الفصل الأول

مقدمة عن معالجة إشارات مخطط أصوات القلب

(١,١) مقدمة

تنتج الأصوات القلبية من التفاعل بين الأنشطة الديناميكية المختلفة المصاحبة لانقباض وانبساط الأذينين والبطينين، وحركة الصمامات، وتدفق الدم. ويمكن سماع هذه الأصوات من على الصدر باستخدام سماعة الطبيب، التي تعتبر جهازاً شائع الاستخدام في الفحص والتشخيص في مراكز الرعاية الصحية الأولية. ويعرف فن تقييم الخواص الصوتية لأصوات القلب واللغط، بما في ذلك الشدة، والتردد، والمدة الزمنية، والعدد، وجودة هذه الأصوات، بالتسمع القلبي. ويعتبر التسمع القلبي إحدى أقدم الطرق لتقييم حالة القلب، وبالذات وظيفة الصمامات القلبية. فعلى الرغم من ذلك، فإن التسمع القلبي العادي يشتمل على أحكام وضعها الأطباء، وهذا يسبب تغيرات في إدراك وفهم أو تفسير هذه الأصوات، وبالتالي يؤثر على دقة التشخيص.

وبمساعدة بعض الأجهزة الإلكترونية يمكن الحصول على مخطط الأصوات القلبية والذي يعتبر طريقة (غير تدخلية أو غير تدميرية)، والذى يعتبر أيضاً (تسجيلاً تخطيطياً

لأصوات القلب)، وهذا يؤدى إلى تحليل وتفسير أكثر موضوعية. كانت أجهزة التخطيط الصوتي للقلب تستخدم فيما سبق لتوثيق التوقيتات والشدة النسبية في الأصوات القلبية المركبة، وذلك على الرغم من أن هذه الطرق كانت غير مريحة في الاستخدام.

بالإضافة لذلك، فإن التقدم في المايكر وإلكترونيات التماثلية والرقمية في العقود السابقة قد أدى إلى تطوير سماعة الطبيب الإلكترونية بوظائفها المتكاملة. وتسمح هذه السماعة الإلكترونية المتنقلة للمستخدم بتطبيق أو استخدام كل من التسمع والتخطيط الصوتي للقلب براحة ودقة أكثر. لقد أعطت سماعة الطبيب الإلكترونية أيضاً الإمكانية لتطبيق المعالجة المتقدمة للإشارة وتقنيات تحليل البيانات في تشخيص أمراض القلب، وهذا يعني أن التسمع القلبي قد فتح الباب على عصر أو حقبة جديدة من التطبيق.

في الفصول التالية من هذا الكتاب، سيتم التركيز على التطبيقات الهندسية الطبية للتسمع القلبي، من وجهة نظر التصميم الميكانيكي، ومعالجة الإشارات، والبحث عن البيانات، والتشخيص بالمساعدة الإكلينيكية، والمعايرة الطبية للطرق الإكلينيكية المؤثرة، أو الفعالة.

وكنتيجة للنمو المتسارع في مجال النمذجة للإشارات الحيوية الطبية الديناميكية، والتعرف على الأنظمة أو تحديدها، فإنه سيتم تقديم عرض إضافي للتحليل الرياضي والنمذجة لعمل سماعة الطبيب في فصل منفرد. إن الطرق المختلفة وخوارزميات التحليل الجديدة للتقييم الديناميكي لإشارات القلب الصوتية، مثل المخطط الصوتي للقلب PCG، ليس مقتصراً على ذلك فقط، بل سيقود الباحثين في هذا المجال إلى فهم أفضل لطبيعة إشارات ال PCG وانعكاساتها على التشخيص الإكلينيكي المتكامل لعضلة القلب.

(١,٢) معالجة الإشارات

ما هو المقصود بمعالجة الإشارات؟ ستتم الإجابة عن هذا السؤال عن طريق التحديد الدقيق لكل من الكلمتين، الإشارة والمعالجة. يقصد بالإشارة دالة في مجموعة من المتغيرات المستقلة، مع الزمن الذي ربما يكون هو المتغير الوحيد الأكثر شيوعاً.

إن الإشارة بنفسها تحمل من المعلومات التي تكون متاحة للناظر، أو المستخدم. أما المعالجة فتعني العمل بطريقة ما على الإشارة لاستخلاص المعلومات المفيدة منها. وفي الكثير من الأحوال تكون المعالجة غير مدمرة لتحويل البيانات المعطاة، على الرغم من أن بعض طرق المعالجة المهمة تصبح أو تكون غير قابلة للانعكاس، وبالتالي فإنها تكون مدمرة.

إن العالم الذي نعيشه الآن مليء بالإشارات، وبعض هذه الإشارات طبيعية، ولكن معظم الإشارات الأخرى تكون من صنع الإنسان. فبعض الإشارات تكون ضرورية كالكلام، وبعضها يكون مفرحاً كالموسيقى، بينما يكون بعضها الآخر غير مرغوب فيه أو غير ضروري في بعض المواقف. لذلك فإن استخلاص، أو تغيير المعلومات المفيدة من خليط من المعلومات المتعارضة هو صورة مبسطة لمعالجة الإشارات. لذلك فإن معالجة الإشارات تكون عبارة عن عملية يتم تصميمها لاستخلاص، أو تقوية، أو تخزين، أو نقل المعلومات المفيدة.

إن الفصل بين المعلومات المفيدة والمعلومات غير المرغوب فيها، يكون غالباً غير موضوعي، كما أنه يكون هدفياً. وبالتالي، فإن معالجة الإشارة تميل لأن تكون معتمدة على التطبيق المستخدم.

(١,٢,١) نظرة عامة إلى معالجة الإشارات

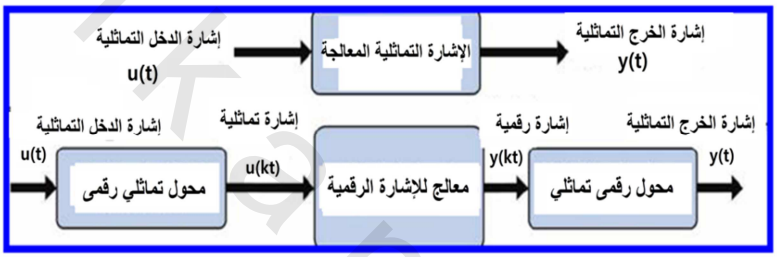
في الأصل، كانت معالجة الإشارات تطبّق فقط على الإشارات التماثلية المستمرة، باستخدام معالجات الإشارات التماثلية Analog Signal Processing, ASP.

obeikandl.com

وإلى نهاية الخمسينيات كانت الحاسبات الرقمية غير متاحة للاستخدام، وحتى عندما أصبحت متاحة فإنها كانت كبيرة الحجم، ومرتفعة الثمن، وتم استخدامها لمحاكاة أداء معالجات الإشارة التماثلية للحكم على فعالياتها. وقد أدت هذه المحاكاة إلى عمل أكواد للمعالجة الرقمية التي كانت تحاكي تقريباً الهدف نفسه على عينات الإشارات التي كانت تؤديها أكواد المحاكاة التماثلية، التي أصبحت حقيقة وأساس نظم المعالجة الرقمية للإشارات DSP، والتي تعمل على عينات من المدخلات والمخرجات المقطعة على فترات زمنية. وبناءً على ذلك فإن تنفيذ أو بناء أنظمة المعالجة الرقمية للإشارات بدلاً من المعالجة التماثلية، أصبح الآن خارج نطاق السؤال.

وتمثلت المشكلة الأولى في أن إشارة الدخل التماثلية لا بد من تمثيلها كتتابع من العينات المأخوذة من هذه الإشارة، التي يتم تحويلها بعد ذلك إلى الصورة الرقمية، أو العددية المناسبة للحاسب. وعلى العكس تماماً من هذه العملية، فإنه يتم تطبيقها على الإشارة التي تتم معالجتها رقمياً، حيث تحول إلى الصورة التماثلية قبل إخراجها. والمشكلة الثانية هي أن معالجة الإشارة كان يتم تنفيذها من خلال حاسبات كبيرة، وبطيئة، ومرتفعة الثمن، ولذلك كانت المعالجة في الزمن الحقيقي بين هذه العينات غير ممكنة. إن الإشارات التي يتم التعامل معها عمليا تكون غالباً إشارات تماثلية. وهذه الإشارات المستمرة التغير في كل من الزمن والمقدار يتم معالجتها باستخدام دوائر كهربية تحتوي على مكونات كهربية فعّالة وغير فعّالة. وتسمى هذه الطريقة المعالجة التماثلية للإشارة Analog Signal Processing, ASP. ويمكن أيضاً إجراء هذه المعالجة رقمياً، ولكن في هذه الحالة سنحتاج إلى تحويل هذه الإشارات التماثلية إلى الصورة الرقمية المناسبة لهذه المكونات الرقمية: يسمى هذا الشكل للإشارة الإشارة الرقمية وهي تأخذ واحداً من القيم المحددة عند لحظات معينة من الزمن، ولذلك فإنه يمكن تمثيلها عن طريق أرقام ثنائية، أو ما يسمى بالبت. ويطلق على معالجة الإشارات الرقمية بـ Digital Signal Processing (DSP).

وهناك اثنان من المخططات للإشارات موضحة في الشكل رقم (١,١) أدناه. إن المعالجة الرقمية للإشارات التماثلية تحتاج إلى محول تماثلي رقمي Analog to Digital Converter (ADC) لكي يقوم بعيننة الإشارة التماثلية، وتحتاج أيضاً إلى محول رقمي تماثلي Digital to Analog Converter, DAC لكي يقوم بتحويل الإشارة التي تمت معالجتها إلى الصورة التماثلية مرة أخرى.



الشكل رقم (١,١). مفاهيم في معالجة الإشارات التماثلية والرقمية.

ويظهر من خلال الطريقتين السابقتين لمعالجة الإشارة، التماثلية والرقمية، أن طريقة المعالجة الرقمية DSP هي الأكثر تعقيداً، لأنها تحتوي على مكونات أكثر من طريقة المعالجة التماثلية ASP. ولذلك من الممكن أن يسأل أحدهم السؤال التالي: لماذا نعالج الإشارات رقميا ؟ إن الإجابة عن هذا السؤال تكمن في الخصائص العديدة التي تقدمها طريقة المعالجة الرقمية DSP. ويمكن تلخيص بعض الخصائص التي تقدمها أنظمة المعالجة الرقمية على الدوائر التماثلية، كما يلى: -

- **المرونة**: يمكن تعديل وتطوير وظيفة النظام الرقمي لمعالجة الإشارة بالبرمجيات التي تم استخدامها في بناء الخوارزم دون التغيير في مكونات النظام المادية. كما يمكن للشخص أن يصمم نظام المعالجة الرقمية الذي يمكن برمجته لأداء العديد من الأهداف المتغيرة عن طريق تنفيذ بعض وحدات البرمجة المختلفة.

