المحاضرة السادسة

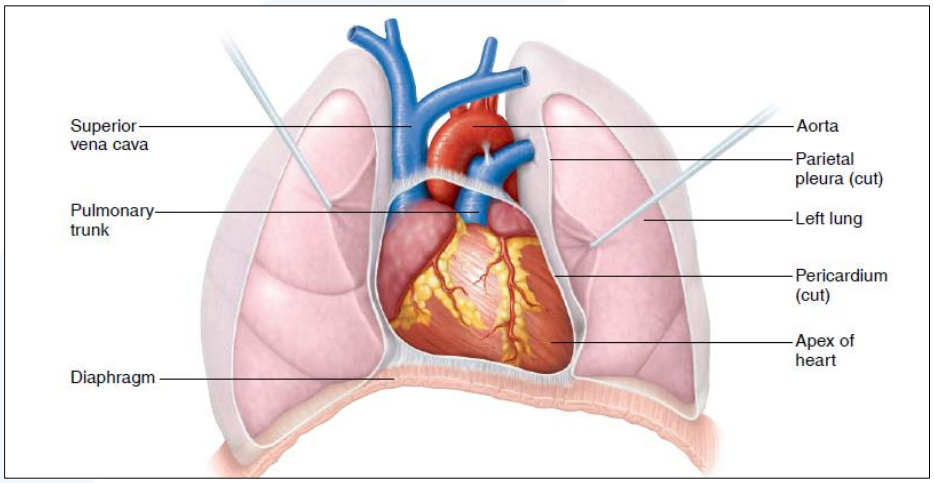
الجهاز القلبي الوعائي (2)

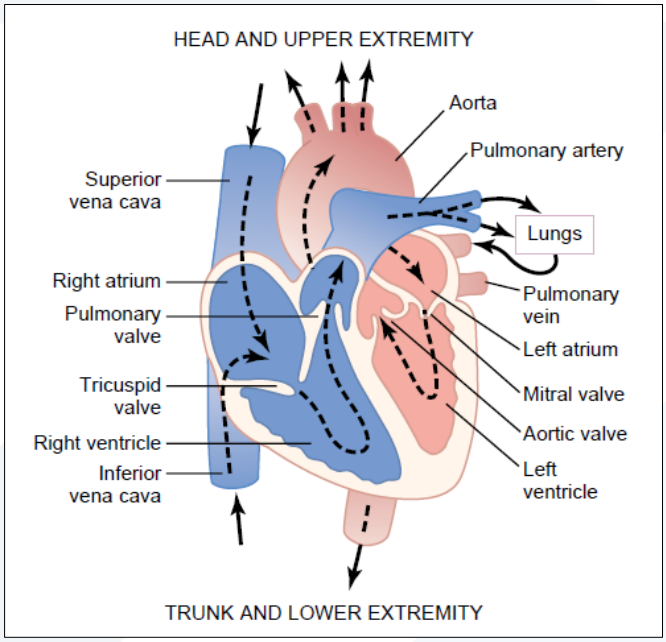
يتكون جهاز **الدوران** أو ما يدعى بالجهاز **القلبي الوعائي** Cardiovascular system من **القلب** و**الأوعية الدموية**، وتتكون الأوعية الدموية من **الشرايين** التي تنقل الدم من القلب إلى مختلف الأنسجة الجسمية، ومن **الأوردة** التي تنقل الدم وفق اتجاه معاكس أي من الأنسجة الجسمية إلى القلب، ويلحق بجهاز الدوران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

القلب

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

يتكون القلب من قسمين **أيمن** و**أيسر** يفصل بينهما **حاجز نسيجي** يمنع اختلاط الدم بين هذين القسمين. وبدوره يتكون **القسم الأيمن** من الأذينة اليمنى والبطين الأيمن، أما **القسم الأيسر** فيتألف من الأذينة اليسرى والبطين الأيسر. تتلقى الأذينة اليمنى الدم الوريدي الغني بغاز **ثاني أكسيد الكربون** CO_2 بوساطة الأوردة الكبيرة، الوريد **الأجوف العلوي** والوريد **الأجوف السفلي**، وينساب هذا الدم إلى البطين الأيمن ويساعد في ذلك تقلص الأذينة، يضخ البطين الأيمن الدم الواصل إليه إلى **الشريان الرئوي** (الذي يتفرع إلى **الشريانين الرئويين الأيمن والأيسر**) اللذين يوصلان هذا الدم إلى الرئتين؛ إذ يتم في الرئتين تخليص الدم من معظم حمولته من غاز ثاني أكسيد الكربون وإشباعه بغاز **الأكسجين** O_2، ثم ينتقل إلى القلب ثانية بوساطة **الأوردة الرئوية**، فيصل الأذينة اليسرى ومنه إلى البطين الأيسر الذي يضخه الشريان **الأبهر Aorta** إلى كل أنحاء الجسم، الشكل (1).





