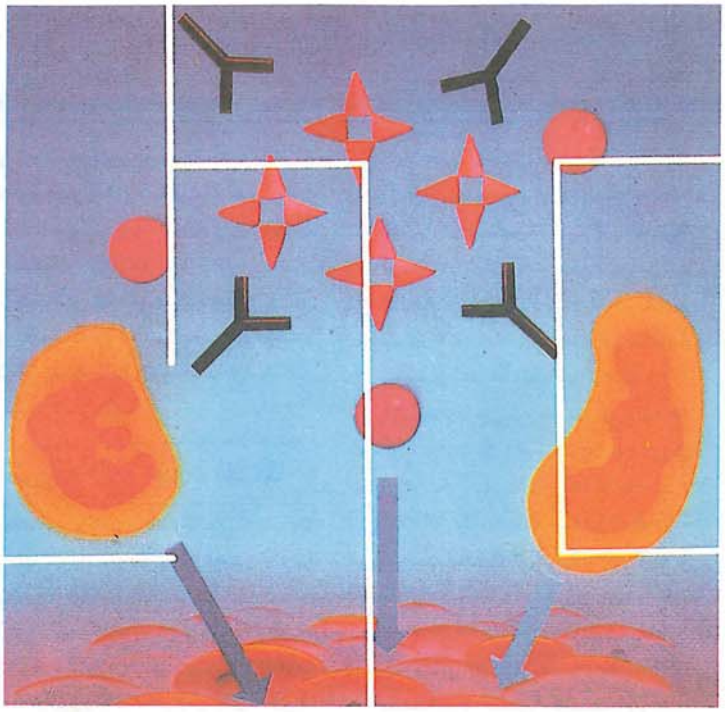
الأجسام المضادة ومستضداتها

د . خالد سعد أبو خبر



أودع الخالق ـ جلت قدرته ـ في جميع الكائنات الحية نظاما يدفع عنها الخطر الذي يحدق بها ، فالإنسان مثلاً لديه جهاز مناعة يعمل على محاربة الأوبئة والأمراض التي يتعرض لها ، ففي حالة فيروس الإنفلونزا مثلا يمثل غشاءه الخارجي جسم غريب يعمل كمستضد (Antigen) لإثارة (Provoke) الجهاز المناعي لإنتاج أجسام مضادة (Antibodies) متخصصة في القضاء على الفيروس عبر سلسلة من التفاعلات ، يتناول هذا المقال ما يحدث لفيروس الإنفلونزا في جسم الإنسان كمثال لآلية عمل الأجسام المضادة وأنواعها والشروط التي يجب أن تنطبق على المستضدات التي يتم بموجبها انتاج تلك الأجسام ، ومن ثم فان ما يتم في هذا المقال من شرح ينطبق على جميع الأجسام المضادة ومستضداتها من بكتيريا وفيروسات وغيرها .

عندما يعطس شخص مصاب بمرض الإنفلونزا فإنه سرعان ما يقذف بآلاف الذرات المليئة بهذه الفيروسات التي سرعان ما تجد طريقها إلى شعب الجهاز التنفسي لتلتصق بصورة قوية بالخلايا الموجودة على أسطح الشعب الهوائية عن طريق أحد البروتينات الموجودة في الغشاء الخارجي للفيروس يسمى بروتين الهيماجلوتنين (Hemagglutinin) ، عندها تبدأ الفيروسات في التكاثر مستغلة نفس نشاط الخلايا في تصنيع بروتيناتها لتصنيع بروتينات فيروس الإنفلونزا . ويؤدي هذا التكاثر الفيروسي في النهاية إلى تحطيم الخلايا والمخاط الحامي إضافة إلى الشعيرات الحامية للجهاز التنفسي . ويتسبب ذلك في توعك الجهاز التنفسي وظهور أعراض الإنفلونزا التنفسية . وفي محاولة للتخلص من الفيروسات يقوم الجهاز المناعي بطرق عديدة للحماية منها إنتاج مادة الإنترفيرون من الخلايا المصابة بالفيروس لتعمل على حماية الخلايا غير المصابة وبذلك تمنع الإصابة بنفس الفيروس ، إضافة لذلك تقوم الخلايا الليمفاوية من نوع « ت » بقتل الخلايا المصابة لتحد من تكاثر الفيروس وانتشاره . وبعد مضي عدة أيام يكون الجسم قد أنتج عدد من الأجسام المضادة للفيروس التي تشتبك بالفيروس نفسه لتحد من نشاطه ، وبعدها يتم التئام جراح الجهاز التنفسي ويذهب المرض باذن الله . وفيما يلي شرح تفصيلي لكيفية قيام الجسم بانتاج الأجسام المضادة .

