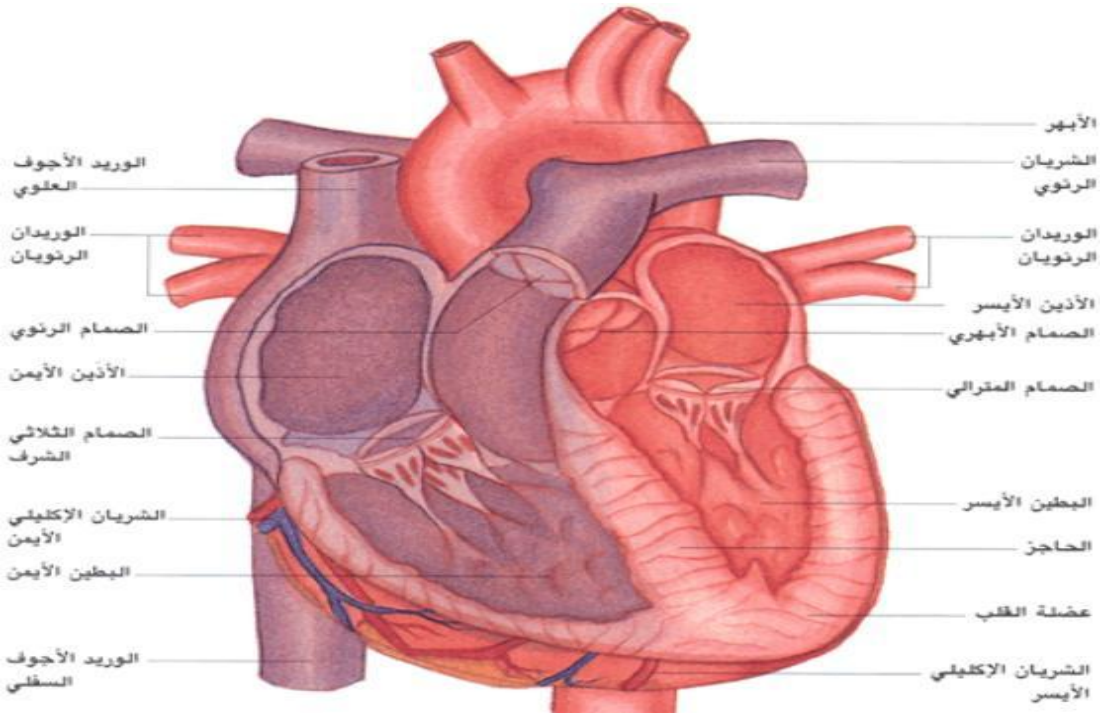
# فزيولوجيا الجهاز القلبي الوعائي

## تشريح القلب

### مواصفات القلب

يعتبر القلب عضو عضلي ذو أربعة تجاويف موجود في جوف الصدر يحتل الناحية الوسطى الواقعة ما بين الرئتين وهو مخروطي الشكل تقع قمته في الزاوية اليسرى السفلى وتسمى بقمة القلب بينما تقع قاعدته في الزاوية اليمنى العليا . يقع القلب بشكل مائل نحو الأسفل واليسار بحيث يكون حوالي ثلثي القلب إلى اليسار من الخط الناصف للجسم ، ويكون حجمه مساويا لحجم قبضة اليد أما وزنه فيتراوح ما بين (250-350) غم ، كما ينقسم طولياً بحاجز يعزل النصف الأيمن عن الأيسر ويتكون من ألياف عضلية خاصة مخططة لا إرادية ويوجد في القلب أربعة أجواف وثلاث سطوح (وجوه) وقمة ويتألف من أربعة حجرات ويحاط بغشاء التامور.




يحتوي الجدار العضلي للقلب على ثلاث طبقات : بطانة داخلية رقيقة (الشغاف) وكتلة من العضل العامل (العضلة القلبية ) ، وسطح خارجي (النخاب)

تتصف العضلة القلبية بأنها الطبقة الثخينة الرئيسية لعضلة القلب وتتكون من خلايا عضلية مفردة تعمل معاً بهدف تقليص حجرات القلب (انقباضها) وإرخائها بشكل دقيق ، ويتكون القلب من أربع حجرات رئيسية (الأذينان والبطينان) .

**الأذينان:**

هما الحجرتان الصغيرتان اللتان تتلقيان الدم العائد من الجسم (الأذين الأيمن) أو من الرئتين (الأذين الأيسر) ، ورغم تقلص الأذينين إلا أن هذا التقلص ضعيف نسبيا ويفيد بشكل رئيسي في دفع الدم نحو البطينين ، يكون كل أذين بحجم كرة الغولف تقريبا وتقل ثخانة جدار الأذين الأيمن بنحو (0.3) سم عن الأذين الأيسر الذي يكون أكثر ثخانة وقوة ولكن حجمه مماثل تقريباً ، كما يستطيع القلب ضخ دم كاف إلى الجسم حتى وان لم يتقلص الأذينان مطلقاً ولكن تقلصها يسهم في الكفاءة الإجمالية للقلب ويسمح له بضخ مزيد من الدم بجهد اقل وتكون هذه الكفاءة الإضافية هامة عند تعرض البطينين للضرر المرضي بشكل خاص.

