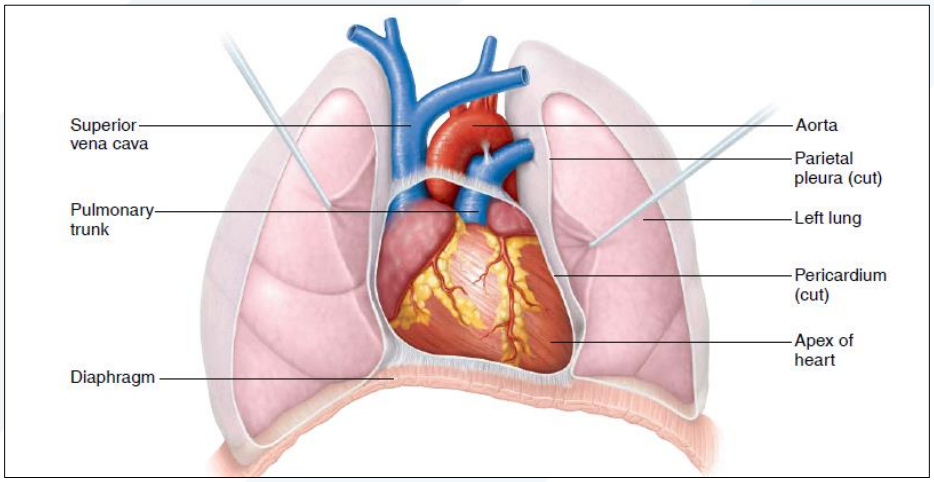
المحاضرة السادسة

القلب ... الدوران الإكليلي

يتكون جهاز **الدوران** أو ما يدعى بالجهاز **القلبي الوعائي** Cardiovascular system من **القلب** و**الأوعية الدموية**، وتتكون الأوعية الدموية من **الشرايين** التي تنقل الدم من القلب إلى مختلف الأنسجة الجسمية، ومن **الأوردة** التي تنقل الدم وفق اتجاه معاكس أي من الأنسجة الجسمية إلى القلب، ويلحق بجهاز الدوران **الجهاز اللمفي**.

القلب Heart

القلب **عضلة جوفاء** تعمل كمضخة، يقع في جوف الصدر ما بين الرئتين، له شكل **مخروط** قاعدته في الأعلى وقمته Apex في الأسفل، يبطنه **الشغاف** ويغلفه **التامور** Pericardium، الشكل (1).



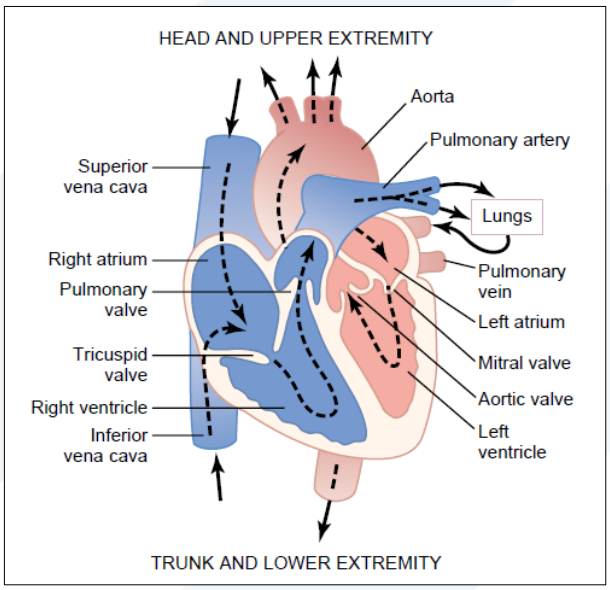
الشكل (1): موقع القلب في جوف الصدر.

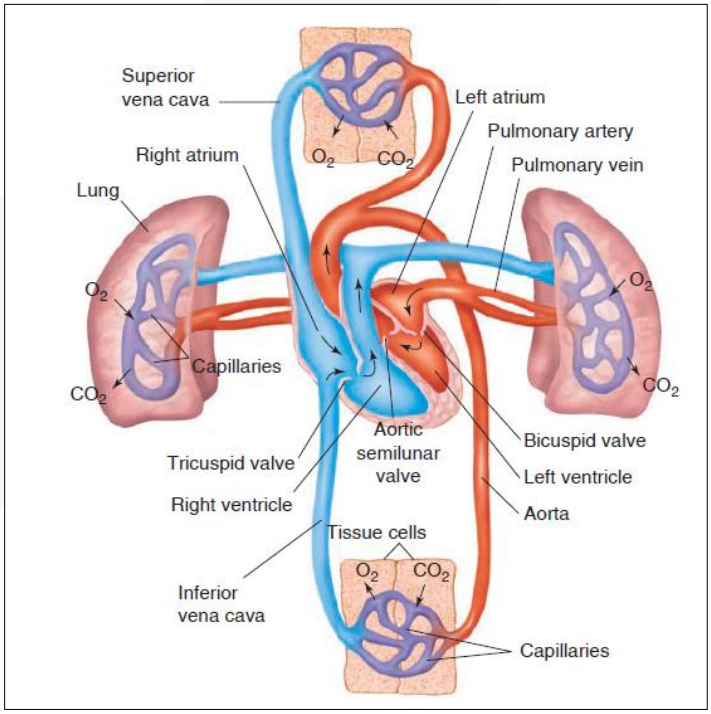
يتكون القلب من قسمين **أيمن** و**أيسر** يفصل بينهما **حاجز نسيجي** يمنع اختلاط الدم بين هذين القسمين. يتكون **القسم الأيمن** من الأذينة اليمنى والبطين الأيمن، ويتكون **القسم الأيسر** من الأذينة اليسرى والبطين الأيسر، الشكل (2).

تتلقى الأذينة اليمنى Right atrium الدم الوريدي (العائد من نسج الجسم المختلفة) الغني بغاز **ثاني أكسيد الكربون** CO_2 بوساطة الوريد **الأجوف العلوي** Superior vena cava والوريد **الأجوف السفلي** Inferior vena cava و**الجيب الإكليلي**، وينساب هذا الدم إلى البطين الأيمن Right ventricle ويساعد في ذلك تقلص الأذينة، يضخ البطين الأيمن الدم الواصل إليه إلى **الجذع الرئوي** Pulmonary trunk الذي يتفرع إلى **شريان رئوي** Pulmonary artery **أيمن** وآخر **أيسر** يوصلان هذا الدم إلى الرئتين Lungs؛ إذ يتم في الرئتين تخليص الدم من معظم حمولته من غاز ثاني أكسيد الكربون وإشباعه بغاز **الأكسجين** O_2 (الدم المؤكسج)، ثم ينتقل إلى القلب ثانية بوساطة **الأوردة الرئوية الأربعة** Pulmonary veins، وتؤلف هذه الأوعية الدموية التي تحمل الدم إلى الرئتين ومنها إلى الجانب الأيسر من القلب **الدوران الرئوي** Pulmonary circulation.

يصل الدم المؤكسج إلى الأذينة **اليسرى** Left atrium ومنه إلى البطين **الأيسر** Left ventricle الذي يضخه عبر الشريان **الأبهر** Aorta ومنه إلى كل أنحاء الجسم، ليعود من جديد إلى الأذينة اليمنى، تؤلف هذه الأوعية الدموية التي تحمل الدم إلى نسج الجسم المختلفة، ثم يعود إلى الجانب الأيمن من القلب **الدوران الجهازي** Systemic circulation، الشكل (3).

وبالتالي نستطيع القول بأن القلب يتألف فعلياً من **مضختين** يمنى ويسرى تتوضعان جنباً إلى جنب، الشكل (2).





الشكل (3): الدوران الجهازي، والدوران الرئوي.

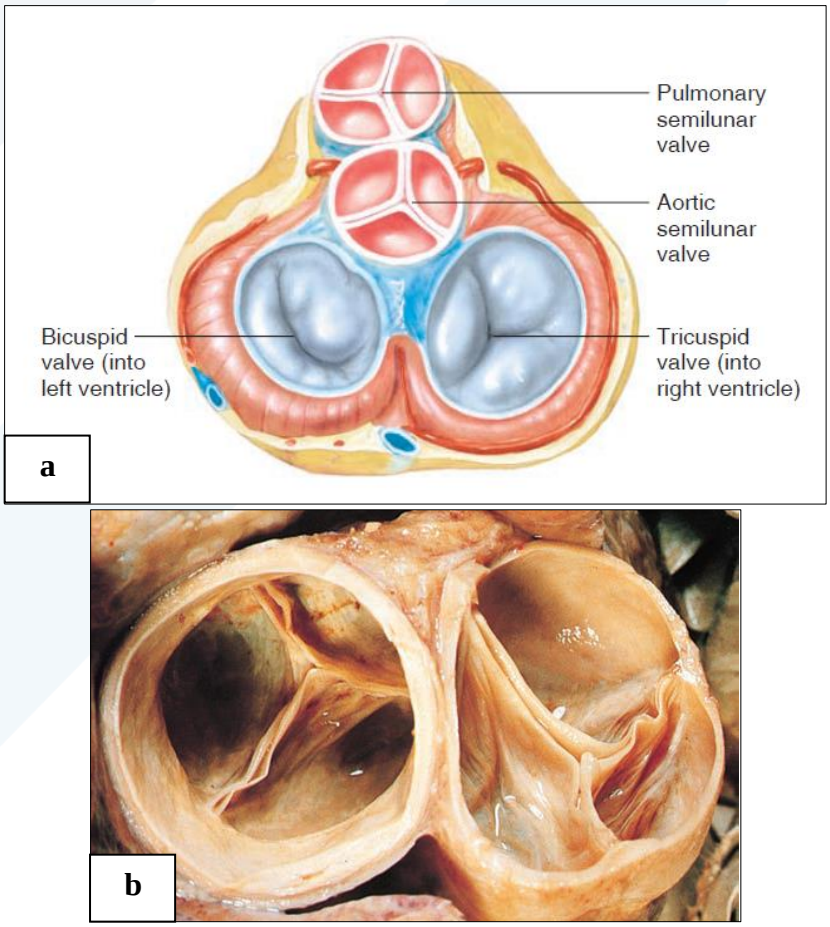
الصمامات القلبية Cardiac valves

يحتوي قلب الإنسان **أربعة** صمامات (دسّامات)، الشكل (4)، وهي:

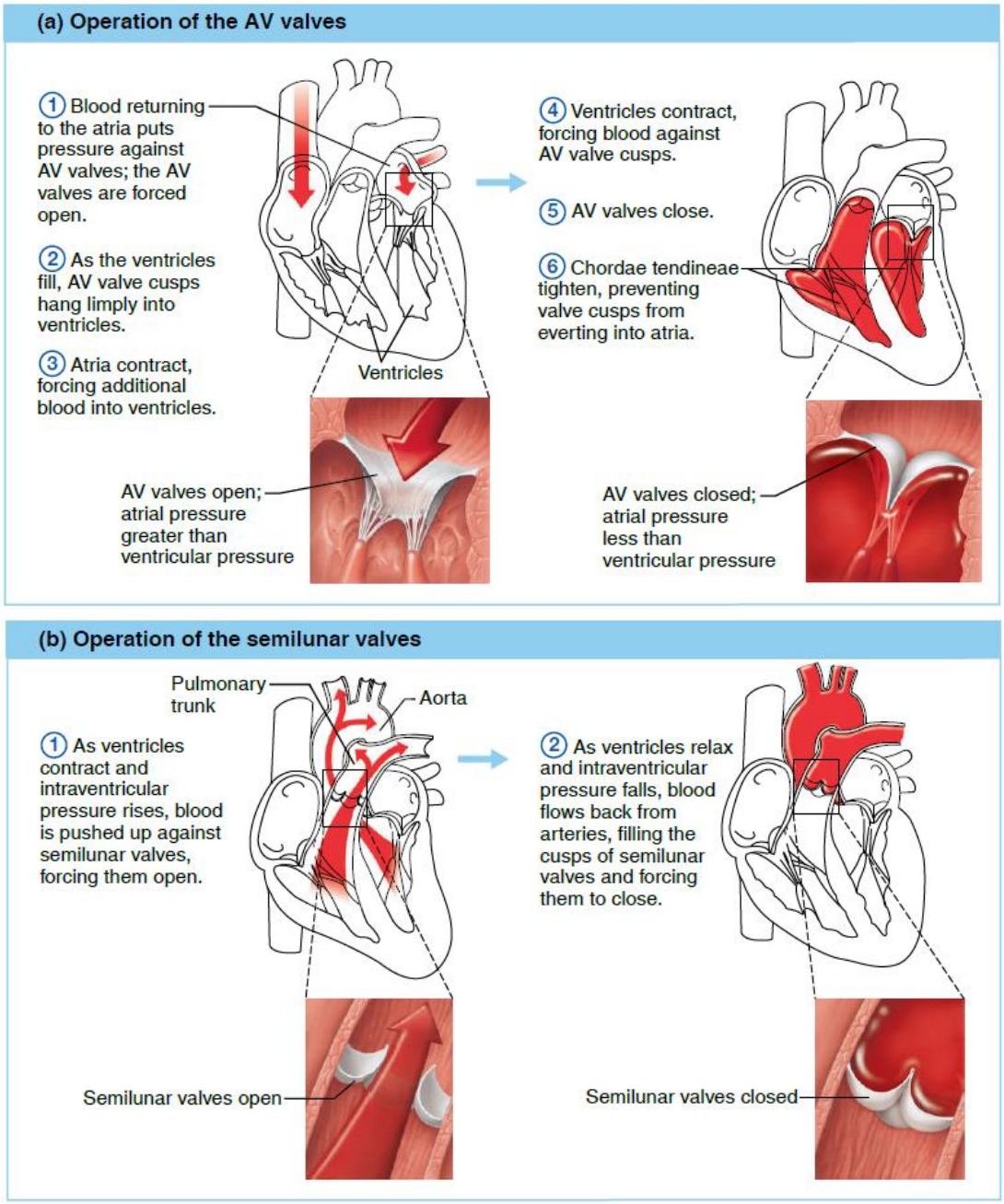
1. الصمام **ثلاثي الشرف** Tricuspid ويتوضع في الفتحة التي تصل ما بين الأذينة اليمنى والبطين الأيمن.
2. الصمام **التاجي (ثنائي الشرف)** Mitral (Bicuspid) valve ويتوضع في الفتحة التي تصل ما بين الأذينة اليسرى والبطين الأيسر.
3. الصمام **الأبهري (الهلالي)** Aortic (semilunar) valve ويتوضع في الفوهة الشريانية الأبهرية (شرفاته أعرض وأكثر ثخانة من تلك الخاصة بالصمام الرئوي).
4. الصمام **الرئوي (الهلالي)** Pulmonary (semilunar) valve ويتوضع في الفوهة الشريانية الرئوية.

ينغلق الصمامان ثلاثي الشرف والتاجي لحظة بدء **الانقباض البطيني** فيمنعان رجوع الدم إلى الأذينتين، في حين **ينفتحان** لحظة بدء الاسترخاء البطيني ليسمحا للدم بالمرور من الأذينتين إلى البطينين خلال فترة **الاسترخاء البطيني**، الشكل (5-a).

ينغلق الصمام الأبهري والرئوي عند بدء **الاسترخاء البطيني** فيمنعان رجوع الدم من الشريانين الأبهري والرئوي إلى البطينين، في حين **ينفتحا** عند **انقباض البطينين** ليتمكن الدم من مرور عبر هذين الشريانين، الشكل (5-b).



الشكل (4): (a) الصمامات القلبية، (b) الصمامان الهلاليان الأبهري والرئوي.



الشكل (5): (a) آلية عمل الصمام التاجي ثنائي الشرف، (b) آلية عمل الصمام الهلالي.

فيزيولوجيا العضلة القلبية

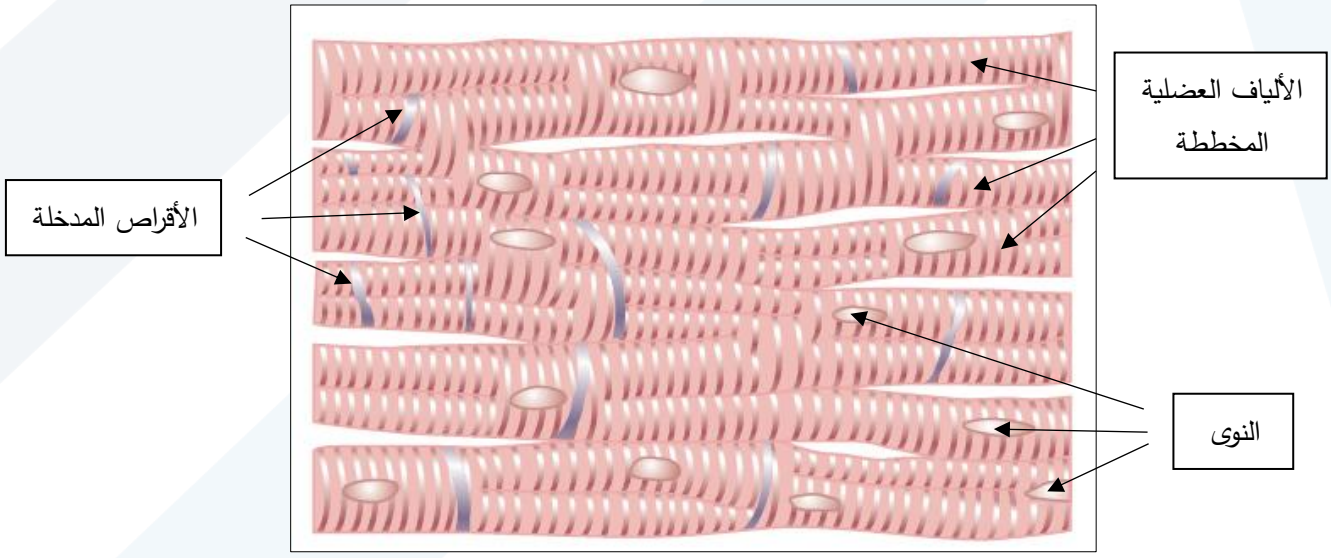
التشريح الفيزيولوجي لعضلة القلب

يتكون القلب عملياً من **ثلاثة** أنماط رئيسية من الأنسجة: النسيج **الأذيني التقلصي**، والنسيج **البطيني التقلصي**، والنسيج **العقدي** Nodal tissue (تشكل **1%** من خلايا العضلة القلبية، وهي **غير قابلية** للتقلص، وإنما متخصصة في **توليد كمون** (كامن) **العمل** (الجهد، الفعل) بصورة **عفوية** تلقائية؛ حيث تمكن القلب من التقلص **من دون** إشارة خارجية).