آلية صد الميكروبات

عند ظهور فيروس الإنفلونزا تبدأ خلايا الدم البيضاء في القيام بابتلاع الفيروس بوساطة الخلايا البالعة (Macrophages) وبعدها يتم استعراض (Presentation) أجزاء صغيرة من بعض بروتينات الفيروس الموجودة على غشائه الخارجي ليتم التعرف عليها من قبل فصائل الخلايا الليمفاوية (Lymphoid Lineage) ، وعلى أثر ذلك تتكاثر الخلايا الليمفاوية بأعداد كافية لتكوين مناعة موضعية عن طريق انتاج أجسام مضادة (Antibodies) للفيروس وخلايا قاتلة للخلايا المصابة . وتدور بعدها هذه الخلايا في الجسم عن طريق الجهاز الليمفاوي والدم لحماية الأجزاء الأخرى . ولا تتم هذه الإثارة أو الإستجابة المناعية لفيروس الإنفلونزا إلا عندما تكون خواص المستضد (مولد الأجسام المضادة) من خواص الجسم المستهدف محاربته ، حيث أن هدف الخلايا الليمفاوية المنتشرة في جسم الإنسان حجز فيروس الإنفلونزا ، ومعاملة بروتيناته على أنها بروتينات غريبة يمكن أن ينتج على أثرها أجساماً مضادة مناسبة لمحاربتها .

المستضدات

المستضدات (Antigens) هي أجزاء من الميكروب المهاجم أو الجسم الغريب، توجد إما في جدار الخلية (في حالة البكتيريا) وإما في الغشاء الخارجي للفيروس . تعمل المستضدات على إثارة أو حث الجهاز المناعي

لإنتاج الأجسام المضادة المطلوبة للقضاء على الميكروب أو الجسم الغريب ، ولكي يتم القضاء على الميكروب أو الجسم الغريب قضاءاً تاماً يجب أن تتوفر في المستضدات الصفات التالية :

● درجة الإختلاف

يعمل الجسم على انتاج أجسام مضادة إذا غزته أجسام غريبة ، ومن أمثلة ذلك فان فيروس الإنفلونزا يمثل فئة أخرى من الكائنات ، وبالتالي يتعامل معه جسم الإنسان كجسم غريب ، وتنقسم المستضدات من حيث درجات الإختلاف إلى ثلاثة أقسام هي :

* **مستضدات من نفس الجنس (Alloantigens)** : وهي مستضدات تنشأ نتيجة الإختلاف النسيجي بين فرد وآخر كالذي يحدث من عدم تقبل جسم انسان لكلية مزروعة إليه من شخص آخر .

* **مستضدات من جنسين مختلفين (Xenoantigens)** : وهي مستضدات تنشأ نتيجة الإختلاف بين كائن وكائن آخر مثلما يحدث عند دخول فيروس الإنفلونزا إلى جسم الإنسان .

* **مستضدات ذاتية (Autoantigens)** : وهي مستضدات تنشأ نتيجة الإختلاف النسيجي بين أعضاء الجسم في نفس الفرد وذلك في حالات مرضية معينة .

● طريقة الدخول للجسم

تتم الإستجابة المناعية لإنتاج الأجسام المضادة حسب المكان الذي تدخل منه المستضدات إلى جسم الإنسان ، فلو أن فيروس الإنفلونزا مثلا دخل عن طريق الفم إلى الجهاز الهضمي لتم القضاء عليه بواسطة افرازات المعدة ، إضافة إلى أن الفيروس لا يلتصق بخلايا الجهاز الهضمي. أما إذا دخل عن طريق الجلد فإنه ينتهي في أحد الغدد الليمفاوية في المنطقة المجاورة ، وإن وجد طريقه للدم فإنه ينتهي في الطحال الذي يعد أحد الغدد الليمفاوية المنتجة لخلايا المناعة .