**البطينان**

هما الحجرتان الرئيسيتان اللتان تضخان الدم في القلب حيث يتم دفع الدم إلى الرئتين والجسم ، يكون سمك جدار البطين الأيمن اقل من الأيسر بثلاث مرات إذ يعد البطين الأيسر أقوى حجرة في القلب على الإطلاق وذلك بسبب وظيفته حيث يقوم بدفع الدم إلى جميع أنحاء الجسم ما عدا الرئتين .

يخفق القلب (100000) مئة ألف خفقة في اليوم تقريبا وفي الحالات الطبيعية ، وله أداة ناظمة تسمى العقدة الجيبية الأذينية وتقع عند منطقة اتصال الوريد الأجوف العلوي بالأذين الأيمن حيث تتولد إشارات كهربائية من هذه العقدة وتنتشر في البداية في الأذينين مسببة انقباضها ودفع الدم إلى البطينين ، وبعد فترة تأخر قصيرة تسمح بامتلاء البطينين تمر الإشارات في البطينين الذين ينقبضان ويضخان الدم إلى الجسم والرئتين وقد تعاني هذه الناظمة (pacemaker) أحيانا من خلل وظيفي يجعل القلب يخفق بشكل أبطئ أو أسرع مما ينبغي له وفي مثل هذه الحالات يمكن تركيب ناظمة اصطناعية من اجل تنظيم سرعة القلب ونظمه.

يعمل القلب بتوقيت وانسجام تامين وذلك لان:

العضلات القلبية تتألف من ألياف مرتبطة ببعضها وبذلك تؤلف مندمج وظيفي فإذا تحفز ليف عضلي قلبي معين فان اثر التحفيز ينتقل بسرعة إلى الألياف العضلية المجاورة بعكس الألياف العضلية الهيكلية والتي هي منفصلة عن بعضها وظيفياً .

2. وجود منظم خطي وجهاز ينقل موجة التهيج للنبض القلبي بسرعة وتوقيت دقيق إلى عضلات القلب المختلفة .

3. وجود صمامات قلبية بين الأذينين والبطينين وفي بداية الابهر والشريان الرئوي تنظم عملية امتلاء وتفريغ الأذينين والبطينين .

يصل حجم القلب بالنسبة للرجال في المتوسط (700-800) سم$^3$ والسيدات (500-600) سم$^3$ ويزيد عادة بالنسبة للرياضيين (100-300) سم$^3$ بحيث يمكن أن يصل في بعض الأحيان إلى (1000-1200) سم$^3$ ، أما طوله فيبلغ في المتوسط 14سم والعرض 12سم ويبلغ حجم تجاويف البطينين حوالي 250-300 ملم ويقل بعض الشيء بالنسبة للسيدات ، ونظراً لارتباط حجم القلب بطول ووزن الجسم يفضل مراعاة ذلك عند حساب حجم القلب نسبة إلى تلك القياسات ، وقد اتضح أن لكل كيلو غرام من وزن الجسم يبلغ حجم القلب 11 سم$^3$ لغير الرياضيين ، بينما يبلغ 13-14 سم$^3$ للرياضيين .

تتضمن الدورة القلبية كل الوظائف التي تحدث بين ضربتين متتابعتين للقلب في حالتي الانقباض والاسترخاء ، وتقيس الدورة القلبية الواحدة الوقت بين الانقباض الواحد والذي يليه ومع انه من المعروف أن القلب يعمل بشكل مستمر إلا انه يقضي بخفة شديدة فترة راحة بين كل دورة والتي تليها ويظهر ذلك واضحا لدى الرياضيين المدربين الذين يتمتعون بمعدل قلب بطيء أثناء الراحة إذ تزداد لديهم فترة راحة أو استشفاء معدل القلب مقارنة بالأفراد العاديين .

**نظام التوصيل الكهربائي في القلب**

يتألف جهاز التوصيل في قلب الإنسان من الأجزاء التالية :

**1. العقدة الجيبية الأذينية (SA node) :**

وهي كتلة صغيرة من النسيج العضلي توجد في جدار الأذين الأيمن بالقرب من النقطة التي يصب عندها الوريد الأجوف العلوي في الأذين الأيمن ، وتتكون هذه العقدة من ألياف عضلية متحررة وألياف عصبية عصبية وبعض الخلايا العصبية ، ويعتقد أنها تنشأ من جدار الجيب الوريدي للقلب .

**. العقدة الأذينية البطينية (AV node):**

وتوجد أيضا في جدار الأذين الأيمن ولكن من أسفل الحاجز الذي يفصل بين الأذينين وتتكون هذه العقدة من نسيج مشابه لنسيج العقدة الأولى .

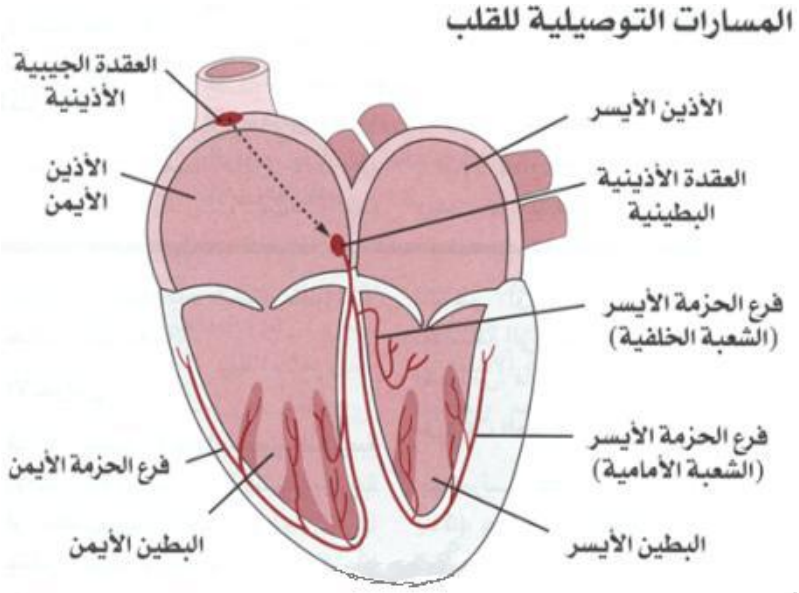
### 3. الحزمة الأذينية البطينية (AV bundle):