الشكل (1): بنية القلب، ومسار جريان الدم ضمن أجزائه.

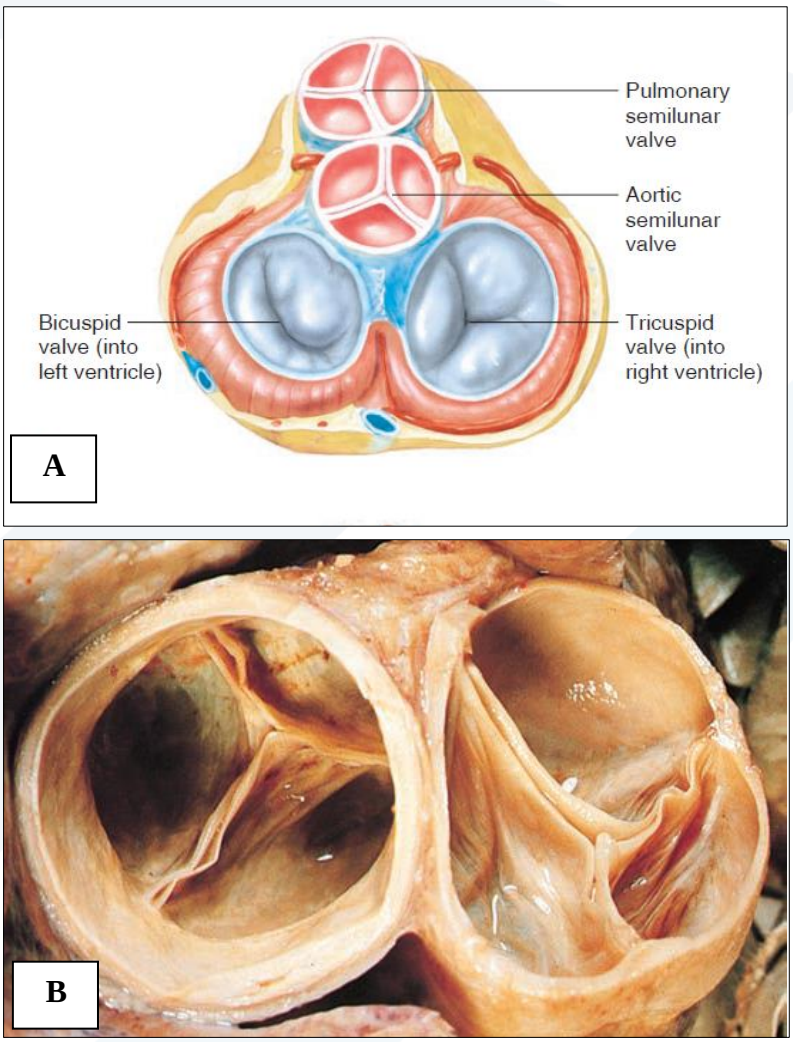
الصمامات القلبية Cardiac valves

يحتوي قلب الإنسان **أربعة** صمامات (دسّامات) الشكل (2)، وهي:

1. الصمام **ثلاثي الشرف** Tricuspid ويتوضع في الفتحة التي تصل ما بين الأذينة اليمنى والبطين الأيمن.
2. الصمام **التاجي (ثنائي الشرف)** Mitral valve ويتوضع في الفتحة التي تصل ما بين الأذينة اليسرى والبطين الأيسر.
3. الصمام **الأبهري (الهلالي)** Aortic valve ويتوضع في الفوهة الشريانية الأبهرية.
4. الصمام **الرئوي (الهلالي)** Pulmonary valve ويتوضع في الفوهة الشريانية الرئوية.

ينغلق الصمامان ثلاثي الشرف والتاجي لحظة بدء **الانقباض البطيني** فيمنعان رجوع الدم إلى الأذينين، في حين **ينفتحان** لحظة بدء الاسترخاء البطيني ليسمحا للدم بالمرور من الأذينين إلى البطينين خلال فترة **الاسترخاء البطيني**.

ينغلق الصمام الأبهري والرئوي عند بدء **الاسترخاء البطيني** فيمنعان رجوع الدم من الشريانين الأبهري والرئوي إلى البطينين، في حين **ينفتحا** عند **انقباض البطينين** ليمكنا من مرور الدم عبر هذين الشريانين.