● مكونات الجسم المهاجم

تعد المواد البروتينية من أفضل المواد التي تساعد على حث الجهاز المناعي لإنتاج الأجسام المضادة ، وتليها المواد متعددة السكريات (Polysachrides) ، والتي توجد على غلاف بعض أنواع البكتيريا ، ثم المواد الدهنية التي تعد الأقل كفاءة على حث الجهاز المناعي لإنتاج الأجسام المضادة . ونظراً لأن مكونات فيروس الإنفلونزا تغلب عليها المواد البروتينية ذات الكثافة العالية فان المستضدات الناشئة عنه تعد الأكفأ في الحث على انتاج الأجسام المضادة .

● طبيعة التركيب

تلعب طبيعة تركيب المستضد دوراً أساساً في درجة كفاءة إنتاج الأجسام المضادة ، فكلما زاد تعقيد تركيب المستضد زادت كفاءته في القضاء على الميكروب عن طريق حثه لإنتاج أجسام مضادة ذات فعالية ، وتعد بروتينات فيروس الإنفلونزا من البروتينات المتعددة والمعقدة التركيب ، ولذا فان المستضدات الناجمة عنها تعد الأكفأ في إنتاج الأجسام المضادة .

● الوزن الجزيئي للمستضد

كلما زاد الوزن الجزيئي للمستضد زادت كفاءته في الحث على انتاج أجسام مضادة ذات فعالية عالية، ويصل الوزن الجزيئي لبروتينات الإنفلونزا إلى أكثر من ١٠ آلاف وحدة جزيئية (دالتون)، وهي من هذا المنطلق تعد الأفضل في عملية إنتاج الأجسام المضادة لأنها لا تحتاج إلى بروتين حامل (Carrier) لأداء مهمتها مثلما يحدث للأجسام ذات الوزن الجزيئي المنخفض المعروفة بـ (Haplens) والتي تحتاج للإرتباط بحامل بروتيني حتى تؤدي وظيفتها .

● الخواص الطبيعية

تعتمد كفاءة المستضد كذلك على بعض الخواص الطبيعية مثل الشكل (Conformation) والشحنة (Charge) . وذلك لأن هذه الخواص تحدد كيفية ارتباط المستضد بالأجسام المضادة التي يتم حثها لمكافحة المرض ، وحجم انتاجها ، وكفاءتها ، وغيرها من الخواص والصفات المطلوبة .

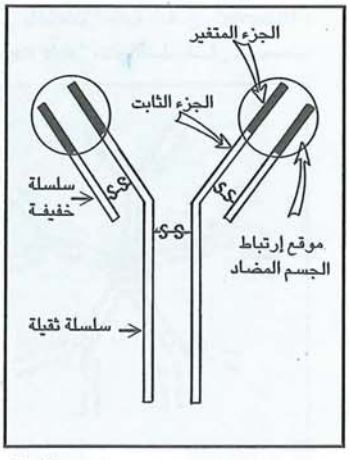
● البنية الوراثية

تختلف البنية الوراثية من شخص لآخر ، وكذلك من نسيج لآخر، في نفس الشخص ، وعليه فإن استجابة المستضد لابد لها أن تختلف حسب طبيعة الشخص ومدى درجة اختلاف بروتينات التوافق النسيجي الأساسي (Major Histocompatibility Complex) لأن المادة البروتينية هي العامل الأساس في امكانية وكيفية ونوع الترابط الذي يحدث بين المستضد والجسم المضاد .