وتسمى أيضا حزمة هيس ، وتنشا من العقدة (AV) ثم تمتد إلى أسفل لمسافة قصيرة تتفرع بعدها إلى فرعين (أيمن وأيسر) ، فرع لكل بطين ثم يمتد الفرعان بعد ذلك إلى أسفل على جانبي الحاجز الذي يفصل بين البطينين حتى يصلا إلى قمة القلب المستديرة ، ثم يصعد الفرعان بعد ذلك إلى أعلى في اتجاه قاعدة القلب ويمتد كل فرع موازيا الجدار الجانبي للبطين .

**. شبكة بركنجي :**

يتفرع كل فرع في النهاية إلى فروع كثيرة صغيرة تصغر تدريجيا وتكون شبكة دقيقة من الخيوط والألياف تدعى (شبكة بركنجي) وتوجد هذه الشبكة بصورة رئيسية أسفل البطانة الداخلية لكل بطين ، كما تصل ألياف الشبكة أيضا إلى الجزء الرئيسي من عضلة القلب والذي يكون سمك الجدار ، ويعتقد بان كل ليفة عضلية في البطين تتصل بإحدى ألياف شبكة بركنجي .

يتلقى القلب الايعازات من الأعصاب السمبثاوية والباراسمبثاوية وتطلق الأعصاب السمبثاوية النورابنفرين بصورة بينما تطلق الباراسمبثاوية الاستيل كولين ، ومن خلال التنبيه بالعصب السمبثاوي تزداد ضربات القلب وبالتالي تزيد من كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة لأكثر من 100% ، كما يزيد من تقلص القلب أي من صغر قطر البطين الأيسر في الانقباض ، أما العصب الباراسمبثاوي فهو متصل بالعصب التائه (الحائر) وهو العصب الدماغي العاشر بينما تخرج الألياف العصبية السمبثاوية من العقد العصبية السمبثاوية العنقية والصدرية ، يعمل العصب الباراسمبثاوي على تثبيط عمل العصب السمبثاوي بمعنى تقليل نبضات القلب وأحيانا ربما يوقف النبضات لبضع ثواني .




تعد العقدة الجيبية المنشأ السوي للدفعة الكهربائية ، إذ تمثل الناظمة الطبيعية للقلب وتسير الدفعة الكهربائية ضمن الخلايا المجاورة لجهاز التوصيل ، ويؤدي جريان الدفعة هذا بدوره إلى ظهور تيار كهربائي يمر بعد ذلك من خلية إلى أخرى ، أما الجزء الثاني من نظام التوصيل فهو المسالك الكهربائية في الأذين والتي يسير عبرها التيار الكهربائي في رحلته نحو البطينين ، أما الجزء الثالث لنظام التوصيل فهو العقدة الأذينية البطينية (AV node) وتشبه هذه العقدة بوابة تبطئ التيار الكهربائي قبل أن تسمح له بالعبور للبطينين ، ويضمن تأخر التوصيل هذا عند العقدة الأذينية البطينية تقلص الأذينين لفترة قصيرة قبل تقلص البطينين مما يسمح بمزيد من الوقت لامتلاء البطينين ، بعد مغادرة التيار للعقدة الأذينية البطينية يتجه نحو نسيج توصيل متخصص يدعى جهاز هيس-بركنجي ، وينشر جهاز المسالك المتفرعة هذا الموجود في نسيج التوصيل الكهربائي المخصص التيار بسرعة عبر الخلايا العضلية للبطينين الأيسر والأيمن .

تكون الفترة الفاصلة بين بدء الدفعة الكهربائية في العقدة الجيبية واكتمال وصولها عبر نظام التوصيل إلى خلايا العضلة القلبية قصيرة إذ تبلغ نحو ثانية وسطيا عندما ينقبض القلب بمعدل 72 ن/د وينجم نحو نصف هذه الفترة عن التأخير المبيت عند العقدة الأذينية البطينية .