- **الاستنساخ:** إن أداء نظام المعالجة الرقمي يمكن تكراره بدقة من وحدة لأخرى وذلك لأن المعالجة الرقمية للإشارة تعمل مباشرة مع التتابعات الثنائية.
- **الموثوقية:** إن الذاكرة ومكونات البناء الرقمية المستخدمة في معالجات الإشارات الرقمية لا تتلف مع الزمن أو الوقت. لذلك فإن المجال الأدائي للمعالجة الرقمية لن يتغير أو ينحاز مع تغير الأحوال المحيطة أو تقادم المكونات الإلكترونية بالمقارنة بنظيراتها التماثلية.
- **التعقيد:** لقد أتاحت المعالجة الرقمية للإشارات استخدام التطبيقات المتطورة مثل التعرف على الكلام أو التعرف على الصور باستخدام أجهزة خفيفة الوزن، ومنخفضة القدرة الكهربية، ومتنقلة، وهذا بالطبع أمر غير عملي مع طرق المعالجة التماثلية.

ومع التطور السريع في التكنولوجيا خلال سنوات الأخيرة، أصبحت المعالجة الرقمية للإشارات منخفضة التكلفة بالمقارنة بالأنظمة التماثلية، والعيب الأساسي في المعالجة الرقمية للإشارات هو سرعة التنفيذ، وخاصة عندما يتعلق الأمر بالترددات العالية.

ونتيجة لوجود الخصائص السابقة، فقد أصبحت المعالجة الرقمية للإشارات هي الاختيار الأول في العديد من التقنيات والعديد من التطبيقات، مثل الإلكترونيات الاستهلاكية، والاتصالات، والتليفونات اللاسلكية، والهندسة الطبية.

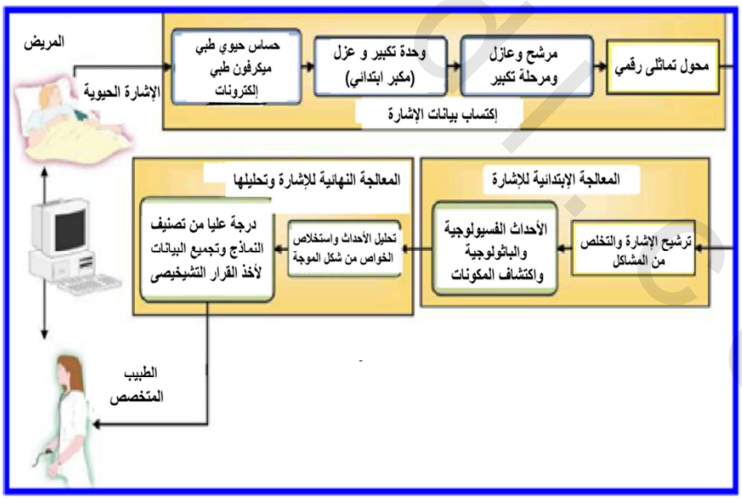
(١,٣) تطبيقات معالجة الإشارات في الهندسة الحيوية الطبية

هناك العديد من المقالات العلمية المرجعية عن التصوير الطبي، والإشارات الحيوية التي تعطي وصفاً دقيقاً لمسار دوال معالجة الإشارة مع اعتبارات التنفيذ لهذه الدوال. وستكون هذه الدوال هي التقنيات الفعّالة في معالجة الإشارات الحيوية الطبية وتحليلها. وفي الفصول التالية، سيتم التركيز على معالجة إشارة المخطط الصوتي

للقلب، وطرق التحليل من الدرجات العالية، مثل (التصنيف، وتجميع البيانات، والمعالجة الإحصائية للبيانات، والنمذجة الصوتية للقلب)، وسيتم تقديمها جميعاً. ويبين الشكل (١,٢) رسماً صندوقياً لتطبيق عام على معالجة الإشارات الحيوية الطبية، وهذه الطريقة يمكن توحيدها كقلب حسابي لنظام تشخيص بمساعدة الحاسب.

(١,٤) فسيولوجيا القلب والأوعية الدموية

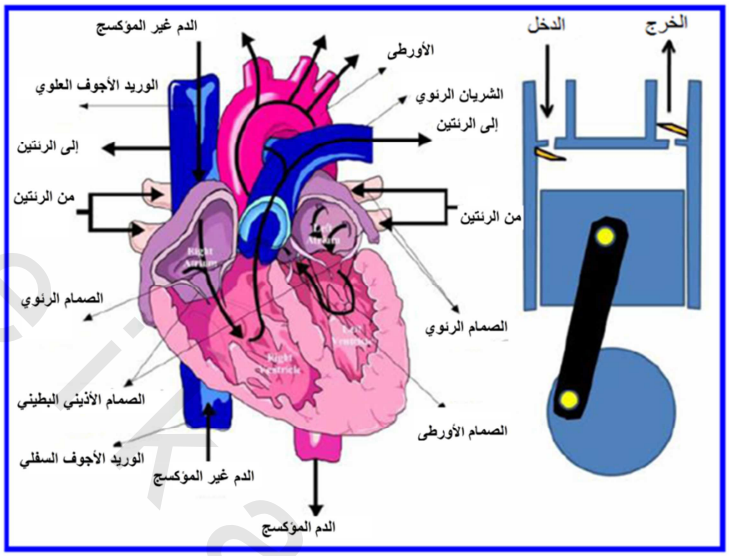
يعتبر القلب واحداً من أهم الأعضاء في الجسم البشرى. فهو المسؤول عن ضخ الدم غير المؤكسج والمحمل بثاني أكسيد الكربون إلى الرئتين حيث يتم التبادل بين ثاني أكسيد الكربون والأكسجين (CO_2-O_2)، وضخ الدم المؤكسج إلى كل الجسم. تشريحياً يمكن تقسيم القلب إلى جزأين أو جانبين: الجانب الأيسر والجانب الأيمن، وهما مفصولان بالجدار الحاجز. ويتقسم كل جانب إلى حجرتين، الأذين والبطين.



الشكل (١,٢). رسم تخطيطي لمعالج الإشارات الحيوية الطبية وتحليلها، كطريقة تكاملية لنظم التشخيص بمساعدة الحاسب.

وكما هو مبين في الشكل رقم (١,٣)، فإنه يمكن رؤية الصمامات القلبية بين الأذينين والبطينين وبين البطينين والشرايين الأساسية من القلب، التي تسمح بمرور الدم في اتجاه واحد فقط. وتشتمل هذه الصمامات على صمام ثلاثي الشرفات Tricuspid valve، وصمام مترالي mitral valve، وصمام رئوي pulmonary valve، وصمام أورطي aortic valve. ويطلق على الصمامين الثلاثي والميترالي في العادة مجتمعين: الصمامات الأذينية البطينية atrioventricular valves، لأنها توجه تدفق الدم من الأذينين إلى البطينين. ولا تعتمد كفاءة الصمامات الأذينية البطينية على وريقات هذه الصمامات فحسب وإنما أيضاً على الجدائل الليفية القوية، التي يطلق عليها "بالأحبال الوترية"، وتكون هذه الأحبال متصلة بالحواف الحرة، والأسطح البطينية، ونتوءات البطين. هذه لحبال بدورها تكون متصلة بالبروزات العضلية الشبيهة بالأصابع من النسيج العضلي لعضلة القلب، ويطلق عليها بالعضلات الحليمية papillary muscles.

ويمكن تصنيف القلب من وجهة نظر ديناميكا الدم على أنه مضخة ترددية بسيطة. ويوضّح الشكل رقم (١,٣) الأساسيات الميكانيكية للمضخة الترددية. ولغرفة الضخ حجم متغير ومخرج ومدخل. ويوجد على المدخل صمام أحادي الاتجاه، يتم وضعه بحيث يفتح فقط عندما يكون الضغط في غرفة الدخل أكبر من الضغط في غرفة الضخ. وهناك صمام آخر أحادي الاتجاه موضوع على المخرج، ويتم وضعه بحيث يفتح فقط عندما يكون الضغط في غرفة الضخ أكبر من الضغط في غرفة الخرج. إن كلاً من القضيب والعمود المرفقي سيسببان حركة الغشاء، أو الحاجز للأمام والخلف. وبتغيّر حجم الغرف يتغير حركة المكبس، مسبباً ارتفاع وانخفاض الضغط فيها. أما في القلب، فيكون تغير الحجم نتيجة الانقباض، والانبساط لعضلة القلب التي تكّون جدران، أو حوائط البطينين.



الشكل رقم (١,٣). الجانب الأيمن: مقطع رأسي لعضلة القلب يوضح الهيكل الداخلي للقلب. الجانب الأيسر: عرض تخطيطي لمضخة من النوع الترددي لها غرفة ضخ ومخرج ومدخل مع صمامين معكوسين عند كل منهما.

إن دورة كاملة للعمود المرفقي سينتج عنها دورة ضخ كاملة. وتتكون كل دورة بالتالي من مرحلة تعبئة، ومرحلة تفريغ. وتحدث مرحلة التعبئة مع زيادة حجم غرفة الضخ، حيث معها تسحب السائل من خلال المدخل. وفي أثناء مرحلة التفريغ، يقل حجم غرفة الضخ ويحدث إخراج أو تفريغ للسائل من خلال المخرج، ويطلق على حجم السائل الخارج أثناء دورة ضخ واحدة "حجم الضربة"، وحجم السائل الذي يتم ضخه في كل دقيقة يمكن تحديده ببساطة عن طريق ضرب حجم الضربة في عدد دورات الضخ في كل دقيقة.

ويطلق على الصمامين الأورطي والرئوي بأنهما من الصمامات الهلالية ؛ لأنها تتخذ شكلاً نصف قمري يمنع التدفق العكسي للدم من الأورطي أو الشريان الرئوي

إلى البطينين. ويعمل القلب كمضخة تقوم بتوليد الضغط اللازم لضخ الدم خلال الدورة الشريانية، وتتكون هذه العملية من أنشطة متزامنة للأذينين والبطينين. وفي البداية، ينقبض الأذينان (الانقباض الأذينيatria systole) حيث ينتج عن ذلك ضخ الدم إلى البطينين. ومع انبساط الأذينين (الانبساط الأذيني atrial diastole)، ينقبض البطينان لضخ الدم في الصمام الأورطي والشريان الرئوي (انقباض بطيني). وبعد ذلك ينبسط البطينين (انبساط بطيني)، حيث يتراخى في هذه المرحلة كل من الأذينين والبطينين حتى يبدأ الانقباض الأذيني مرة أخرى.

يبّين الشكل الموجود (١.٤) ثلاث مراحل أساسية: (١) مرحلة اكتساب البيانات، و(٢) مرحلة المعالجة الأولية للإشارة، و(٣) مرحلة المعالجة النهائية والتحليل، ويظهر في هذا الشكل أيضاً رسم صندوقي لنظام عام لمعالجة وتحليل الإشارة الحيوية الطبية، كطريقة تكاملية للتشخيص بمساعدة الحاسب. ويعرض الشكل رقم (١.٤) التفاعلات المختلفة للنشاط القلبي الكهربي، والديناميكا البينية بين الأنظمة المختلفة، والإشارات الكهربية المختلفة التي تمثل الأنشطة القلبية المختلفة. ويعتبر نظام التوصيل الكهربي هو المتحكم الأساسي في معدل النشاط القلبي، ويتم تنظيمه عن طريق النظام العصبي الإرادي. ينتج عن هذا النشاط الكهربي ما يسمى بجهود الفعالية التي يتم نقلها خلال عضلة القلب عن طريق نظام توصيل نسيجي، ويمكن قياسه كفرق في الجهد على سطح الجسم باستخدام المخطط الكهربي للقلب ECG. ويحفز النشاط الكهربي الانقباض الميكانيكي.