الشكل (2): A الصمات القلبية، B الصمامان الهلاليان الأبهري والرئوي.

فيزيولوجيا العضلة القلبية

التشريح الفيزيولوجي لعضلة القلب

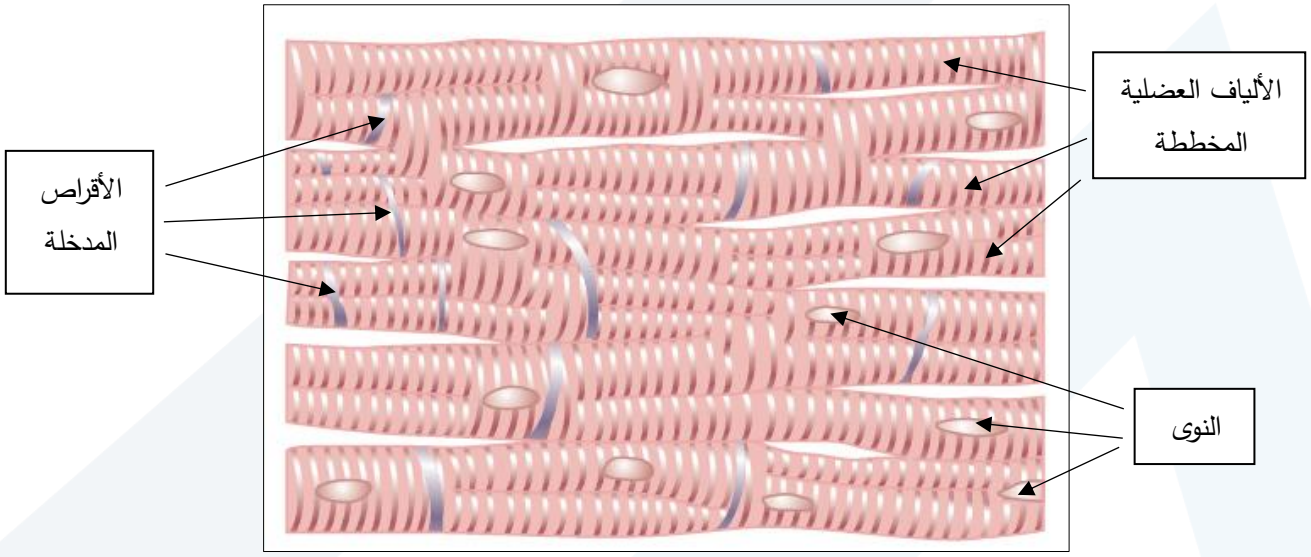
يتكون القلب عملياً من ثلاثة أنماط رئيسية من الأنسجة، النسيج **الأذيني التقلصي** والنسيج **البطيني التقلصي** والنسيج **العقدي** Nodal tissue.

يتألف النسيجان الأولان من ألياف عضلية **مخططة ومتفاغرة** تتقلص بالطريقة نفسها التي تتقلص بها ألياف العضلات الهيكلية، إلا أن مدة التقلص في الألياف الأذينية والبطينية **أطول** مما هو عليه في العضلات **الهيكلية**.

العضلة القلبية كمدمج (مختلط) خلوي Syncytium

تدعى المناطق العاتمة والفاصلة لألياف العضلة القلبية **بالأقراص المدخلة** Intercalated discs الشكل (3، 4)، 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 **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.