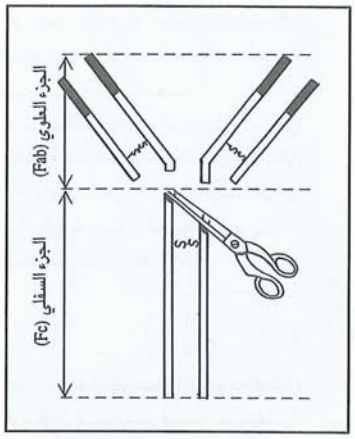
الأجسام المضادة

الأجسام المضادة (Antibodies) عبارة عن جلوبيولينات مناعة (Immunoglobulins - Ig) ـ كل الأجسام المضادة جلوبيولينات مناعة وليس العكس ـ تتفاعل مع المستضدات خلال مراحل القضاء على الجسم الغريب الذي يغزو جسم الإنسان أو الحيوان . وهي في أبسط صورها عبارة عن مركبات بروتينية مكونة من أربع وحدات أو سلاسل ببتيدية ـ خفيفة وثقيلة ـ يبلغ طول الواحدة منها حوالي مائة حامض نووي وتتشكل على هيئة الحرف « Y » حيث تتصل السلاسل الخفيفة بالثقيلة عبر روابط مرنة من ذرات الكبريت شكل (١) .

يمكن تقسيم الجسم المضاد بواسطة إنزيمي البابين والبابسين (Papain and Pap-sin) إلى جزئين ، جزء علوي يدعى ب (Fab) وجزء سفلي ويدعى بـ (Fc) تتكون

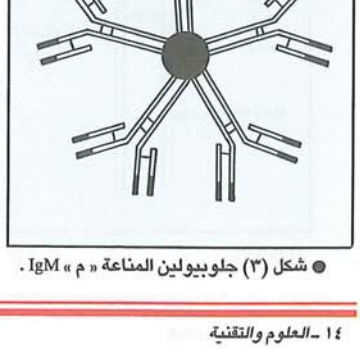


● شكل (١) أبسط أشكال الجسم المضاد (IgG).



● شكل (٢) أجزاء الجسم المضاد.

السلسلة الثقيلة في الجسم المضاد من ثلاثة أو أربعة أجزاء ثابتة ـ تركيب أحماضها الأمينية هو نفسه في جميع الأجسام المضادة ـ وجزء يتغير من جسم مضاد إلى آخر ، وهو الذي يعطي الجسم المضاد تخصصه في التعرف على الجسم الغريب أوالميكروب ، إما السلسلة الخفيفة فتتكون من جزء واحد ثابت وآخر متغير ، ويوضح شكل(٢) مواقع الأجزاء الثابتة والمتغيرة . وكما هو واضح في الشكل يوجد الجزء المتغير في الجزء العلوي من الجسم المضاد حيث مكان التقائه بالجسم الغريب ، ويطلق عليه الحقل المتغير (Changing do-main) ، وتتركز أكثر الأحماض الأمينية تغيرا في ثلاث مناطق من الجزء المتغير تدعى بالمناطق عالية التغير (Hypervari-able regions) . تنتج السلسلتان ـ حسب



● شكل (٣) جلوبيولين المناعة « م » IgM .

عدة قطع وراثية مختلفة أعيد تنظيمها في الخلية « ب » المنتجة للجسم المضاد وذلك وفقاً للترتيب الكيميائي الذري (Ster-eochemical Configration) للمستضد ليحدث التفاعل بين المستضد والجسم المضاد ، وعليه فان لكل جسم مضاد مستضد خاص يعمل معه ـ وفق شفرة خاصة ـ دون غيره مثلما يحدث للقفل والمفتاح .

وبسبب كثرة تنوع الترتيب الكيميائي الذري للسلاسل الثقيلة والخفيفة فإن الأجسام المضادة تأتي على أشكال مختلفة قد يصل عددها في الجسم إلى أكثر من بليون جسم مضاد ، وتوجد خمسة أنواع من الأجسام المضادة تبعاً لنوع السلسلة الثقيلة والحجم وتركيب الأحماض الأمينية وذلك كما يلي :

● جلوبيولين المناعة «ج» (IgG)