ويشتمل النشاط الميكانيكي للقلب على انقباض خلايا عضلة القلب، وفتح أو غلق الصمامات، وتدفق الدم إلى أو من غرف القلب. هذا النشاط يتم تعديله عن طريق التغيرات في الانقباضية القلبية، ومطاوعة جدران الغرف والشرايين والتدرج الضغطي الناتج. ويمكن أيضاً فحص هذه الأنشطة الميكانيكية باستخدام التصوير فوق الصوتي.

ويتغيّر الدم الموجود في الشرايين والأوردة أيضاً نتيجة تغير الخواص الميكانيكية للنسيج. كما يمكن تصوير التدفق الدموي عن طريق صدى الدوبلر، ويمكن عرض نبضة الموجة من واحد من الشرايين المحيطة أيضاً. إن الأنواع المختلفة للإشارات أجزاء مختلفة من المعلومات عن النشاط القلبي. ويمكن لتجميع هذه المعلومات أن يؤدي إلى قابلية أفضل لتقييم حالة نظام القلب والأوعية الدموية. وسيتم شرح تفاصيل أحداث الدورة القلبية في الجزء التالي.

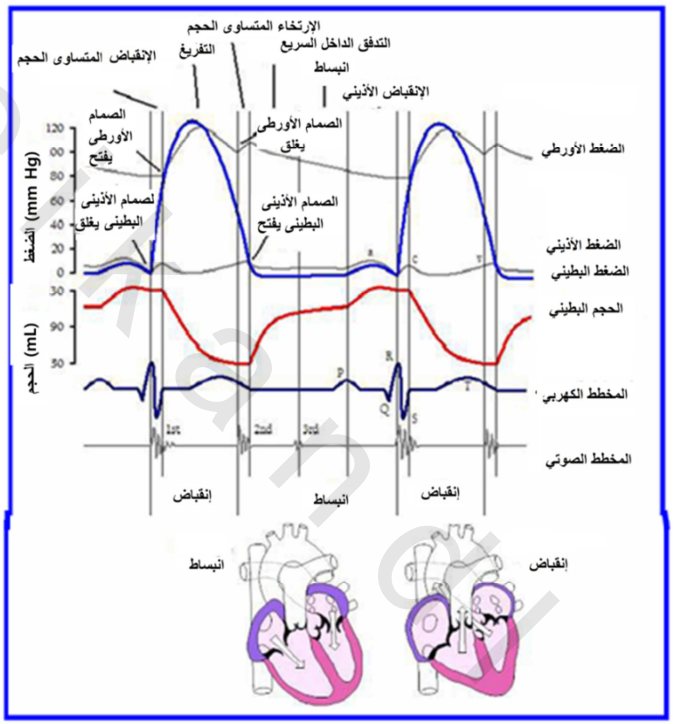
(١,٥) الدورة القلبية

يتكون القلب حقيقة من مضختين منفصلتين، واحدة على الجانب الأيمن، وهي المسؤولة عن تغذية الدورة الرئوية، والأخرى على الجانب الأيسر، وهي المسؤولة عن تغذية الدورة الدموية النظامية. وتختلف الأساسيات التي تنظم تدفق الدم إلى ومن البطينين ومنهما إلى حد ما، عن عمل المضخة الميكانيكية الموضحة في الشكل رقم (١,٣) التي يكون فيها حجم الضربة ثابتاً.

ويبين الشكل رقم (١,٣) أيضاً العلاقات الزمنية بين انقباض البطين وتدفق الدم. عندما تسترخي عضلة البطين في فترة زمنية يطلق عليها الانبساط، ويصبح الضغط في البطين أقل من الضغط في الشرايين والأوردة، لأن البطين يسترخي عندما تكون الصمامات الهلالية الصمامات الأذينية البطينية مقفولة، مما ينتج عنه تدفق الدم في البطينين من خلال الصمامات الأذينية البطينية (الميترالى على اليسار والثلاثي على اليمين).

إن البطين لا يمكنه توليد ضغط سالب يسمح بسحب الدم إليه. وبدلاً من ذلك فإن تجويف البطين يمكنه فقط أن يتمدد بسلبية بينما يكون الدم تحت ضغط موجب.

يجب أن يتولد هذا الضغط في الأوردة التي تتصل بالقلب. وبما أن عملية ملء البطين تكون بالتناسب مع الضغط الوريدى، فإن حجم ضربة القلب يكون متغيراً دائماً.



الشكل رقم (١,٤). أحداث الدورة القلبية التي تحدث في البطين الأيسر. في الأعلى يظهر: شكل الضغط للبطين والأذين. وفي الوسط يظهر: الشكل الحجمي للبطين الأيمن. وفي الأسفل تظهر: إشارة المخطط الصوتي. ويحتوي هذا المخطط على ثلاث مراحل رئيسية: (١) اكتساب البيانات، (٢) المعالجة البدئية للإشارة (٣)المعالجة النهائية للإشارة والتحليل.

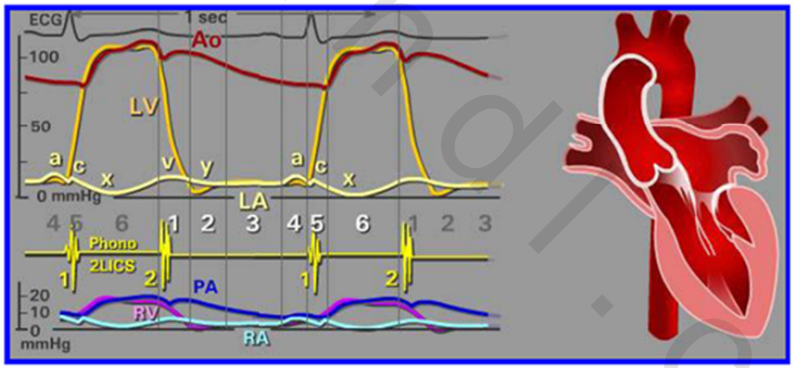
وفي نهاية الانبساط يبدأ الأذينان في الانقباض ليدفعا الدم من خلال الصمام الأذيني البطيني إلى البطين، وحيث إنه لا توجد صمامات بين الأذينين والأوردة، فإن الكثير من الدم الأذيني يندفع مرة ثانية إلى الأوردة. على الجانب الآخر فإن الانقباض

الأذيني سيسبب دفع دم إضافي إلى البطينين مسببا ارتفاعاً آخر في الضغط والحجم البطيني. وعلى الرغم من أنه يمكن إهمال الفائدة من الانقباض الأذيني في الوضع العادي للجسم عند الراحة، إلا أنه يمكن فعلياً أن يزيد من عملية الملء البطيني عند التمارين أو مع المعدلات العالية للقلب التي يكون فيها زمن الملء الانبساطي متقلصاً أو قصيراً، وبالتالي يكون هناك حاجة لخرج قلبي أكثر. ومع انقباض العضلات البطينية، وهي فترة تسمى الانقباض systole، فإن القوة الموجودة على الجدران تنتقل إلى الدم في تجويف البطينين. ويزداد الضغط البطيني، ومع زيادته فوق الضغط الأذيني، تنغلق الصمامات الأذينية البطينية. يبدأ الآن القلب فترة زمنية تسمى فترة الاعتدال أو التساوي الحجمي isovolumetric الانضغاطي مع زيادة الضغط في تجويف البطين. وهنا فإنه لا يمكن للدم أن يدخل أو يخرج من البطين؛ لأن كل من صمامات الإدخال والإخراج تكون مغلقة. وعندما يزيد الضغط في تجويف البطين عن الضغط في الأوعية الدموية (الأورطي بالنسبة للجزء الأيسر والشريان الرئوي للجانب الأيمن) تفتح الصمامات الهلالية (الأورطي في الجانب الأيسر والرئوي في الأيمن) حيث يبدأ تفريغ الدم في هذه الأوعية.

وعند نهاية الانقباض، ترتخي العضلات البطينية وتنحسر القوة المؤثرة على الدم في التجويف البطينى، ويقل الضغط البطيني بحيث يصبح أقل من الضغط في الأوعية الدموية وبالتالي تنغلق الصمامات الهلالية. وعند هذه اللحظة، تصبح كل من الصمامات الهلالية والأذينية البطينية مغلقة حيث تبدأ فترة اعتدال حجمي مرة أخرى في الحدوث. وفي هذه الفترة لن يتدفق الدم الأذيني إلى البطينين حتى يصل إلى فترة التراخي بحيث يصبح الضغط البطيني أقل من الضغط الأذيني. وعند حدوث ذلك تفتح الصمامات الأذينية البطينية وتبدأ مرحلة الملء من الدورة القلبية في الحدوث مرة أخرى.

(١,٦) شكل الضغط القلبي

يمكن للطبيب أن يقدر أحداث الدورة القلبية عن طريق قياس الضغط عند مواضع مختلفة من جهاز القلب والأوعية الدموية باستخدام القسطرة. ولقد أصبحت القسطرة القلبية أداة فعالة في تشخيص الأمراض القلبية ويجب على القارئ أن يكون على فهم جيد حول شكل الضغط في الأذينين، والبطينين، والأوعية الكبيرة. ورسمياً هناك سبع مراحل يمكن تمييزها والتعرف عليها أثناء الدورة القلبية. الشكل رقم (١,٤) يبين العلاقة الزمنية بين : الضغط الأورطي، وضغط البطين الأيسر، وضغط الأذين الأيسر، وحجم البطين الأيسر، والمخطط الكهربي للقلب خلال المراحل السبع بأكملها.



الشكل رقم (١,٥). تزامن المخطط الصوتي للقلب مع ديناميكا الدورة الدموية في الدورة القلبية موضحا الأحداث الأساسية في هذه الدورة مع التذيلات الكهربية والميكانيكية والصوتية المصاحبة، وكذلك شكل موجة الضغط لأحداث الدورة المقابلة.

الفترة A في الشكل رقم (١,٥) تمثل الانضغاط الأذيني. لاحظ أن الانضغاط في الأذين الأيسر يسبب ارتفاعاً في ضغط كل من الأذين الأيسر والبطين الأيسر بمقدار القليل من الميلليمترات الزئبقية mmHg. ويسمى هذا الارتفاع في الضغط الأذيني

بالموجة A. ومع بداية الأذينين في الاسترخاء، يبدأ الضغط الأذيني في الانخفاض مسببا الموجة X. ويطلق حجم الدم الموجود في البطين في نهاية الانضغاط لحجم نهاية الانبساط. وفي الفترة B، وهي فترة التعادل الحجمي في الانضغاط، يمكن رؤية الضغط البطيني منفصلاً من الضغط الأذيني نتيجة انغلاق الصمام المترالي. وتسهيل الحركة العلوية للصمام الميترالى في الأذين الموجة C. ويصاحب ذلك تناقص ثانٍ في الضغط الأذيني، وهو الموجة X0.

