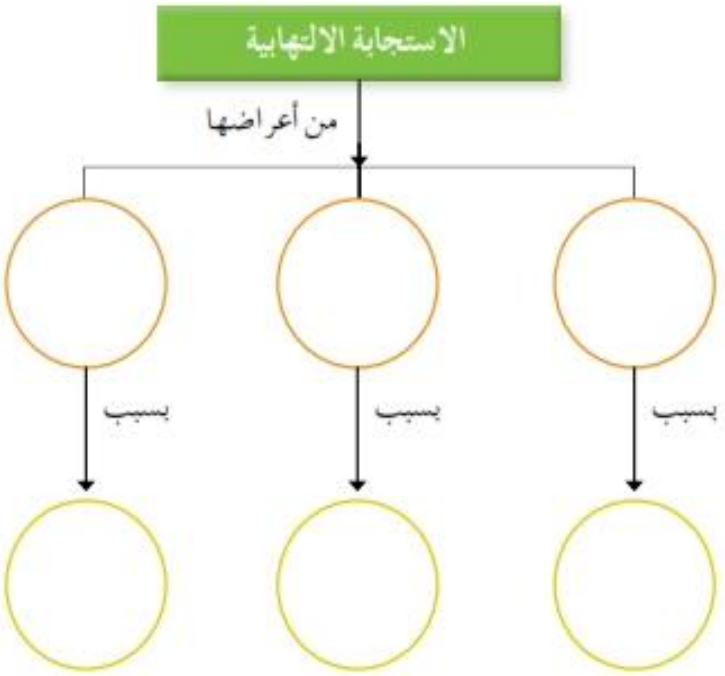
٧ – فيمَ تختلف الخلايا القاتلة الطبيعية عن الخلايا (T) القاتلة؟

٨ – ماذا تُفرِز كلٌّ من:

أ – الخلية (T) المساعدة النشطة.

ب – الخلية (T) القاتلة النشطة المرتبطة بخلية جسم مصابة.

٩ – أكمل الشكل (٢–٤٧) الذي يُمثّل خريطة مفاهيمية للاستجابة الالتهابية:



الشكل (٢–٤٧): الاستجابة الالتهابية.

١٠- اكتب اسم المصطلح العلمي الدال على كلٍّ من العبارات الواردة في الجدول الآتي:

الرمز	العبارة	المصطلح
أ	وعاء دموي ينقل الدم فقير الأكسجين إلى الرئتين.	
ب	مركّب ينتج من اتحاد جزيء هيموغلوبين بجزيئات الأكسجين.	
جـ	عملية انتقال أيونات الكلور (Cl^-) من بلازما الدم إلى داخل خلايا الدم الحمراء لإعادة التوازن الكهربائي.	
د	الوحدة الأساسية المُكوِّنة للكلية.	
هـ	إنزيم تُفرِزه الخلايا الطلائية المبطنة للحويصلات الهوائية، فيُضيِّق الشريين الصادر، ويرفع ضغط الدم في الكبة.	
و	خلايا دم بيضاء تُعَدُّ أساسًا وحيدة النواة، وقد تكون حرّة في الدم، أو مستقرة في أعضاء معينة.	
ز	أيُّ مادة غريبة تُحفِّز الجهاز المناعي إلى إحداث استجابة مناعية عند دخولها الجسم.	

إجابات أسئلة الفصل

السؤال الأول:

- انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين Po_2
- إرتفاع درجة الحموضة .
- إرتفاع درجة الحرارة .

السؤال الثاني :

أ- ذائبا في بلازما الدم . ب- كربونيك إنهيدريز ج- أيونات الكربونات الهيدروجينية
د- لإعادة التوازن الكهربائي داخل خلايا الدم الحمراء.

السؤال الثالث :

يرتبط غاز أول أكسيد الكربون بالهيموغلوبين ويقلل من ارتباط غاز الأكسجين، وبالتالي تقل كمية الأكسجين التي تصل إلى الخلايا حيث تتأثر العمليات الحيوية في الجسم , وبزيادة تركيز أول أكسيد الكربون في الدم قد يؤدي إلى الوفاة.

السؤال الرابع :

الكبة؛ إذ تتم فيها عملية الارتشاح وعادة لا ترشح الجزيئات كبيرة الحجم مثل البروتين وإذا وجدت في البول يدل ذلك على ارتشاحها مما يدل على وجود خلل في الكبة.

السؤال الخامس :

- عند فقد الشخص لكميات كبيرة من الدم يؤدي ذلك إلى انخفاض ضغط الدم وحجمه الذي يعد منبها لإفراز إنزيم رينين من خلايا قرب كبيبية **فيزداد إفراز الرينين**. يعمل رينين على تحويل مولد انجيوتنسين إلى انجيوتنسين **i** .

- تحفز قشرة الغدة الكظرية بتأثير من انجيوتنسين**ii** **لتفرز هرمون ألدوستيرون** الذي يعمل على زيادة إعادة امتصاص أيونات الصوديوم والماء في الأنبوبة الملتوية البعيدة مما يؤدي إلى زيادة حجم الدم وضغطه.

- يقل إفراز **العامل الأذيني المدر للصوديوم.**

السؤال السادس :

- المناعة الطبيعية: خلايا الدم البيضاء الأكولة(الخلايا المتعادلة، والخلايا الأكولة الكبيرة) و الخلايا القاتلة الطبيعية.
- المناعة المتخصصة: الخلايا الأكولة المشهرة , خلايا **T** الليمفية , الخلايا الليمفية **B** .

السؤال السابع :

- الخلايا القاتلة الطبيعية: من خلايا خط الدفاع الثاني وتمتاز بقدرتها على تمييز وقتل الخلايا المصابة بالفيروسات والخلايا السرطانية وهي غير متخصصة.
- خلايا **T** القاتلة : نو ع من الخلايا الليمفية، تهاجم الخلايا المصابة بعد تعرفها على مولد الضد المشهر على سطحها , وهي متخصصة .

السؤال الثامن :

- خلايا **T** مساعدة نشطة : سايتوكاينات .
- خلايا **T** قاتلة مرتبطة بخلية جسم مصابة: برفورين وإنزيمات حبيبية.

السؤال التاسع :

- الاحمرار : بسبب توسع الشعيرات الدموية.
- الانتفاخ: خروج البلازما من الدم.
- الاحساس بالألم: تهيج النهايات العصبية

السؤال العاشر :

أ-الشريان الرئوي.

ب- أكسيهيموغلوبين.

ج- إزاحة أيونات الكلور.

د- الوحدة الأنبوبية الكلوية.

هـ- **ACE** إنزيم محول أنجيوتنسين

و- الخلايا الأكولة الكبيرة

ز- مولد الضد الغريب