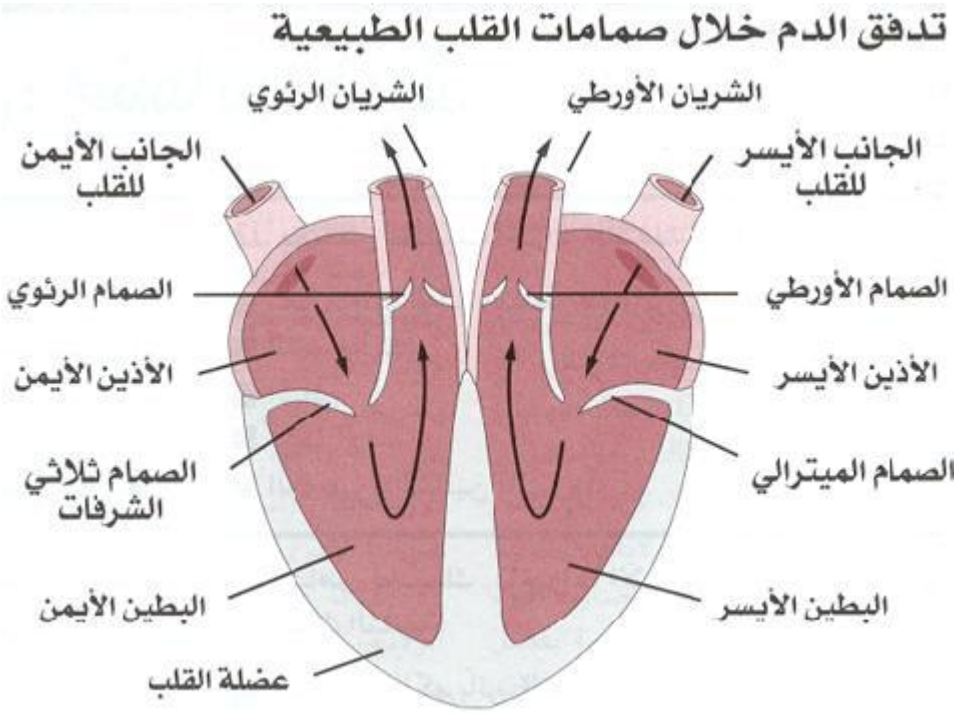
في نظام التوصيل يمر التيار إلى الخلايا المجاورة ويحدث الشيء نفسه في خلايا العضلة القلبية ، لكن فضلا عن ذلك يفعّل التيار الكهربائي الجهاز التقلصي (التقلص) للخلية العضلية فعندما يتفعل نظام التقلص هذا يبدأ فعل الضخ في العضل القلبي وهكذا يكون نظام التوصيل في العقدة الجيبية وما بعدها نزولاً مسؤولاً عن التحكم بسرعة نظم القلب .

يمكن للخلايا القلبية أن تبدأ دفعاتها الكهربائية الذاتية وتقلصاتها بنفسها ، ومع أن جهازك العصبي يمكنه تعديل سرعة ضربات قلبك غير انه لا يمثل القوة المسئولة عن ضرباته فحتى لو استؤصل القلب من الجسم فانه يمكنه أن يستمر بالتقلص لفترة من الزمن وفي الواقع حتى إذا أخفقت العقدة الجيبية في العمل يمكن أن تأخذ مواضع أخرى مكانها كناظمة وظيفية .

**أصوات القلب**

إن الشخص الذي يستمع إلى أصوات القلب بواسطة سماعة فانه لا يسمع أصوات انفتاح الصمامات لأنها عملية بطيئة نسبيا ولا تولد أي صوت أو ضجيج ولكن عندما تنغلق الصمامات تهتز وريقاتها والسوائل المحيطة بها تحت تأثير التباين الضغطي المتولد فانه يعطي صوتاً ينتشر في كل الاتجاهات خلال الصدر .

يتقلص البطينان أولا فينفتح الصمامان التاجي والرئوي وينغلق الصمامان بين الأذينين والبطينين ولكن هذا الصوت يكون واطئا ويكون طويلا نسبياً وهو الصوت الأول للقلب ، ويعود سبب انغلاقهما إلى فرق الضغط إذ يكون الضغط داخل البطينين أكبر من منه داخل الأذينين ، وبعد خروج الدم من البطينين عبر الصمامين التاجي والرئوي يسمع صوت انغلاق مفاجئ وسريع لأن هذين الصمامين ينغلقان بسرعة كبيرة ويهتز ما يحيطها لفترة قصيرة جداً وهو الصوت الثاني للقلب .




**صمامات القلب**

**وظيفة الصمامات:**

**الصمامات الأذينية البطينية** : يمنع الصمامان ثلاثي الشرف والثنائي الشرف الجريان الشروعي للدم من البطينين إلى الأذينين أثناء الانقباض كما يمنع الصمامان الهلاليان (الابهري والرئوي) الجريان الرجوعي من الشريانين الرئوي والابهري إلى البطينين أثناء الانبساط وتفتح وتغلق هذه الصمامات بطريقة منفعلة ، أي أنها تغلق عندما يدفع مدروج الضغط الرجوعي الدم إلى الوراء وتفتح عندما يدفع مدروج الضغط التقدمي باتجاه أمامي، ولأسباب تشريحية واضحة لا تحتاج الصمامات الغشائية الرقيقة إلى أي جريان رجوعي تقريبا لتقلصها بينما تحتاج الصمامات الهلالية الاسمك منها الى جريان رجوعي اشد نسبيا ولبعض مليثواني لتقلصها .

أما عن وظيفة **العضلات الحلمية** فإنها تتصل بوريقات الصمامين (الثنائي والثلاثي الشرف) بواسطة الحبال الوترية وتتقلص هذه العضلات عند تقلص جدار البطين ولكن بعكس المتوقع فهي لا تساعد الصمامين على الانغلاق وبدلا من ذلك فإنها تسحب وريقات الصمامين إلى الداخل نحو البطينين لتمنع بروزها إلى مسافة كبيرة رجوعيا نحو الأذينين أثناء التقلص البطيني ، وإذا ما انقطع حبل احد الأوتار أصيبت احد العضلات الحلمية بالشلل ، يبرز الصمام رجوعيا إلى الأذين وأحيانا لحد يجعله كثير التسرب ويسبب عجز القلب الشديد الذي قد يؤدي إلى الموت .