تنتهى فترة التعادل الحجمي مع وصول قيمة ضغط البطين الأيسر إلى الضغط الأذيني حيث يفتح الصمام الأورطي. وفي أثناء الفترة C، يتم تفريغ معظم حجم ضربة القلب في الشريان الأورطي، كما هو موضح في منحنى تتبع الحجم، وبالتالي، فإنه يطلق عليها مرحلة التفريغ السريع. أما بالنسبة للمرحلة التالية، D، فإنه يطلق عليها فترة التفريغ المصغرة. وفي أثناء فترتي التفريغ السابقتين يفتح صمام الأورطي بحيث يجعل كل من الأورطي والبطين الأيسر كحجرة واحدة وبالتالي يصبح الضغط في كل منهما متساوياً تقريباً.

وفي أثناء فترة التفريغ السريع، تكون سرعة الدم التي تتم بها عملية التفريغ متزايدة، بحيث ينتج عن ذلك زيادة قليلة في ضغط البطين عن ضغط الشريان الأورطي بقليل من الميلليمترات الزئبقية. ومع تباطؤ معدل التفريغ أثناء فترة التفريغ البطيئة، فإن القصور الذاتي في تباطؤ عمود الدم المنتقل خلال الأورطي يعكس تدرجه وينتج عن ذلك تقدم قليل في ضغط الأورطي عن ضغط البطين. ومع بدء البطين في الاسترخاء، يبدأ أيضاً ضغطه في التناقص. عندما يبدأ الدم في التدفق مرة ثانية خلال الصمام الأورطي، فإن الصمام يغلق وريقته أو لسانه المتحرك. ويسبب الارتجاع اللحظي في الدم من الصمام الأورطي والتباطؤ المفاجئ لهذا الصمام تراجعاً صغيراً في منحنى تتبع ضغط الأورطي وهذا ويسمى قمة السن.

إن حجم الدم المتبقي في الشريان الأورطي عند انغلاق الصمام الأورطي يطلق عليه حجم نهاية الانقباض. وفي أثناء فترة التعادل الحجمي الاسترخائي، E، فإن ضغط البطين الأيسر والأورطي ينفصلان ويستمر ضغط البطين في التناقص. وتنتهي فترة التعادل الحجمي عندما يصل الضغط البطيني إلى أقل من ضغط الأذين الأيسر ويفتح الصمام المترالي. وعلى الرغم من أن الصمام المترالي يكون مغلقاً أثناء الانقباض البطيني، فإن الانقباض البطينى يسبب نتوءاً أو تضخماً في الصمام الأذيني البطيني في الأذين مما ينتج عنه ارتفاع صغير في ضغط الأذين مولدا بذلك الموجة V في مخطط ضغط الأذين. وتسبب هذه الزيادة في الضغط تدفق الدم في البطين بمجرد فتح الصمام الأذيني. ولهذا السبب، فإن الفترة F تسمى مرحلة الملء السريع. إن الهبوط أو النقص السريع في الضغط الأذيني أثناء فترة الملء السريع تعطى ما يسمى بالموجة Y. وفي المدة الباقية من فترة الانبساط، وهي فترة تناقص ملأ البطين، فإن الضغط البطيني يتساوى مع الضغط الأذيني، ويبدأ القليل من الدم الإضافي في دخول البطين. ومع ملأ البطين بالدم الأذيني، يرتفع الضغط الأذيني مرة أخرى كما في الموجة H.

إن الضغط في الشريان الأورطي يكون هو الضغط الشرياني. وتسمى قمة الضغط أثناء عملية التفريغ الضغط الانقباضي، بينما يسمى أقل ضغط قبل فتح الصمام الأورطي مباشرة بالضغط الانبساطي.

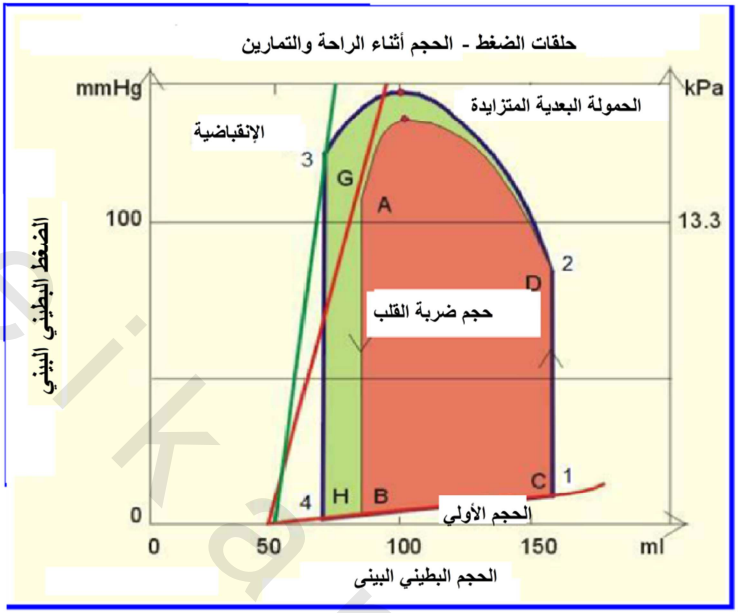
وبما أنَّ المخطط في الشكلين رقمي (١,٤) و (١,٥) يوضح أحداث الدورة القلبية في البطين الأيسر ومنطقة الأورطي، فإن علاقات الضغط خلال نصف القلب الأيمن والصمام الرئوي مبينان أيضا في الشكل رقم (١,٥) (في الجزء الأسفل من الشكل) وهما متماثلان تماما عموديا مع نصف القلب الأيسر، غير أنه يوجد فارق وحيد، وهو أن الضغوط تكون أكبر بحوالي الخمس مرات على الأكثر.

(١,٧) حلقات الضغط – الحجمي البطيني

يمكن ملاحظة وظيفة البطين الأيسر على كل الدورة القلبية (الانبساط والانقباض) عن طريق ربط علاقتي كل من الضغط – الحجم. وبتوصيل هذين المنحنيين للضغط – الحجم، يمكن أن ننشىء ما يسمى بحلقة الضغط – الحجم البطينية كما في الشكل رقم (١,٦)، مع الأخذ في الاعتبار أن علاقة الضغط والحجم الانقباضي في الشكل رقم (١,٥) تبين القيمة العظمى للضغط البطيني المتولد عند حجم بطيني معين.

ولتسهيل فهم هذه الحلقات، فإن جزءاً من منحنى الضغط – الحجم الانقباضي يتم تركيبه كخط ذهبي على حلقة الضغط– الحجم البطيني. ويوضح هذا الخط أقصى ضغط حدوثة عند حجم بطيني معين أثناء الانقباض، أي عند انقباض البطين. لاحظ أن النقطة (٣) في الشكل رقم (١,٥) على حلقة الضغط – الحجم تتلامس مع منحنى الضغط – الحجم الانقباضي. أيضاً، قد يكون من غير المؤكد أن جزء الحلقة بين ٤ و ١ يقابل جزءاً من منحنى الضغط – الحجم الانبساطي. إن حلقة الضغط – الحجم البطيني الموضحة في الشكل رقم (١,٦) تصف دورة كاملة للانقباض البطينى، والتفريغ، والاسترخاء، ثم عملية إعادة الملء مرة ثانية كما يلي:

• **مرحلة التعادل الحجمي الانقباضي (١ ←٢)**: تبدأ الحلقة عند النقطة ٢، التي تميز نهاية الانبساط، ويكون البطين الأيسر قد امتلأ بالدم من الأذين الأيسر، وحجمه هو حجم نهاية الانبساط، يكون حوالي 140mL. أما الضغط المناظر، فيكون منخفضاً نتيجة تراخي عضلة البطين. وعند هذه النقطة، يتم تنشيط البطين، فينقبض، ويزداد الضغط البطيني بوضوح. ونتيجة انغلاق كل الصمامات، فإنه لا يستطيع أي دم الخروج من البطين، بينما يكون حجم البطين ثابتاً، على الرغم من أن الضغط البطيني يصبح عالياً بوضوح عند النقطة ٢.



الشكل رقم (١,٦). رسم تخطيطي لحلقة الضغط – الحجم في البطين الأيسر.

• **مرحلة تفريغ البطين (٢ ←٣)**: عند النقطة ٢ يصبح الضغط البطيني أعلى من الضغط الأورطي، مسبباً بذلك انفتاح الصمام الأورطي. (وربما تتعجب لماذا لم يصل الضغط عند النقطة ٢ إلى منحنى الضغط – الحجم الانقباضي الموضحة بالخط المقطع الذهبي. والسبب البسيط لذلك هو أنه ليس من الضروري أن يصل لهذه القيمة. فالضغط عند النقطة ٢ يكون محدداً بالضغط الأورطي وبمجرد وصول الضغط البطيني إلى قيمة الضغط الأورطي، يفتح الصمام البطيني ويستخدم الانقباض المتبقي لتفريغ الضربة الحجمية من خلال الصمام الأورطي). بمجرد فتح الصمام، فإنه يتم إفراغ الدم بسرعة بسبب التدرج الضغطي بين البطين الأيسر والأورطي. وأثناء هذه المرحلة، يبقى الضغط البطيني مرتفعاً لأن البطين يظل منقبضاً. ويتناقص الحجم البطيني بدرجة كبيرة نتيجة تفريغ الدم في الشريان الأورطي. كما يظل حجم البطين عند النقطة ٣ نفسها،

obeikandl.com

وهي نهاية الحجم الانقباضي الذي يساوي 70mL. ويعتبر عرض حلقة الضغط – الحجم هو حجم الدم الذي تم تفريغه، أو بمعنى آخر حجم الضربة. فحجم الضربة في هذه الدورة البطينية يساوي (140-70ml) ,70ml.

• **مرحلة الاعتدال الحجمي الاسترخائي (٣←٤)**: عند النقطة ٣، ينتهي الانقباض ويتراخى البطين، وعند ذلك ينخفض الضغط البطيني تحت الضغط الأورطي وينغلق الصمام الأورطي. وعلى الرغم من انخفاض الضغط البطيني بسرعة في هذه المرحلة، فإن حجم البطين يظل ثابتاً (تعادل حجمي) عند قيمته عند نهاية الانقباض والتي تساوى 70mL ؛ وذلك لأن جميع الصمامات تكون مغلقة.

