فسلجة الدوران والدم

يعمل جهاز الدوران على حمل الأوكسجين والمواد الغذائية والهورمونات عن طريق الدم الى الخلايا وحمل المواد الناتجة عن عمليات الأيض في الخلايا كثنائي اوكسيد الكربون واليوريا والكرياتنين لغرض ازالتها من الجسم.

يتم ضخ الدم وتنظيم عملية جريانه لأيصاله الى مختلف خلايا الجسم بالكميات المطلوبة وتحت ضغط مناسب بواسطة الجهاز القلبي الوعائي Cardiovascular System الذي يتكون من القلب والأوعية الدموية (الشرايين والشرينات والأوعية الدموية الشعرية والأوردة والوريدات.

أنواع أجهزة الدوران

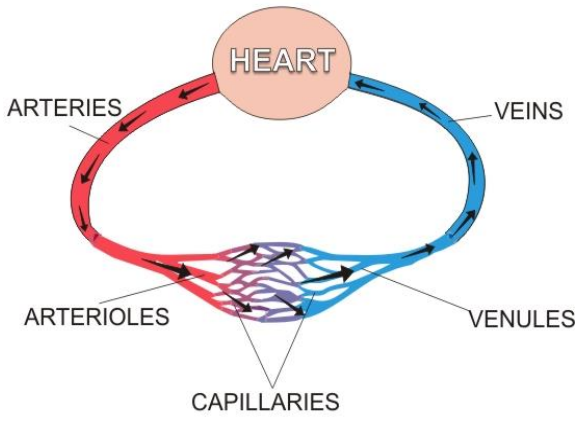
1- جهاز الدوران المفتوح Open Circulatory System

وفيه يتم ضخ الهيمولمف Hemolymph من القلب عبر أوعية (تدعى بالشرايين في بعض المصادر) الى تجاويف خاصة تدعى التجاويف الدمية Hemocoels تقع بين الأنسجة، ويكون الفاصل بين الدم وخلايا الجسم أغشية الخلايا نفسها ، ويعود الدم الى القلب عن طريق فتحات Ostia، كما يحدث في المفصليات والنواعم.

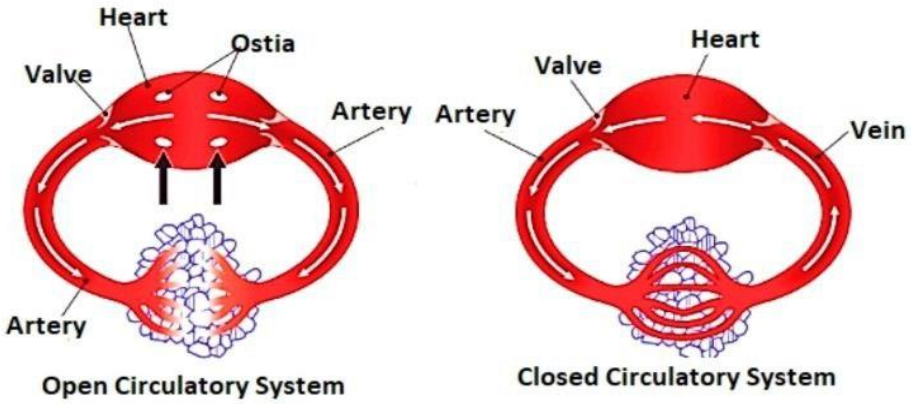
الهيمولمف Hemolymph : وهو السائل المرادف للدم في المفصليات والنواعم، اذ يكون الدم ممتزجا مع السائل البيني (السائل خارج الخلايا) Interstitial fluid مكوناً مايعرف بالهيمولمف.

2- جهاز الدوران المغلق Closed Circulatory System

وفيه يعمل القلب على ضخ الدم الى خلايا الجسم المختلفة ثم يعود الى القلب مرة اخرى عن طريق أوعية دموية . اذ يضخ القلب الدم عن طريق الشرايين Arteries التي تتفرع بدورها الى فروع أصغر تدعى الشرينات Arterioles ثم الى أوعية دموية شعرية Capillaries ثم ينتقل الدم الى اوعية دموية تدعى الوريدات Venules ثم الى الأوردة Veins التي تعيده الى القلب مرة اخرى، كما يحدث في جميع الفقريات.



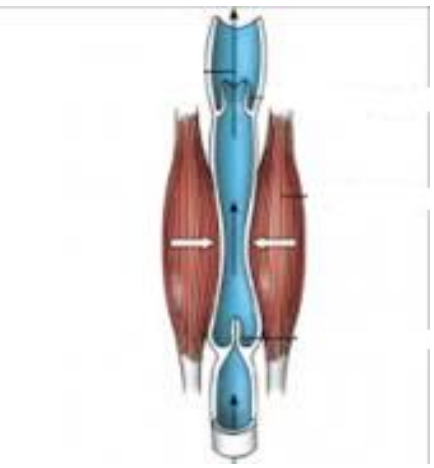
جهاز الدوران المغلق



مقارنة بين جهاز الدوران المفتوح وجهاز الدوران المغلق

- تمتلك الديدان الحلقية (التي تعود الى اللافقريات) جهاز دوران مغلق ولكنها لاتمتلك قلبا، اذ يجري الدم في الأوعية الدموية عن طريق حركة خاصة تدعى بالحركة التمعجية Peristalsis مع وجود صمامات تدفع الدم بأتجاه واحد، وتدعى هذه الآلية كذلك بالمضخة التمعجية Peristaltic-Pump.

من الجدير بالذكر ان هناك اوردة نحيفة في ساق الأنسان تعمل بآلية الحركة التمعجية اذ تكون هذه الأوردة مجهزة بصمامات تمنع عودة الدم الذي يجري بأتجاه القلب، ويكون اندفاع الدم داخل هذه الأوردة ناتجا عن الضغط المسلط عليها من تقلص عضلات الساق.



المضخة التمعجية في ساق الأنسان

قلب الفقريات

وهو عضو عضلي محاط بغلاف ليفي يدعى التامور Pericardium ومبطن بالشغاف Endocardium الذي يكون بتماس مع الدم الذي يضخه القلب .

- يمتلك قلب الأنسان أربعة ردهات أذينان (ايمن و ايسر) يستقبلان الدم وبطينان (ايمن و ايسر) يصرفان الدم.

صمامات القلب

1- الصمامات الأذينية البطينية Atrioventricular Valves التي تقع بين الأذينين والبطينين وتشمل :

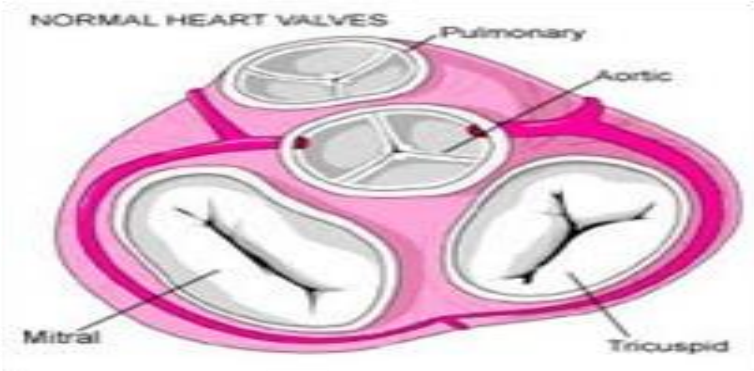
أ - **الصمام التاجي** Mitral Valve : ويدعى ايضا بالصمام الثنائي لتكونه من صفيحتان ويقع بين الأذين الأيسر والبطين الأيسر ويمنع رجوع الدم من البطين الى الأذين اثناء انقباض البطين الأيسر.

ب - **الصمام الثلاثي** Tricuspid Valve: وهو ثلاثي الصفائح ويقع بين الأذين الأيمن والبطين الأيمن ويمنع رجوع الدم من البطين الى الأذين اثناء انقباض البطين الأيمن.

2- الصمامات شبه الهلالية Semilunar Valves وتشمل:

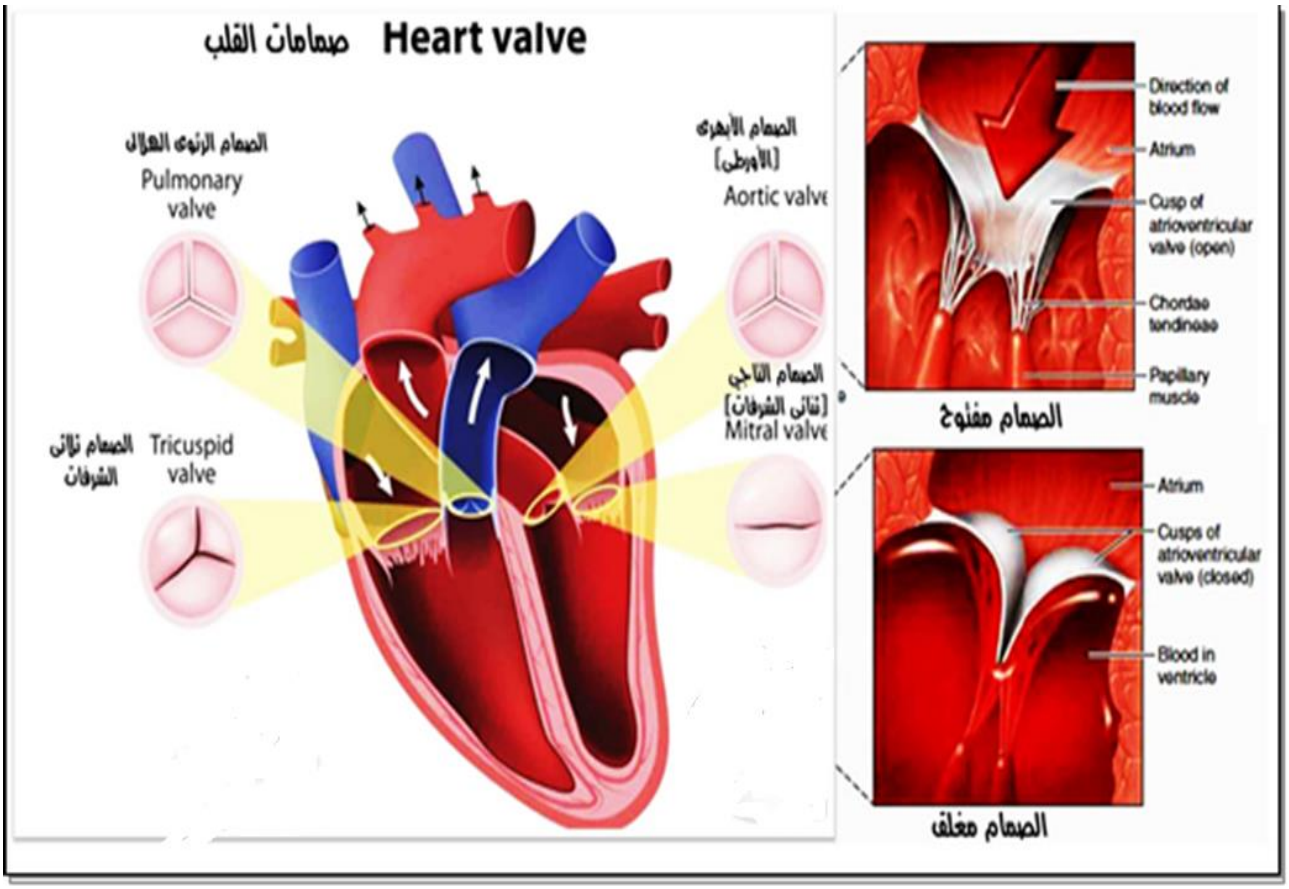
أ- **الصمام الأبهري** Aortic Valve: ويقع في بداية الشريان الأبهر الذي يخرج من البطين الأيسر ويعمل هذا الصمام على منع رجوع الدم من الأبهر الى البطين الأيسر اثناء انبساط هذا البطين.

ب- **الصمام الرئوي** Pulmonary Valve: ويقع في بداية الشريان الرئوي الذي يخرج من البطين الأيمن ويعمل هذا الصمام على منع رجوع الدم من الشريان الرئوي الى البطين الأيمن اثناء انبساط هذا البطين.



*- لاتوجد في مواضع الأرتباط بين الأوردة والأذينين صمامات بل يوجد مايدعى بالعاصرات وهي عبارة عن عضلات دائرية تقع بين الأوردة والأذينين تمنع رجوع الدم من الأذينين الى الأوردة اثناء الأنقباض الأذيني.

- في الصمامات الأذينية البطينية تتصل حافات الصفائح المكونة لهذه الصمامات بحبال رفيعة تدعى بالحبال الوترية التي تتصل نهاياتها الأخرى بنتوءات عضلية على السطح المبطن للبطينين وتعمل هذه الأوتار مع النتوءات العضلية على منع دخول حافات صفائح الصمامات الى الأذينين اثناء تقلص البطينين.

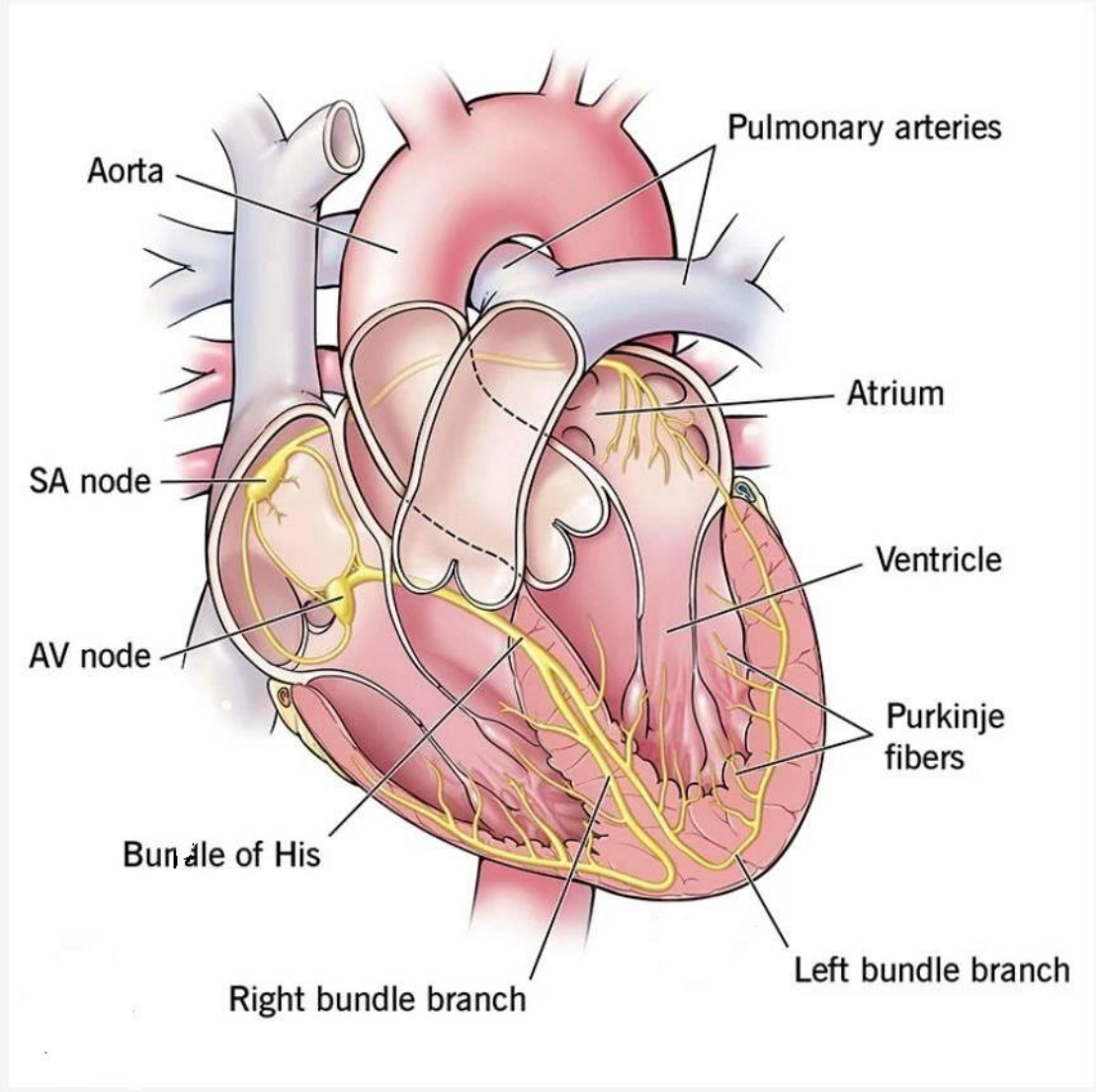


انتقال التهيج خلال القلب:

تبدأ موجة التهيج في مجموعة من الأنسجة المتحورة تدعى بمنظم نبض القلب (منظم الخطى) Heart Pacemaker وموقع هذه الأنسجة في اللبائن يكون العقدة الكيسية الأذينية Sinoatrial Node ويرمز لها (S-A Node) وتقع في منطقة اتصال الوريد الأجوف العلوي الأيمن بالأذين الأيمن.