يتألف **النسيجان الأولان** من ألياف عضلية **مخططة** (تختلف عن خلايا العضلات الهيكلية في بعض خصائصها، وتتشارك مع خلايا العضلات الملساء في بعض الخصائص الأخرى)؛ حيث تتقلص بالطريقة نفسها التي تتقلص بها ألياف العضلات الهيكلية، إلا أن مدة التقلص في الألياف الأذينية والبطينية أطول مما هو عليه في العضلات الهيكلية، كما أن ألياف العضل القلبي **أصغر** مقارنة بألياف العضلات الهيكلية، وهي تحتوي نواة **واحدة** في كل ليف، بالإضافة إلى كونها ألياف **متفاغرة** (تتفرع الخلية العضلية القلبية الواحدة وتشكل فراغات).

العضلة القلبية كمدمج (مختلط) خلوي Syncytium

تدعى المناطق العاتمة والفاصلة لألياف العضلة القلبية **بالأقراص المدخلة** Intercalated discs، الشكل (6، 7)، وهي في الواقع عبارة عن **أغشية خلوية** تفصل خلايا العضلة القلبية المستقلة عن بعضها، وهذا يعني أن ألياف العضلة القلبية مؤلفة من عدة خلايا **مستقلة** تتصل مع بعضها بشكل **سلسلة**، وعلاوة على ذلك فإن **المقاومة الكهربائية** عبر الأقراص المدخلة تعادل فقط **400/1** من المقاومة عبر الغشاء الخارجي لليف العضلي القلبي، لأن أغشية الخلية تندمج مع بعضها وتشكّل **اتصالات (ملتقيات) للنقل** Communicating junctions نفوذة جداً (اتصالات أو موصلات **فجوية أو قنيات اتصال أو التقاء** Gap junctions) تسمح **بانتشار** حر نسبياً للشوارد، لذلك تتحرك الشوارد بسهولة على طول محاور ألياف العضلة القلبية بحيث تنتقل **كمونات العمل** (الفعل أو الجهد) من خلية قلبية إلى أخرى عابرة الأقراص المدخلة دون عائق يذكر.



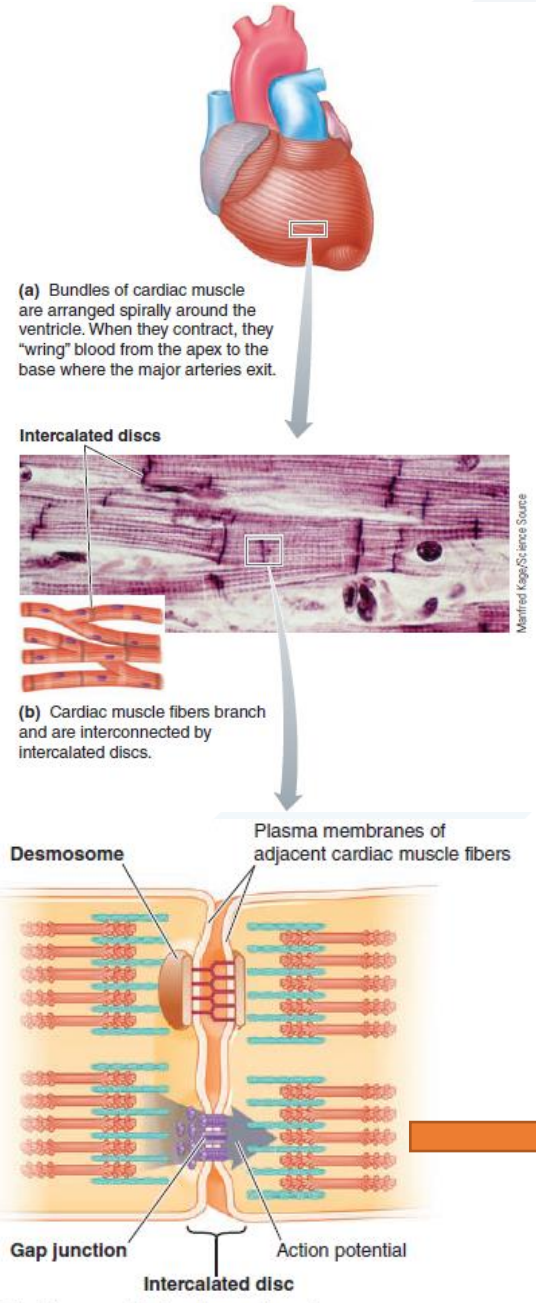
الشكل (6): الألياف العضلية المخططة والمتفاغرة، والأقراص المدخلة.

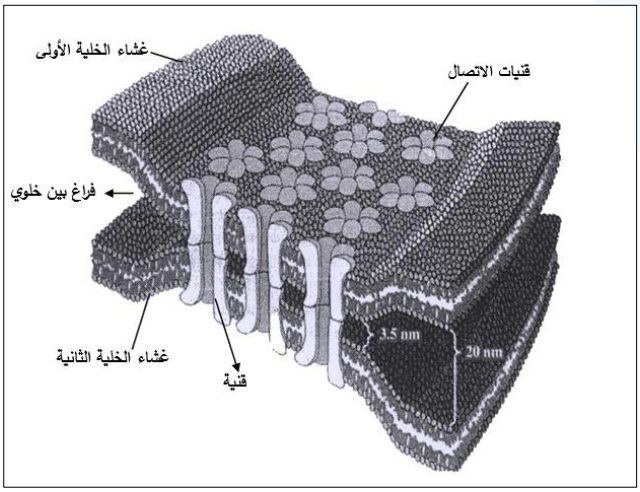
تتضمن الأقراص المدخلة **(المقحمة) نوعين** من الاتصالات (الالتقاءات) الغشائية، الشكل (7):

- **الجسيم الرابط** Desmosome: بنية يتم من خلالها ربط خليتين متجاورتين، يتكون من **لويحات بروتينية** متصلة بخيوط، تقوم بدورها بربط الأغشية الخلوية مع بعضها البعض، أي تعمل الجسيمات الرابطة Desmosomes **كنقاط تثبيت** (مسامير) موضعية تجمع الخلايا مع بعضها **آلياً (ميكانيكياً)**.

- **الموصلات الفجوية أو قنيات الاتصال** (الالتقاء) البروتينية والتي تساهم بتشكيل **المشابك الكهربائية** بين ألياف العضلية القلبية، وانتقال كمون العمل من خلية إلى خلية مجاورة.

لذلك تعد العضلة القلبية **مختلط خلوي** Syncytium لعدة خلايا عضلية قلبية متصلة فيما بينها بشكل وثيق، بحيث أن إثارة أو تنبيه خلية يسمح بانتشار كمون العمل (موجات زوال الاستقطاب) عبر جميع هذه الخلايا **بسرعة**، وبالتالي **تقلص** خلايا العضلة القلبية في **الوقت نفسه**، وهي **تشبه** من هذه الناحية الخلايا العضلية **الملساء**.





الشكل (7): الألياف العضلية القلبية المرتبة حلزونياً حول البطينين، وبنية الأقراص المدخلة.

وينقسم هذا المختلط أو المدمج الخلوي إلى: **المختلط الأذيني** المؤلف من جدران كلا الأذينين، و**المختلط البطيني** المؤلف من جدران كلا البطينين. وينفصل الأذينان عن البطينين بنسيج ليفي يحيط بالصمامين (الدسامين) بين الأذينين والبطينين.

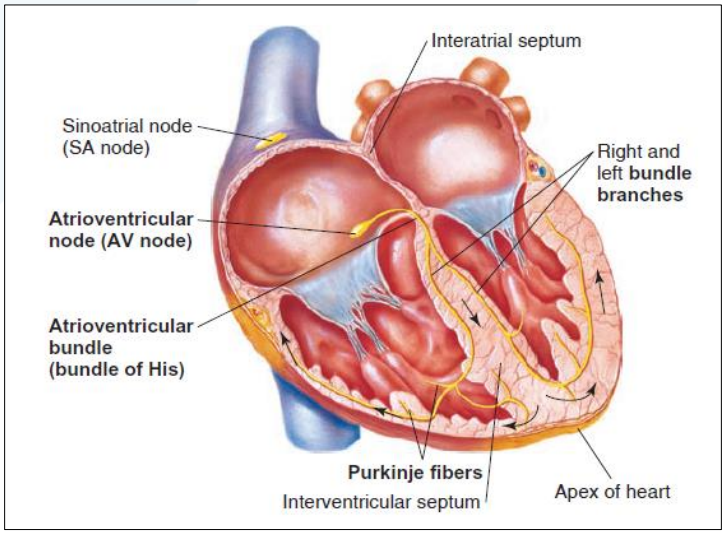
يتم **انتقال كمون العمل** من المختلط الأذيني إلى المختلط البطيني في الحالة الطبيعية (السوية) عبر جهاز توصيل متخصص هو الحزمة الأذينية البطينية A-V bundle.

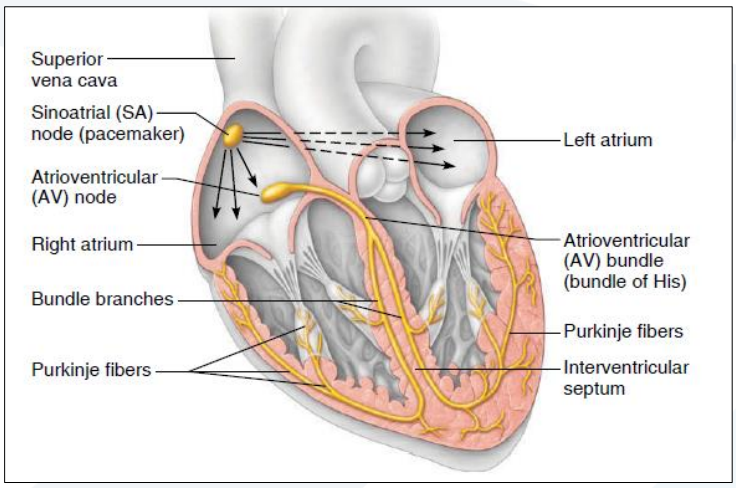
إن هذا **التقسيم** للكتلة العضلية القلبية إلى مختلطين وظيفيين منفصلين، يسمح للأذينين **بالتقلص قبل** البطينين بوقت قصير، وهذا الأمر ضروري لكي يقوم القلب بضخ الدم بفعالية.