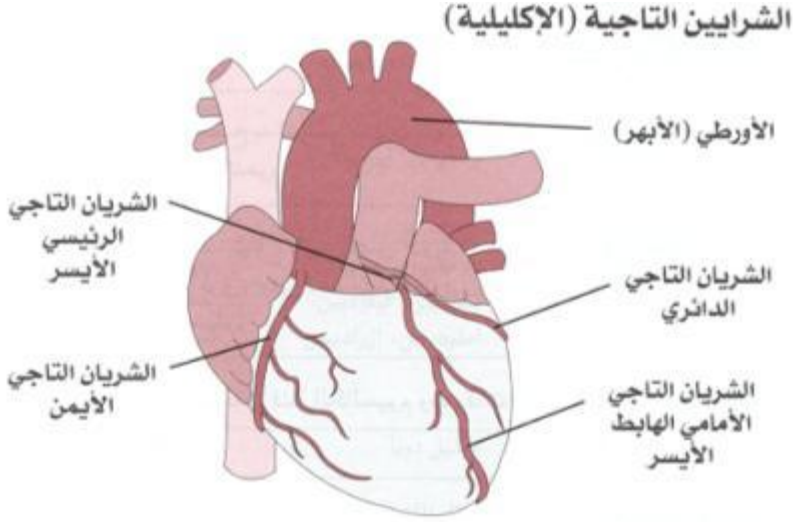
**تغذية القلب**

إن عضلة القلب مثل أي نسيج أخر تحتاج إلى إمداد مستمر بالدم لكي تبقى وتعيش ويجدر بالذكر أن نظام تغذية القلب هوائي فقط حيث لا يتغذى إلا بوجود الدم المحمل بالأوكسجين ، تقوم الشرايين التاجية بتوفير الدم لعضلة القلب حيث يحدث مرض الشريان التاجي عندما تتلف تلك الشرايين بسبب ما يترسب فيها من دهون كما يحدث في حالة التصلب العصيدي للشرايين ، وتلك الدهون تعوق سريان الدم إلى عضلة القلب ، وسميت هذه الشرايين بالتاجية لأنها تلتف حول القلب مثل التاج أو الاكليل (الإكليلية) حول الرأس ويتفرع الشريانان التاجيان (الأيمن والأيسر) من الشريان الابهر (الوتين،الأورطي) في جزءه الأول المسمى بالشريان الصاعد .

يرسل الابهر (وهو اكبر شرايين الجسم ) الدم إلى الشريان التاجي الرئيسي الأيسر ويتفرع هذا الأخير بدوره إلى فرعين هما الشريان الأمامي الهابط والشريان الدائري وهذا الفرعان يحملان الدم إلى الأجزاء الأمامية والجانبية والخلفية من القلب ، أما الشريان التاجي الأيمن فيتفرع من الشريان الابهر ويغذي الجانب الأيمن والجزء السفلي من القلب .

تتغذى عضلة القلب من خلال الشرايين التاجية (الإكليلية ) تملأ هذه الأوعية في مرحلة انقباض البطينين ، ويتم نقل المغذيات لعضلة القلب في مرحلة الانبساط ، ينتهي الدم بعد أن ينتقل من الشرايين التاجية إلى الأوردة التاجية ومنها ليصب في الأذين الأيمن .

تستعمل العضلة القلبية الطاقة الكيميائية لانجاز عملية التقلص وهي تستمد هذه الطاقة من العمليات الايضية الهوائية لأكسدة الأحماض الدهنية وبدرجة اقل من المواد المغذية الأخرى وخاصة الأحماض الامينية والكلوكوز ، وواحدة من عمليات تغذية القلب هي تحويل حامض اللاكتيك بوجود الأوكسجين إلى حامض البيروفيك مع ايون الهيدروجين ويؤكسد جزء كبير لتكوين كميات كبيرة من (ATP) وهذه تستخدم في التمارين الشاقة الطويلة كطاقة إضافية للقلب غير أن عملية التمثيل الغذائي الهوائي يتم داخل جسيمات المايتوكوندريا بالألياف العضلية وتمتاز عضلة القلب بكثرة بيوت الطاقة والتي تصل إلى (40%) من الحجم الكلي لليفة .




**التامور :**

وهو كيس يحيط بالقلب وللكيس التاموري غشاءان يشكلان طبقتين داخلية وخارجية ، ويوجد سائل منزلق بينهما وهذا ما يمكن القلب من النبضان بأقل احتكاك ممكن مع البنى المجاورة مثل الرئتين ، تكون البطانة الداخلية للتامور بشكل غشاء رقيق ورطب ، أما الطبقة الخارجية المتينة فتلتصق بعدد من المناطق في جوف الصدر لتثبيت القلب في مكانه ، ورغم أن التامور يؤمن بعض الدعم والتزليق للقلب فانه يكون قابلا للتمدد نوعا ما كما يمكن العيش بدون التامور ويمكن استئصاله جراحيا وخصوصا في حالات التهابه ، وقد تؤدي بعض الأمراض إلى زيادة السائل في الكيس التاموري ، فإذا تراكم مقدار كبير من السائل يمكن أن يضغط على جدار القلب مما ينقص قدرته على التمدد وتلقي الدم خلال الانبساط ، وقد تؤدي هذه الحالة التي تدعى الاندحاس القلبي (Cardiac Tamponade) إلى الحد من وظيفة الضخ