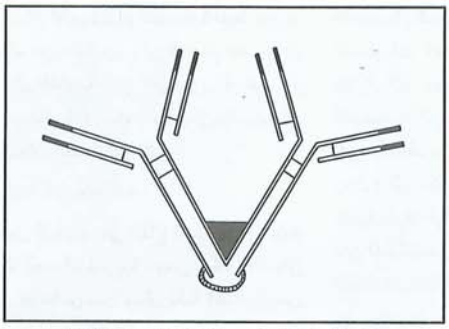
هو النوع الرئيسي في الدم ويصل إلى ٧٠٪ من مجموع أنواع الأجسام المضادة . ويتكون من أربعة أنواع تختلف في منطقة الربط بين السلسلتين الثقيلة والخفيفة ، كما أنه يوجد بين الأنسجة وينتقل بالمشيمة من الأم للجنين ، ومن أهم مهام هذا النوع بصفة عامة منع الأجسام الغريبة من القيام بمهامها ، وهو ذو وزن جزيئي منخفض ، حيث أنه عبارة عن جزء متبلمر بسيط على شكل الحرف « Y » كما ذكر سابقاً .

● جلوبيولين المناعة «م» (IgM)

يمثل الجلوبيولين (IgM) حوالي ١٠٪ من الأجسام المضادة ، وهو عبارة عن شكل خماسي مركب من خمسة أجسام مضادة من الجلوبيولين (IgG) مرتبطة ببعضها برابطة كبريتية وحلقة وصل ، شكل (٣) . يوجد هذا الجلوبيولين فقط في الدم وليس بين الأنسجة ، كما أنه لا ينتقل بالمشيمة وذلك لحجمه الكبير . ومن أهم مهام هذا الجلوبيولين محاربة الأجسام الغريبة .

● الجلوبيولين «أ» (IgA)

يكّون الجلوبيولين (IgA) حوالي ١٥ ـ ٢٠٪ من مجموع الأجسام المضادة. ويوجد



● شكل (٤) الجلوبيولين الثنائي « أ » (IgA).

أكثر من ٨٠٪ منه في الدم على شكل مركب أحادي . أما في الإفرازات فانه يوجد على شكل ثنائي وحلقة وصل وبروتينات افرازية ، شكل (٤) . ويصنع الجزء الإفرازي من الخلايا الطلائية التي تغطي الغدد المفرزة ، ويساعد هذا البروتين على إفراز الجسم المضاد من الخلايا البيضاء المنتجة تحت الغلاف المخاطي مثل اللعاب والحليب وإفرازات الجهاز التناسلي والتنفسي حيث تنحصر مهمته في مقاومة الجسم الغريب المتواجد في المناطق المذكورة .

● جلوبيولين المناعة «إي» (IgE)

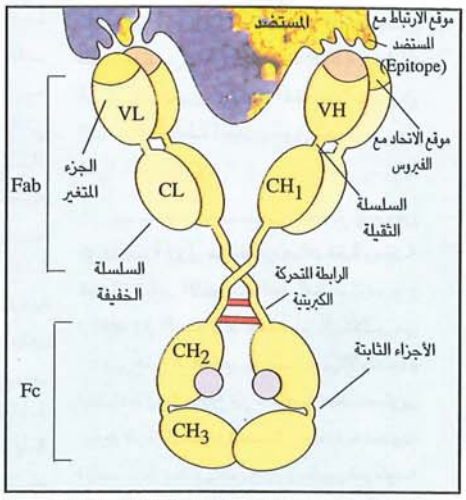
يعد الجلوبيولين (IgE) أقل الأنواع من حيث الكمية ، وهو يتحد مع مستقبله السطحي على الخلايا البدينة (Mast Cells) التي تسبب الحساسية عند حصول التقاء مولد الحساسية مع الأجسام المضادة ، كما أنه يلعب دوراً هاماً في مكافحة الطفيليات .

● جلوبيولين المناعة «د» (IgD)

يوجد الجلوبيولين (IgD) على سطح الخلايا الليمفاوية ويعمل بصفة تبادلية مع الجلوبيولين (IgM) عند التفاعل مع الجسم الغريب .