- تنتقل موجة التهيج من هذه العقدة الى جدران الأذينين ثم الى مجموعة اخرى من الأنسجة المتحورة الواقعة في اعلى البطين الأيمن والتي تعرف بالعقدة الأذينية البطينية Atrioventricular Node ويرمز لها (A-V Node).

وتمتد من هذه العقدة حزمة من الألياف العضلية تدعى بحزمة هس Bundle of His التي تتفرع الى فرعين بطيني ايمن وبطيني ايسر وكل فرع يتفرع الى عدد من الألياف الممتدة في جدران البطينين والتي تعرف بألياف بركنجي Purkinje Fibers.



مواقع انتقال موجة التهيج خلال القلب

- تنتقل موجة التهيج عن طريق حزمة هس الى كل اجزاء الشغاف آنيا وبذلك تتقلص كل ألياف العضلة تزامنيا.
- ان الياف العضلات القلبية مرتبة بطريقة تمكنها من ارسال تقلصات منفصلة ومتزامنة لكل من الأذينين والبطينين . كما ان التوصيل البطيء خلال العقدة الأذينية- البطينية يسمح للتقلصات الأذينية ان تسبق التقلصات البطينية وهذا يسمح بوقت كاف لأنتقال الدم من الأذينين الى البطينين.

تدفق الدم عبر القلب

يعمل الجانبان الأيمن والأيسر من القلب معًا لضمان تدفق الدم من والى جميع أجزاء الجسم كما يأتي:

الجانب الأيمن من القلب

1- يدخل الدم الوريدي القادم من جميع أجزاء الجسم إلى الأذين الأيمن عبر وريدين كبيرين هما الوريد الأجوف السفلي Inferior vena cava والوريد الأجوف العلوي Superior vena cava .

2- يفتح الصمام الثلاثي للسماح للدم بالانتقال من الأذين الأيمن إلى البطين الأيمن.

3- امتلاء البطين الأيمن بالدم يولد ضغطا يؤدي الى غلق الصمام الثلاثي وفتح الصمام الرئوي.

4- يتدفق الدم من البطين الأيمن عبر الشريان الرئوي إلى الرئتين ، حيث يتم تجهيزه بالأوكسجين.

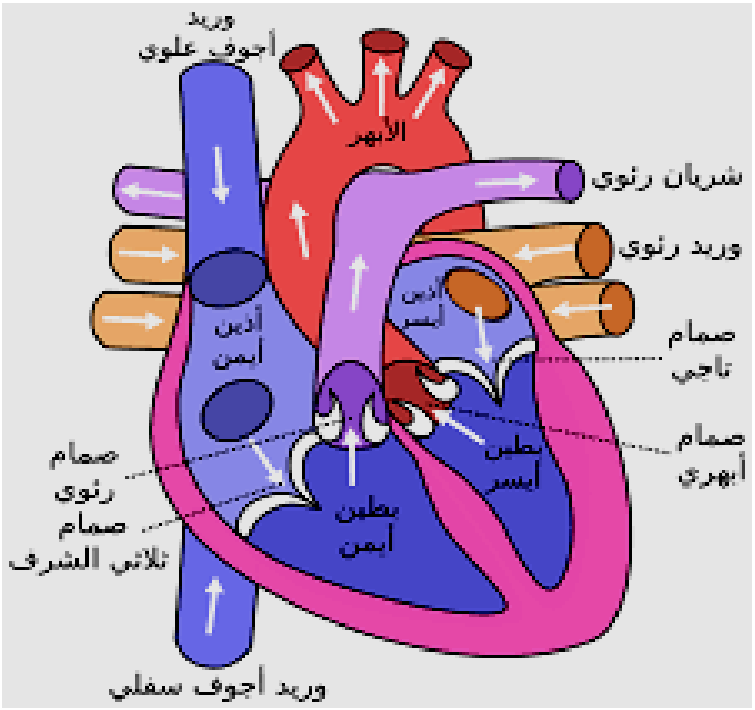
الجانب الأيسر من القلب

1- ينتقل الدم الغني بالأوكسجين من الرئتين إلى الأذين الأيسر عبر أوردة كبيرة تسمى الأوردة الرئوية.

2- يفتح الصمام التاجي لينتقل الدم من الأذين الأيسر إلى البطين الأيسر.

3- امتلاء البطين الأيسربالدم يولد ضغطا يؤدي الى غلق الصمام التاجي وفتح الصمام الأبهري.

4- يضخ البطين الأيسر الدم عبر الصمام الأبهري إلى الشريان الابهر كي يتدفق إلى باقي أجزاء الجسم.



مخطط تدفق الدم عبر القلب

الحوادث الكهربائية المرافقة لنبض القلب

هناك تغيرات كهربائية تسبق تقلص عضلة القلب ويمكن متابعتها من مناطق بعيدة عن القلب عن طريق ربط سطح الجسم بأقطاب كهربائية Electrods مرتبطة بجهاز يدعى جهاز تخطيط القلب Electrocardiograph ويتم تسجيل التغيرات الكهربائية على ورق بياتي يدعى التخطيط القلبي الكهربائي Electrocardiogram الذي يرمز له اختصارا ECG .

- يمكن الأستدلال على التيار المنتقل خلال الفعالية التزامنية للألياف العضلية القلبية من التغيرات الصغيرة في الجهد الكهربائي عبر نقاط تقع على كل سطح الجسم ، وهذه التغيرات عبارة عن انعكاس للفعالية الكهربائية في القلب .

يتأثر التخطيط القلبي الكهربائي بطبيعة ووضع الأقطاب اضافة الى الحالة الفسلجية للقلب ويمكن تلخيص الحوادث الكهربائية المرافقة لنبض القلب بكونها موجة من التقلص العضلي تسري من العقدة الكيسية تكون مسبوقة ببضع ملي ثواني بموجة من الجهد الكهربائي تستمر بحيث تكون الألياف المتقلصة موجبة الشحنة والمنبسطة سالبة الشحنة ، وخلال الأنقباض يكون هناك زوال استقطاب وجهد فعل وعند الأنبساط عودة استقطاب للألياف العضلية القلبية .

مثلث اينتهوفن Einthoven Triangle : وهو المثلث الذي يمثل عملية ربط الأقطاب الرئيسة الخاصة بجهاز تخطيط القلب على سطح الجسم

*- يتم ربط الأقطاب الخاصة بجهاز تخطيط القلب على سطح الجسم بالشكل الآتي :

1- يربط أحد الأقطاب على الذراع اليسرى Left Arm (LA) .

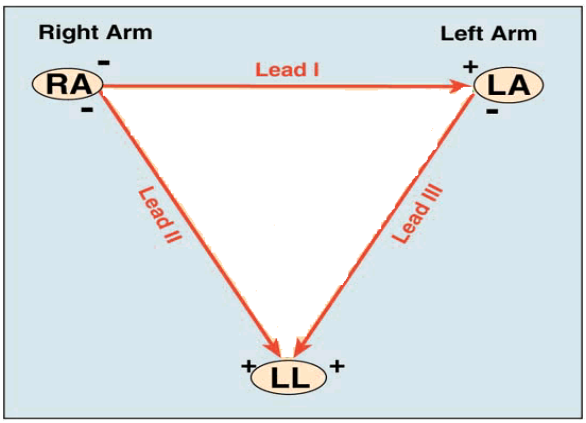
2- يربط القطب الثاني على الذراع اليمنى Right Arm (RA) .

3- يربط القطب الثالث على الساق اليسرى Left Leg (LL) .

- الربط بين قطبي الذراع الأيسر و الذراع الأيمن يدعى (Lead I) ويستخدم لتسجيل فرق الجهد الكهربائي بين الذراعين الأيسر والأيمن.

- الربط بين قطبي الذراع الأيمن والساق اليسرى يدعى (Lead II) ويستخدم لتسجيل فرق الجهد الكهربائي بين الذراع الأيمن والساق اليسرى.

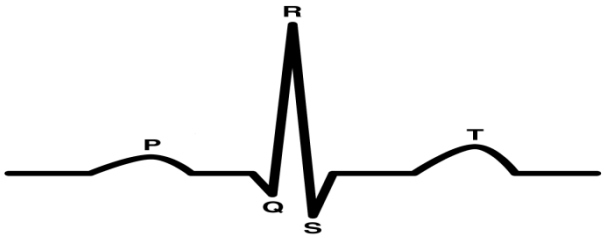
- الربط بين الذراع الأيسر والساق اليسرى يدعى (Lead III) ويستخدم لتسجيل فرق الجهد الكهربائي بين الذراع الأيسر والساق اليسرى .



مثلث اينتهوفن

و تصاحب النبض القلبي ثلاث موجات رئيسة هي :

- موجة P التي تمثل زوال الأستقطاب في الأذينين .
- موجة مركبة تعرف بموجة QRS التي تمثل زوال الأستقطاب في البطينين.
- الموجة T التي تمثل عودة الأستقطاب في البطينين.



الموجات الرئيسة المصاحبة لنبض القلب

*- للتحقق من الفعالية الكهربائية للعضلات القلبية من زوايا مختلفة يتم ربط اقطاب اضافية في مناطق معينة على منطقة الصدر.

<u>الأصوات القلبية Heart Sounds:</u> يرافق النبض صوتان متميزان هما :

1- **الصوت الأول First Sound (S_1)** : ويحدث نتيجة انغلاق الصمامات الأذينية البطينية (الصمام التاجي والصمام الثلاثي) عند بداية الأنقباض البطيني ويشبه اللفظ lub . ويكون هذا الصوت أطول و أوطأ نغمة مقارنة بالصوت الثاني.

2- **الصوت الثاني Second Sound (S_2)** : ويحدث نتيجة انغلاق الصمامات شبه الهلالية (الصمام الأبهري والصمام الرئوي) عند نهاية الأنقباض البطيني وبداية الأنبساط البطيني ويشبه اللفظ dup. ويكون هذا الصوت أقصر و أعلى من الصوت الأول

وعليه يكون الصوت القلبي متعاقبا بالشكل التالي:

Lub dup lub dup

- اضافة الى الصوتين الأول والثاني هناك صوت ثالث (S_3) يحدث نتيجة انتقال الدم من الأذينين الى البطينين اثناء الأنبساط البطيني، كما ان انقباض الأذينين يؤدي الى حدوث صوت رابع (S_4) من اصوات القلب ولكن من الصعوبة سماع هذا الصوت وتمييزه وذلك لأندماجه مع الصوت الأول للقلب.
- عند وجود خلل أو تلف في الصمامات ينتج عنه صوت يعرف باللغط Murmur وهو صوت ناتج عن اضطراب في تدفق الدم. ويمكن تشخيص العديد من اضطرابات القلب عن طريق سماع الأصوات القلبية.

السيطرة على نبض القلب

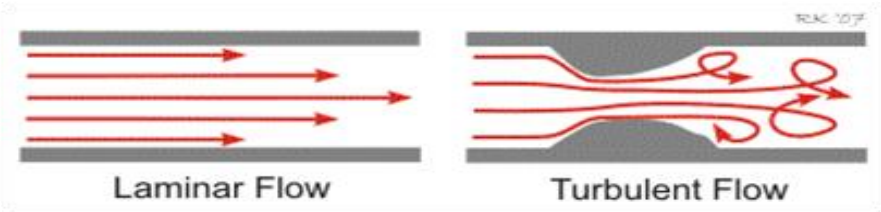
1- **السيطرة العصبية** : على الرغم من القابلية على النبض الذاتي الا ان الأعصاب تلعب دورا مهما في تحوير معدل وقوة النبض القلبي. ويقع نبض القلب تحت سيطرة الجهاز العصبي الذاتي الذي يشمل الجهاز العصبي الودي (السمبثاوي) Sympathetic Nerve System الذي تعمل اليافه العصبية على تحفيز سرعة وقوة النبض بالأضافة الى دوره المهم في السيطرة على اقطار الأوعية الدموية والجهاز العصبي نظير الودي Parasympathetic Nerve System الذي تعمل اليافه العصبية على تثبيط سرعة وقوة النبض.

2- **السيطرة الكيميائية :** وتشمل تأثير الأستل كولين الذي يتحرر من الألياف العصبية الكولينية الفعل والذي يبطيء معدل نبض القلب عن طريق زيادة تواصل البوتاسيوم فيزيد من استقطاب الأغشية فتزداد الفترات الزمنية بين جهود الفعل المتتالية كما انه يقلل سرعة التوصيل من الأذينين الى البطينين خلال العقدة الأذينية- البطينية مما يؤدي الى بطيء معدل النبض أما الأبينفرين والنورابينفرين فيسببان زيادة في معدل نبض القلب حيث يزداد تواصل الصوديوم فيزداد معدل زوال الأستقطاب في جهد منظم الخطى فتقصر الفترات الزمنية بين جهود الفعل المتتالية كما تزداد سرعة التوصيل خلال العقدة الأذينية- البطينية فيزداد معدل النبض .

جريان الدم Blood Flow:

يكون جريان الدم داخل الأوعية الدموية بشكل طبقي أي صفائحي Laminar Flow أي يكون الجريان في وسط الوعاء أسرع مما هو عليه قرب جدار الوعاء .