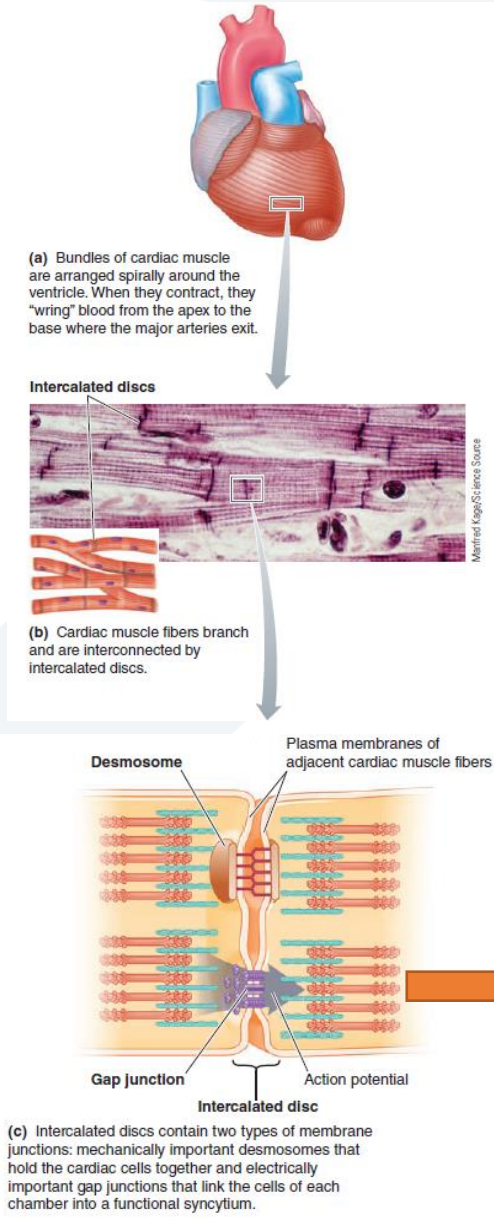


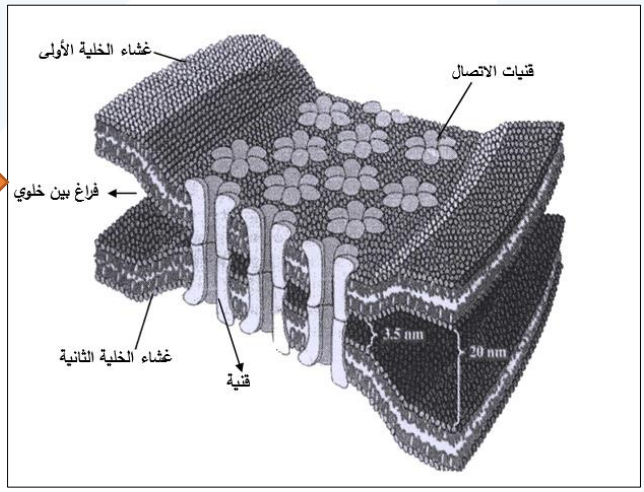
الشكل (3): الألياف العضلية المخططة والمتفاغرة مع الأقراص المدخلة.

تتضمن الأقراص المدخلة **نوعين** من الاتصالات (الالتقاءات) الغشائية، الشكل (4):

- **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 **ميكانيكياً**.
- **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 عبر جميع هذه الخلايا.





الشكل (4): الألياف العضلية القلبية المرتبة حلزونياً حول البطينين، وبنية الأقراص المدخلة.

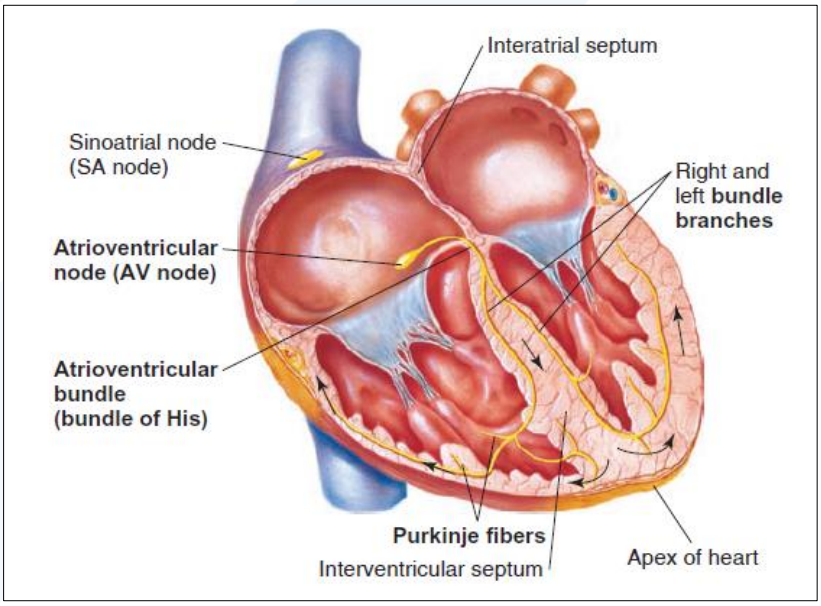
وينقسم هذا المختلط أو المدمج الخلوي إلى: **المختلط الأذيني** المؤلف من جدران كلا الأذينين، و**المختلط البطيني** المؤلف من جدران كلا البطينين. وينفصل الأذينان عن البطينين بنسيج ليفي يحيط بالصمامين (الدسامين) بين الأذينين والبطينين.