الفعال للقلب مما قد يستدعي سحب السائل بإبرة تدخل برفق عبر جدار الصدر ، أما التهاب التامور فهي حالة يمكن أن تؤدي إلى الم الصدر وقد يؤدي بعض أنماط التهاب التامور إلى تثخن التامور وتيبسه مع الوقت مما يطوق القلب ضمن حاوية قاسية ويدعى ذلك التهاب التامور المضيق الذي قد يقود أيضا إلى نقص الوظيفة القلبية مما يمكن أن يستدعي الاستئصال الجراحي للتامور .

**الجزء المقذوف :**

ويرمز له بالرمز (EF) ، يعرف الجزء المتبقي من الدم بين كل انقباض وارتخاء لعضلة القلب بفرق القيمة أو بفرق الجزء المندفع من البطين ، وهي توضح كمية الدم الداخل إلى البطين والذي تم ضخه فعلاً أثناء عملية الانقباض ويعبر عنه بنسبة مئوية تتراوح من 60-70% وقت الراحة ويزداد عندما ينقبض البطينان في حالة بذل الجهد البدني وكلما زادت نسبة الدم الخارجة دل ذلك على قوة انقباض القلب. (EF=SV / EDV)

**الدفع القلبي (الناتج القلبي) :**

ويرمز له بالرمز (C.Q) ، وهو الحجم الكلي للدم الذي تم ضخه بواسطة البطين الأيسر في الدقيقة وهو حاصل ضرب معدل ضربات القلب (HR) في حجم الضربة (SV) أثناء الراحة وتختلف باختلاف وضع الجسم والجهد الذي يؤديه . (**C.Q = SV . HR**)

**التنظيم الداخلي لضخ القلب (آلية فرانك-ستارلنك)**

إن كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة الواحدة تتعين بسرعة جريان الدم من الأوردة إليه ويسمى ذلك بالمرتجع الوريدي ( **Veinous Return**) أي أن كل نسيج محيطي في الجسم يتحكم بجريان الدم فيه ويعود المجموع الكلي للدم من المجاري الموضعية خلال الأنسجة المحيطية إلى الأذين الأيمن عن طريق الأوردة ، ويضخ القلب هذا الدم الوارد أوتوماتيكيا إلى الشرايين الجهازية لكي يتمكن من الدوران مرة أخرى ، وتسمى هذه المقدرة للقلب الداخلية على التكيف عن تغير حجم الدم الوارد إليه بآلية فرانك – ستارلنك للقلب تقديرا لعالمي الفيزيولوجيا فرانك وستارلنك منذ قرابة قرن مضى ، وتعني آلية فرانك – ستارلنك أساسا : انه كلما كان امتلاء القلب بالدم اكبر أثناء الانبساط كبرت كمية الدم التي يضخها إلى الابهر وبمعنى أخر يضخ القلب ضمن حدود فيزيولوجية كل الدم الذي يصله دون أن يسمح بتراكم كميات كبيرة منه في الأوردة .

إن تعليل فرانك – ستارلنك لآليتهم هي انه يتمدد القلب إلى درجة اكبر عندما تجري إليه كمية إضافية من الدم ويسبب ذلك بدوره تقلص عضلاته بشدة اكبر لان خيوط الاكتين والمايوسين تقرب الآن إلى الدرجة الأمثل للتعشيق ولتوليد تقلص اشد . ويضخ القلب بسبب زيادة قدرته على الضخ أوتوماتيكيا كمية الدم الإضافية إلى الشرايين ، إذ أن قدرة العضلة الممددة لمقدار مناسب على التقلص بشدة اكبر هي من خواص كل العضلات المخططة .

وبالإضافة للتأثير المهم لتمديد العضلة القلبية هنالك عامل أخر يزيد من ضخ القلب عندما يزداد حجمه ، إذ أن تمديد جدار الأذين الأيمن يزيد بشكل طردي سرعة القلب بمقدار (10-20)% ، ويساعد هذا أيضا في زيادة كمية الدم التي تضخ في الدقيقة الواحدة بالرغم من أن هذه المساهمة هي اقل كثيرا من مساهمة آلية فرانك – ستارلنك .

**تأثير الايونات على التقلص والانبساط :**

تسبب زيادة البوتاسيوم في السوائل خارج خلايا عضلة القلب إلى تمدد شديد في عضلة القلب وتبطئ سرعته وإذا كانت نسبة الزيادة كبيرة فانه من الممكن أن تحصر توصيل الدفعات القلبية من الأذينين إلى البطينين عبر حزمة (**AV**) كما أن تضاعف تركيز البوتاسيوم يولد قلبا ضعيفا جدا ونظمية شاذة بحيث يؤديان إلى الموت وهذا سببه أن التركيز العالي للبوتاسيوم في السوائل خارج الخلايا يولد نقصا في جهد الراحة لأغشية ألياف العضلة القلبية وعندما يهبط جهد الغشاء تهبط أيضا شدة جهد الفعل مما يضعف تقلص القلب باستمرار .