ارتباط المستضد بالجسم المضاد

يرتبط الجسم المضاد بالمستضد بطريقة لا تختلف عن طريقة ترابط أي مركب بروتيني مع رابط (Ligand) ، وهناك أربع روابط كيميائية مختلفة للجسم المضاد هي الرابطة الهيدروجينية



● شكل (٥) كيفية إرتباط المستضد بالجسم المضاد.

والرابطة الكهروستاتيكية ورابطة فاندر والز (Vander Waals) والرابطة النافرة للماء (Hydrophobic) ، يسمى الجزء من المولد الغريب (المستضد) الذي يرتبط بالجسم المضاد بالجزء القمي (Epitope) ، وهو موقع التصاق (Combining site) والجسم المضاد بالمستضد ويوجد في الجزء المتغير من السلاسل الثقيلة والخفيفة (Variable Heavy / Variable Light - VH / VL Chains)، شكل (٥) ، ويأتي شكل موقع الالتصاق مع الجسم المضاد على شكل مقعر، لذلك وجب على موقع الاتحاد في البروتين الفيروسي المستضد أن يكون ذو شكل محدب حتى يتم الاتحاد بصورة فعالة.

وظائف الأجسام المضادة

عند إنتاج الأجسام المضادة الموجهة لكل من بروتينات غلاف فيروس الإنفلونزا تقوم هذه الأجسام بعدة وظائف تمكنها من مهاجمة الفيروس . فعند اتحاد الجسم المضاد بالفيروس فإنه يمنعه من عدوى الخلايا الأخرى الصحيحة وبالتالي تسمى هذه الأجسام المضادة بالأجسام المعادلة (Neutralizing antibodies) ، إلا أن هناك أكثر من وظيفة تقوم بها الأجسام المضادة في مكافحتها للفيروس ، منها أنها تقوم بتسهيل عملية البلعمة وذلك بالاتحاد مع الخلايا البالعة من جهة وبالفيروس من جهة أخرى ، كما أن إرتباط الجسم المضاد بالفيروس ينشط سلسلة تفاعلات حيوية تدعى بجهاز المتمم (Complement System) وذلك يؤدي إلى ثقب الفيروس ومن ثم تحلله ، إضافة إلى ذلك تقوم الخلايا الطبيعية القاتلة (Natural Killer Cells) عن طريق الإتحاد بالجزء السفلي من الجسم المضاد بقتل الفيروس .

عمليات الإستجابة وانتاج الأجسام المضادة

عند وصول الفيروس إلى الغدد الليمفاوية المتمركزة في مواقع استراتيجية في الجسم تقوم الخلايا البيضاء البالعة بالتصدي لهذا الفيروس وتعريف الخلايا المناعية له . تقوم الخلايا البالعة ببلع الفيروس وتكسيره واقتطاع أجزاء صغيرة منه يمكنها أن تتحد ببروتين التوافق النسيجي (MHC - II) ، وبالتالي يتم عرض هذا المركب الثنائي [الجزء الفيروسي(المستضد) + بروتين التوافق] على سطح هذه الخلايا ليسهل تعرُّف الخلايا المناعية الليمفاوية على الفيروس . عندها يقوم عدد محدود جدا من الخلايا البيضاء الليمفاوية من نوع « ت » (T) من بين ملايين خلايا « ت » بالتعرف على هذا المركب الثنائي المذكور ، أي أن هذه المجموعة متخصصة فقط لهذا النوع من الفيروس من بين بلايين الخلايا وحيث تعمل كل مجموعة صغيرة منها على التعرف على مولد مختلف عن الآخر . ويتم ذلك التعرف من قبل خلايا « ت » عن طريق أحد بروتينات غلافها الذي يسمى المتخصص لبروتين (HN) الفيروسي الموجود على خلية « ت » مع المركب الثنائي (الجزء الفيروسي من (HN + بروتين التوافق) ، عندها تأخذ الخلايا في التكاثر لإنتاج أعداد كبيرة من الخلايا « ت » الحاملة لنفس المستقبل المتخصص لهذا الفيروس فقط ، والتي يمكنها الإستجابة والتعامل مع فيروس الإنفلونزا ، وفي أثناء هذا التكاثر تنتج خلايا « ت » مواد ليمفاوية ذوابة (Iymphokines) تعمل على تنشيط وتوظيف بقية خلايا الجهاز المناعي ، ومن هذه الخلايا خلايا « ب » الليمفاوية التي يوجد لها أيضا مستقبلات على سطحها متخصصة فقط لفيروس الإنفلونزا دون غيره، حيث أنها تتعرف عليه مباشرة ، ثم تتكاثر الأعداد البسيطة منها إلى أعداد كبيرة لتتحول إلى خلايا بلازما تنتج أجسام مضادة يعمل الجزء الذواب من مستقبلاتها كغلاف لهذه الخلايا . وعندئذ تقوم الأجسام المضادة بعدة وظائف لردع فيروس الإنفلونزا والتأكد من عدم رجوعه مرة أخرى .