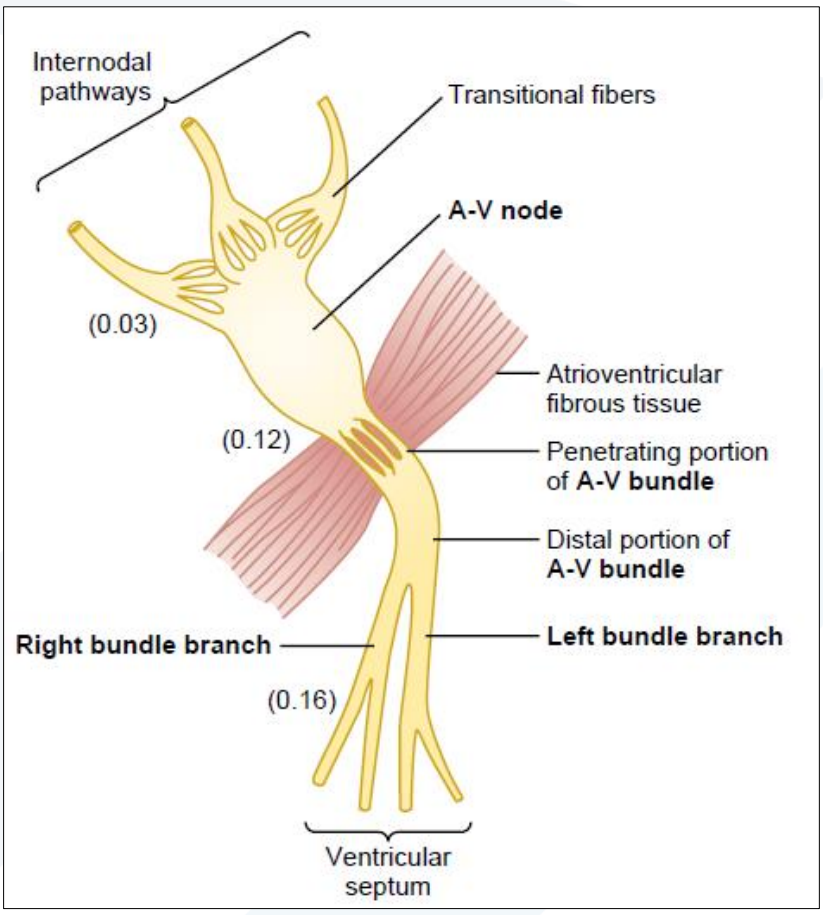
إن هذا **التقسيم** للكتلة العضلية القلبية إلى مختلطين وظيفيين منفصلين، يسمح للأذينين **بالتقلص قبل** البطينين بوقت قصير، وهذا الأمر ضروري لكي يقوم القلب بضخ الدم بفعالية.

النسيج العقدي

يتألف هذا النسيج كما هو موضّح في الشكل (5) من:

1. **العقدة الجيبية** Sinus node أو **العقدة الجيبية الأذينية** Sinoatrial node (S-A node)، وتدعى ناظمة الخطى، وتقع في الجدار العلوي الجانبي للأذينة اليمنى **أسفل** فتحة الوريد الأجوف العلوي.
2. **المسالك بين العقد** Internodal tracts وهي ثلاثة سبل تنقل التنبيه من العقدة الجيبية إلى العقدة الأذينية البطينية.
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.





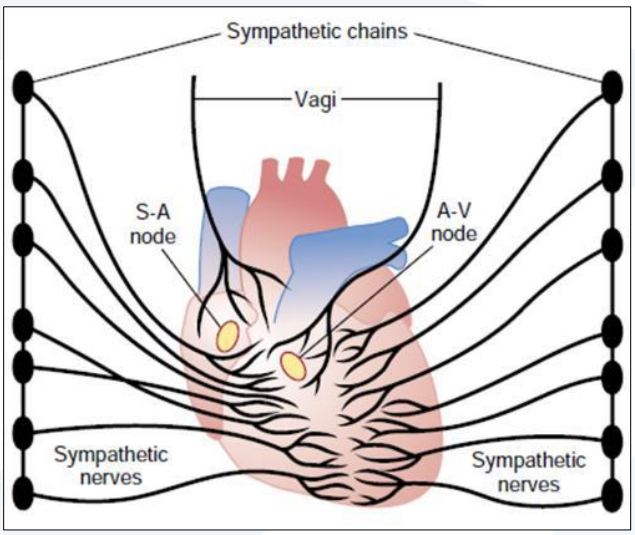
الشكل (5): النسيج العقدي القلبي.

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** Pacemaker أي 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 (6). 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، وتعمل على زيادة كل من عمل القلب، وقدرته التقلصية، وحاجته الأكسجينية.



الشكل (6): أعصاب القلب.

الخصائص البيولوجية للعضلة القلبية

1- قابلية التنبه والإستثارة Excitability:

يستجيب القلب لمنبه ذي شدة ومدة تطبيق ملائمين، هذه القابلية تزول أثناء فترة العصيان.