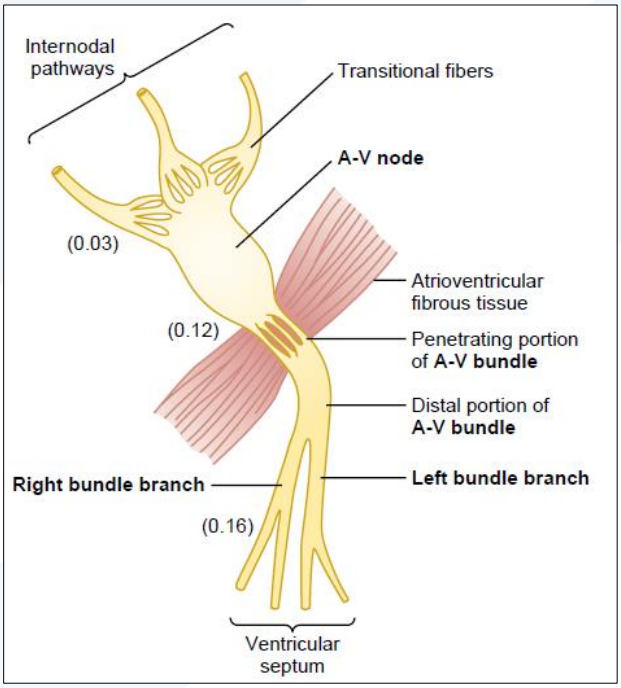
النسيج العقدي

يتألف هذا النسيج كما هو موضّح في الشكل (8) من:

1. **العقدة الجيبية** Sinus node أو **العقدة الجيبية الأذينية** Sinoatrial node (S-A node)، وتدعى ناظمة الخطى لأنها تمتلك النظم الأسرع من زوال الاستقطاب، وتقع في الجدار العلوي الجانبي للأذينة اليمنى **أسفل** فتحة الوريد الأجوف العلوي، تولد التنبيه كل 0.85 ثانية.
2. **المسالك بين العقد** Internodal tracts وهي ثلاثة سبل تنقل التنبيه من العقدة الجيبية إلى العقدة الأذينية البطينية، تمتلك المقدرة على توليد التنبيه لكن بمعدل أقل من العقدة الجيبية.
3. **العقدة الأذينية البطينية** Atrioventricular node (A-V node)، وتقع في جدار الحاجز الخلفي للأذينة اليمنى خلف الصمام ثلاثي الشرف.
4. **الحزمة الأذينية البطينية** Atrioventricular bundle (A-V bundle) أو ما يدعى **حزمة هيس** Bundle of Hiss، وهي امتداد للعقدة الأذينية البطينية، **تخترق النسيج الليفي** الذي يفصل ما بين الأذينتين والبطينين لتعبر **الحاجز البطيني** حيث تتفرع بداخله إلى **فرعين** يصلان إلى ذروة القلب، ثم ينقسم كل واحد منهما إلى فروع أصغر تنتشر في جدران **البطين الأيمن** بالنسبة **للفرع الأيمن** وفي جدران **البطين الأيسر** بالنسبة **للفرع الأيسر**. تتألف حزمة هيس وفروعها من **ألياف بوركنج** Fibers purkinje وهي ألياف كبيرة جداً، أكبر من ألياف العضلة البطينية مختصة في نقل كمون العمل إلى الألياف البطينية التقلصية.







الشكل (8): النسيج العقدي القلبي.

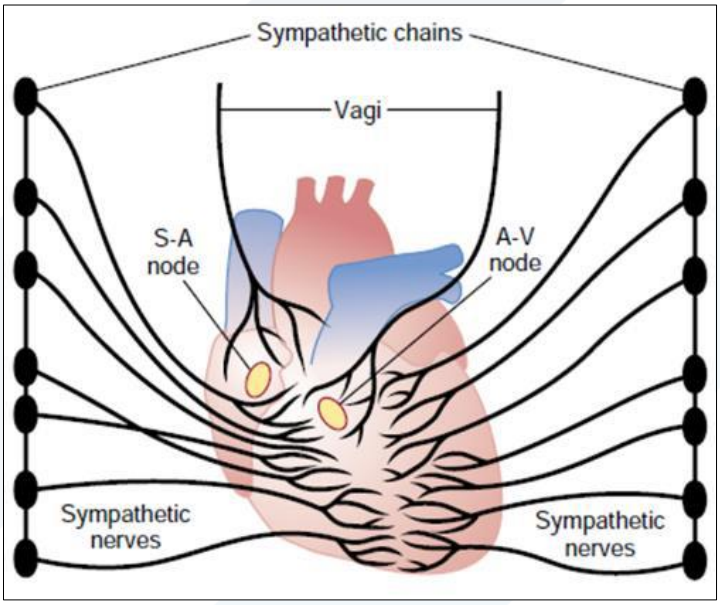
الخصائص الوظيفية للنسيج العقدي

يعمل النسيج العقدي عمل جهاز استثارة وتوصيل في القلب، وهو يتحكم في تقلص الأذينين والبطينين، يمتلك هذا النسيج **خاصة الاستثارة الذاتية** Self-excitation بالعقدة الجيبية التي تعمل في الأحوال الطبيعية **ناظمة للقلب** Pacemakerأي إنها هي المسؤولة عن النظم القلبي Cardiac rhythm، إذ يتشكل فيها **كمون عمل** Action potential تلقائي وبتواتر معين. ينتقل هذا الجهد إلى الألياف الأذينية التقلصية مباشرة، كما ينتقل بوساطة باقي أجزاء النسيج العقدي الذي يتمتع **بخاصة الناقلية** Conductivity إلى الألياف البطينية التقلصية بعد فترة مناسبة من **التأخير** التي تؤمن **امتلاء** الأجواف البطينية بالدم **قبل تقلصها**.

أعصاب القلب

يعصب القلب ألياف عصبية من الجملة العصبية الذاتية **الودية ونظيرة ودية** الشكل (9).

تأتي الألياف **نظيرة الودية** من العصب **المبهم**، وناقلها العصبي الكيميائي (الوسيط) هو **الأستيل كولين**، وتعمل على إنقاص كل من عمل القلب، وقدرته التقلصية، وحاجته الأكسجينية، أما وسيط الألياف الودية فهو **الأدرينالين والنورأدرينالين**، وتعمل على زيادة كل من عمل القلب، وقدرته التقلصية، وحاجته الأكسجينية



الشكل (9): أعصاب القلب.

دور الجهاز العصبي المستقل في تعديل النظم القلبي

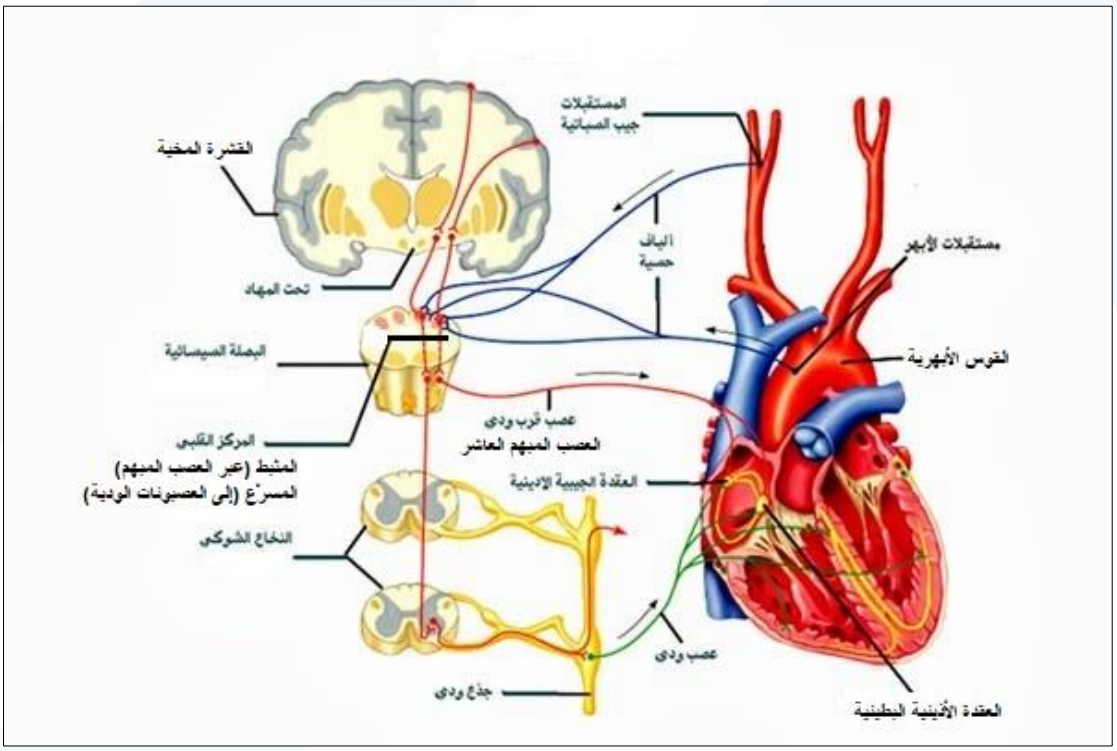
تقع المراكز التي تتحكم بعمل القلب (**المسرّع والمثبط** أو **الناهي**) في **البصلة السيسائية** (النخاع المستطيل).