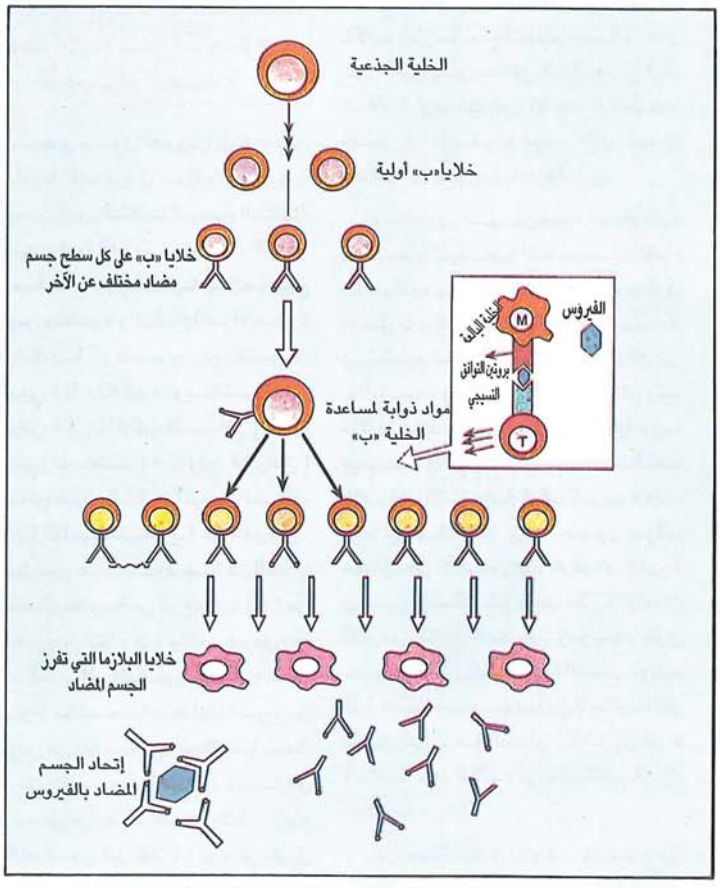
ومما يجدر ذكره أن وجود أعداد قليلة من الخلايا الليمفاوية المتخصصة للقضاء على ميكروب معين بدلاً من وجودها في الأصل بأعداد كثيرة نابع من أن الجسم لا يستطيع تحمل هذا العدد الهائل من خلايا « ب » (المنتجة للمضاد) . فلو وجد مثلا أن هناك حوالي ١٠٠٠ مليون خلية « ب » بيضاء في أي وقت متخصصة فقط للتعرف والإستجابة لمركب غريب معين ، وبما أن هناك أكثر من ١٠ مليون مركب مختلف عن الآخر من هذه المركبات الغريبة في جسم الإنسان لبلغ عدد خلايا الإنسان أكثر من بلايين البلايين ، وهو عدد يفوق حجم الإنسان نفسه . لهذا السبب يوجد فقط عدد محدود جدا من الخلايا لكل مركب غريب ما تلبث أن تتكاثر إلى أعداد فائقة حين الطلب ، أي حين التعرض إلى الميكروب .