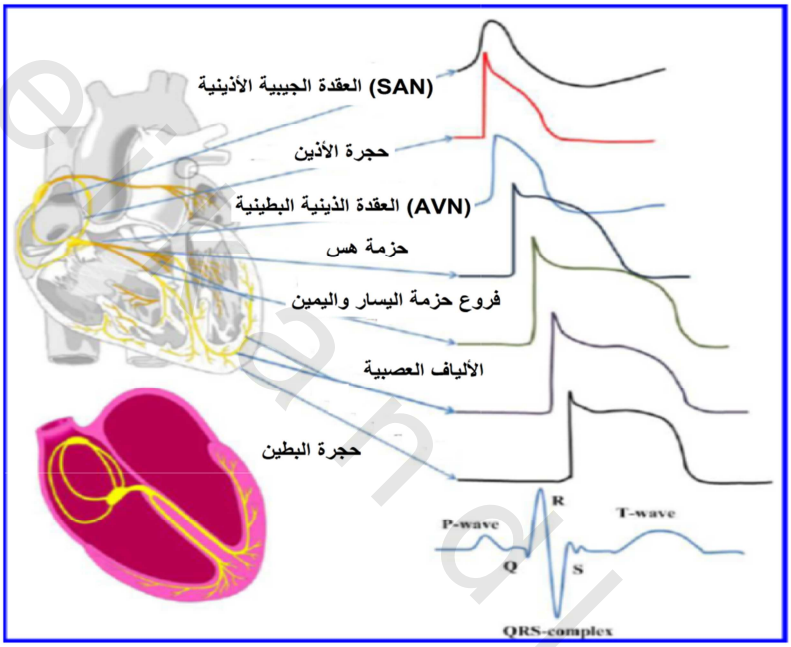
• **مرحلة ملء البطين (٤←١)**: عند النقطة ٤، يكون الضغط البطيني قد انخفض إلى مستوى يصبح عنده أقل من ضغط الأذين الأيسر، مما يتسبب في فتح الصمام المترالي. ويبدأ البطين الأيسر في الامتلاء بالدم من الأذين الأيسر بفاعلية وبغير فعالية، كنتيجة لانقباض الأذين في الدورة التالية. وهذا يؤدي إلى تزايد حجم البطين الأيسر.

ويمكن استخدام حلقات الضغط – الحجم لتصور التأثيرات في التحميل الأولى (بمعنى التغيرات في الإرجاع الوريدي، أو حجم نهاية الانبساط)، أو التغيرات بعد التحميل (بمعنى التغيرات في الضغط الأورطي)، أو التغيرات في الانضغاطية.

(١,٨) نظام التوصيل الكهربي القلبي

يتم التحكم في النشاط الدوري للقلب عن طريق نظام كهربائي. وتنشأ الإشارة الكهربائية في خلايا تنظيم ضربات القلب المتخصصة في الأذين الأيمن (عقدة توليد الإشارة في الأذينين)، وتنتشر من خلال الأذين إلى عقدة الصمام الأورطي- AV (تقاطع تأخير)، وإلى البطينين. يعرض الشكل رقم (١,٧) الأحداث الرئيسية في توليد

ونشر القدرة الكهربية البيولوجية لنسيج القلب. وتعمل القدرة الكهربائية البيولوجية على إثارة خلايا العضلات، مما يسبب تقلصاً ميكانيكياً لحجرات القلب.



الشكل رقم (١,٧). الجانب الأيمن: شكل نظام التوصيل الكهربائي للقلب وتوقيت القدرة الكهربائية البيولوجية من مناطق مختلفة من القلب. الجانب الأيسر: إشارة تخطيط القلب ذات الصلة التي تم قياسها من على سطح الجسم.

(١,٩) فسيولوجية أصوات القلب

إن مراحل دورة القلب ينتج عنها أصوات مسموعة خلال مرحلة الانقباض والانبساط، وذلك نتيجة لفتح وغلق صمامات القلب، وتدفق الدم في القلب، واهتزاز عضلات القلب. وعادة ما يتم توليد أربعة أصوات للقلب خلال دورة القلب. يمكن سماع صوت القلب الأول والثاني بسهولة في القلب الطبيعي من خلال سماعة

الطبيب الموضوعة على منطقة مناسبة على الصدر. كما يمكن سماع الصوت الثالث الطبيعي للقلب لدى الأطفال والمراهقين ولكن لا يمكن سماعه عند معظم البالغين.

ويسمع صوت القلب الرابع بشكل نادر عند الأشخاص الطبيعيين من خلال السماعات الميكانيكية التقليدية، ولكن يمكن استشعار هذه الأصوات عن طريق مجسات عالية الحساسية، مثل السماعات الإلكترونية وأنظمة تخطيط أصوات القلب. وتسمى الأصوات الأخرى غير تلك الأصوات الأربعة باللغط، وهي أصوات غير طبيعية ناتجة عن مشاكل في الصمام، ومصدرها منظم ضربات القلب الاصطناعي أو الصمامات البديلة المزروعة بالقلب. انظر إلى الشكل رقم (١,٤) [21] للاطلاع على شرح لكيفية ارتباط الأصوات الأربعة بالأحداث الكهربائية والميكانيكية للدورة القلبية.

ويحدث صوت القلب الأول (S1) مع بداية انقباض البطين. ويسمع ذلك الصوت بطريقة أكثر وضوحاً عند ذروة الصدر والمنطقة الرابعة على طول الحدود اليسرى من منتصف الصدر. وتتميز تلك المنطقة بشدة أعلى ومدة أطول وذلك بالمقارنة مع غيرها من أصوات القلب. ويمكن سماع اثنين من مكوناتها الرئيسية ذات الترددات العالية بسهولة. وعلى الرغم من الجدل حول وجود آلية للصوت الأول للقلب S1 [3]، فإن الدليل الأكثر إقناعاً يشير إلى أن تلك المكونات تكون نتيجة إغلاق الصمام التاجي، والصمام ثلاثي الشرفات والاهتزازات الحادثة في قفل الصمام، حبلى، حليمى، والعضلات، وجدران البطين قبل خروج الدم من الشريان الأورطي [21]. ويستمر الصوت الأول للقلبS1 لفترة متوسطة تتراوح من١٠٠- ٢٠٠ مللي ثانية، وهي ذات نطاق تردد من١٠- ٢٠٠ هرتز.

وتكشف الخصائص الصوتية للصوت الأول للقلب S1 على قوة انقباض عضلة القلب، وحالة الصمامات الأذينية البطينية ووظائفها. ونتيجة للإغلاق المتزامن للصمام الثلاثي الشرفات والصمام التاجي، غالباً ما ينفصل العنصران لصوت القلب الأولS1

بفترة زمنية من ٢٠- ٣٠مللي ثانية. ويُعرف هذا التأخير (بالتقسيم) في المجتمع الطبي، وله أهمية كبيرة أثناء التشخيص. إن وجود تقسيم كبير بشكل غير طبيعي غالباً ما يكون علامة على مشكلة في القلب. ويحدث الصوت الثاني للقلب(S2) في غضون فترة قصيرة في حالة بدء انبساط البطين. ويتزامن ذلك مع الانتهاء من الموجة- T في رسم القلب الكهربائي (ECG).

وتسمع هذه الأصوات بشكل واضح عندما يتم وضع سماعة الطبيب بشكل جيد على الجلد في المساحة الثانية أو الثالثة على طول الحدود اليسرى من منتصف الصدر. ويتكون الصوت الثاني للقلب S2 من مكونين عاليي التردد، أحدهما بسبب إغلاق صمام الشريان الأورطي، والآخر بسبب إغلاق الصمام الرئوي. وفي بداية انبساط البطين، والضخ الانقباضي للدم في الشريان الأورطي وهبوط الضغط في الشريان الرئوي وارتفاع الضغط في هذه الأوعية ليتجاوز الضغط في البطينين، يؤدي هذه كله إلى عكس التدفق ويتسبب في إغلاق الصمامات الخاصة بهم. إن الصوت الثاني للقلب عادة ما يكون له مكونات ذات تردد أعلى بالمقارنة مع الصوت الأول للقلب. ويميل الصمام الأورطي إلى الإغلاق قبل الصمام الرئوي وذلك نتيجة لارتفاع الضغط في الشريان الأورطي بالمقارنة مع الشريان الرئوي، ولذلك فإن صوت القلب الثاني قد يكون له انقسام مسموع.

وتوجد اختلافات تنفسية في انقسام الصوت الثاني للقلب S2 عند الأشخاص الطبيعيين. فخلال مرحلة الانتهاء، فإن الفترة الزمنية الفاصلة بين العنصرين تكون صغيرة (أقل من ٣٠ مللي ثانية). ومع ذلك، فإنه خلال عملية الشهيق، يتضح تقسيم العنصرين. ويعتبر التقييم السريري للصوت الثاني للقلب، الذي هو تقنية سريرية، وسيلة الفحص الأكثر أهمية في تشخيص أمراض القلب. وترتبط أمراض القلب مع العديد من التغييرات المميزة في الشدة أو العلاقة الزمنية بين عنصرين للصوت الثاني

القلب S2. وتقدم القدرة على تقدير هذه التغييرات أدلة تشخيص مهمة [21, 22]. ولقد تم استخدام الصوت الأول والثاني S2+S1 للقلب كأصوات القلب الرئيسية لأكثر الفحوصات السريرية المعتمدة على خطوات التسمع لتخطيط أصوات القلب.

تسمى أصوات القلب الثالث والرابع، بأصوات عدو الفرس، وهي أصوات ذات تردد منخفض، وهي تحدث في الانبساط المبكر والمتأخر على التوالي، في ظل تفاوت كبير في الظروف الفسيولوجية والمرضية. ويمثل تباطؤ التدفق الميترالي بواسطة جدران البطين آلية رئيسية في أصل الصوتين [21, 23]. ويحدث الصوت الثالث للقلب (S3) في فترة التعبئة السريعة للانبساط المبكر. ويتكون الصوت الثالث نتيجة اهتزازات جدران البطين عندما تنتفخ فجأة عن طريق اندفاع الدفق الناتج عن اختلاف الضغط بين البطينين والأذينين. إن المقدرة على سمع الصوت الثالث للقلب S3 تكون ممكنة فسيولوجياً عند الشباب أو عند بعض كبار السن، لكنها تعتبر حالة مرضية عند الأشخاص الذين يعانون من قصور القلب الاحتقاني أو توسع البطين.

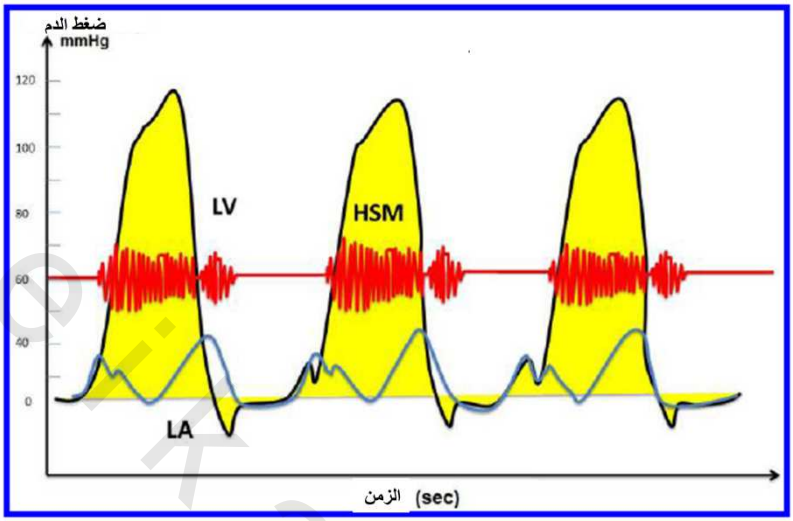
ويعتبر وجود الصوت الثالث للقلب في المرضى الذين يعانون من أمراض صمام القلب في كثير من الأحيان دليل على فشل القلب، ولكن ذلك يعتمد أيضا على نوع مرض القلب الصمامي [22]. ويشيع وجود الصوت الثالث للقلب في المرضى الذين يعانون من الارتجاع التاجي، ولكنه لا يعكس بالضرورة ضعف انقباض البطين الايسر أو زيادة ضغط التعبئة. كما ويعتبر وجود الصوت الثالث للقلب في المرضى الذين يعانون من ضيق الشريان الأورطي غير شائع ولكنه يشير عادة الى وجود خلل وظيفي في الانقباض وارتفاع ضغط التعبئة.