- عند حدوث انسداد جزئي في مجرى الدم فأن سرعة جريان الدم بعد عبوره منطقة الأنسداد تكون أعلى مما يؤدي الى احداث صوت يمكن سماعه بأستخدام سماعة طبية بسبب مرور الدم من منطقة ضيقة الى منطقة أوسع وهنا يدعى جريان الدم بجريان الدم الضوضائي Noisy Blood Flow (أو الجريان المضطرب Turbulent Flow) وهو الأساس في سماع الصوت عند قياس ضغط الدم عن طريق ربط جهاز قياس الضغط حول منطقة الشريان العضدي وهذا الصوت يعرف بصوت كورتكوف Korotkov Sound و يزول الصوت عندما يفتح الشريان بشكل كامل حيث يصبح جريان الدم بدون اضطراب .



جريان الدم

ضغط الدم Blood Pressure:

وهو القوة التي يسلطها الدم على جدران الأوعية الدموية. ويقاس ضغط الدم عادة بقياس القوة التي يسلطها الدم على جدران الشرايين ، وهناك رقمان مرتبطان بقياس ضغط الدم، الأول يمثل مايدعى بضغط الدم الأنقباضي Systolic Pressure وهو قوة الدم المسلطة على جدران الوعاء اثناء تقلص القلب لضخ الدم. اما الرقم الثاني فيمثل مايدعى بالضغط الأنبساطي Diastolic pressure وهو القوة التي يسلطها الدم على جدران الوعاء اثناء انبساط القلب ، وبذلك يكون الضغط الأنقباضي دائما اعلى من الضغط الأنبساطي.

- ان ضغط الدم مهم جدا حيث لولاه لايمكن ضخ الدم خلال الجسم لغرض وصوله الى الأعضاء والأنسجة المختلفة.

- عند كتابة ضغط الدم يوضع الضغط الأنقباضي في الأعلى (البسط) والضغط الأنبساطي في الأسفل(المقام) فمثلا لو كان ضغط الدم الأنقباضي 120 mmHg والأنبساطي 80 mmHg فأن هذا القياس يعبر عنه بالصيغة 120/80. علما ان كلا الرقمين مهمين في تقييم ضغط الدم.

(mmHg = ملم زئبق = ملم ز) وهي وحدة قياس الضغط

عند انقباض البطين الأيسر يرتفع الضغط داخله الى 120 ملم ز وهذا يؤدي الى انفتاح الصمام الأبهري الكائن بين البطين الأيسر والشريان الأبهر فيندفع الدم الى داخل الأبهر الذي يكون الضغط داخله قد ارتفع ايضا الى 120 ملم ز ويسمى هذا الضغط بالضغط الأنقباضي Systolic pressure وبعد ذلك يبدأ البطين الأيسر بالأنبساط فينخفض الضغط بداخله الى ان يصل الى الصفر تقريبا. يرافق ذلك انخفاض الضغط داخل الشريان الأبهر والشرايين المتفرعة منه ولكن الى حد يصل الى 80 ملم ز. اذ ينغلق الصمام الأبهري وبذلك يمنع عودة الدم الى البطين الأيسر فيثبت الضغط في الشرايين عند مقدار 80 ملم ز ولا يستمر بالأنخفاض بسبب غلق الصمام ويسمى هذا الضغط بالضغط الأنبساطي Diastolic Pressure.

يدعى الفرق بين الضغط الأنقباضي والضغط الأنبساطي بضغط النبض ويعادل تقريبا 40 ملم ز عند البالغين .

اما المعدل الحسابي للضغطين الأنقباضي والأنبساطي فيدعى متوسط ضغط الدم ويحسب كما يأتي:

$$\frac{120 + 80}{2} = 100 \text{ ملم.ز}$$

تبدلات الضغوط في القلب خلال الحوادث الآلية المرافقة للنبض :

عند انبساط الأذينين. يمتليء الأذين الأيمن بالدم الوارد عن طريق الأوردة الجوفاء من انحاء الجسم ، ويمتليء الأذين الأيسر بالدم الوارد من الرئتين عن طريق الأوردة الرئوية وذلك نتيجة الفرق في الضغط بين هذه الأوردة والأذينين . حيث يكون الضغط في الأوردة أعلى من الضغط في الأذينين ببضع ملم ز ، فالضغط الوريدي الناتج عن تدليك العضلات الهيكلية لجدران الأوردة يكون حوالي 10 ملم ز، بينما يكون الضغط داخل الأذينين في هذا الأثناء صفر .

عند الأنقباض الأذيني يرتفع الضغط داخل الأذين الأيمن الى حوالي (6-4) ملم ز بينما يرتفع داخل الأذين الأيسر الى حوالي (8-7) ملم ز وفي هذه الأثناء يكون الضغط في البطينين حوالي صفر بسبب الأنبساط البطيني وهذا يؤدي الى انفتاح الصمامات الأذينية البطينية فيمتلىء البطينان بالدم .

بعد ذلك تأتي مرحلة الأنقباض البطيني الذي يكون انقباضا قويا بسبب سمك جدران البطينين ، فيرتفع الضغط في البطين الأيسر الى حوالي 120 ملم ز وفي البطين الأيمن الى حوالي 25 ملم ز ، ان ارتفاع الضغط في البطينين يؤدي الى انغلاق الصمامات الأذينية البطينية وذلك يمنع عودة الدم الى الأذينين .

وبنفس الوقت ستنفتح الصمامات شبه الهلالية فيندفع الدم من البطين الأيسر بقوة الى الشريان الأبهر ، بينما يندفع الدم من البطين الأيمن الى الشريان الرئوي ، ونتيجة ذلك سيرتفع الضغط في الشريان الأبهر الى 120 ملم ز ، ويرتفع الضغط في الشريان الرئوي الى 25 ملم ز .

يلي ذلك انبساط البطينين ، فينخفض الضغط فيهما الى الصفر وتنغلق الصمامات شبه الهلالية تاركة الضغط في الشريان الأبهر بحدود 80 ملم ز وبحدود 10 ملم ز في الشريان الرئوي . وبأنغلاق الصمامات شبه الهلالية لايمكن للدم أن يعود الى البطينين .

أسباب عدم عودة الدم من الأذينين الى الأوردة خلال التقلص (الأنقباض) الأذيني :

1- بقاء الضغط في الأذينين عند انقباضهما أقل من الضغط داخل الأوردة .
2- اثناء الأنقباض الأذيني يحدث تضيق في الفتحة الكائنة بين الأذين والوريد بفعل الألياف الحلقية الموجودة بمنطقة اتصال الأوردة بالأذينين .
3- تكون المقاومة ضد انتقال الدم من الأذينين الى البطينين ضعيفة جدا بسبب الترتيب الخاص للصمامات الأذينية البطينية .

العوامل المؤثرة في ضغط الدم

1- المقاومة المحيطية Peripheral Resistance

وهي المقاومة التي تواجه الدم في المناطق البعيدة عن القلب والشرايين الرئيسة وتتركز بصورة اساسية في الشرينات . وتتناسب المقاومة المحيطية عكسيا مع قطر الوعاء الدموي حيث يؤدي تضيق الشرينات الى زيادة المقاومة المحيطية وبالتالي زيادة ضغط الدم أي أن العلاقة بين ضغط الدم والمقاومة المحيطية علاقة طردية.

2- النتاج القلبي Cardiac Output

ويقصد به حجم الدم الذي يضخه القلب في الدقيقة الواحدة ويعتمد على معدل النبض (أي عدد النبضات في الدقيقة) وعلى حجم الضربة (اي حجم الدم الذي يضخه كل بطين في النبضة الواحدة) علما أن العلاقة بين ضغط الدم وبين النتاج القلبي علاقة طردية

- يعتمد معدل النبض على التبدلات الأيونية والهورمونية ودرجة الحرارة ، بينما يعتمد حجم الضربة على حجم الدم الوريدي العائد الى القلب وعلى حجم القلب وعلى قوة

العضلات القلبية والحالة الفسلجية للشخص ولذلك يكون حجم القلب عند الأشخاص الرياضيين أكبر ويرافق ذلك زيادة في البروتينات العضلية والمايوكلوبين ويكون نبضهم أوطأ

- اما المرضى المصابون بتضخم القلب فعلى الرغم من زيادة كتلة العضلات القلبية في قلوبهم الا أن قوة الأنقباض لديهم تكون ضعيفة

3- لزوجة الدم Viscosity of Blood

تزداد لزوجة الدم بزيادة عدد الخلايا الحمر كما يحدث في حالة فرط الخلايا الحمر ، بينما يؤدي فقر الدم الى انخفاضها ، كما تعتمد ايضا على مايحويه البلازما من مواد بروتينية، علما أن العلاقة بين ضغط الدم ولزوجته علاقة طردية.

الدم Blood :

يتألف الدم من انواع مختلفة من العناصر الخلوية ضمن سائل البلازما.

بلازما الدم :معظمه (حوالي **90%**) ماء و يحوي مواد عديدة ذائبة تشمل:

1- الآيونات : كآيونات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكلورايد والبيكاربونات وهذه الآيونات لها دور مهم في الحفاظ على التوازن الأوزموزي للدم. كما ان بعضها يساعد كداريء للدم لجعل حامضيته (PH) ثابتة نحو قيمة (**7.4**).

2- بروتينات لها وظائف عديدة تشمل:

- الألبومين الذي يعمل مع غيره من البروتينات كداريء ضد تغير حامضية الدم PH , بالأضافة الى الحفاظ على التوازن الأوزموزي بين الدم والسائل البيني interstitial fluid والمساهمة في منح اللزوجة للدم.

- هناك أنواع من بروتينات البلازما لها وظائف خاصة تشمل:

- الكلوبيولينات ألفا وبيتا (α Globulins , β Globulins) وتعرف هذه الكلوبيولينات بالبروتينات الناقلة Transport Proteins حيث تعمل على نقل الهورمونات والأنزيمات عبر الدم .

- الكلوبيولينات كاما γ Globulins ومنها الأميونو كلوبيولينات Immunoglobulins أو الأجسام المضادة Antibodies وهي تساعد في مكافحة الفايروسات وغيرها من العوامل التي تغزو الجسم.

- الفايبرينوجين Fibrinogen وهو برتين مجلط يساعد في عمل سدادة عند تعرض الأوعية الدموية للضرر، وعند ازالة هذا البروتين فأن المتبقي من البلازما يدعى بالمصل Serum . (جمع مصل هو أمصال أو مصول Sera or Serums)

3- كما تحوي البلازما أيضا أنواع عديدة من المواد التي تنتقل بين اجزاء الجسم والتي تشمل المغذيات Nutrients كالكلوكوز والأحماض الدهنية والفيتامينات وكذلك تحوي الفضلات الأيضية و الغازات التنفسية والهورمونات.

العناصر الخلوية في الدم : يوجد في بلازما الدم ثلاث عناصر خلوية هي الخلايا الحمر (RBCs) Red Blood Cells والتي تعرف ايضا بـ Erythrocytes التي تنقل الأوكسجين، والخلايا البيض(WBCs) White Blood Cells وتعرف ايضا بـ Leukocytes ذات الوظيفة الدفاعية ، والصفيحات الدموية (plts) Blood Platelets وتعرف ايضا بـ Thrombocytes وهي قطع خلوية ترتبط بعملية ايقاف النزف و تخثر الدم.

الخلايا الجذعية Stem Cells وتكوين خلايا الدم Hematopoiesis :

الخلايا الجذعية Stem Cells: وهي خلايا تمتلك صفات تميزها عن باقي الانواع من الخلايا حيث انها:

1- خلايا غير متخصصة Unspecialized Cells تمتلك القدرة على تكرار(تجديد) نفسها Self Renewing والتكاثر Proliferation لفترات طويلة عن طريق الأنقسام الخلوي.

2- تحت ظروف فسلجية او تجريبية يمكن تحفيزها لتصبح خلايا ذات وظائف خاصة معينة كأن تصبح خلايا عظمية أو غضروفية أو دهنية أو عصبية أو دموية وغيرها من انواع الخلايا، وتدعى هذه الخاصية بمرونة الخلايا الجذعية Stem Cell Plasticity وهذه الخاصية مهمة جدا في علاج العديد من الأمراض الهامة كبعض امراض القلب ومرض السكري ومرض باركنسن

انواع الخلايا الجذعية: هناك نوعين رئيسين من الخلايا الجذعية حسب تواجدها هما :

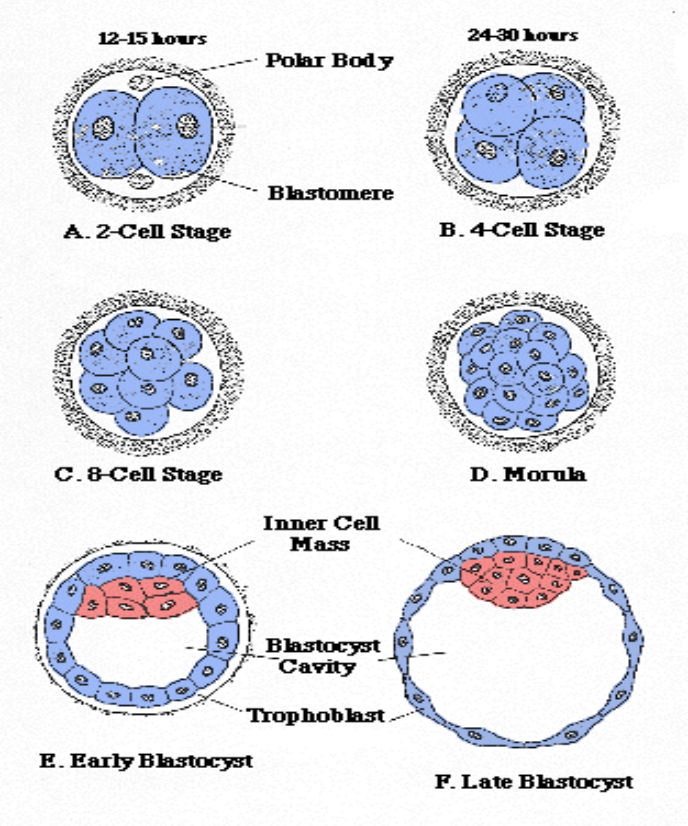
1- الخلايا الجذعية الجنينية Embryonic Stem Cells

وتتكون بعد تخصيب البيضة ، ولغرض الحصول على هذا النوع من الخلايا للأغراض الطبية أو التجريبية يتم تلقيح البيضة خارج الجسم وتستخرج الخلايا الجذعية من الجنين وهو بعمر(4-5) ايام والذي يكون حينها عبارة عن كرة مجهرية مجوفة من الخلايا وتدعى بالكيس الأريمي Blastocyst الذي يتضمن ثلاث تراكيب هي :

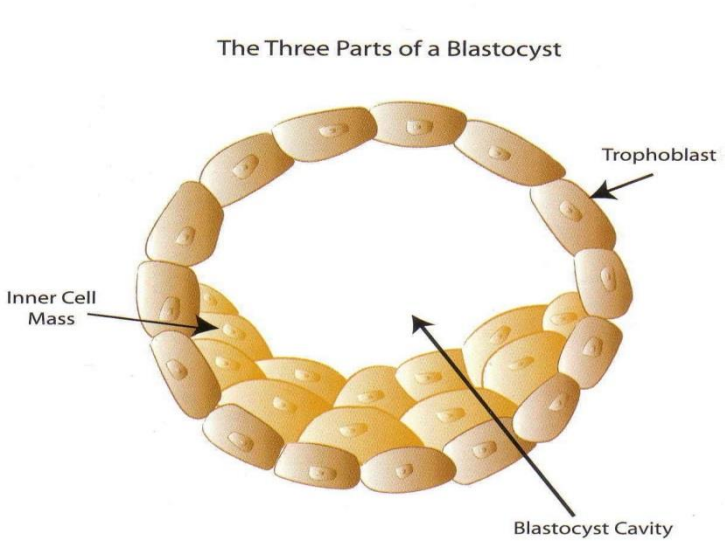
- الطبقة المغذية Trophoblast التي تشكل السطح الخارجي .