من جانب آخر يوجد عدد محدد من المورثات على هيئة أجزاء صغيرة ومتفرقة

تتحد وتتلاحم لتكمل مورث كامل (مورث لنوع واحد من الجسم المضاد) في خلايا الفرد الليمفاوية كلما نمت وانقسمت . وتعد هذه العملية معقدة للغاية حيث تبدأ في نخاع العظم الذي يقوم بانتاج الكثير من الخلايا الجذعية (Stem Cells) التي تحمل عدداً محدوداً من المورثات الموروثة من أبوين ثم تتكاثر ذاتيا لتعطي إضافة لكريات الدم الحمراء والصفائح الدموية ـ فصيلتين من الخلايا البيضاء هما الخلايا الفصيلية الليمفاوية (Iymphoid Lineage) والفصيلية الميلودية (Myeloid Lineage) أي ما يسمى بالنخاعية. تتطور خلايا الفصيلية الليمفاوية من نوع « ب » البدائي (Pre-B cells) لتتكاثر من خلال عدة مراحل يتم فيها إعادة اتحاد وتركيب المورثات المورثة للأجسام المضادة حين إنقسامها بحيث تحمل كل خلية جسم مضاد مختلف عن الخلايا الأخرى . وتنتقل الخلايا البيضاء المتنوعة في مورثاتها والتي تدعى بخلايا « ب » البيضاء الناضجة (mature B- cells) إلى الأنسجة الليمفاوية لحين التقائها بالجسم الغريب لتتحول إلى خلايا أكبر وأكثر نشاطا وبأعداد كثيرة تسمى بخلايا البلازما (Plasmacells) يكون اختصاص بروتين الهيماجلوتنين فيها ـ يغطي جدار فيروس الإنفلونزا ـ إنتاج ملايين الأجسام المضادة من خلال عملية تسمى بتوسع الفصيلة الواحدة (Clonal expansion) . ولا يتم فقط إنتاج الخلايا البلازمية التي تفرز الأجسام المضادة بل يتم أيضا إنتاج أعداد كبيرة من الخلايا « ب » البيضاء المتذكرة (Memory B Cells) الحاملة لمورثات نفس الجسم المضاد لتبقى في الجسم احتياطا لحين دخول الفيروس مرة ثانية . شكل(٦) .

عندما يصاب الجسم بفيروس الإنفلونزا لأول مرة فان هناك فترة زمنية قبل أن تظهر الأجسام المضادة من نوع (IgM) في الدم قد تستمر إلى أكثر من أسبوع، وبعدها يبدأ مستوى الأجسام المضادة في الإرتفاع ثم تستقر عند مستوى معين ثم تقل تدريجيا . وعند حدوث الإصابة بنفس الفيروس وبنفس تركيبه مرة ثانية فان الجسم سرعان ما يستجيب للفيروس استجابة ثانية (Secondary Response) وذلك نتيجة وجود خلايا « ب » البيضاء المتذكرة والتي أنتجت بنفس الطريقة التي سبق التحدث عنها . وتتميز الإستجابة الثانية عن الإستجابة الأولية بأنها تنتج أجسام مضادة من نوع (IgG) بأعداد كثيرة ولها قدرة أكبر على الاتحاد بالفيروس (Affinity Maturation) .

ويؤدي التعرض لكثير من الفيروسات مثل الفيروسات المسببة للجدري والحصبة والنكاف وغيره إلى حدوث مناعة بفضل وجود خلايا « ب » المتذكرة المتخصصة لهذه الفيروسات مما يجعل من الصعب الإصابة بهذه الأمراض مرة أخرى . وهذا هو مفهوم لقاح الإنفلونزا (Vaccine)، فهو عبارة عن بروتين (HN) بدون الفيروس نفسه ولا يسبب المرض ولكنه يحفز إنتاج الأجسام المضادة . وهناك عدد من الفيروسات التي يصعب التغلب عليها بشكل نهائي مثل فيروس الإنفلونزا بسبب أنه يغير من شكله الخارجي دوماً ، وبالتالي يتغير المستضد الخارجي . لذلك عند التعرض للمستضد الجديد يبدأ الجهاز المناعي في إحداث استجابة أولية الأمر الذي يتطلب وقت أطول قبل القضاء على الفيروس الجديد .



● شكل (٦) كيفية تفاعل الأجسام المضادة مع المستضد.