الكالسيوم فان لزيادة ايوناته تأثيرا معاكسا تماما لما تولده ايونات البوتاسيوم وتؤدي إلى تقلص القلب تشنجيا وهذا سببه التأثير المباشر لايونات الكالسيوم في استثارة عملية تقلص القلب وعلى العكس فان نقص ايونات الكالسيوم يؤدي إلى ارتخاء العضلة القلبية شبيه بتأثير البوتاسيوم ولكنه بسبب أن مستوى ايونات الكالسيوم في الدم ينظم عادة ضمن حدود ضيقة فمن النادر أن تكون هذه التأثيرات التي تتولد عن شذوذ تركيزه أمرا مقلقاً.

أما الصوديوم فان إحداث فرق جهد الفعل (**زوال الاستقطاب في العضلة**) يكون الصوديوم هو العامل المؤثر فيه .

عند بروز جهد فعل إلى غشاء العضلة القلبية فانه ينتشر داخل الليف العضلي القلبي خلال النبيبات المستعرضة وتعمل جهود فعل هذه النبيبات بدورها على أغشية النبيبات الطولانية للهيولي العضلية فتؤدي إلى التحرير الفوري لكميات كبيرة من ايونات الكالسيوم إلى الهيولي العضلي للعضلة من شبكتها ، وفي خلال أجزاء من الثانية تنتشر ايونات الكالسيوم إلى الليفات العضلية وتحفز التفاعلات الكيميائية التي تستحدث انزلاق خيوط الاكتين والمايوسين على بعضها البعض فيولد ذلك بدوره تقلص العضلة .

تعتمد شدة تقلص العضلة القلبية بدرجة كبيرة جدا على تركيز ايونات الكالسيوم في السائل خارج الخلايا ، ثم ينقطع فجأة تسرب ايونات الكالسيوم إلى داخل الليف العضلي بعد نهاية هضبة جهد الفعل وكنتيجة لذلك يتوقف التقلص إلى أن يتولد جهد فعل جديد .

جهد فعل العضلة القلبية

يبلغ جهد فعل الراحة في العضلة القلبية السوية -85 إلى -95 ملي فولط تقريبا وهو يبلغ حوالي -90 إلى -100 مليفولط في الألياف الموصلة المتخصصة (ألياف بركنجي) ويبلغ جهد الفعل المسجل من العضلة البطينية حوالي 105 مليفولط وهذا يعني أن جهد الغشاء يرتفع من حده السوي السلبي إلى مستوى موجب بحوالي 20 مليفولط ويسمى الجهد الموجب جهد التجاوز ويبقى الغشاء بعد ذلك مزال الاستقطاب لمدة 0.2 من الثانية في العضلة الأذينية ولمدة 0.3 من الثانية في العضلة البطينية ومشكلا هضبة ، ثم يتلو ذلك عند نهاية الهضبة زوال الاستقطاب المفاجئ . ويسبب وجود هذه الهضبة في جهد الفعل دوام التقلص لمدة 3 إلى 15 مرة أطول في العضلة القلبية مما هو في العضلة الهيكلية .

**ولابد أن نسال** : لماذا يطول جهد فعل القلب لهذه المدة الطويلة ولماذا تكون له هضبة بينما لا توجد مثلها في العضلة الهيكلية ؟ هناك فرقان رئيسيان بين خواص أغشية العضلة القلبية وأغشية العضلة الهيكلية اللذين يمكنهما أن يعللا طول جهد فعل القلب ووجود هضبة في العضلة :

الأول - هو أن جهد فعل العضلة الهيكلية يتسبب بصورة كاملة تقريبا بالانفتاح المفاجئ لأعداد كبيرة من قنوات الصوديوم السريعة التي تسمح بدخول أعداد كبيرة من ايونات الصوديوم إلى ليف العضلة الهيكلية وتسمى هذه القنوات (**سريعة**) لأنها تبقى مفتوحة لبضعة أجزاء من 10000 من الثانية فقط ومن ثم تغلق بصورة مفاجئة وفي نهاية هذا الانغلاق المفاجئ تتم عملية إعادة الاستقطاب وينتهي جهد الفعل خلال 1/10000 ثانية أخرى تقريبا ، من جهة ثانية يتسبب جهد الفعل بانفتاح نوعين من القنوات (1) قنوات الصوديوم السريعة (2) مجموعة أخرى مما يسمى قنوات الكالسيوم البطيئة والتي تسمى أيضا قنوات الصوديوم –الكالسيوم . وتختلف هذه المجموعة الثانية من القنوات عن قنوات الصوديوم السريعة بكونها أبطء منها في الانفتاح ولكن الأكثر أهمية من ذلك هي أنها تبقى مفتوحة لعدة أعشار من الثانية ، وتسري خلال هذه الفترة كميات كبيرة من ايونات الكالسيوم والصوديوم خلال هذه القنوات إلى داخل ليف العضلة القلبية ، ويعمل ذلك على إطالة فترة زوال الاستقطاب التي تسبب هضبة جهد الفعل ، وبالإضافة لذلك تقوم ايونات الكالسيوم التي تدخل إلى العضلة أثناء جهد الفعل هذا بدور مهم في المساعدة في تحفيز العملية التقلصية ، وهذا هو فرق أخر بين العضلات الهيكلية والقلبية .