يرسل المركز **المسرّع** إيعازاته (سيالاته المحركة) إلى عصبونات **ودية** (قبل العقدة) تقع في مستوى القطعتين الشوكيتين الصدريتين الأولى والخامسة (T_1-T_5) من **النخاع الشوكي**، الشكل (10)، حيث:

- تتشابك محاوير هذه العصبونات مع عصبونات **بعد عقدية** في الجذع الودي (السلسلة الودية) **الرقبي والصدري العلوي**.
- ومن هناك تغادر الألياف العصبية بعد العقدية (التي تشكل **عصباً ودياً**) عبر الضفيرة القلبية إلى العقدة الجيبية والعقدة الأذينية البطينية وألياف العضلة القلبية.
- حيث يتم افراز **النورأدرينالين والأدرينالين** (الكاتيكولامينات) التي ترتبط بمستقبلات أدرينرجية استثارية من النمط **β_1 (بيتا 1)** موجودة في أغشية الخلايا ذاتية النظم.
- وتستعمل هذه المستقبلات الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي **cAMP** كرسول أو مرسال ثانٍ يعدل خصائص النقل في القنوات الشاردية ويؤدي بالنهاية **زيادة** في دخول شوارد **الكالسيوم والصوديوم**، وبالتالي يسرّع من حدوث زوال الاستقطاب، أي الوصول إلى العتبة بشكل أسرع مما يؤدي إلى زيادة معدل إطلاق كمونات العمل فيزداد معدل ضربات القلب.

أما المركز **الناهي** للقلب فيرسل إيعازاته إلى **نواة العصب المبهم الظهرية المحركة**، التي تقوم بـ:

- إرسال سيالات مثبطة للقلب عبر **تفرعات** العصب العاشر المبهم التي تصل إلى العصبونات **اللاودية** بعد العقدية الموجودة في **جدار** القلب.
- تعصب هذه العصبونات **العقدتين** الجيبية الناظمة للخطى، والأذينية البطينية، ويفرز الناقل العصبي **الأستيل كولين**.
- يفعّل الأستيل كولين المستقبلات **الموسكارينية (الكولينرجية) فتزيد** نفوذية الأغشية الخلوية **للبوتاسيوم** وتدخل الخلية في حالة **فرط** استقطاب (فرط راحة)، كما **تنخفض** نفوذية الأغشية **للكالسيوم** في الوقت نفسه، وتتباطأ سرعة زوال الاستقطاب، إن اجتماع هاتين الظاهرتين يجعل الوصول إلى العتبة يستغرق وقتاً، ويؤخر بدء كمون العمل في الخلايا ذاتية النظم، ويبطئ بذلك معدل ضربات القلب.



الشكل (10): التأثير الودي واللاودي في القلب.

الخصائص البيولوجية للعضلة القلبية

1- قابلية التنبه والإستثارة Excitability:

يستجيب القلب لمنبه ذي **شدة ومدة** تطبيق ملائمين، هذه القابلية تزول أثناء فترة **العصيان** (الحران) Refractoriness.

2- القلوصية Contractility:

- تخضع لقانون **الكل أو العدم** أو قانون كل شيء أو لا شيء (لا تزداد الاستجابة بزيادة شدة المنبه).

- **تزداد** قوة التقلص:
  - بزيادة **طول** الليف البدئي (آلية فرانك - ستارلينغ).
  - بزيادة تركيز شوارد **الكالسيوم** داخل الليف القلبي.
  - تقوى **بالأدرينالين**.
- **تنقص** قوة التقلص بتأثير الكحول والسموم ونقص الأكسجة.
- **لا يتعب** القلب بسبب تعاقب فترات الراحة والعمل.

3- التلقائية أو الذاتية Automaticity

- قدرة القلب على تنبيه **ذاته بذاته** دون الحاجة لمنبه خارجي (وجود النسيج العقدي الخاص).
- تعمل العقدة الجيبية كناظمة للخطى بإطلاق التنبيهات **بمعدل 70 - 72 نبضة/د**، وإذا توقفت لسبب ما تسيطر العقدة الأذينية البطينية ولكن بمعدل **40 – 60 نبضة/د.**
  - **يتأثر** معدل النظم وانتظامه بـ:
    - درجة توفر الأكسجين.
    - درجة الحرارة (بشكل طردي).
    - تراكم الشوارد، ولاسيما الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم والهيدروجين.

4- قابلية النقل والتوصيل Conductivity

ينتشر التنبيه المتولد في العقدة الجيبية الأذينية عبر المسالك بين العقد (النسيج الناقل) ويصل إلى العقدة الأذينية البطينية، حيث **يؤخر** فيها قليلاً للسماح بحدوث **الانقباض الأذيني قبل الانقباض البطيني**، ثم إلى حزمة هس فعبر ألياف بوركنج، حيث تصبح سرعة التوصيل **عالية** جداً، إلى الجزء **الداخلي** من العضل القلبي، ومن هذه الأخيرة يواصل التنبيه انتشاره إلى **ما تبقى** من الألياف العضلية القلبية. يسمح هذا الانتشار كما ذكرنا سابقاً بتقلص **متو اقت** للبطينات، ونتيجة لذلك تعمل العضلة القلبية **كليف عضلي واحد.**

الفعالية الكهربائية القلبية (كمون الراحة – كمون العمل)

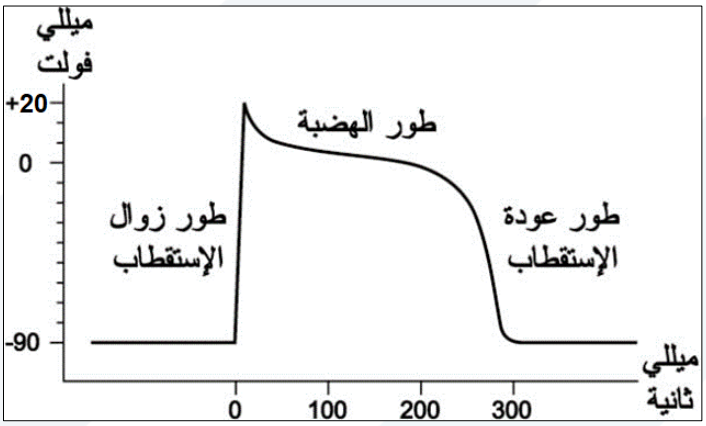
يسجّل في كل نسيج حي خلال الراحة كمون كهربائي يطلق عليه **كمون الراحة** Rest potential تكون الشحنة داخل الخلايا فيه **سلبية** بالمقارنة بخارجها.

أما **كمون العمل** فيمثل عموماً التبدلات الكهربائية التي تطرأ على النسيج خلال نشاطه أو خلال عمله، ويتضمن عادةً طورين، يطلق على الطور الأول **طور زوال الاستقطاب** Depolarization ويحدث خلاله **انعكاسٌ** في استقطاب الخلايا على نحو يصبح داخلها **موجباً** نتيجة دخول أيونات الصوديوم Na^+، أما الطور الثاني فيطلق عليه **طور عودة الاستقطاب** Repolarization الذي يعود خلاله استقطاب الخلايا إلى ما كان عليه قبل التفعيل أي العودة إلى حالة الراحة، نتيجة خروج أيونات البوتاسيوم K^+ من الخلايا.

أما في **النسيج البطيني التقلصي** فيسجّل إضافة إلى الطورين السابقين طور إضافي يطلق عليه **طور الهضبة** Plateauيفصل ما بين الطورين السابقين ويسبب إطالة زمن كمون العمل في هذا النسيج ليصبح نحو **300** ميلي ثانية

بدلاً من **1** إلى **2** وقد يصل إلى **5** ميلي ثانية في الأنسجة الأخرى، كما يسبب تأخراً في بدء طور عودة الاستقطاب الشكل (11).

فبعد الوصول إلى كمون الغشاء **+20** ميلي فولت (**البروز أو الشوكة** Spike **البدئية**)، تحدث عودة استقطاب أولية قصيرة جداً، من خلال اغلاق قنوات الصوديوم، وانفتاح قنوات البوتاسيوم التي تغادر من خلالها شوارد البوتاسيوم إلى الخارج، ومن ثم تتوقف هذه المرحلة (تغلق قنوات البوتاسيوم) ليبدأ طور الهضبة.



الشكل (11): كمون العمل في النسيج البطيني التقلصي.

وعند هذه النقطة يجب أن نطرح السؤال الآتي: **ما هو سبب طول كمون العمل في العضلة القلبية**؟ ولماذا يملك هذه **الهضبة** بينما لا نجد ذلك في العضلات الهيكلية؟ إن الإجابة على هذا السؤال تتمثّل بوجود اختلافين على الأقل بين خصائص الغشاء في العضلة القلبية والعضلة الهيكلية يفسّران كمون العمل المطوّل ووجود الهضبة في العضلة القلبية:

- **الفارق الأول:** يحدث كمون العمل في العضلة القلبية نتيجة لانفتاح نمطين من القنوات: الأولى هي قنوات الصوديوم السريعة نفسها كما في العضلات الهيكلية، والثانية هي قنوات الكالسيوم البطيئة التي تبقى مفتوحة عدة أعشار من الثانية، ولهذا البطء أهمية كبيرة؛ إذ أنه خلال هذا الزمن تمر كميات كبيرة من شوارد الكالسيوم والصوديوم عبر هذه القنوات إلى داخل الليف العضلي القلبي، وبالتالي تحافظ على فترة طويلة من زوال الاستقطاب (نزع الاستقطاب وانعكاسه أي كمون عمل) محدثة الهضبة Plateau في كمون العمل.
- **الفارق الثاني:** بعد بدء كمون العمل مباشرة **تنقص نفوذية** غشاء الليف العضلي القلبي **للبوتاسيوم** حوالي خمس مرات وهذا الأمر لا يحدث في العضلة الهيكلية، ومن المحتمل أن هذا النقص في نفوذية البوتاسيوم ناجم بطريقة ما عن **التدفق الكبير** لشوارد **الكالسيوم** عبر قنوات الكالسيوم كما ذكر سابقاً. وبغض النظر عن السبب فإن **انخفاض** نفوذية **البوتاسيوم** يمنع ويؤخّر العودة إلى الحالة الطبيعية بشكل مبكر.