- الجوف الأريمي Blastocoel وهو التجويف الموجود داخل الكيس الأريمي ويدعى أيضا Blastocyst Cavity.

- كتلة خلوية داخلية Inner Cell Mass وهي مجموعة خلوية تتألف من حوالي 30 خلية جذعية موجودة في احدى نهايات الجوف الأريمي .



مراحل انقسام البيضة المخصبة (Zygote) لحين تكوين الكيس الأريمي (Blastocyst)



تراكيب الكيس الأريمي Blastocyst

*- لو سمح للكيس الأريمي بأستكمال نموه فأن الطبقة المغذية تتطور الى الأغشية المحيطة بالجنين Extra-Embryonic Membranes و المشيمة placenta ، اما طبقة الخلايا الداخلية فتتطور لتكوين الجنين وهذا مايحدث في حالات الحمل عند تلقيح البويضة داخل جسم الأنثى .

2- **الخلايا الجذعية البالغة Adult Stem Cells**: وتعرف ايضا بالخلايا الجذعية الجسمية Somatic Stem Cells وهي عبارة عن خلايا جذعية غير متخصصة موجودة ضمن نسيج او عضو متخصص ، حيث يمكنها تجديد نفسها والتخصص لأنتاج خلايا متخصصة ضمن النسيج او العضو.ان الدور الأساسي لهذا النوع من الخلايا في الكائن الحي هو الحفاظ على النسيج الذي توجد ضمنه واصلاح التالف منه. ويوجد هذا النوع من الخلايا الجذعية في مختلف اجزاء الجسم كالنخاع العظمي و الدم المحيطي والجلد والدماغ والأوعية الدموية والعضلات والكبد بالأضافة الى وجودها بكميات جيدة في دم الحبل السري.

*- ان استخدام الخلايا الجذعية البالغة يمتلك اهمية كبيرة حيث ان استخدام الخلايا الجذعية المعزولة من المريض ذاته، ومن ثم اكثارها واعادتها الى المريض يعني تجاوز عقبة رفض الجهاز المناعي للخلايا، دون الحاجة الى اعطاء مثبطات مناعية Immunosuppressive Drugs ، بينما يمكن ان يواجه اعطاء الخلايا الجذعية الجنينية الى المريض رفضا مناعيا.

*- يمكن للخلايا الجذعية الجنينية ان تعطي كل انماط خلايا الجسم ، بينما يكاد يقتصر دور الخلايا الجذعية البالغة على التمايز الى نمط خلايا النسيج أو العضو الذي تتواجد فيه، مع وجود دلائل تشير الى امكانية تمايزها الى انواع اخرى من الخلايا ولكن بصورة محدودة بالمقارنة مع الخلايا الجذعية الجنينية.

*- ان اهم فائدة تطبيقية للخلايا الجذعية هي امكانية توليد خلايا وانسجة يمكن استخدامها في علاج العديد من الحالات المرضية، حيث ان توجيه الخلايا الجذعية لكي تتمايز الى نمط خلوي معين يمنح امكانية تعويض الخلايا والأنسجة التالفة مما يؤدي الى امكانية علاج العديد من الحالات المرضية كالسكري Diabetes، ومرض باركنسن Parkinson's Disease ، ومرض الزهايمرAlzheimer's Disease ، وامراض القلب، والحروق، وغيرها .

- **<u>مرض باركنسن</u> : مرض ناتج عن تلف جزء محدد في النواة القاعدية للدماغ معروف بأسم المادة السوداء وهذه المادة مسؤولة عن افراز مادة الدوبامين الضرورية لتوازن وضبط حركات الأنسان، ومن ابرز اعراض المرض الرجفان وتصلب الجسم واختلال التوازن.**
- **<u>مرض الزهايمر</u>: ويدعى ايضا بمرض النسيان أو الخرف وهو مرض يصيب الخلايا العصبية في المخ ويؤدي الى تلفها والى انكماش حجم المخ حيث يصيب الجزء المسؤول عن التفكير والذاكرة واللغة.**

تكوين خلايا الدم Hemopoiesis or Hematopoiesis

ان عملية تكوين خلايا الدم تبدأ مبكرا في كيس المح Yolk Sac ثم بعدها تحدث في الكبد ثم الطحال. ويتكون نخاع العظم في نهاية الشهر الثاني من عمر الجنين ولكن اهميته في تكوين خلايا الدم تبدأ من الشهر الخامس. وفي الشهر السابع من الحمل يصبح نخاع العظم (الموجود حينها في تجاويف كل عظام الجسم) الموقع الرئيسي لهذه العملية.

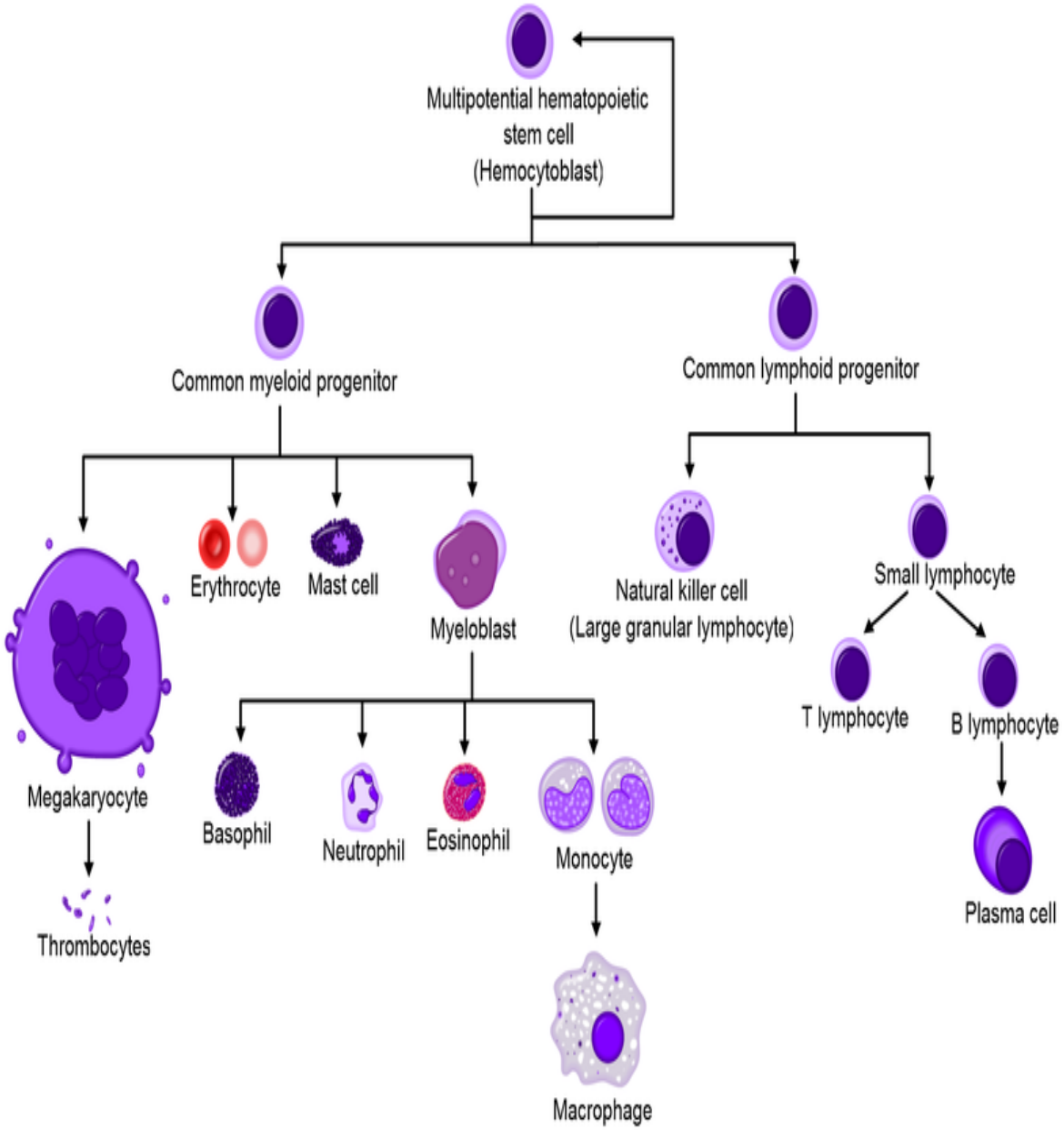
*- خلال السبع سنوات الأولى يتواجد نخاع العظم الأحمر(لأحتوائه على كمية كبيرة من الخلايا المكونة للخلايا الحمربمراحل نضج مختلفة) في كل تجاويف العظام ثم يبدأ وجوده بالأنحسار تدريجيا ، و بعد البلوغ يقتصر وجوده في مناطق محددة من تجاويف العظام كنهايات العظام الطويلة القريبة من محور الجسم (الفخذ والساق والعضد) والعظام المسطحة (كالترقوة والقص والفقرات والأضلاع) ويحل محله في المناطق الأخرى نخاع عظم اصفر دهني، ويستمر ذلك حتى سن الحادية والعشرين.

*- بعد الولادة يقتصر حدوث عملية تكوين خلايا الدم على نخاع العظم ولكن في حالات مرضية كالأصابة بعدوى مايكروبية أو الأصابة باللوكيميا Leukemia أو الورم الليمفاوي Lymphoma يعود دور كل من الكبد والطحال في هذه العملية وهذا مايعرف بتكوين خلايا الدم خارج النخاع (Extramedullary Hemopoiesis)

تنظيم تكون خلايا الدم: هناك عوامل نمو Growth Factors تشمل مايعرف بالسايتوكاينات Cytokines والأنترلوكينات Interleukins (ILs) والهرمونات Hormones تشترك في تنظيم كل مراحل تكوين خلايا الدم فمثلا الـعامل المحفز لمستعمرات الخلايا الحبيبية Granulocyte-Colony Stimulating Factor (G-CSF) الذي ينتج من قبل الخلايا السدوية في نخاع العظم ينظم عملية تكوين الخلايا البيض الحبيبية Granulopoiesis ، وهورمون Erythropoietin الذي تنتجه الكلية ينظم تكوين خلايا الدم الحمر Erythropoiesis والـ Thrombopoietin الذي ينتجه الكبد ينظم تكوين الصفيحات الدموية.

*- تعطي الخلايا الجذعية المكونة للدم Hemopoietic(Hematopoietic) Stem Cells كل انواع خلايا الدم، فبعد تكاثر الخلايا الجذعية يبدأ قسم منها بالتمايز لتصبح مايعرف بالخلايا المتعهدة Committed Cells ويطلق عليها ايضا مصطلح Progenitor Cells، وهذه الخلايا المتعهدة يتم توجيه قسم منها لأنتاج الخلايا النخاعينية لذلك تعرف بالخلايا المتعهدة النخاعينية Myeloid Progenitor Cells والتي تستمر بالتمايز لتنتج كل من الخلايا البيض الحبيبية بأنواعها، والخلايا البدينة، والخلايا الوحيدة، والخلايا الحمر، والخلايا النواء Megakaryocytes التي تنشأ منها الصفيحات الدموية. بينما يتم توجيه القسم الأخر ليعطي الخلايا اللمفاوية

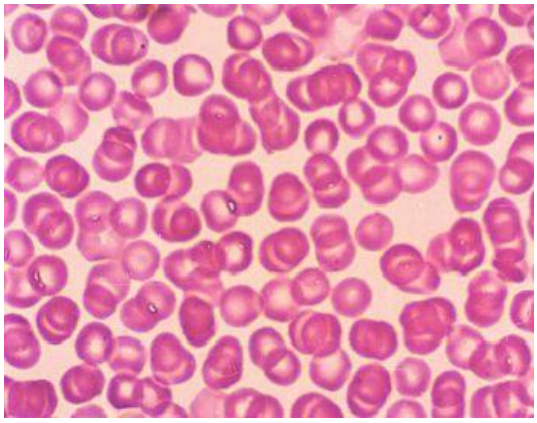
لذلك تعرف بالخلايا المتعهدة اللمفاوية Lymphoid Progenitor Cells والتي تعطي بعد تمايزها الخلايا اللمفاوية (B وT) بالأضافة الى الخلايا القاتلة الطبيعية Natural Killer Cells كما هو موضح في الشكل .



مراحل تكون الأنواع المختلفة من خلايا الدم

<u>خلايا الدم الحمر (RBCs)</u> : وهي خلايا صغيرة الحجم يبلغ قطرها حوالي **µm (8.5 -7)** قرصية الشكل مقعرة الوجهين (Biconcave Shape) حيث ان مركزها ارق من حافاتها .

بالمجهر الألكتروني



بالمجهر الضوئي

خلايا الدم الحمر Erythrocytes

ان حجم الخلايا الصغير وشكلها يعطي مساحة سطحية كلية كبيرة وهذا بدوره يعزز من كفاءة التبادل الغازي

- الخلايا الحمر في مجرى الدم لاتحوي نواة حيث انها فقدتها مع باقي العضيات خلال مراحل تكوينها في نخاع العظم مما يتيح مجال اوسع للهيموغلوبين الذي تحويه .

- مع ان الخلايا الحمر لاتمتلك مايتوكوندريا ولكنها نشطة ايضيا حيث تحصل على الطاقة بتوليد الـ ATP عن طريق الأيض غير الهوائي Anaerobic Metabolism (ان نقل الأوكسجين بواسطة الخلايا الحمر يكون اقل فاعلية لو كانت هذه الخلايا تستعين بالأيض الهوائي حيث انها عندئذ ستستهلك بعض الأوكسجين الذي تحمله).

- تمتلك الخلايا الحمر القدرة العالية على تغيير شكلها وذلك يمكنها من المرور خلال اوعية دموية صغيرة قد يصل قطرها الى (**3 µm**) ويطلق على هذه الصفة مصطلح Erythrocyte Deformability .

- الغشاء البلازمي للخلايا الحمر مدعم من الداخل بهيكل شبكي متألف من بروتينات متقلصة هي الأكتين Actin والسبكترين Spectrin وهي مسؤولة الى حد كبير عن الحفاظ على الشكل ثنائي التقعر المميز لهذه الخلايا.