2- القلوصية Contractility:

- تخضع لقانون كل شيء أو لا شيء.
- تزداد قوة التقلص: بزيادة طول الليف البدئي (آلية فرانك - ستارلينغ)، وبزيادة تركيز شوارد الكالسيوم داخل الليف القلبي وتقوى 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.
- تعمل العقدة الجيبية كناظم الخطى بإطلاق التنبيهات بمعدل 70 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.

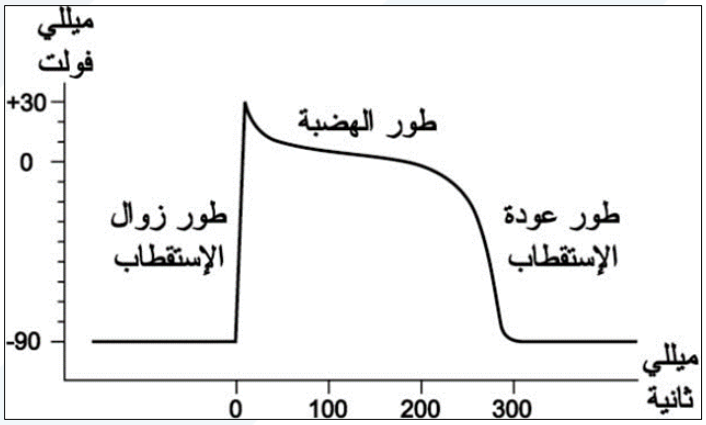
4- قابلية النقل والتوصيل Conductivity

الفعالية الكهربائية القلبية (كمون الراحة – كمون العمل)

يسجل 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، نتيجة خروج أيونات البوتاسيوم K^+ من الخلايا.

أما في **النسيج البطيني التقلصي** فيسجل إضافة إلى الطورين السابقين طور إضافي يطلق عليه **طور الهضبة** Plateau يفصل ما بين الطورين السابقين ويسبب إطالة زمن كمون العمل في هذا النسيج ليصبح نحو **300 ميلي ثانية** بدلاً من 1 إلى 2 ميلي ثانية في الأنسجة الأخرى، كما يسبب تأخراً في بدء طور عودة الاستقطاب، وسبب ظهور **طور الهضبة** هو زيادة دخول شوارد **الكالسيوم** Ca^{2+} عبر قنوات الكالسيوم المبوبة الفولطية والتي تنفتح نتيجة زوال الاستقطاب، وقلة خروج شوارد **البوتاسيوم** K^+،الشكل (7).



الشكل (7): كمون العمل في النسيج البطيني التقلصي.

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 (8) مخطط كهربائية القلب بالنسبة لضربتين قلبيتين.

مميزات مخطط كهربائية القلب السوي

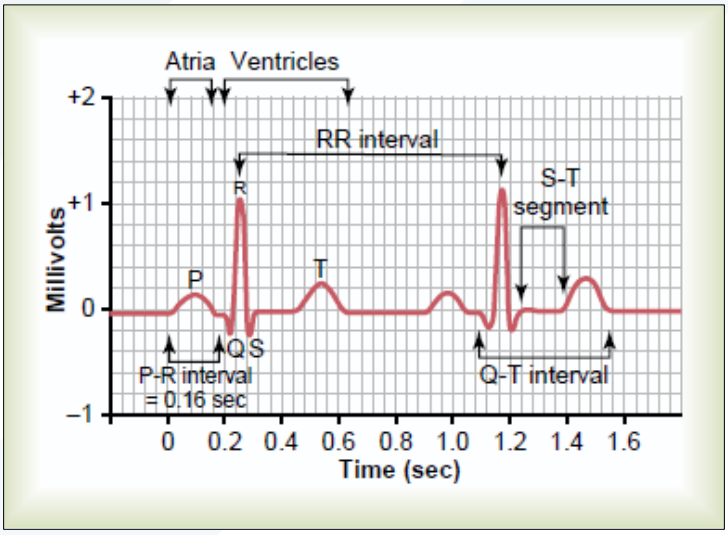
يتألف مخطط كهربائية القلب السوي الشكل (8) من **موجة P**، **ومركب QRS**، **وموجة T**. ويتألف **QRS** عادة من ثلاث موجات مستقلة هي الموجة Q والموجة R والموجة S.