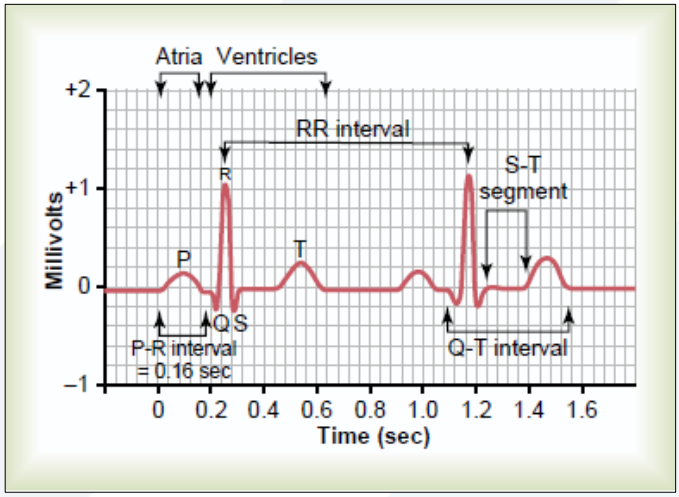
فترة العصيان (دور الحران) Refractory Period

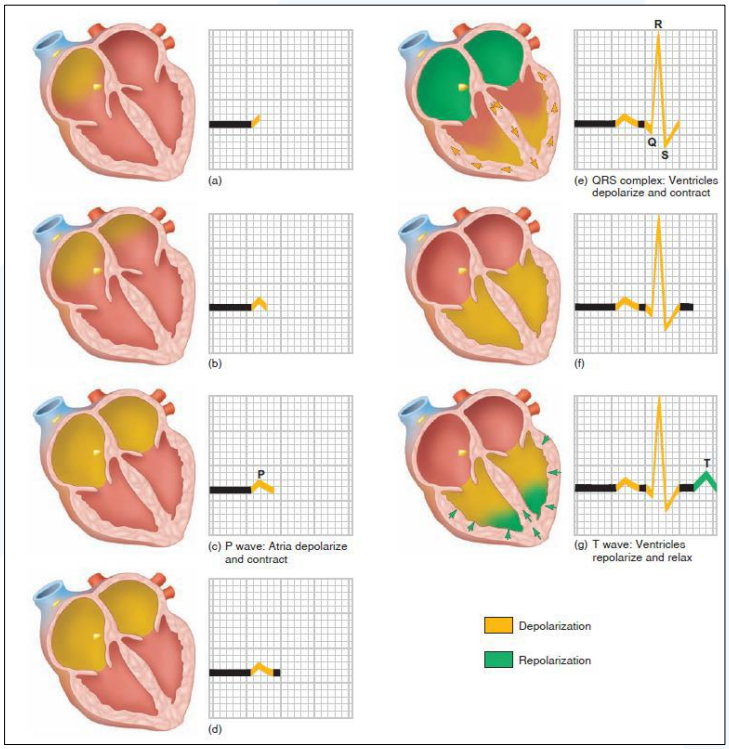
وهي فترة من كمون العمل **تنعدم** خلالها الاستجابة **للتنبيه الطبيعي**؛ إذ لا يمكن أن نعيد تحريض منطقة **مثارة مسبقاً** من العضلة القلبية، وهي تبلغ في الخلايا العضلية البطينية 0.2 – 0.3 ثانية، وهذا يعادل القسم **الأعظم** من الوقت الذي يستغرقه كمون العمل.

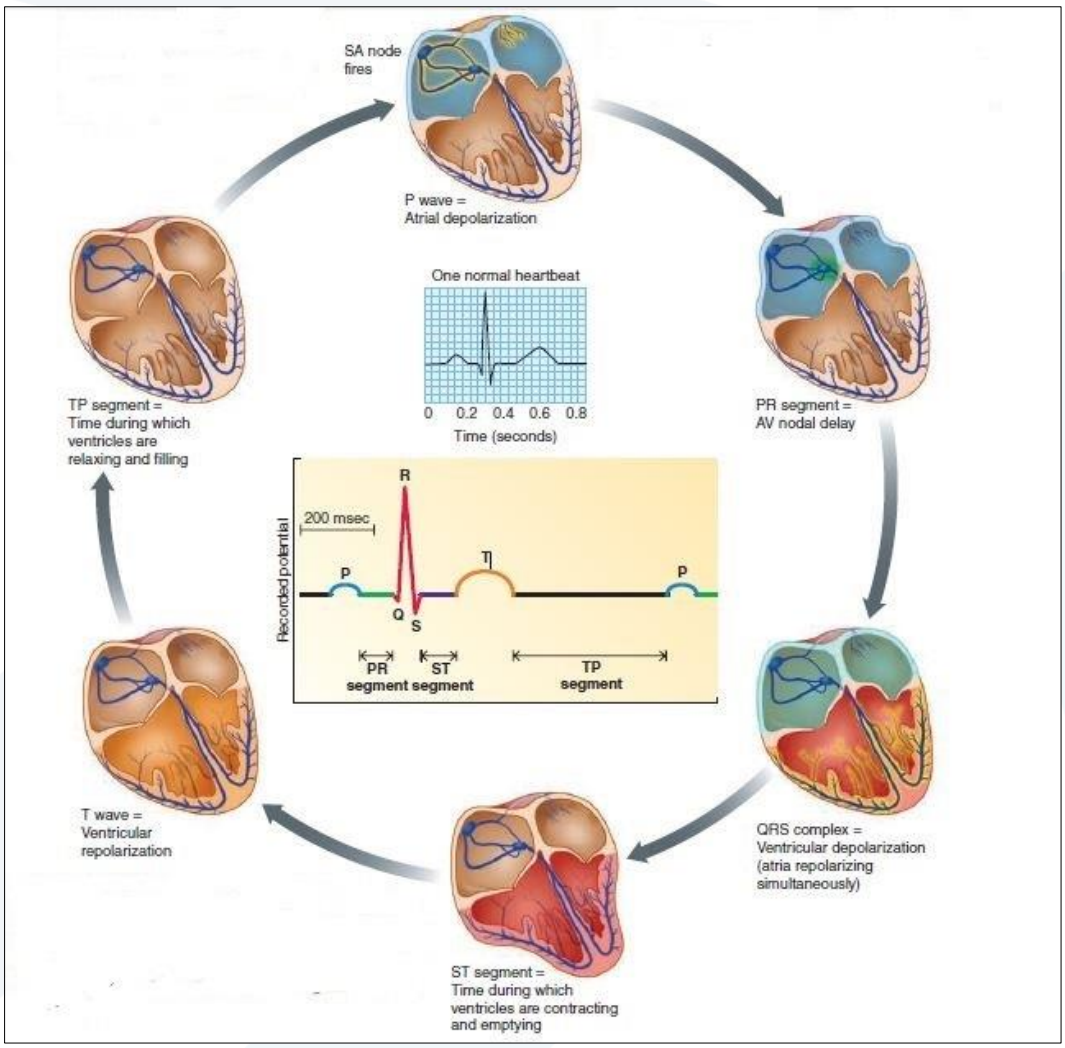
وهناك فترة عدم استجابة **نسبية** إضافية تبلغ نحو 0.05 ثانية، تكون مستعصية إلا للتحريض أو التنبيه بإشارات أو منبهات **قوية جداً** (أعلى من العتبة)، وهذا ما يسمى العصيان **النسبي**، وتجدر الإشارة إلى أن فترة العصيان في العضلة **الأذينية أقل** منها في العضلة **البطينية**.

مخطط كهربائية القلب الطبيعي (السوي)

عندما تمر الدفعة القلبية عبر القلب ينتشر تيار كهربائي إلى النسيج حول القلب، وينتشر نسبة ضئيلة من هذا التيار إلى سطح الجسم في كافة الاتجاهات. ويمكن تسجيل الكمونات الكهربائية الناتجة عن هذا التيار بوضع مسارٍ على الجلد في أماكن مختلفة من القلب. ويعرف الكمون المسجل باسم مخطط كهربائية القلب Electrocardiogram، ويوضّح الشكل (12) مخطط كهربائية القلب بالنسبة لضربتين قلبيتين.







الشكل (12): مخطط كهربائية القلب الطبيعي.

مميزات مخطط كهربائية القلب السوي

يتألف مخطط كهربائية القلب السوي الشكل (12) من **موجة P**، **ومركب QRS**، **وموجة T**. ويتألف **QRS** عادة من ثلاث موجات مستقلة هي الموجة Q والموجة R والموجة S.

تنتج **الموجة P** عن الكمون الكهربائي الذي ينشأ عند **زوال استقطاب الأذينات** (نزع الاستقطاب وانعكاسه أي كمون عمل) الذي يسبق حدوث التقلص. وينتج **مركب QRS** عن الكمون الذي ينشأ عند **زوال استقطاب البطينات** قبل حدوث التقلص، أي عندما تنتشر موجة الاستقطاب عبر البطينات. ولذلك فإن كلاً من موجة P ومكونات المركب QRS ما هي إلا **موجات زوال الاستقطاب** Depolarization waves.