أما بالنسبة للصوت الرابع للقلب (S4)، فإنه يحدث عند تأخر الانبساط، وقبل حدوث الصوت الأول للقلب S1. ويحدث نتيجة الاهتزازات لتوسيع البطينين عندما ينقبض الأذينين. وبالتالي، فإنه قلما يتم التسمع للصوت الرابع للقلب S4 في

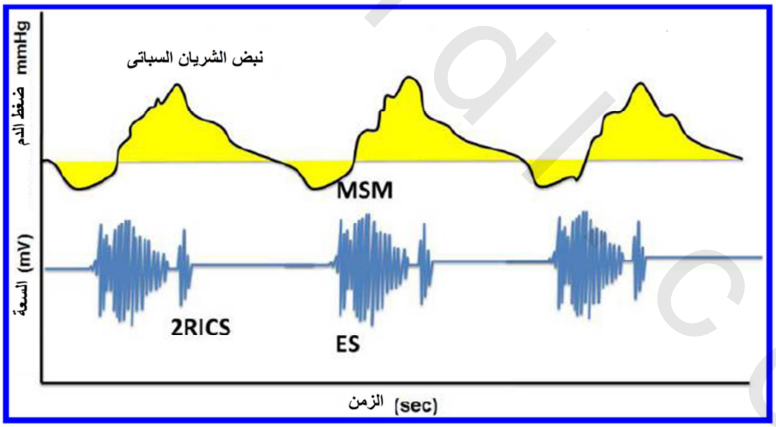
القلب الطبيعي. يحدث الصوت الرابع للقلب غير الطبيعي S4 المسموع نتيجة لانخفاض قابلية التمدد لأحد أو كلا البطينين. وتزيد قوة الانقباض الأذيني لتصلب البطينين، مما يسبب حركة حادة لجدار البطين وانبعاثات بارزة للصوت الرابع للقلب S4 [22, 24]. وينتج اللغط نتيجة للتدفق المضطرب للدم، وتنتج عن ذلك سلسلة من الاهتزازات في بنية القلب. ويعتبر اللغط خلال مرحلة الانقباض المبكر من الأمور الشائعة عند الأطفال، وعادة ما تسمع عند جميع البالغين تقريباً بعد التمرين. ويحدث اللغط غير الطبيعي نتيجة للضيق والقصور (التسريبات) في الصمامات (الصمام الأورطي، والصمام الرئوي، أو الصمام التاجي [23]). إن ملاحظة توقيت ومكان اللغط مهمة من وجهة النظر التشخيصية. فقد يساعد التعرف على اللغط في تشخيص عيوب القلب مثل ضيق الشريان الأورطي، والارتجاع في الصمام التاجي والصمام الثلاثي الشرفات، ...إلخ.

(١,١٠) نمط أصوات القلب غير الطبيعية

هنالك العديد من العيوب القلبية، التي يمكن أن تؤدي إلى إنتاج أصوات قلب إضافية (مفرطة أو معّدلة) وذلك عند التعامل مع تشوهات في القلب السليم كما في الشكل رقم (١,٨)، والشكل رقم (١,٩)، وسيتم عرض بعض من هذه التشوهات أدناه. وهناك العديد من المواقع على شبكة الإنترنت التي تُمّكن أي شخص أن يحمل ويستمع إلى أصوات القلب المسجلة إلكترونياً كملفات صوت. تمتلك أقسام علم وظائف الأعضاء والموسيقى في كندا، في جامعة ماكجيل، أيضاً، موقع معلومات طبية فريد حيث يمكن أن يقوم المشاهد بالاستماع لأصوات قلبية مختلفة (العادية وغير العادية) من مختلف مواقع التسجيل بالصدر. ويمكن للمشاهد بالإضافة إلى ذلك أن يقوم بتحميل أطياف زمنية وترددية ثلاثية الأبعاد وملونة، والتي تغطي دورات عدة في القلب لصوت معين، فضلاً عن قراءة نص من مصدر وأهمية الصوت (Glass، ١٩٩٧).



الشكل رقم (١,٨). مخطط الضغط للبطين الأيسر(LV) والأذين الأيسر (LA) مقابل منحنى صوت للقلب يُظهر أصوات اللغط القلبي ذات الصلة في حالة مرض ضيق الأورطي (AS).



الشكل رقم (١,٩) أحداث دورة القلب في حالة مرض ضيق الصمام التاجي. في الأعلى: نبض الشريان الأورطي. وفي الأسفل: أصوات لغط ضيق الشريان التاجي (MSM) وصوت لغط الانبساط المبكر(ES).

وتعتبر صمامات القلب المصابة مصدراً رئيسياً لأصوات القلب الغريبة. فقد تفشل صمامات القلب، وخاصة صمامات القلب الأيسر، إما في الفتح بشكل صحيح (بها ضيق)، أو أنها لا تستطيع الإغلاق بشكل صحيح(لأنها عاجزة)، مما يتسبب في سريان الدم في الاتجاه العكسي، أو الارتجاع. وتعتبر بكتيريا الدم العنقودية مصدراً رئيسياً لتلف صمام القلب، مثل الحمى القرمزية والالتهاب الحلقي، أو عدوى الأذن الوسطى. وتعتبر الحمى الروماتيزمية من المضاعفات الخطيرة، ومن إحدى خصائصها هي التهاب القلب، وتلف الصمامات. وتقوم بكتيريا الدم العنقودية بتصنيع بروتينيسمي(المستضد M)، ويصنع الجهاز المناعي الأجسام المضادة لهذا البروتين.

وللأسف، فإن هذه الأجسام المضادة عادة ما تهاجم بعض أنسجة الجسم والمفاصل وخاصة القلب، ولقد قال Guyton (١٩٩١)ما يلي: "في الحمى الروماتيزمية تنمو، أورام كبيرة، ونزيفية، ليفية، ومنتفخة على طول الحواف الملتهبة في صمامات القلب." وتترك هذه الالتهابات الذاتية ضرراً دائماً في الصمام. وتكون الصمامات التي في الجهة اليسرى من القلب (الأورطي والتاجي) هي الأكثر عرضة للضرر من قبل الأجسام المضادة.

ويوضح الجدول رقم (١,١) الخصائص المبدئية لأصوات لغط القلب والمشتقة ببيانات مكانية، ولها أهمية سريرية في تشخيص الحالة المرضية لصمام القلب، كما أنه يصف أصوت القلب المختلفة، وأصل كل صوت. وفي مرض ضيق الصمام الأورطي، لا يمكن أن يفتح الصمام بشكل صحيح؛ وذلك لوجود مقاومة هيدروليكية عالية بشكل غير طبيعي، التي يجب أن يتغلب عليها البطين الأيسر ليقوم بضخ الدم. وبالتالي، فإنه يمكن لذروة ضغط البطين الأيسر أن ترتفع إلى٣٠٠مم زئبق (mmHg)، في حين أن الضغط الأورطي يبقى في المعدل الطبيعي. ويضطر الدم للخروج من خلال فتحة صغيرة وبسرعة عالية جداً، مما يتسبب في اضطراب واهتزاز لجذر الشريان الأورطي. ويؤدي هذا الاهتزاز عالي الصوت للغط أثناء الانقباض الذي هو

سمة لمرض ضيق الشريان الأورطي. ويحدث الارتجاع في الشريان الأورطي، من جهة أخرى، لأن صمام الشريان الأورطي المصاب لا يُغلق بشكل كامل. ويظهر الشكل رقم (١,١١) تمثيلاً تخطيطياً لمتغيرات القلب النموذجية: رسم القلب الكهربائي، والمواضع المختلفة لصمامات القلب، ومخططات أصوات القلب منخفضة وعالية التردد، وتسجيل لنبض الأوعية (الشريان الأورطي)، ونبض قمة القلب (مخطط قمة القلب). وتنقسم دورة القلب إلى فترات زمنية محددة وفقاً لحالة الصمامات اليسرى للقلب. ويتكون انقباض البطين الأيسر من الانكماش المتساوي الحجم isovolumetric وفترة طرد، بينما يغطي انبساط البطين الأيسر الاسترخاء المتساوي الحجم isovolumetric وتعبئة البطين الأيسر، فهي على التوالي: التعبئة السريعة، والتعبئة البطيئة، وانقباض الأذين). ويمكن إعطاء شكل مماثل للجزء الأيمن للقلب؛ حيث تتزامن ظواهر الصمام تقريباً مع تلك التي في الجزء الأيسر للقلب. وتتماثل التحولات الزمنية الصغيرة عندما يسبق إغلاق الصمام الأورطي إغلاق الصمام ثلاثي الشرفات، وعندما يسبق إغلاق الصمام الأورطي إغلاق الصمام الرئوي. ويدل منحنى تخطيط أصوات القلب PCG ذو التردد المنخفض على الأصوات الأربعة للقلب الطبيعي(الأول والثاني والثالث والرابع).تختفي في الترددات العالية المنحنيات الثالث والرابع ويظهر التقسيم بشكل واضح في الأول والثاني.

الجدول رقم (١,١). يبيّن الخصائص المكانية لتشخيص مرض الصمام من لغط القلب.

Heart	Sound occurs during	Associated with
S_1	isovolumetric contraction	mitral and tricuspid valves closure
S_2	isovolumetric relaxation	aortic and pulmonary valves closure
S_3	early ventricular filling	normal in children; in adults, associated with ventricular dilation (e.g., ventricular systolic failure)
S_4	atrial contraction	associated with stiff, low compliant ventricle (e.g., ventricular hypertrophy)

ومرة أخرى، يندفع تيار عكسي عالي السرعة من الدم إلى العودة إلى البطين الأيسر وذلك بواسطة ضغط أورطي عكسي أثناء عملية الانبساط (عندما يرتخي البطين الأيسر). ويزيد هذا الضغط العكسي الصعوبة على الأذين الأيسر في عملية تعبئة البطين الأيسر، وبطبيعة الحال، يجب على القلب العمل بجهد أكبر لضخ كمية معينة من الدم في الشريان الأورطي. ويتمتع اللغط والارتجاع الأورطي أيضاً بدرجة ترددية مرتفعة نسبياً (Guyton، ٢٠٠٥، [20]).