والفرق الكبير الثاني بين العضلة القلبية والعضلة الهيكلية الذي يساعد في تعليل سبب طول جهد الفعل وهضبته هو انه تقل نفوذية غشاء العضلة القلبية للبوتاسيوم بعد بدء جهد الفعل مباشرة بحوالي خمسة أضعاف ، ولا يحصل مثل هذا التأثير في العضلات الهيكلية . ومن المحتمل أن هذا النقص في نفوذية البوتاسيوم ينتج بطريقة ما من كثرة تسرب الكالسيوم خلال قنوات الكالسيوم المذكورة .

وبصرف النظر عن السبب فان نقص نفوذية البوتاسيوم يقلل من سريان ايونات البوتاسيوم أثناء هضبة جهد الفعل فيمنع بذلك عودته المبكرة ، وعند غلق قنوات الكالسيوم – الصوديوم البطيئة بعد انتهاء 0.2-0.3 ثانية وتوقف سريان ايونات الكالسيوم والصوديوم تزداد نفوذية الغشاء للبوتاسيوم بسرعة كبيرة ويعيد فقدان البوتاسيوم السريع من الليف جهد الغشاء إلى مستوى الراحة فينهي بذلك جهد الفعل .

## العوامل المؤثرة على ضربات القلب

إن المعدل الطبيعي لضربات القلب للإنسان تكون بحدود (70-80) ض/د ولكن لا يمكن التحدث عن نبض واحد للأفراد وهذا يعتمد على :

**1. العمر** : يكون بحدود (130-150) ض/د عند الولادة ، وينخفض إلى 120 ض/د في السنة الأولى و 90 ض/د عند عمر الـ 10 سنوات ويستمر بالانخفاض إلى أن تحصل زيادة بسيطة في فترة المراهقة نتيجة للإفرازات الهرمونية والانفعالات إلا انه يعود للانخفاض في سن (17-18) ليصل إلى (72-75) ض/د ثم بزيادة العمر لمرحلة الرجولة المتأخرة يرتفع النبض لمعدل (80-90) ض/د .

2. **أوقات اليوم الواحد** : تنخفض في ساعات النوم إلى (10-30)%ض/د عن معدله في اليقظة ، أما عند الاستيقاظ فاقلها عند ساعات الصباح الباكر ثم ترتفع وقت (12-2) بعد الظهر ثم تنخفض في المساء (4-7) مساءا وهذا مهم جدا في تحديد وقت الوحدة التدريبية بشكل ينسجم مع الكفاءة البيولوجية .

**3. الجنس** : بسبب كفاءة الأجهزة الحيوية الجسمية وحجمها وكتلتها وقياساتها الأخرى يحصل ارتفاع في ضربات القلب لدى النساء عن الرجال ، إذ أن صغر حجم عضلة القلب لدى الإناث وصغر تجاويف حجرها فضلا عن كبر حجم الدم لدى الرجال الأمر الذي يؤدي إلى سد حاجة الجسم من النقص في الدم المؤكسج من خلال زيادة عدد الضربات .

**4. وضع الجسم** : عند الاستلقاء ينخفض عما هو عليه في الجلوس والأخير اقل من حالة الوقوف والاختلاف يكون بين (1-5) ض/د والأهمية تكمن في الاهتمام بالانسجام في الشدة والحجم أثناء التمرين البدني والمهاري لما له من تأثير يرفع معدل ضربات القلب ويتضح ذلك في تمارين رفع الأثقال وبناء الأجسام التي تؤدى بأوضاع مختلفة .

5. **الحرارة :** إن ارتفاع درجة حرارة الجسم والمحيط تزيد من ارتفاع ضربات القلب والعكس بالعكس وتبرز الأهمية في إعداد المناهج التدريبية في الصيف عنها في الشتاء لان له التأثير على الكفاءة الوظيفية .
**المرتفعات** : في المرتفعات ينخفض الضغط الجزيئي للأوكسجين مما يقلل من تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين الأمر الذي يؤدي إلى زيادة ضربات القلب لتعويض الجسم من النقص الحاصل لذا يجب التدرج في الصعود للمرتفعات لأحداث التكيف وعدم إضافة أعباء على القلب بصورة مباشرة .

**7. الضغط الأذيني** : ويسبب زيادة في سرعة ضربات القلب وينتج جزء من هذه الزيادة عن التأثير المباشر لزيادة حجم الأذين الذي يمدد العقدة الجيبية وهو يؤثر على زيادة سرعة القلب (15%) كما تنتج الزيادة الإضافية في السرعة عن منعكس (بينبريدج) إذ تنقل الإشارات الواردة من مستقبلات التمدد في الأذين التي يولدها منعكس بينبريدج خلال النخاع المستطيل الذي يزيد سرعة القلب من خلال الأعصاب السمبثاوية .

8. **الحوافز العصبية** : حيث تأتي من الأعصاب السمبثاوية والباراسمبثاوية لتتحكم بمعدل ضربات القلب حيث الأول يزيد منها والأخر يثبطها وكلاهما يكون متوازنا تبعا لحاجة الجسم من الدم ، ففي الأحمال الكبيرة تزيد الأعصاب السمبثاوية من تنبيهاتها إلى حد معين يقوم الباراسمبثاوي بتثبيطها .
**التمرين البدني** : حيث أن التدريب المنظم لـ 3 سنوات يخفض معدل ضربات القلب وكذا إذا استمر التدريب المنظم يؤدي إلى انخفاض أكثر