تنتج **الموجة T** عن الكمون الذي ينشأ عندما **تعود البطينات إلى حالة الاستقطاب** (العودة إلى كمون الراحة)، وتحدث هذه العملية في العضلة البطينية بعد زوال الاستقطاب بزمن قدره 0.25-0.35 ثانية، وتعرف هذه الموجة باسم موجة **عودة الاستقطاب** Repolarization wave.

إن المدة الزمنية بين بدء موجة P وبدء موجة QRS ما هي إلا **الفترة** بين **بدء** التقلص في **الأذينة وبدء** التقلص في **البطين** (الزمن اللازم لانتقال التنبيه من العقدة الجيبية إلى البطينين)، وندعى هذه المدة الزمنية **الفترة P-Q**، وتعادل هذه الفترة السوية بين 0.12 إلى 0.20 ثانية (**وسطياً 0.16 ثانية تقريباً**)، كما تدعى هذه الفترة أحياناً P-R وذلك لأن موجة Q كثيراً ما تكون غائبة.

الفترة Q-T وفيها يستمر تقلص البطين تقريباً من بدء موجة Q حتى نهاية T أي تمثّل **التقلص البطيني**، وتساوي عادة 0.35 ثانية تقريباً.

القطعة (الشدفة) Segment **T-S** ويمثل الطور **الهضبي** في كمون العمل القلبي، وينعكس أي اضطراب في كمية شوارد **الكالسيوم** التي تدخل إلى هذه الخلايا، باضطراب مقابل في هذه القطعة، كما قد تتجه نحو الأعلى أو الأسفل في بعض الأمراض **القلبية** مثل الاحتشاء أو الذبحة الصدرية (خناق الصدر أو الخناقية).

الدورة القلبية Cardiac Cycle

هي الفترة الممتدة من **بدء** ضربة قلبية إلى **بدء** الضربة **التالية**، تتكرر حوادث الدورة القلبية بانتظام وتستغرق **0.8 ثانية** عندما يكون النظم **72 نبضة/د** عند فرد بالغ، ويتراوح معدل النظم (دقات القلب السوي) في حالة الراحة بين **60 إلى 100 نبضة/د.**

مراحل الدورة القلبية

1. **الانقباض الأذيني:** تكون الصمامات الأذينية البطينية مفتوحة، أما الصمامات الهلالية فتكون مغلقة، حيث يمر 80 - 70 % من الدم إلى البطينان بالانسياب، بينما يعمل التقلص الأذيني على ضخ الكمية المتبقية.
2. **الانبساط الأذيني:** يلي الانقباض الأذيني، ويسمح بامتلاء الأذينة، وتساعد الحركات التنفسية على ذلك.
3. **الانقباض البطيني:** تنغلق الصمامات الأذينية البطينية وتنفتح الصمامات الهلالية، يمر 80 % من الدم من البطينات الى الشرايين عبر الانقباض البطيني، ثم يلي ذلك طور بطيء يتوقف فيه التقلص البطيني مع بقاء الصمامات الهلالية مفتوحة وهنا يمر 20 % المتبقي من الدم.
4. **الانبساط البطيني:** ينغلق الصمام الهلالي، مع عدم انفتاح الدسام الأذيني البطيني، يستمر استرخاء العضلة البطينية لفترة زمنية قصيرة، ثم يفتح الدسام الأذيني البطيني فيمر الدم الموجود في الأذينة الى البطين.

نتاج القلب

يضخ كل بطين عند انقباضه حجماً معيناً من الدم يدعى **بحجم الدفقة أو الضربة** Stroke volume ويقدر هذا الحجم عند الفرد البالغ **بـ 70 ميلي ليتر** في حالة الراحة.

أما **نتاج القلب** فهو كمية الدم التي يضخها أحد البطينين في الدقيقة الواحدة أي إنه يعادل جداء **حجم الدفقة** (الضربة) **بسرعة ضربات** القلب، ويعادل عند الفرد البالغ في حالة الراحة نحو **خمسة ليترات** (70×72=5040)مل/د.

يمكن أن **يتضاعف** نتاج القلب عدة مرات في أثناء ممارسة **جهد عضلي** كبير، ويعود ذلك إلى ازدياد حجم الدفقة وسرعة ضربات القلب.

أصوات القلب

ينتج من **انقباض البطينين و انغلاق الصمامات الأذينية البطينية (التاجي وثلاثي الشرف)** صوت يمكن سماعه بوساطة السماعة الطبية ويدعى **صوت القلب الأول**، ويستغرق **0.14 ثانية**، وهو طويل نسبياً ومنخفض اللحن.

أما في نهاية الانقباض البطيني فيسبب **انغلاق الصمامات الهلالية أو السينية (الأبهري والرئوي)** ظهور صوت يمكن سماعه بالسماعة الطبية يدعى **صوت القلب الثاني** الذي يستغرق **0.11 ثانية** وهو أعلى شدة وأرفع لحناً من الصوت الأول.

وتجدر الإشارة في حالة الصوتين **الأول والثاني** إلى أن انغلاق شرف (وريقات) الصمام بعضها مع بعض يؤدي إلى **القليل** من الصوت، ولكن **سبب** الصوت هو **اهتزاز** هذه **الصمامات** المشدودة والمتوترة بعد الانغلاق، بالترافق مع **اهتزاز الدم** المجاور لها، **واهتزاز جدران** القلب، **والأوعية** الرئيسة حول القلب.

وبالإضافة إلى الصوتين السابقين، يمكن سماع أصوات أخرى عند المرضى في الحالات **غير العادية** وهي:

الصوت الثالث: يسمع في الثلث المتوسط من الانبساط، وسببه اهتزاز الدم جيئة وذهاباً بين جدران البطينين، تردده منخفض لذلك من الصعب سماعه في الحالة الطبيعية.

الصوت الرابع: ينجم عن الانقباض الأذيني الفعال خاصة نهاية استرخاء بطيني غير مطاوع مترافق بارتفاع توتر شرياني أو قصور صما تاجي، وهو **مرضي** دائماً.

الدوران الإكليلي

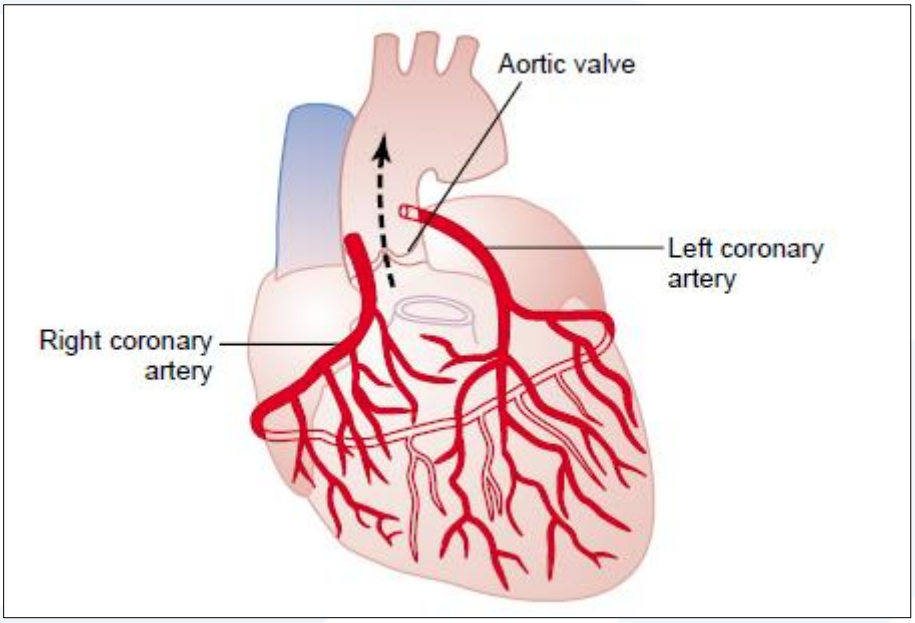
ينجم نحو ثلث وفيات المجتمع في العالم الغربي من داء الشريان الإكليلي، كما يمتلك السواد الأعظم من المسنين بعضاً من الاضطرابات في دوران الشرايين الإكليلية، ولهذا السبب تشكّل الفيزيولوجيا الطبيعية والمرضية للدوران الإكليلي أحد أهم المواضيع في المجال الطبي.