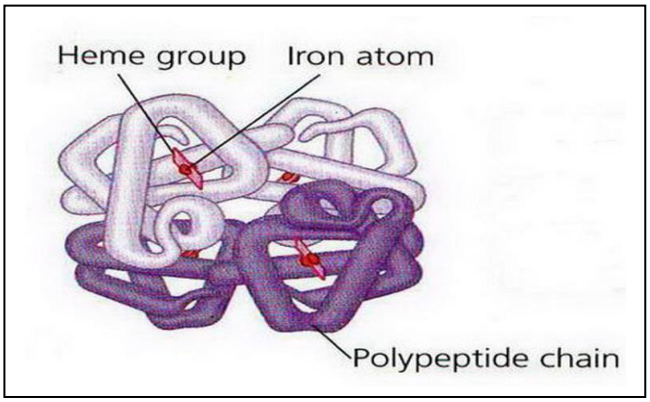
- للخلايا الحمر فترة حياة تتراوح بين (**100-120**) يوم في الدورة الدموية، حيث ان الخلايا كبيرة العمر غير قادرة على تصنيع انزيمات جديدة بدل تلك التي فقدتها خلال عمليات الأيض الطبيعية وبذلك تفقد الخلايا الكثير من قدراتها وتصبح اقل مرونة، ويتم التخلص من الخلايا كبيرة العمر والخلايا المشوهة في الطحال بصورة رئيسة وتزال بواسطة الألتهام الخلوي.

الهيموغلوبين Hemoglobin (Hb) :

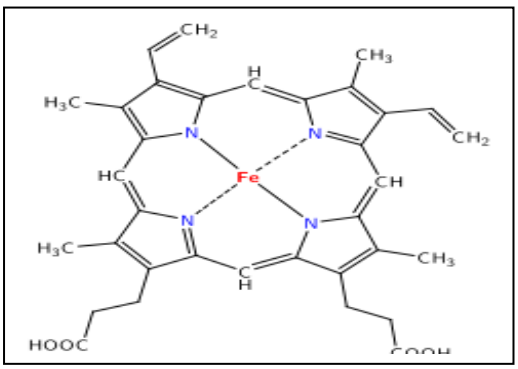
وهو البروتين الناقل للأوكسجين والحاوي على الحديد ، ويؤلف حوالي (**97%**) من المحتوى الجاف للخلية الحمراء وحوالي (**35%**) من المحتوى الكلي لها بضمنه الماء.

- تتألف جزيئة الهيموغلوبين من اربع وحدات ثانوية بروتينية كروية و كل وحدة ثانوية عبارة عن سلسلة متعدد الببتايد (Polypeptide Chain) ترتبط بمجموعة غير بروتينية تدعى الهيم (Heme) ،علما بأن كل سلسلة تنتظم بشكل طيات تحوي جيب يرتبط بقوة بمجموعة الهيم .

- ان الحديد في مجموعة الهيم يكون بهيئة حديدوز Ferrous أي Fe^{2+} ويكون محمولا ضمن حلقة تعرف بالبورفيرين (Porphyrin)، حيث ان ايون الحديدوز الذي هو موضع ارتباط الأوكسجين يرتبط بدوره مع اربعة ذرات نيتروجين في مركز الحلقة ويكون الجميع ضمن مستوي واحد ، كما ان أيون الحديدوز يرتبط بقوة بالبروتين الكروي بواسطة حلقة اميدازول (Imidazole Ring).



جزيئة هيموغلوبين



مجموعة هيم

- يمكن لجزيئة هيموغلوبين واحدة أن ترتبط بـ (1-4) جزيئات اوكسجين وذلك لأمتلاكها أربعة مجاميع هيم وكل مجموعة هيم تمتلك آيون حديدوز مع التأكيد على ان كل أيون حديدوز يمتلك القدرة على الأرتباط بجزيئة اوكسجين واحدة .

أنواع الهيموغلوبين الطبيعي : هناك أنواع مختلفة من الهيموغلوبين الطبيعي يتم انتاجها خلال مراحل نشوء ونمو الشخص الطبيعي وتشمل :

1- **هيموغلوبين البالغ Adult Hemoglobin** : ويرمز له (HbA) ويبدأ بالتكون بكميات قليلة في حوالي الأسبوع الثامن من الحمل وتزداد كميته مع تقدم عمر الجنين ويصبح سائدا الى حوالي الشهر السادس من عمر الطفل (أي حوالي 6 أشهر بعد الولادة)

- يتألف هيموغلوبين البالغ من اربع مجاميع هيم وأربعة سلاسل متعدد الببتايد حيث يبلغ المجموع الكلي للأحماض الأمينية (**574**) حامض اميني.

- تنتظم سلاسل متعدد الببتايد الى سلسلتين من نوع ألفا Alpha وسلسلتين من نوع بيتا Beta .
- يمتلك هيموغلوبين البالغ (**141**) حامض اميني في كل سلسلة من نوع ألفا و (**146**) حامض اميني في كل سلسلة من سلاسل بيتا، علما بأن تعاقب هذه الأحماض الأمينية معروف ومهم في تشخيص الهيموغلوبين غير الطبيعي.
- هناك نوع من هيموغلوبين البالغ يدعى HbA2 يتألف من سلسلتين ألفا وسلسلتين من سلاسل تدعى دلتا Delta ويوجد بنسبة قليلة لا تتجاوز حوالي 3% من مجموع الهيموغلوبين .

2- **الهيموغلوبين الجنيني البدائي Embryonic Hb**: ويتكون في كيس المح ويستمر وجوده في الجنين الى حوالي نهاية الشهر الثالث من الحمل ويوجد بأربعة أنواع هي :

1- Gower 1 : يتألف من سلسلتين من سلاسل تدعى زيتا Zeta والتي تناظر سلاسل ألفا في الهيموغلوبين البالغ وسلسلتين من سلاسل تدعى ابسلون Epsilon .
2- Gower 2 : يتألف من سلسلتين من سلاسل ألفا مع سلسلتين من سلاسل أبسلون .
3- Portland I : يتألف من سلسلتين من سلاسل زيتا وسلسلتين من سلاسل تدعى كاما Gamma .
4- Portland II : يتألف من سلسلتين زيتا وسلسلتين بيتا .

3 - **الهيموغلوبين الجنيني Fetal Hb (HbF)**: وهو النوع السائد في الأجنة وحديثي الولادة ، ويتألف من سلسلتين ألفا وسلسلتين كاما . ويظهر هذا النوع في الأسبوع الخامس من الحمل حيث يتكون في الكبد ويبقى بكميات كبيرة لعدة اشهر بعد الولادة (حوالي ستة أشهر) وبعدها تبدأ كميته بالتناقص لتصل الى أقل من 2% من مجموع الهيموغلوبين الكلي .

ملاحظة : تم تسمية السلاسل الببتيدية اعتمادا على الجينات التي تشفر لها، وتختلف هذه السلاسل في محتوى وتسلسل الأحماض الأمينية التي تحويها.

- عندما تكون جزيئة الهيموغلوبين محملة بالأوكسجين يدعى المركب الناتج بالهيموغلوبين المؤكسج Oxyhemoglobin ، ويحدث هذا التزود بالأوكسجين في الأوعية الدموية الشعرية الموجودة على جدران الحويصلات الرئوية . وعند انفصال الأوكسجين عن الهيموغلوبين يدعى المركب الناتج بالهيموغلوبين المنزوع عنه الأوكسجين Deoxyhemoglobin ويحدث ذلك بعد تحرر الأوكسجين من الهيموغلوبين الى الأنسجة .
- عند أكسدة الحديدوز Ferrous (Fe^{2+}) الموجود في جزيئة الهيموغلوبين الى حديديك Ferric (Fe^{3+})

فأن المركب الناتج يعرف بـ الميتهيموغلوبين Methemoglobin (علما بأن الحديديك لايرتبط بالأوكسجين) وقد تحدث هذه الأكسدة بتأثير بعض العقاقير المؤكسدة الحاوية على Nitrates أو Sulfonamides أو بعض مواد التخدير الموضعي كالـ Lidocaine .

في الحالات الطبيعية يعاد الهيموغلوبين الى حالته الطبيعية في الخلايا الحمر بفعل مواد مختزلة كانزيم NADH Methemoglobin Reductase الذي يمتلك الدور الرئيسي في هذه العملية بالأضافة الى انزيم NADPH Methemoglobin Reductase و الكلوتاثايون Glotathione و حامض الأسكوربك Ascorbic Acid (أي Vitamin C) .

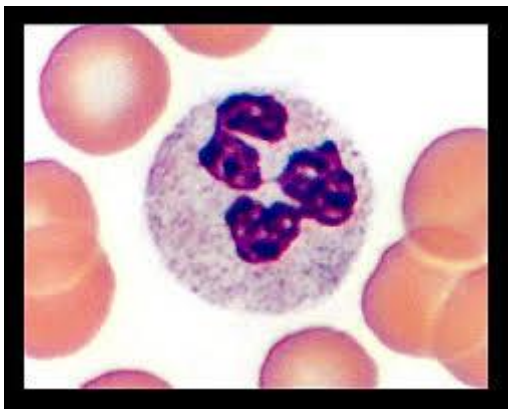
في بعض الحالات المرضية تحدث زيادة كبيرة في مستويات الميتهيموغلوبين نتيجة نقص في انزيم NADH Methemoglobin Reductase أو نتيجة التعرض لمستويات عالية من العقاقير والمواد المؤكسدة ، وفي هذه الحالة المسماة Methemoglobinemia تقل كفاءة الدم في نقل الأوكسجين الى الأنسجة، أي يحدث نقص أوكسجيني Hypoxia ويتم علاج هذه الحالات بتزويد المريض بمركبات تؤدي الى اختزال الميهيموغلوبين الى هيموغلوبين طبيعي ومن هذه المواد ازرق المثيلين الـ Methylene Blue .

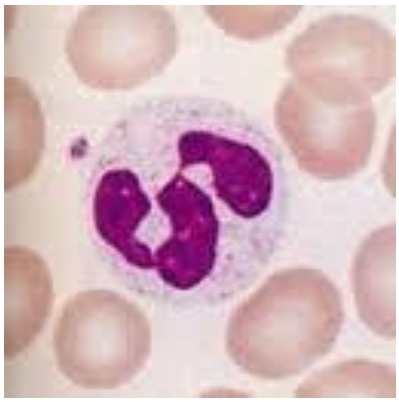
- للهيموغلوبين ميل شديد للأرتباط بغاز احادي أوكسيد الكربون CO (أكثر من ميله للأرتباط بالأوكسجين بأكثر من 200 مرة) والمركب الناتج يدعى كاربوكسي هيموغلوبين Carboxyhemoglobin حيث يكون الأرتباط بنفس موقع ارتباط الأوكسجين ولذلك فأن التعرض لكميات قليلة منه يختزل كفاءة الهيموغلوبين في نقل الأوكسجين الى الأنسجة وفي الحالات الشديدة قد يؤدي الى الموت . علما ان مصدر هذا الغاز قد يكون عادم المركبات والمولدات ودخان الحرائق وكذلك دخان السكائر .
- ينتقل قسم من غاز ثنائي أوكسيد الكربون CO_2 عن طريق الهيموغلوبين وذلك بأرتباطه بمجاميع الأمين في جزيئة الكلوبين وليس بمجاميع الهيم ويدعى المركب عندئذ بـ Carbaminohemoglobin .

خلايا الدم البيض (WBCs) : خلايا تشترك في عمليات الدفاع ضد المواد الغريبة وهي تحوي انوية وعضيات وتشمل نوعين رئيسين هما:

الخلايا البيض الحبيبية Granular Leukocytes : ويطلق عليها ايضا الخلايا النخاعينية Myeloid Cells لكون منشأها في نخاع العظم. يحوي السايتوبلام في هذه الخلايا حبيبات واضحة، ويقسم هذا النوع نسبة الى الفة الحبيبات للأصطباغ بالصبغات الحامضية والقاعدية الى:

1- **الخلايا العدلة Neutrophils:** وتدعى ايضا Polymorphonuclear Leukocytes او Polymorphs Leukocytes حيث تكون نواتها ذات فصوص متعدة (**2-5**) وعدد الفصوص يرتبط بتقدم عمر الخلية . وهي الأكثر شيوعا في الخلايا البيض .





خلايا عدلة Neutrophils

- تمتلك الخلايا العدلة القليل من المايتوكوندريا والتي تجهز الخلية بحوالي (**50%**) من الطاقة التي تحتاجها وعند نشاطها فأنها تحتاج الى المزيد من الطاقة لذلك فهي تمتلك كمية وافرة من الكلايكوجين الذي يزودها بالطاقة عن طريق التحلل السكري.

تترك الخلايا العدلة الدم وتدخل الأنسجة لتصبح خلايا ملتهمة ذات حركة نشطة حيث تعمل على تناول الأحياء المجهرية التي تغزو الأنسجة ثم تقضي عليها بعملية تدعى بالألتهام الخلوي أو البلعمة Phagocytosis علما بأن حبيباتها تعتبر نوع متخصص من الأجسام الحالة Lysosomes والتي تحوي انزيمات محللة.

- لوصول الخلايا العدلة الى منطقة الأصابة او النسيج المتضرر فأنها تغادر الدوران عن طريق الألتصاق بالخلايا البطانية Endothelial Cells بواسطة جزيئات لاصقة Adhesion Molecules ثم تنتقل عبر البطانة والغشاء

القاعدي، وانتقالها يكون استجابة لعوامل جذب كيميائي Chemotaxins كالنواتج المتسربة من الخلايا الميتة والسكريات المتعددة المشتقة من البكتريا .

مراحل الألتهام الخلوي (البلعمة) Phagocytosis: ويمكن تلخيصها بالخطوات الآتية:

(a)- ترتبط الخلية العدلة بالجسيم الغريب بواسطة المستقبلات النوعية الموجودة على غشائها .

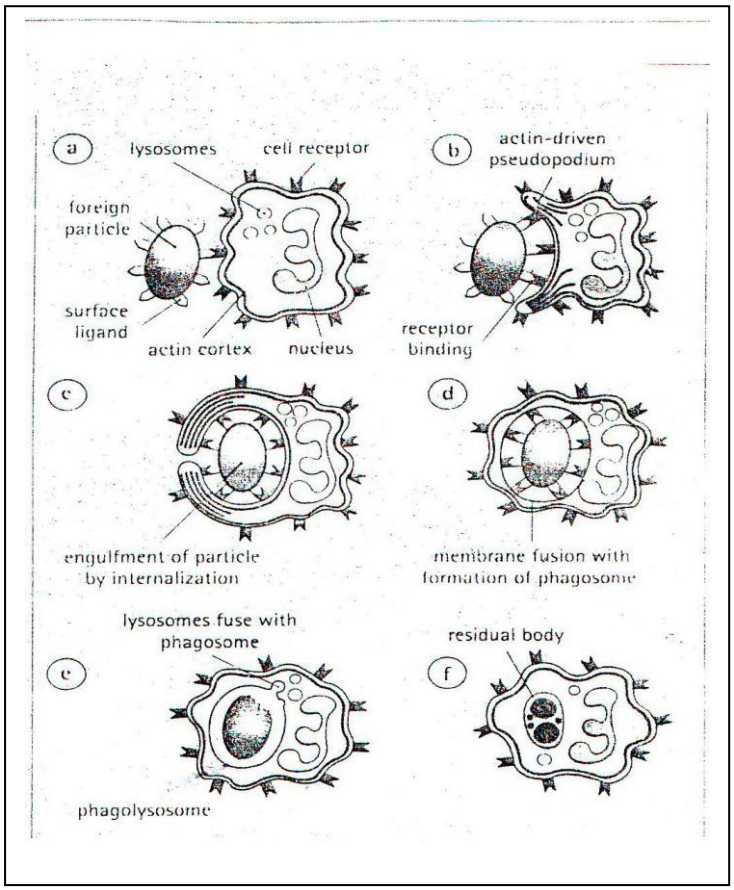
(b)- بعد اكتمال الأرتباط تبدأ الخلية العدلة بمد اقدام كاذبة Pseudopodia لتحيط بالجسيم الغريب

(c)- يتم ابتلاع Engulfment الجسيم الغريب.