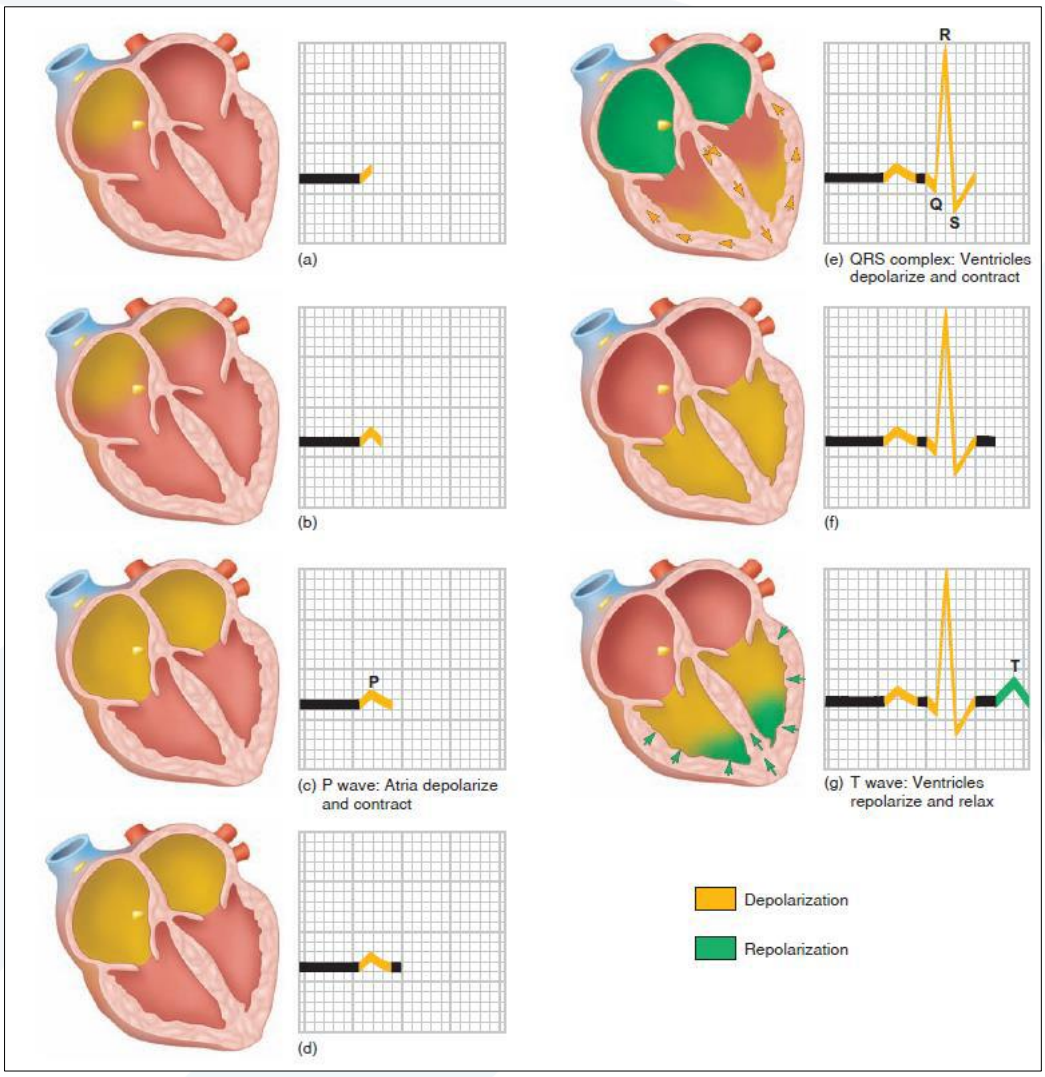
تنتج **الموجة P** عن الكمون الكهربائي الذي ينشأ عند **زوال استقطاب الأذينات** (نزع الاستقطاب وانعكاسه أي كمون عمل) الذي يسبق حدوث التقلص. وينتج **مركب QRS** عن الكمون الذي ينشأ عند **زوال استقطاب البطينات** قبل حدوث التقلص، أي عندما تنتشر موجة الاستقطاب عبر البطينات. ولذلك فإن كلاً من موجة P ومكونات 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، 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، وندعى هذه المدة الزمنية **الفترة P-Q**، وتعادل هذه الفترة السوية 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، وتساوي عادة 0.35 ثانية تقريباً، أما **القطعة (الشدفة) S-T** فتمثّل طور الهضبة.





الشكل (8): مخطط كهربائية القلب الطبيعي.

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.

مراحل الدورة القلبية

1. **الانقباض الأذيني:** تكون الصمامات الأذينية البطينية مفتوحة، أما الصمامات الهلالية فتكون مغلقة، حيث يمر 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 **انغلاق الصمامين الأذينين البطينين** صوت يمكن سماعه بوساطة السماعة الطبية ويدعى **صوت القلب الأول**، ويستغرق **0.14 ثانية** ويظهر عادة في بداية الانقباض البطيني.