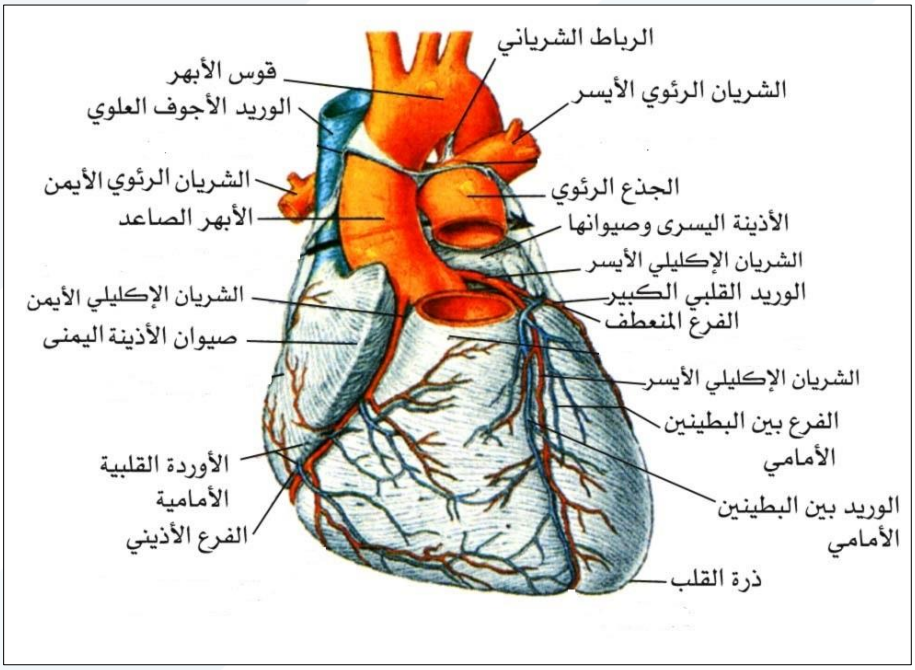
التشريح الفيزيولوجي للتروية الدموية الإكليلية

يبيّن الشكل (13)، التروية الدموية الإكليلية للقلب؛ إذ يلاحظ أن الشرايين **الإكليلية الرئيسة** تتوضع على **سطح القلب**، بينما **تخترق** الشرايين **الصغيرة** كتلة العضلة القلبية، ويتلقى **كامل** القلب تقريباً ترويته الدموية المغذية عبر هذه الشرايين، في حين لا يستطيع سوى **75 – 100 ميكرومتر** من سطح **الشغاف الداخلي** من الحصول على كمية مهمة وكافية من المغذيات الموجودة في الأجواف القلبية.

تضم الشرايين الإكليلية الرئيسة كل من الشريان **الإكليلي الأيمن أو الخلفي**، وهو الأضخم، ويمر في الثلم الأذيني - البطيني ثم في الثلم الخلفي السفلي بين البطينين وينتهي هناك، بالإضافة إلى الشريان **الإكليلي الأيسر أو الأمامي** ويصل إلى الثلم الأمامي بين البطينين وينتهي هناك بعد أن يحيط بقمة القلب.

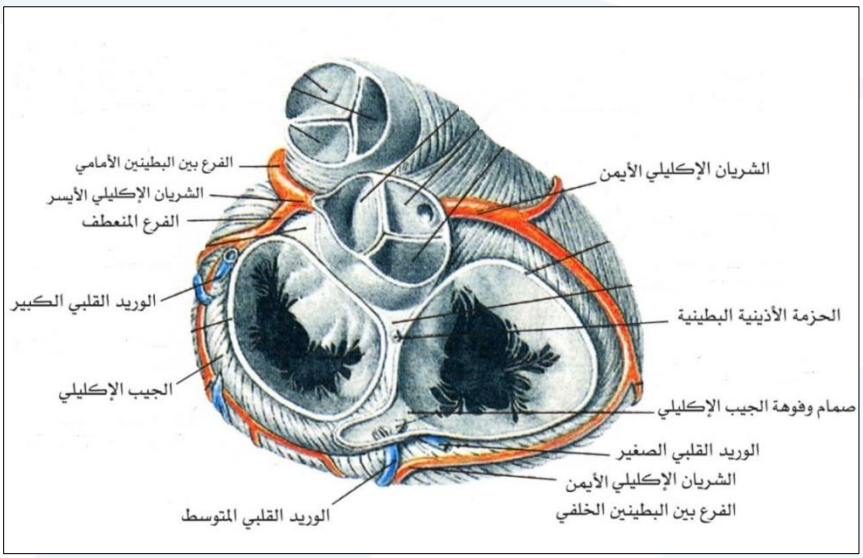
يروي الشريان الإكليلي **الأيسر** بشكل رئيس الأجزاء **الأمامية والوحشية** من البطين الأيسر، بينما **يروي** الشريان الإكليلي **الأيمن معظم البطين** الأيمن إضافة إلى الجزء **الخلفي** من البطين **الأيسر** عند 80 – 90 % من الأشخاص، كما أن الدم الجاري في الشريان الاكليلي الأيمن **أكثر** منه في الأيسر عند نصف البشر، بينما **يتساوى** جريان الدم في الشريانين عند نحو 30 %، وعند نحو 20 % يكون الشريان **الأيسر مسيطراً**.





الشكل (13): الأوعية الدموية الإكليلية.

يصب معظم الجريان الدموي الوريدي من البطين الأيسر في **الجيب الاكليلي** Coronary sinus، الشكل (14)، وهو يشكل نحو 75 % من الجريان الدموي الاكليلي الكلي – بينما **يعود معظم** الدم الوريدي من البطين الأيمن إلى الأذينة اليمنى عبر الأوردة **القلبية الأمامية الصغيرة** مباشرة **ودون** أن يتصل مع الجيب الإكليلي.

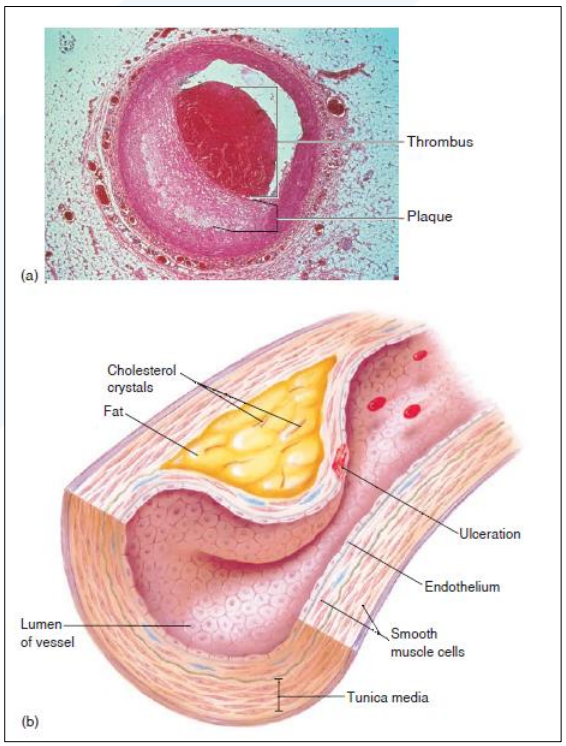


الشكل (14): الأوعية الإكليلية والجيب الإكليلي.

الاقفار الاكليلي (نقص التروية الاكليلية)

ينخفض استقلاب العضلة القلبية لعدة أسباب تنتج عن الجريان **غير الكافي** للدم الاكليلي وهي: نقص الأكسجين، وزيادة تراكم ثاني أكسيد الكربون، والنقص في وصول المغذيات.

يعد **التصلب العصيدي** Atherosclerosis أو تصلب الشرايين، الشكل (15)، من أسباب الاقفار الاكليلي وهو **تسمّك** الأوعية الشريانية المتوسطة والكبيرة وتصلبها **وتضيّق لمعتها**، أي تكوّن ما يعرف **بالصفيحة العصيدية**.



الشكل (15): التصلب العصيدي.

فإذا **تكونت** الصفيحة العصيدية في الوعاء الشرياني قد **يتقرح** سطحها الداخلي Ulceration، أو **يتخثر ويسد** الوعاء. وغالباً ما **تتوضع** الصفيحة العصيدية في **السنتيمترات الستة الأولى** من منشأ الوعاء وفي أماكن التفرع.

لا يؤدي تضيق اللمعة **لأقل** من 50 % إلى نقص الجريان الدموي، في حين يؤدي تضيقها أكثر من ذلك إلى نقص الجريان بدرجة تتناسب طرداً مع شدة الإصابة (أي حصر الدوران الدموي كلياً أو جزئياً).

أسباب التصلب العصيدي الشرياني كثيرة، منها عوامل خطر يمكن تجنبها، ومنها ما لا يمكن تجنبه كالاستعداد الوراثي، والعوامل الدينمية الدموية Hemodynamic الموضعية، وجنس الإنسان (ذكر أو أنثى).

أما عوامل **الخطر الكبيرة** التي يمكن السيطرة عليها فهي ارتفاع الضغط الشرياني، وفرط كولسترول الدم، والتدخين، والسكري. وتتناسب الإصابة طرداً مع ارتفاع جزء **الكولسترول الضار** (المرضي)، البروتين الدهني (الشحمي) ذي الوزن (الكثافة) المنخفض LDL، وتتناسب عكساً مع ارتفاع البروتين الدهني ذي الوزن (الكثافة) العالي HDL (الكوليسترول المفيد أو الجيد).

وقد **يُحدث** الداء القلبي العصيدي **انسداداً إكليلياً حاداً**؛ إذ تستطيع اللويحة العصيدية أن تسبب **جلطة دموية** موضعية تدعى الخثرة Thrombus تسد بدورها الشريان الإكليلي، وتبدأ الخثرة عندما **يزداد حجم** اللويحة فتخترق بطانة الشريان وتصبح على **تماس** مع الدم الجاري، وبما أن هذه اللويحة ذات سطح **خشن** غير أملس فسيؤدي ذلك إلى التصاق الصفيحات الدموية بها وترسب الفيبرين Fibrin أو الليفين **فتعلق** الخلايا الدموية بها وتتشكل الجلطة أو الخثرة التي تكبر حتى تسد الوعاء.

بعد أن يحدث الانسداد الإكليلي الحاد **يتوقف** الجريان الدموي مباشرة في الأوعية ما عدا كميات صغيرة من الجريان في الاوعية المحيطية الرديفة. ويقال عن المنطقة التي **انعدم** فيها الجريان أو **انخفض كثيراً** بحيث **يعجز** عن الإيفاء بوظيفة العضلة القلبية بأنها أصيبت **بالاحتشاء القلبي** Myocardial infarction.

انتهت المحاضرة

بالتوفيق للجميع