(d)- بأندماج الغشاء يتكون مايدعى بالجسم الملتهم Phagosome والذي هو عبارة عن الجسيم المحصور ضمن الكيس المتكون بعد الأبتلاع.

(e)- تندمج الأجسام الحالة مع الكيس الحاوي على الجسيم الغريب وتطلق محتوياتها من الأنزيمات الحالة لقتله.

(f)- يتم تحطيم الجسيم الغريب.



الألتهام الخلوي Phagocytosis

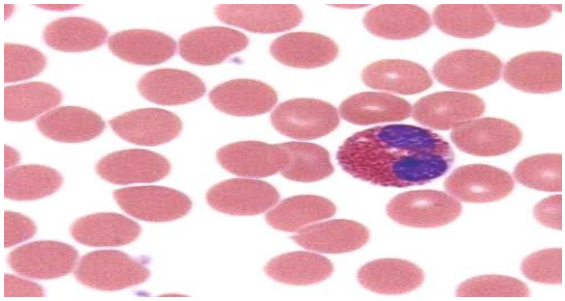
- تموت الخلايا العدلة بعد عملية الألتهام الخلوي التي تستنزف مقدار كبير من طاقتها وتستهلك احتياطي الكلايكوجين فيها.

- بعد موت الخلايا تتحرر انزيماتها المحللة الى خارج الخلايا وتسبب سيولة النسيج المجاور.

- ان مزيج الخلايا العدلة الميتة والبكتريا وحطام الخلايا الميتة والسائل النسيجي المتكون يكون مايعرف بالقيح Pus الذي يحوي ايضا بعض الخلايا الحية وعدد من الخلايا الملتهمة (البلاعم) الكبيرة Macrophages التي تستجيب ايضا لعوامل الجذب الكيميائي.

- لحصر منطقة الأصابة والألتهاب تتم احاطة هذا القيح بواسطة محفظة من الياف الكولاجين والتركيب الناتج عن ذلك يدعى الخراج Abscess.

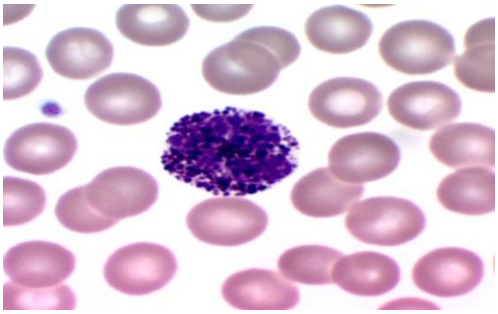
2- الخلايا الحمضة Acidophils or Eosinophils: تمتلك نواة ذات فصين وهي خلايا ملتهمة ذات ميل خاص لألتهام معقدات المستضد - الجسم المضادة Antigen-Antibody Comlexes، بينما تمتلك فعالية اقل في قتل الأحياء المجهرية بالمقارنة مع الخلايا العدلة. وتزداد هذه الخلايا في حالات الحساسية والأصابات الطفيلية، وهي ايضا تنتقل استجابة لنواتج البكتريا كما انها تجذب بواسطة المواد المتحررة من حبيبات الـ الخلايا البدينة Mast Cells كالهستامين، وعندما يكون الهدف كبير جدا ولايمكنها ابتلاعه كالطفيلي مثلا فأنها تحرر محتويات حبيباتها الى المحيط الخارجي.



خلية حمضة Eosinophil

3- **الخلايا القعدة Basophils** : نواتها غير منتظمة الشكل ، وحبيباتها تحوي الهيبارين الذي يمنع تخثر الدم والهستامين الذي يحدث زيادة في نفاذية الأوعية كما انه يجذب الخلايا الحمضة.

عند التعرض للمحسسات Allergens تحدث عملية اخراج خلوي Exocytosis لحبيبات الخلايا وتتحرر مكوناتها الى الخارج.



خلية قعدة Basophil

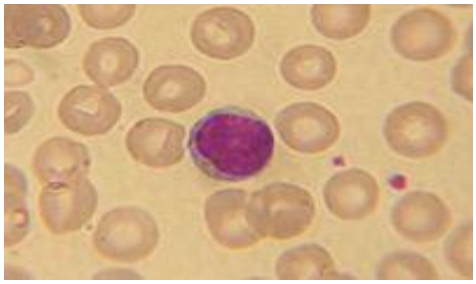
<u>الخلايا البيض غير الحبيبية Agranular Leukocytes</u>: وتكون ذات سايتوبلازم متجانس خالي من الحبيبات التي تميز النوع الأخر . وتشمل نوعين من الخلايا هما:

1- الخلايا اللمفاوية Lymphocytes: وتتكون في الأنسجة اللمفاوية كالعقد اللمفاوية والطحال واللوزتين وغدة التوثة Thymus gland بالأضافة الى نخاع العظم. يزداد عددها عند الأصابة بالفايروسات. وهي تشمل نوعين رئيسين هما :

أ- B Cells وهذه تتحول الى الخلايا البلازمية Plasma Cells التي تفرز الأجسام المضادة Antibodies .

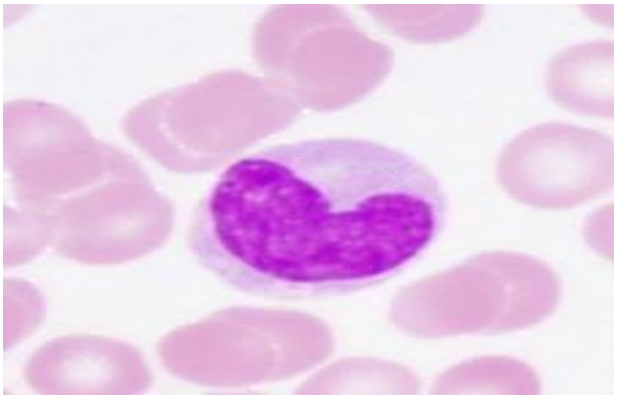
ب- T cells وتتوسط المناعة الخلوية.

- الخلايا اللمفاوية نشطة الحركة ولكن ليس لها القدرة على الألتهام.



خلية لمفاوية Lymphocyte

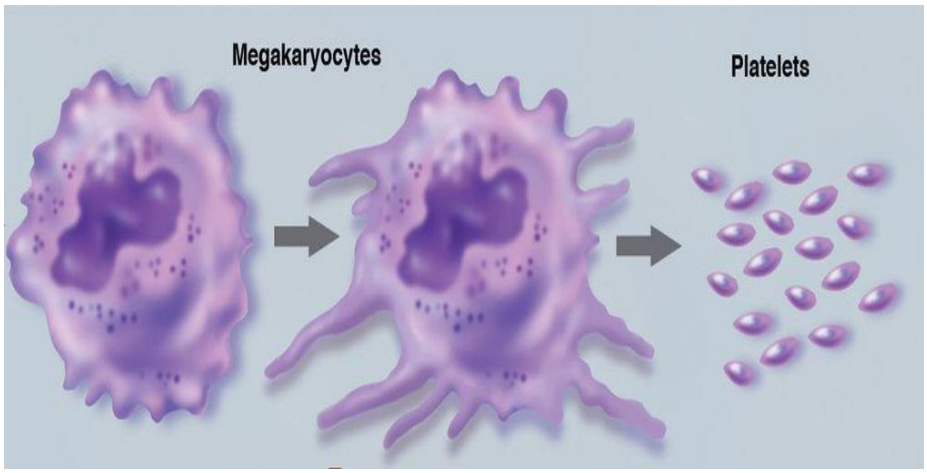
2- الخلايا الوحيدة Monocytes : وتنشأ في الطحال ونخاع العظم ، وهي خلايا ملتهمة كبيرة الحجم متحركة تستجيب كيميائيا لمواد التنخر والأحياء المجهرية وعند دخولها الأنسجة يطلق عليها الملتهمات او البلاعم الكبيرة Macrophages .



خلية وحيدة Monocyte

الصفيحات الدموية Blood Platelets : يبلغ قطرها حوالي µm(2-3) وتشتق من الخلايا الكبيرة الموجودة في نخاع العظم والتي تعرف بـ الخلايا النواء(Megakaryocytes) حيث تمد هذه الأخيرة امتدادات سايتوبلازمية طويلة، ثم تتخصر هذه الأمتدادت في مناطق مختلفة وتنقسم الى قطع كبيرة وهذه القطع هي التي تدعى بالصفيحات الدموية التي تقوم بدور كبير في عملية ايقاف النزف الدموي والتى تعرف ايضا بالأرقاء (Hemostasis).

- كل خلية نواء تنتج حوالي من (1000-2000) صفيحة تتحرر الى الدوران، بينما تتحطم بقايا المادة النووية للخلية .



تكوين الصفيحات الدموية من الخلية النواء

الجانب التركيبي للصفيحة الدموية: عند فحص الصفيحة بأستخدام المجهر الألكتروني ، تلاحظ التراكيب الأتية :

- طبقة رقيقة كالزغب تحيط بالغشاء البلازمي للصفيحة تعرف بـ Glycocalyx وتحوي مستقبلات كلايكوبروتينية خاصة بألتصاق الصفيحة وتغيير شكلها كما انها تحوي بروتينات البلازما.

- الغشاء البلازمي وتحته مباشرة توجد سلاسل من خيوط دقيقة Microfilaments و نبيبات دقيقة Microtubules والتي تكون الهيكل الخلوي للصفيحة وتحافظ على شكلها القرصي.

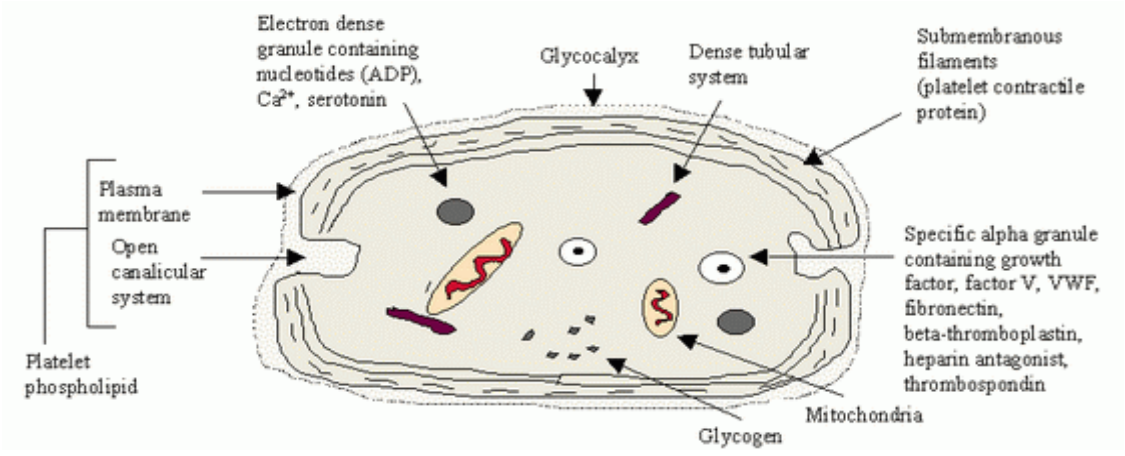
- يمتد عبر الغشاء البلازمي الى داخل الصفيحة جهاز اقنية مفتوح النهايات تتحرر عن طريقه نواتج الحبيبات الى البيئة الخارجية.

- يحتوي السايتوبلازم على بروتينات تقلصية تشمل الأكتومايوسين Actomyosin والمايوسين Myosin و الخيطين Filamin.

- تحوي الصفيحة الدموية انواع مختلفة من الحبيبات الخازنة والتي تحوي مواد عديدة تشمل:

عوامل التخثر، والسيروتونين، والأيبينفرين، والأدنين ثنائي الفوسفات (ADP)، وايونات الكالسيوم (Ca^{++})، وبروستاكلاندينات Prostaglandins ، وانزيمات التحلل المائي.

الصفيحة الدموية ذات طاقة عالية جدا، حيث انها ذات معدل ايض يفوق معدل ايض الخلية الحمراء بحوالي (10) مرات، وهي تحصل على الطاقة عن طريق الأيض الهوائي في المايتوكوندريا، والأيض اللاهوائي بأستخدام الكلايكوجين في عملية التحلل السكري Glycolysis.



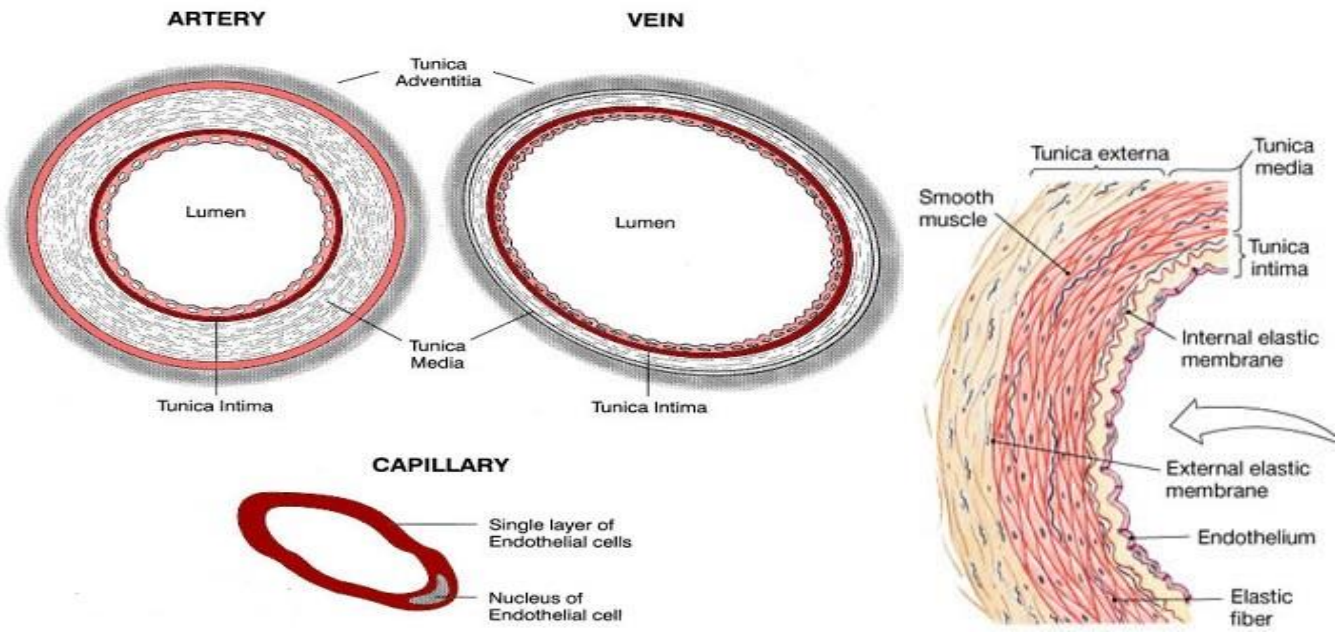
تركيب الصفيحة الدموية بالمجهر الألكتروني

<u>الأرقاء (Hemostasis)</u>: وهي عملية ايقاف النزف الدموي Hemorrhage.