أما في نهاية الانقباض البطيني فيسبب **انغلاق الصمامين 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.

يمكن سماع أصوات أخرى عند المرضى في الحالات غير العادية:

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.

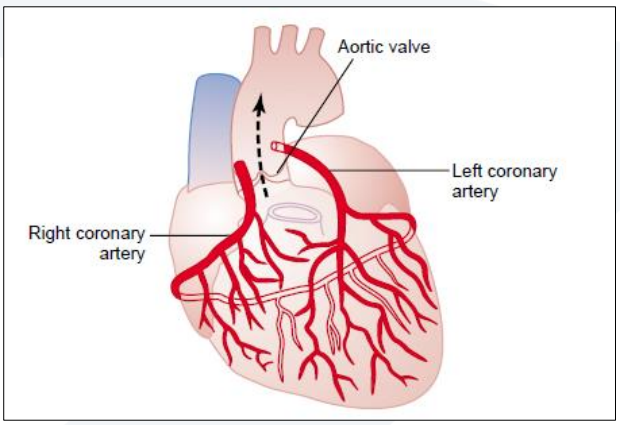
الصوت الرابع: ينجم عن الانقباض الأذيني الفعال في نهاية استرخاء بطيني مترافق بارتفاع توتر شرياني أو قصور صمام تاجي، وهو مرضي دائماً.

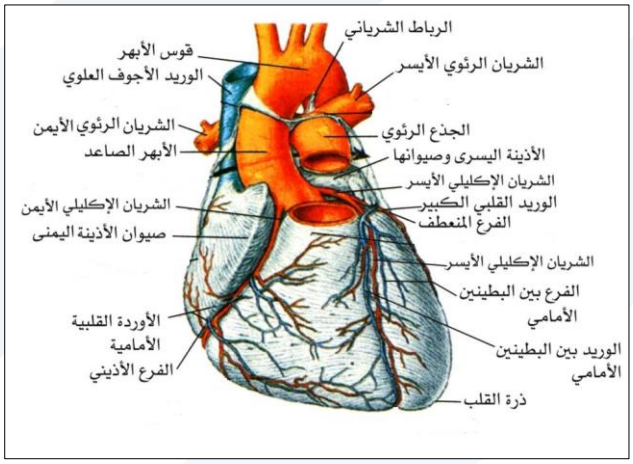
الدوران الإكليلي

يبيّن الشكل (9)، 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.

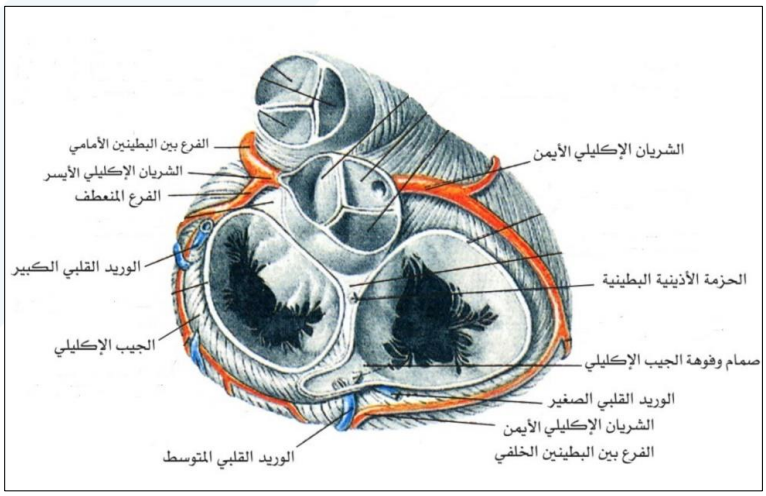
يروي الشريان الإكليلي **الأيسر** بشكل رئيس الأجزاء **الأمامية والوحشية** من البطين الأيسر، بينما **يروي** الشريان الإكليلي **الأيمن معظم البطين** الأيمن إضافة إلى الجزء **الخلفي** من البطين **الأيسر** عند 80 – 90 % من الأشخاص. **يتساوى** جريان الدم في الشريانين عند نحو 30 %، وعند نحو 20 % يكون الشريان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





الشكل (9): الأوعية الدموية الإكليلية.

يصب معظم الجريان الدموي الوريدي من البطين الأيسر في **الجيب الاكليلي** Coronary sinus، الشكل (10)، 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 (10): الأوعية الإكليلية والجيب الإكليلي.

انتهت المحاضرة ... بالتوفيق للجميع.