ويحدث صوت اللغط في مرض ضيق الصمام التاجي، كما هو موضح بالشكل رقم (١,٩)، في الثلثين الأخيرين من عملية الانبساط، والناجمة عن ضخ الدم عبر الصمام من الأذين الأيسر إلى البطين الأيسر، مما ينتج عنه صوت ضعيف ذو تردد منخفض جداً بسبب قمة الضغط المنخفضة في الأذين الأيسر. ولا يمكن سماع صوت اللغط الناتج عن ضيق الصمام التاجي في أغلب الأحيان، ولكن يمكن الشعور باهتزازاته، أو مشاهدة تلك الاهتزازات عبر جهاز راسم لذبذبات خرج ميكروفون. ويعتبر الصوت الناتج عن فتح الصمام التاجي دليلاً آخر مسموعاً لضيق الصمام التاجي وهو صوت يتبع مباشرة حدوث الصوت الثاني الطبيعي للقلب S2.

إن ارتجاع الصمام التاجي أثناء الانقباض مع انقباض البطين الأيسر يدفع تيار عكسي من الدم عالي السرعة عبر الصمام التاجي، مما يؤدي الي اهتزاز جدران الأذين الأيسر. وتعتبر الترددات والشدة الناتجة من اللغط الارتجاعي للصمام التاجي أقل من تلك الناتجة من ضيق الصمام الأورطي وذلك بسبب أن الأذين الأيسر ليس له رنين مثل الشريان الأورطي. و يجب على الصوت أيضاً أن يتحرك من الأذين الأيسر إلى الجزء الأمامي من الصدر. ويمكن تشخيص خلل آخر بالقلب عن طريق سماع الصوت الثاني للقلبS2 (تقسيم) وهو انسداد حزمة اليسار أو اليمين. ويتم إنجاز التزامن بين تقلص عضلة البطينين الأيمن والأيسر بواسطة موجة الاستقطاب الكهربائية التي تنتشر

من عقدة الصمام الأورطيAV، لأسفل حزمة هيس، والتي تتفرع إلى فروع لليسار واليمين حيث تنتشر على كل جانب من الحاجز البطيني. وتتفرع تلك الحزم بالقرب من قمة القلب، على نطاق واسع في الألياف العصبية، التي تغزو عضلة بطين القلب الداخلية، والتي تحمل النشاط الكهربائي الذي يؤدي إلى تقلص البطين. انظر الشكل رقم (١,١١) الذي يحتوي على مخطط وقتي لحدوث أصوات قلبية معينة أثناء دورة القلب. ويؤدي تلف ألياف حزمة الفرع على الجانب الأيمن من الحاجز والناتجة عن احتشاء عضلة القلب، إلى تأخر تقلص البطين الأيمن، والذي بدوره يؤدي الى تقدم الصوت المرتبط بغلق الصمام الأورطي على الصوت الذي يحدثه الصمام الرئوي. ويُسمع هذا الانقسام في صوت القلب الثاني S2 بغض النظر عن حالة الشهيق أو الزفير. ويتأخر انقباض البطين الأيسر لانسداد في فرع من الحزمة اليسرى، وبالتالي يتأخر صوت الصمام الأورطي وذلك بالنسبة للصمام الرئوي. وتؤدي هذه الحالة إلى تقسيم عكسي للصوت الثاني للقلب S2 خلال عملية الزفير، ولكنها تغيب خلال الشهيق. وتشمل الأسباب الأخرى للانقسام العكس على انقباض البطين الأيمن السابق لأوانه (على عكس انقباض البطين الأيسر المتأخر)، أو ارتفاع ضغط الدم (ارتفاع ضغط العائد الوريدي).

(١,١٠,١) صوت القلب كمؤشر للدورة الدموية

هناك علاقة مباشرة بين شدة وتردد الصوت الثاني وميل منحنى هبوط الضغط البطيني أثناء الاسترخاء الحجمي. ويحدث انخفاض في الصوت الثاني نتيجة لتشنج في وريقات أو ريش الصمام. وتؤدي زيادة نصف قطر الصمام أو انخفاض لزوجة الدم إلى زيادة الصوت الثاني. كما يمكن أن يكون لأمراض القلب والأوعية الدموية تأثير على توقيت وشدة مكونات صوت القلب الثاني. ويمكن أيضاً أن يكون التقسيم الواسع للصوت الثاني بسبب تأخر إغلاق الصمام الرئوي أو تبكير إغلاق صمام الشريان

الأورطي. كما ويُمكن أن يكون سبب تأخير إغلاق الصمام الرئوي هو انسداد فرع الحزمة اليمنى، ومرض الضيق الرئوي، وارتفاع ضغط الدم الرئوي، وخلل الحاجز الأذيني؛ ويمكن أن يكون تبكير إغلاق صمام الأورطي ناجماً عن الارتجاع في الصمام الميترالي وخلل في حاجز البطين. وأخيراً يمكن أن يكون التقسيم المتناقض للصوت الثاني ناجماً عن تأخر إغلاق صمام الشريان التاجي، أو تبكير إغلاق الصمام الرئوي.

ويؤدي انسداد فرع الحزمة اليسرى، أو ضيق الشريان التاجي، ومرض تصلب شرايين القلب إلى تأخر إغلاق صمام الشريان الأورطي، ويمكن أن يكون سبب إغلاق الصمام الرئوي المبكر ناتجاً عن ارتجاع الصمام الثلاثي الشرفات والتبكير بتفعيل نشاط البطين الأيمن، إضافة إلى ذلك فإنه من الممكن أن يغيب الصوت IIA والصوت IIP، على التوالي، في حالات ضيق الصمام الأورطي وضيق الصمام الرئوي. وينتج عن ذلك انخفاض الصوت IIA في حالة الارتجاع الأورطي وفي الحالات المرضية التي تقلل من أداء البطين الأيسر. ويحدث الصوت الثالث (III) أثناء فترة التعبئة الخاملة السريعة للبطين. كما يُعتقد أن الصوت الثالث ينشأ من التباطؤ المفاجئ في تدفق الدم عندما يصل البطين للحد الأقصى من التمدد، مما يسبب الاهتزازات في جدار البطين. ويمكن في كثير من الأحيان أن يسمع ذلك الصوت في الأطفال والمراهقين الطبيعيين، ولكن يمكن تسجيله أيضاً عند البالغين (وإن لم يسمع) في قناة التردد المنخفض، ويكون صوتاً منخفضاً وضعيفاً (ذا تردد منخفض). ويختفي الصوت الثالث نتيجة للتقدم في السن وكنتيجة لزيادة كتلة العضلة القلبية التي لها تأثير يؤدي إلى تخميد الاهتزازات. ويمكن أن يؤدي ارتفاع معدل التعبئة أو تغيير الخصائص الفيزيائية للبطين إلى ارتفاع الصوت الثالث للقلب. ويعتبر ظهور الصوت الثالث في سن الشيخوخة (بعد ٤٠ عاماً)، حالة مرضية في معظم الأحيان. أما بالنسبة للصوت الثالث III فنجده في حالات الارتجاع في الصمام الميترالي، وضيق الشريان الأورطي، وأمراض القلب

الدماغية. ويتطابق الصوت الرابع (IV) مع الانقباض الأذيني، وبالتالي فإن هذا يؤدي الى زيادة تدفق الدم عبر الصمام الميترالي مع إمكانية حصول نتائج كتلك التي تحدث مع وجود الصوت الثالث. ونادراً ما يسمع الصوت الرابع في الحالات العادية، وأحياناً عند كبار السن، ولكن يتم تسجيله في كثير من الأحيان في القناة ذات التردد المنخفض. ويزداد الصوت في حالات تعبئة البطين المطردة أو نقص قابلية البطين للتمدد.

ويوجد الصوت الرابع IV عند المرضى في حالات الارتجاع في الصمام الميترالي، ومرض ضيق الشريان الأورطي، ومرض ارتفاع الضغط بالأوعية الدموية والقلب، وأمراض القلب الدماغية. وقد توجد بعض الأصوات القلبية المرضية الأخرى إلى جانب هذه الأصوات الأربعة. ويوجد بين أصوات الانقباض صوت طرد وصوت نقر انقباضي غير طردي. كما يوجد صوت الطرد في الحالات المرضية المختلفة مثل خلل الأورطي الخلقي، أو ضيق الصمام الرئوي حيث يجعل فتح الصمام محدوداً. قد يرتبط صوت نقرة طرد الانقباض مع الهبوط المفاجئ في الصمام الميترالي في الأذين الأيسر. وقد يحدث، صوت الانبساط، وقت فتح الصمام الميترالي، على سبيل المثال، ويأتي هذا في حالات ضيق الصمام.

تنتج أصوات لغط القلب عن آليات مختلفة بالمقارنة مع أصوات القلب. وهي تنتج في الواقع، نتيجة لاضطراب في تدفق الدم وتحدث كإشارات عشوائية. ويتدفق الدم بشكل سلس في الأوعية الدموية الطبيعية وبسرعة عادية، وفي طبقات ولا يتم ملاحظة أية اضطرابات في تدفق الدم. يوجد تدفق دم مضطرب عند الإنسان في حالات الراحة العادية، في المنطقة المجاورة للصمامات الأورطي والرئوي. كما يُمكن ملاحظة الظواهر الصوتية والاهتزازات في جدار الأوعية الدموية كنتيجة لحالة التدفق المضطرب للدم، الذي يعتبر ظاهرة غير عادية وعشوائية مرتبطة بالاضطراب الضغطي. وتحدد قيمة عدد رينولدز (وهي قيمة هيدروديناميكية عديمة الوحدات) حدوث الاضطراب

الحاصل في الأنابيب الناعمة المستقيمة. يتناسب هذا العدد مع سرعة التدفق وقطر الأنبوب، كما وأنه يتناسب عكسياً مع لزوجة السائل. ويتحول التدفق السلس إلى تدفق مضطرب إذا تجاوز هذا الرقم قيمة محددة.

وتفسر أصوات اللغط البريئة – كما تُسمى – وفقاً للنظرية التالية: تنتج تلك الأصوات في حالة ارتفاع إنتاج القلب، أو عند انخفاض لزوجة الدم، وتحدث عادة في وقت مبكر أو في منتصف عملية الانقباض، وتحدث لمدة قصيرة، وتتزامن مع أقصى تدفق للدم من البطين. وتزيد الاضطرابات، وبالتالي تزيد الشدّة لأصوات لغط القلب مع زيادة سرعة تدفق الدم.