على الرغم من التغايرات في حجم الأوعية الدموية وانواعها شرايين Arteries، واوردة Veins، وشرينات Arterioles، و وريدات Venules، الا ان جدرانها بصورة عامة تقسم الى ثلاث طبقات نسيجية هي

1- الغلاف الداخلي (البطاني) Tunica Intima يتألف من طبقة مفردة من خلايا بطانية Endothelial Cells مثخنة بواسطة طبقة من نسيج رابط تحت بطاني يحوي الياف مطاطة تشمل الكولاجين Collagen والأيلاستين Elastin .
2- الغلاف الوسطاني Tunica Media وهي الطبقة الأكثر سمكا وتتألف من الياف عضلية ملساء والياف مطاطة.
3- الغلاف البراني Tunica Adventitia أو Tunica Externa يتألف من نسيج رابط ليفي يحوي نهايات عصبية ذاتية كما يحوي شبكة صغيرة من الأوعية الدموية التي تغذي انسجة جدار الوعاء الدموي.

أما الأوعية الدموية الشعرية أي الشعيرات Capillaries فتكون ذات جدران رقيقة تتألف من طبقة مفردة من الخلايا البطانية Endothelial Cells ، وهي الأكثر وفرة من بين انواع الأوعية الدموية.

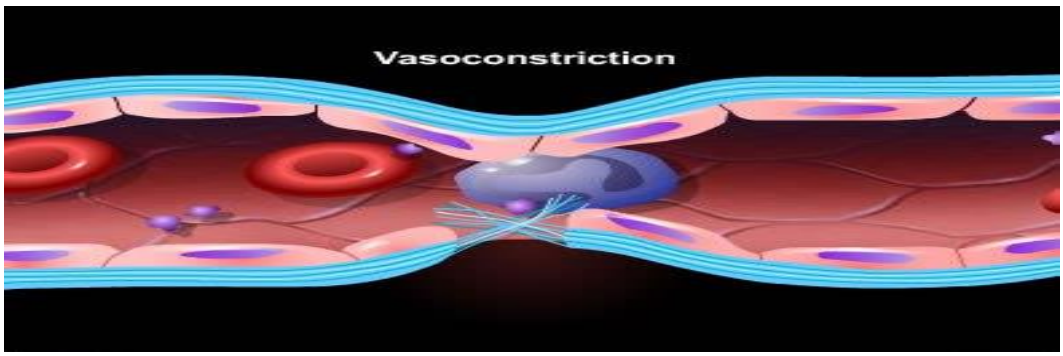


طبقات جدار الوعاء الدموي

- عند حدوث ضرر او تمزق في الأوعية الكبيرة او متوسطة الحجم كالشرايين والأوردة فأن ذلك يتطلب تداخل جراحي سريع لأيقاف النزف.

- عند حدوث الضرر في وعاء اصغر كالشرينات او الوريدات او الشعيرات يحدث الأرقاء الذي يشمل المراحل الأتية :

1- **التضيق الوعائي Vasoconstriction :** ويحدث فيه انقباض في جدران الوعاء لغرض السيطرة على النزف بتخفيض تدفق الدم من الوعاء المتضرر وهي رد فعل انعكاسي يبقى لفترة قصيرة وتقوم به العضلات الملساء الموجودة في جدار الوعاء بتحفيز من التفرعات الودية Sympathetic Branches. وبسبب التضيق يزداد التماس بين جدران الوعاء فيختزل النزف. قد يكون التضيق كاف لغلق النهايات الممزقة للشعيرات حيث تكبس البطانات اللزجة مع بعضها، كما ان التضيق يسمح ايضا بزيادة التماس بين جدار الوعاء المتضرر والصفيحات الدموية وبروتينات التخثر.

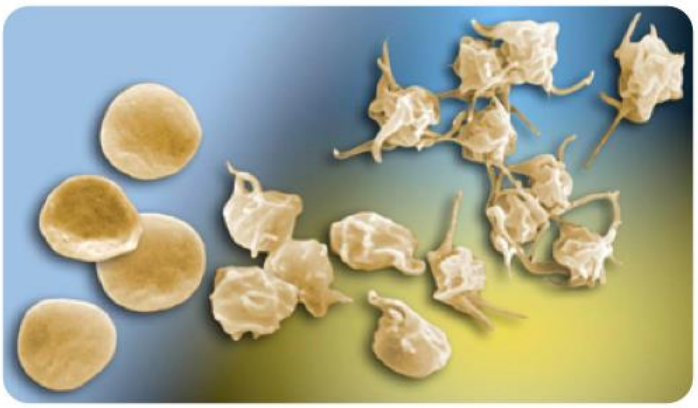


التضيق الوعائي Vasoconstriction

2- تكوين السدادة الصفيحية Platelet Plug Formation: وفيها تلتصق الصفيحات مباشرة بالنسيج الرابط تحت البطاني الذي اصبح مكشوفا (حيث تلتصق بالكولاجين بصورة خاصة). ان الصفيحات المتجمعة تعزز التضيق الوعائي عن طريق تحرير السيروتونين والأيبينفرين ومادة اخرى تدعى Thromboxane A2، وهذه الأخيرة تتكون بفعل التحلل المائي لفوسفوليبيدات غشاء الصفيحة، حيث يتحرر حامض الأراشيدونك Arachidonic Acid الذي يتحول الى بروستاكلاندينات والتي بدورها تتحول الى الـ Thromboxane A2، والتي لها دور ايضا في تسهيل تحرر المكونات الأخرى لحبيبات الصفيحة، كما ان هذه المادة تحث الصفيحات الأخرى على التجمع.

- الـ ADP المتحرر من الصفيحات يزيد من لزوجة وسرعة التصاق الصفيحات وبالتالي يؤدي الى تجمع عدد اكبر منها.

- الصفيحات غير المحفزة في مجرى الدم تكون قرصية ذات سطح املس وعند تحفيزها تصبح لزجة مع الحفاظ على شكلها القرصي ولكن عندما يكون الحافز اقوى فأنها تتحول الى شكل كروي وتمد اقداما كاذبة شوكية الشكل تساعدها على التجمع مع بعضها، وهذا التغير الأخير يحدث بوجود زيادة في مستوى الكالسيوم في السايتوبلازم.



Activated platelets show little cell feet called pseudopodia.

الصفيحات الدموية المحفزة بقوة

(الشكل الكروي ذو الأمتدادات الشوكية)

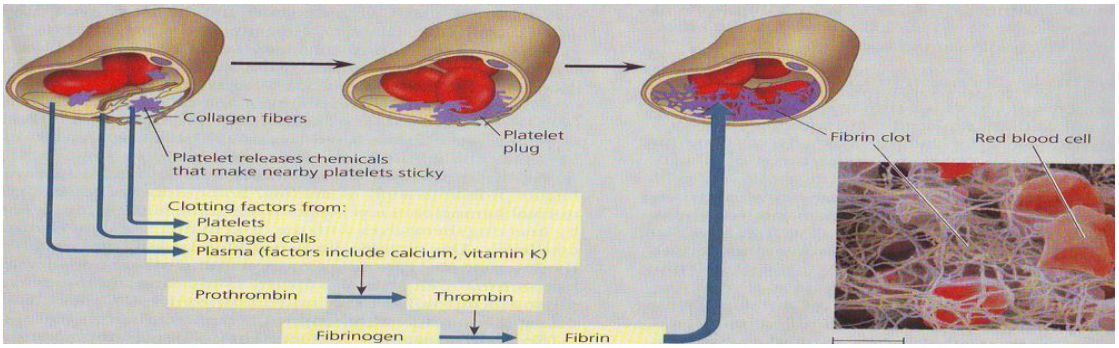
3- **<u>تخثر (تجلط) الدم Blood Coagulation :</u>** وهي مرحلة تثبيت السدادة الصفيحية وتشترك فيها عوامل تخثر عديدة ويمكن تلخيص هذه المرحلة بما يأتي:

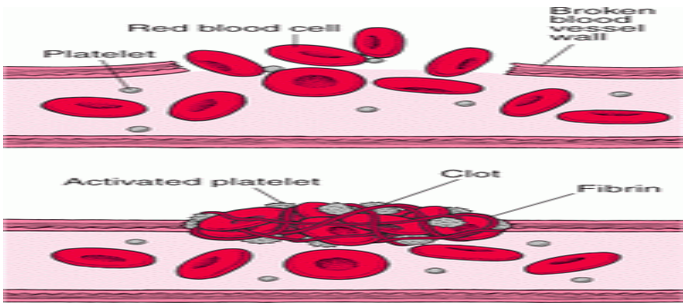
$$\text{Prothrombin} \xrightarrow{\text{Thromboplastin} + Ca^{++}} \text{Thrombin}$$

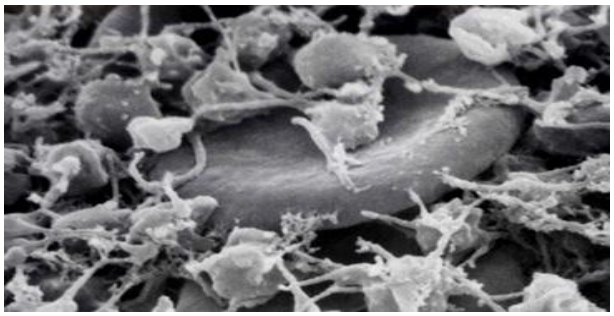
$$\text{Fibrinogen} \xrightarrow{\text{Thrombin}} \text{Fibrin}$$

حيث يترسب الفايبرين المبلمر حول كل صفيحة وبذلك يعمل على تماسك وتثبيت السدادة الصفيحية أي يتكون مايدعى بالخثرة Clot التي تحوي عددا من الخلايا الحمر العالقة.

* البروثرومبين يصنع في الكبد بوجود كمية مناسبة من فيتامين K.



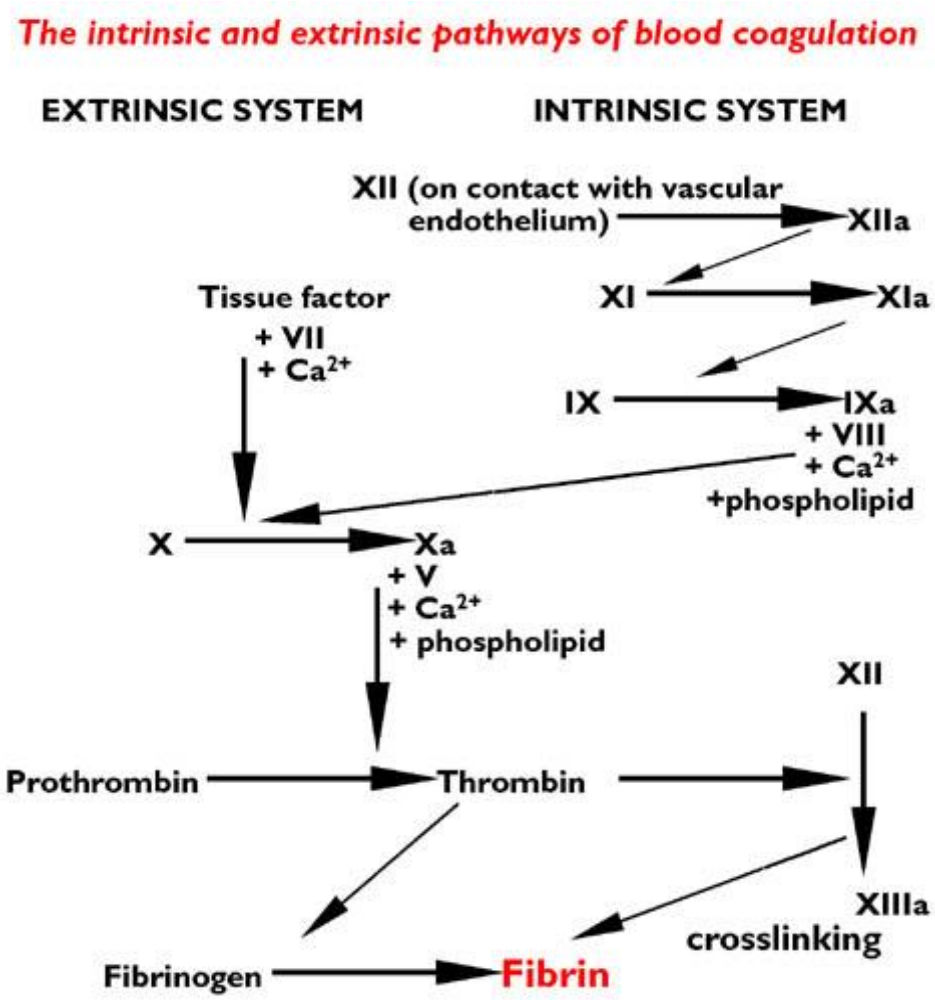




تكون خثرة الفايبرين (الليفين)

- هناك مسلكين لأشتقاق انزيم الثرومبين من الأنزيم غير النشط (البروثرومبين) أحدهما يدعى بالمسلك الداخلي Intrinsic Pathway وهذا يتم تحفيزه بواسطة عوامل موجودة ضمن الوعاء الدموي المتضرر وفيه يكون الثرومبوبلاستين متحررا من الصفيحات الدموية المتكسرة ، والآخر يدعى بالمسلك الخارجي Extrinsic Pathway وهو الذي يتم تحفيزه في الأنسجة المتمزقة المحيطة بالوعاء الدموي المتضرر حيث يتحرر الثرمبوبلاستين من هذه الأنسجة .

- المخطط الآتي يوضح بأيجاز مراحل كلا المسلكين والتي تتم بأشتراك العديد من عوامل التخثر:



- بعد تكوين الخثرة تبدأ عمليات تجديد المناطق المتضررة من جدار الوعاء، حيث تعاني الخلايا البطانية في منطقة الضرر انقسامات خلوية والخلايا الجديدة الناتجة عن هذه الأنقسامات تملأ الفجوات الناجمة عن الضرر بالأضافة الى وصول عدد من الخلايا المولدة الليفية Fibroblasts الى منطقة الأصابة لتكوين النسيج الرابط واصلاح الغشاء القاعدي للوعاء .

- بعد مراحل الأرقاء تبدأ عملية تحلل خثرة الفايبرين (الليفين) Fibrinolysis وذلك بفعل انزيم يدعى البلازمين Plasmin والذي يوجد في الدم بهيئة خاملة تدعى البلازمينوجين Plasminogen وهذا الأخير يتحول الى البلازمين بفعل مايعرف بمنشطات البلازمينوجين Plasminogen Activators .
- تزال نواتج تحلل الفايبرين بعد وصولها الى الجهاز الشبكي البطاني (في الكبد والطحال).

اللمف Lymph:

وهو السائل النسيجي الذي يدخل الى الأوعية اللمفاوية ومصدره المواد المترشحة من الأوعية الدموية الشعرية تحت تأثير الضغط الهيدروستاتي وكذلك السوائل المفرزة من خلايا الجسم. وهو مماثل لبلازما الدم ولكنه يحوي كميات أقل من بروتينات البلازما، كما يحوي اللمف خلايا لمفاوية.

- تنشأ الأوعية اللمفاوية من أوعية مغلقة النهاية تسمى الأوعية الشعرية اللمفاوية . وتدعى الأوعية اللمفاوية التي تنشأ في زغابات الأمعاء (لبينات) Lacteals.

وظائف اللمف

1- اعادة السوائل الى مجرى الدم للمحافظة على حجم الدم.
2- نقل الدهون الممتصة من الطبقة المخاطية للأمعاء الى مجرى الدم .
3- اعادة البروتينات التي تتسرب من الأوعية الدموية الشعرية والخلايا الى مجرى الدم للمحافظة على تركيز بروتينات الدم لذلك فأن حدوث انسداد في الأوعية اللمفاوية يؤدي الى انخفاض تركيز البروتينات في الدم مما يؤدي الى انخفاض الضغط الأوزموزي و قد يؤدي الى الموت.
4- الحفاظ على قدرة الدم على التخثر من خلال المحافظة على تراكيز بروتينات التخثر في بلازما الدم ونقل فيتامين K بعد امتصاصه من قبل الأمعاء، علما بأن هذا الفيتامين مهم جدا في عملية تكوين بروتين البروثرومبين في الكبد.
5- تزويد الدم بالخلايا اللمفاوية وخلايا البلازما Plasma Cells.

مجاميع الدم Blood Groups

هناك العديد من مجاميع الدم تم تسميتها اعتمادا على وجود مستضدات معينة على سطح الخلايا الحمر . فبالأضافة الى مجموعة الدم ABO ومجموعة الدم Rh هناك مجاميع دم اخرى منها مايأتي : Kell , Bombay , Lewis , Duffy , MNS , P , Lutheran , Kidd , Diego .

مجموعة الدم ABO

ان اهم انماط الدم هي مجموعة ABO (ABO Blood Group) والتي اكتشفت في اواخر عام 1900 من قبل العالم Karl Landsteiner .

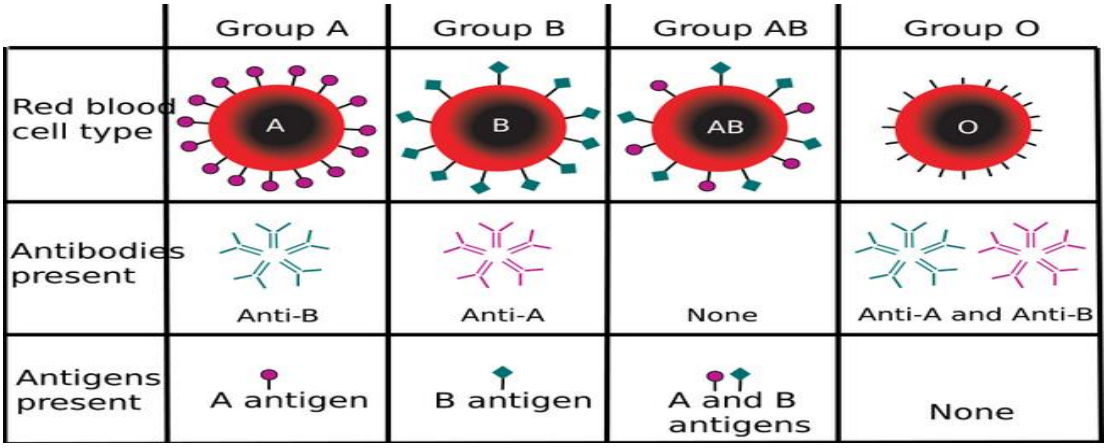
- بالأعتماد على وجود او عدم وجود نوعين من المستضدات (وهي بروتينات سكرية Glycoproteins) هما المستضد A والمستضد B على سطوح الخلايا الحمر يتم تصنيف مجاميع الدم الى اربع مجاميع رئيسة وكما يأتي:

- عند وجود المستضدات من نوع A فقط على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى المجموعة A . وهنا تحوي بلازما الدم اجسام مضادة من نوع b أي انها تعمل ضد المستضدات من نوع B لذلك تدعى (anti- B) .

- عند وجود المستضدات من نوع B فقط على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى المجموعة B . وهنا تحوي بلازما الدم اجسام مضادة من نوع a أي انها تعمل ضد المستضدات من نوع A لذلك تدعى (anti- A).

- عند وجود كلا النوعين من المستضدات (A و B)على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى مجموعة AB . وهنا يكون البلازما خاليا من الأجسام المضادة a و b .

- في حالة خلو سطح الخلايا الحمر من كلا النوعين من المستضدات فأن مجموعة الدم تدعى O. وهنا يحوي بلازما الدم كلا النوعين من الأجسام المضادة (a و b).



مجموعة الدم ABO : المستضدات على سطوح الخلايا الحمر، والأجسام المضادة في بلازما الدم

*- هناك مستضد اخر(بروتيني) مهم يشترك في تحديد مجموعة الدم وهو مايعرف بعامل الريسس Rhesus Factor والذي يرمز له بالرمز Rh أو الرمز D .

- عند وجود عامل الـ Rh على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم التي تم تحديدها اعتمادا على ماذكر سابقا تدعى بالمجموعة Positive (+) وكما يأتي (A^+ , B^+ , AB^+ , O^+).

- عند عدم وجود عامل الـ Rh على سطوح الخلايا الحمر فأن مجموعة الدم تدعى Negative (-) وكما يأتي: (A^- , B^- , AB^- , O^-).

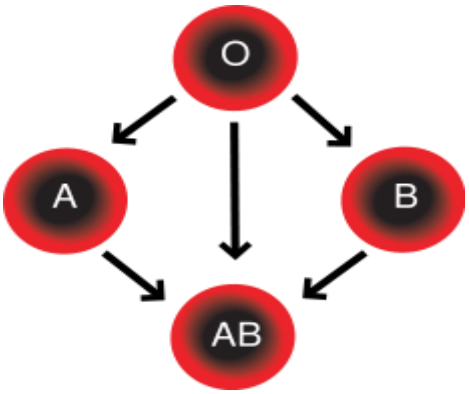
نقل الدم Blood Transfusion

- في هذه العملية يتم اعطاء الدم الى الشخص الذي يحتاجه وهنا يجب مراعاة التطابق Compatibility بين دم المستلم ودم الواهب حيث ان عدم التطابق قد يؤدي الى حدوث تفاعل مناعي من الممكن أي يسبب تحلل الخلايا الحمر المستلمة.
- في حالة عدم التطابق في المجموعة **ABO** يحدث تفاعل بين المستضدات الموجودة على سطح الخلايا الحمرللواهب والأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستلم فعلى سبيل المثال ،الشخص ذو المجموعة **A** يمتلك المستضد **A** على سطوح الخلايا الحمر وهو عادة لايمتلك في بلازما دمه اجساما مضادة لهذه المستضدات بل يمتلك اجساما مضادة للمستضدات **B** وعليه لو اعطي هذا الشخص دما يعود للمجموعة **B** فأن المستضدات **B** الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للواهب ستتفاعل مع الأجسام المضادة الموجودة في بلازما دم المستلم مما يؤدي الى تلازن الخلايا الحمر المستلمة ومن ثم تحللها بفعل تفاعلات عناصرنظام المتمم Complement System، حيث يتألف هذا النظام من عدد من البروتينات المختلفة الموجودة في بلازما الدم والتي تتفاعل مع بعضها ومع الأجسام المضادة وأغشية الخلايا مما يؤدي الى تحلل هذه الخلايا وقد يؤدي الى الوفاة في حالة حدوث تفاعل مناعي شديد. ونفس الشيء يحدث في حالة اعطاء دم يعود للمجموعة **A** الى مستلم مجموعة دمه **B**.

*- بالنسبة للأشخاص ذوي المجموعة **AB** فلا توجد في بلازما دمهم اجسام مضادة لـلـ **A** ولا للـ **B** لذلك هم يستلمون الدم من أي مجموعة دم.

*- بالنسبة للأشخاص ذوي المجموعة **O** والذين تحوي بلازما دمهم كلا النوعين من الأجسام المضادة لذلك فهم لايمكنهم استلام الدم الا من الأشخاص الذين يمتلكون نفس مجموعة دمهم .

- يمكن تلخيص امكانية وهب الدم للأشخاص اعتمادا على التطابق في مجاميع الدم **ABO** بالمخطط الأتي:



- حيث انه بألأضافة الى امكانية اعطاء الدم الى شخص يمتلك نفس مجموعة الدم للشخص الواهب فأن الشخص ذو المجموعة **O** يمكنه ان يهب الدم للأشخاص ذوي المجاميع الأخرى كافة بينما الأشخاص ذوي المجاميع **A** و **B** يمكنهم وهب الدم للأشخاص ذوي المجموعة **AB** اما ذوي المجموعة **AB** فلا يمكنهم منح الدم الا لأشخاص يمتلكون نفس المجموعة.

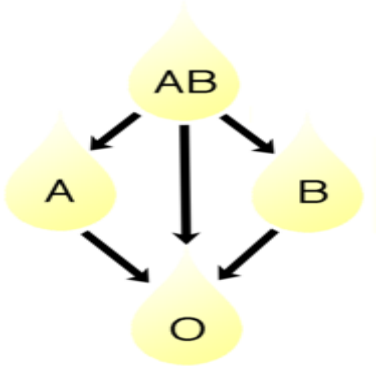
*- بالأضافة الى مراعاة التطابق في مجاميع الدم **ABO** عند اعطاء الدم يجب مراعاة التطابق في عامل الـ **Rh** حيث لايجوز ان يُعطى شخص لايمتلك عامل الـ **Rh** دما يحمل هذا العامل لأنه في هذه الحالة سيكون هذا العامل بمثابة جسم غريب يحفز الجهاز المناعي للمستلم فتتكون اجسام مضادة للـ **Rh** ترتبط بهذا المستضد الغريب بالأضافة الى تكون خلايا ذاكرة (وهي نوع من الخلايا اللمفاوية B) وعند التعرض الثاني لنفس المستضد فأن خلايا الذاكرة تبدأ بأنتاج الأجسام المضادة للـ **Rh** بسرعة أي ان الأستجابة المناعية ستكون اسرع واقوى وسيؤدي ارتباط الأجسام المضادة بالمستضدات الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للواهب الى تحلل هذه الخلايا.

- استنادا الى ماسبق يطلق على الشخص الذي يمتلك مجموعة الدم (O^-) واهب عام Universal Donor حيث يمكنه اعطاء الدم الى ذوي المجاميع كافة بدون استثناء بينما يطلق على الشخص الذي يمتلك مجموعة الدم (AB^+) المستلم العام Universal Recipient حيث يمكنه استلام الدم من أي مجموعة دم اخرى.

*- لايمكن اعتبار ذو مجموعة الدم (O^+) واهبا عاما بصورة مطلقة حيث لايمكنه ان يهب الدم لشخص لايمتلك عامل الـ **Rh** وكذلك الحال بالنسبة للشخص ذو مجموعة الدم (AB^-) لايمكن اعتباره مستلما عاما بصورة مطلقة حيث لايمكنه استلام الدم من شخص يمتلك عامل الـ **Rh**.

*- مما سبق يلاحظ اعطاء اهمية للتفاعل بين مستضدات الواهب والأجسام المضادة في بلازما المستلم ولم يشار الى التفاعل بين الأجسام المضادة في بلازما الواهب ومستضدات المستلم وذلك يعود الى ان بلازما الواهب ستكون بكمية قليلة في دم المستلم وبذلك يكون تركيز هذه الأجسام المضادة قليل جدا وتأثيرها لايذكر.

- اما عند اعطاء بلازما الدم فقط ففي هذه الحالة يجب التركيز على الأجسام المضادة الموجودة في البلازما حيث تكون موجودة بتركيز قد يؤدي الى تفاعلها مع المستضدات الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للمستلم والمخطط الأتي يوضح امكانية وهب بلازما الدم للأشخاص ذوي المجاميع المختلفة بالأضافة الى الأشخاص ذوي المجموعة نفسها.
- (للأسف هذه الحقيقة غير مدركة من قبل الكثير)



- حيث تكون الحالة هنا معكوسة بالمقارنة مع عملية التطابق في حالة اعطاء دم كامل أو خلايا حمر مركزة فبلازما الدم لذوي مجموعة الدم **AB** تكون خالية من الأجسام المضادة لذلك يمكنهم وهب البلازما لجميع المجاميع بينما بلازما الأشخاص ذوي مجموعة الدم **O** تحوي كلا النوعين من الأجسام المضادة لذلك يجب تجنب وهبها للمجاميع الأخرى تجنبا للتفاعل بين الأجسام المضادة في البلازما والمستضدات الموجودة على سطوح الخلايا الحمرللواهب .

- عندما تحمل الأنثى التي لاتمتلك عامل الـ **Rh** على سطوح خلاياها الحمر(أي انها **Rh^-**) جنينا يمتلك هذا العامل(حيث يكون قد ورثه من الأب علما بأن صفة الـ **Rh** سائدة) فأنه من المحتمل ان تحدث بعض المخاطر وكما يأتي:

- اذا حدث ان عبرت كمية صغيرة من دم الجنين الى دم الأم وذلك قد يحدث خلال المراحل الأخيرة من الحمل أو اثناء الولادة فأن الجهاز المناعي للأم سيستجيب بتكوين اجسام مضادة لعامل الـ **Rh** الموجود على سطوح الخلايا المتسربة الى الأم أي انه يكون (anti-Rh) اي (anti-D) و تتكون خلايا الذاكرة وهنا عادةً يسلم

الطفل الأول ولكن قد يتعرض الجنين(الذي يمتلك عامل الـ **Rh**) في حالات الحمل اللاحقة للخطورة، حيث ان خلايا الذاكرة التي تكونت نتيجة التعرض السابق للمستضد الغريب (**Rh**) ستعمل على انتاج اجسام مضادة لعامل الـ **Rh** بصورة اسرع وهذه الأجسام المضادة من نوع IgG التي بأمكانها ان تعبر المشيمة وتصل الى دم الجنين حيث تتفاعل مع المستضدات **Rh** الموجودة على سطوح الخلايا الحمر للجنين مما يؤدي الى تلازن هذه الخلايا ثم تحللها وقد يصاب الجنين بفقر دم شديد مع ارتفاع في نسبة البليروبن Bilirubin مما قد يؤدي الى الوفاة وهذه الحالة تعرف بـ Hemolytic Disease of Newborn (HDN).

- لمنع هذه الحالة يتم حقن الأم بـ (anti-D) بعد الولادة خلال 72 ساعة في حالة كون الطفل يمتلك عامل الـ **Rh** . اذ ان حقن هذه الأجسام المضادة يؤدي الى التخلص من الخلايا الحمر الحاملة لعامل الـ **Rh** القادمة من الجنين قبل ان يستجيب الجهاز المناعي للأم ويكون اجسام مضادة للـ **Rh** وبذلك يتم تجنب تكون خلايا ذاكرة و يتم تلافي تحسس الأم لعامل الـ **Rh**.