وقد تنشأ أصوات اللغط المرضية مع معدل التدفق الطبيعي من خلال فتحة صمام مقيدة أو غير منتظمة (على سبيل المثال، في حالات ضيق الصمام) أو عن طريق اتجاه تدفق غير طبيعي ناجم عن عدم كفاءة الصمام (تسريب) أو اتصال بين أجزاء القلب اليسرى واليمنى. ويمكن بذلك ملاحظة أصوات اللغط في مرحلة الانقباض والانبساط، أو حتى أصوات اللغط المتواصلة. ويحدث صوت اللغط الانقباضي الطردي في حالة ضيق الشريان الأورطي وضيق الشريان الرئوي (صمامي وغير صمامي): أي صوت لغط ضيق تعبئة الصمام التاجي والصمام ثلاثي الشرفات. ويؤدي الارتجاع في الشريان الأورطي والرئوي للغط في مرحلة الانبساط، ويؤدي الارتجاع في الصمام التاجي والثلاثي الشرفات للغط في مرحلة الانقباض. ويمكن ملاحظة وجود اللغط الانقباضي والانبساطي في حالة وجود خلل في الحاجز البطيني.

وتحدث أصوات اللغط المستمرة في القناة الشريانية السالكة (وصلة بين الشريان الرئوي والشريان الأورطي). تحدث أصوات اللغط الموسيقية كإشارات حتمية وسببها الاهتزاز التوافقي للهياكل (مثل منشور الصمام، تمزق الحبل الوتري، خلل في الصمام الاصطناعي) في حال عدم وجود تدفق اضطرابي، ونادراً ما يمكن ملاحظتها. قد

يساعد الموقع الأفضل لتسجيل الصوت أو اللغط من جدار الصدر (بالمقارنة مع غيرها من الظواهر) فيتميز بذلك مصدر الصوت أو اللغط[24]. وتعتمد هذه المواقع ليس فقط على المسافة للمصدر فحسب، وإنما أيضاً على اتجاه الاهتزازات. وتتم دراسة الأصوات أو اللغط الموجود بالصمام الأورطي بشكل أفضل في المنطقة الثانية بين الأضلاع لليمين من عظمة منتصف الصدر ودراسة الأصوات واللغط المرتبط بالصمام الرئوي بمنطقة اليسار من عظمة منتصف الصدر. وتتوافق منطقة البطين الأيمن مع الجزء السفلي من عظمة منتصف الصدر في المنطقة الرابعة من الأضلاع، ومنطقة البطين الأيسر بين عظمة منتصف الصدر ونقطة قمة القلب (على مستوى المنطقة الخامسة من الأضلاع).وعلاوة على ذلك فإنه يُمكن استخدام مناورات فسيولوجية معينة من شأنها أن تؤثر على ديناميكة القلب من أجل الحصول على أفضل تقييم لأصوات القلب وأصوات اللغط. وفي الختام، يشكل وجود الصوت، والتوقيت، والمكان على جدار الصدر، والمدة، والشدة النسبية ونمط الشدة، ومحتوى التردد من أصوات اللغط ومركبات الصوت المرضية أساساً للتسمع، أو أساس تشخيص تخطيط أصوات القلب من أمراض القلب.

(١,١١) تقنية التسّمع

تمكن الأطباء قبل القرن التاسع عشر، من الاستماع إلى القلب فقط من خلال تطبيق آذانهم مباشرة على الصدر. وهذا التسمع الفوري كان يعاني من القيود الاجتماعية والتقنية، مما أدى إلى الاستياء منها. وأدى اختراع السماعة الطبية وتقنية التسمع القلبي بواسطة اينيك (١٧٨١- ١٨٢٦) في عام ١٨١٦ كما في الشكل رقم (١,١٠)، إلى وجود طريقة عملية للفحص السريري، التي عرفت باسم التسمع عن طريق وسيط. وقد استخدم العديد من الأطباء المشهورين هذه التقنية على مدى القرنين الماضيين لتقديم تفسير للأصوات والضجيج الذي يسمع في القلب الطبيعي والمريض.

ويمكن تمثيل أصوات قلب الإنسان العادي عن طريق العلاقات المرتبطة بمحاكاة الأصوات:

.(....lubb-dup ...). يمكن التعرف بوضوح على صوتين: الأول يُعتبر مملاً أكثر من الثاني. ويعرف صوت القلب أو مكون صوت القلب كحدث واحد مسموع يسبقه ويليه فترة صمت. ويحدث هذا التقسيم للصوت على هذا النحو، عند قدرة المرء على أن يميز بوضوح عنصرين مفصولين بفترة صمت صغيرة. يُمكن تمييز أقرب تقسيم لو كان الفرق يساوي تقريباً ٢٠- ٣٠ ملليثانية. كما يُمكن تتبع مبادئ توجيهية مماثلة للتعرف على تسجيلات تخطيط أصوات القلب: ويعتبر الصوت مركباً متناوباً للانحرافات الإيجابية والسلبية المتغيرة فيما يتعلق بخط الأساس، التي تسبقها وتليها فترة صمت.

الشكل رقم (١,١٠). رينيه تيوفيلهي اسنتاينيك مخترع السماعة الطبية (مجاملة فوتوغرافية للمكتبة الوطنية للطب).

ويُمكن اعتبار أن الصوت قد تم تقسيمه إذا كان من الممكن إدراك فترة صمت صغيرة بين مكونات الصوت. ويُعّد ترشيح الترددات عند هذه المرحلة أمراً مهماً. يعتبر الانقسام عند الترددات المنخفضة انقساماً غير مرئياً عند التسجيل بتردد منخفض ويمكن ملاحظته عند تسجيل الترددات العالية. واختصاراً، تعتبر إشارة تخطيط أصوات القلب غلافاً للإشارة المسجلة، وليست الموجة الفعلية، مثل إشارة مخطط القلب الكهربائي ECG، وضغط الدم، وتسجيلات السرعة. ويمكن أن يتخطى المحتوى الترددي لإشارة تخطيط أصوات القلب قدرة أذن الإنسان على السمع، ويمكن تسجيل الظواهر ذات الترددات المنخفضة غير المسموعة ويُشار إلى تلك الظواهر بأنها أصوات (غير مسموعة). وتصنف الظواهر الصوتية الناشئة من القلب إلى فئتين: أصوات القلب، ولغط القلب.

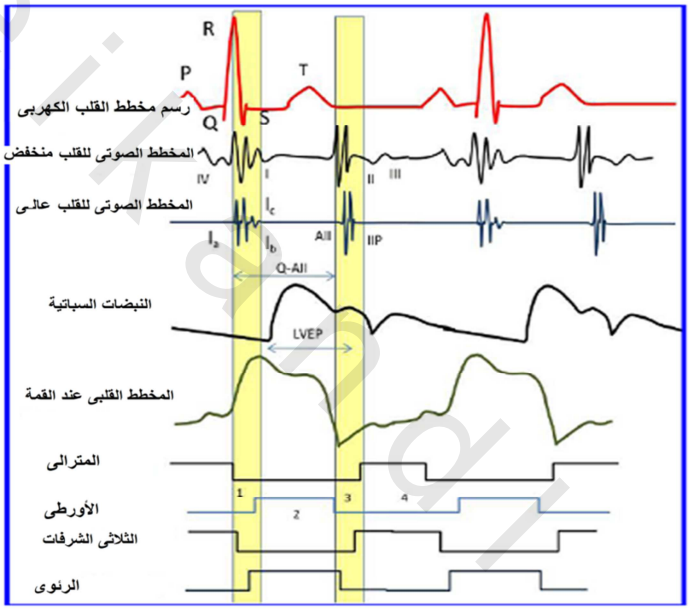
وعلى الرغم من أنه لا يمكن التمييز بين تلك الأصوات بشكل قاطع، إلا أنه يمكن القول بأن أصوات القلب لديها طابع موسيقي أكثر حدة (راجع اللمس للسلسلة) ولمدة قصيرة، في حين أن معظم اللغط يكون له طابع صاخب في الغالب (ولكن ليس دائماً) ولمدة أطول (على سبيل المثال، صوت اللغط "النفخ"، وصوت اللغط "الهادر"). ويعتقد أيضا أن مصدر كلاً النوعين مختلف يتم الإشارة إلى أصوات القلب بأنها ظاهرة اهتزازية لهيكل القلب والدم وهي نتيجة لواحدة أو أكثر من الأحداث المفاجئة في نظام القلب والأوعية الدموية (مثل إغلاق صمام)، وينشأ معظم لغط القلب نتيجة للاضطرابات في تدفق الدم. لا تزال مشكلة نشأة هذه الظواهر تناقش من العديد من الجوانب، بما في ذلك الأهمية النسبية للصمامات ونظام القلب والأوعية الدموية في توليد أصوات القلب (نظرية الصمام مقابل نظرية نظام القلب والأوعية الدموية).

ويمكن وصف أربعة أصوات للقلب كما في الشكل رقم (١,١٢) وهي مسجلة لتمثّل أربعة مواقع بالقلب. والأصوات كما هو مبين في الشكل رقم (١,١١) هي : الأول والثاني والثالث، والرابع (ويشار لها أيضاً بي S4، S3 ، S2، S1).

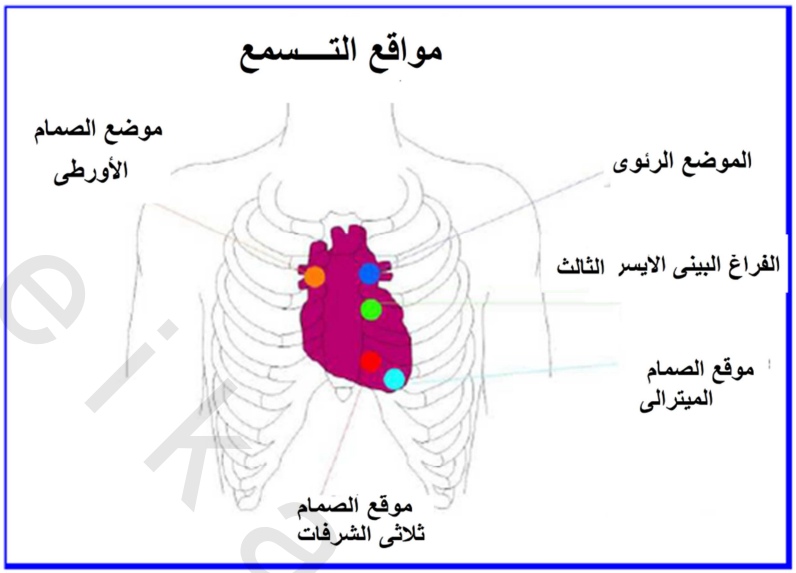
ويرتبط الصوت الأول (I, S1) والثاني (II, S2) واللذان لهما أكبر شدة صوت عند بإغلاق الصمام. ويبدو الصوت الثالث (III، S3)، والرابع (IV، S4)، ضعيفين للغاية، ويمكن ملاحظتهما فقط عند مجموعة محدودة من الأشخاص، ولا يرتبطان بتأثيرات الصمام. ولا تنشأ أصوات الإغلاق المسماه (الأول والثاني) من وريقات الصمامات (كصوت غلق الباب). بل على العكس من ذلك، فإن التفاعل بين أجزاء القلب والأوعية الدموية والمفصولة بفاصل مرن يرجع إلى ظاهرة الرنين (وريقات الصمام المغلقة) التي تُعيق تدفق الدم. وتنشأ هذه الاهتزازات في موقع الصمام وفي اتجاه عمودي على مستوى فتحة الصمام، وتعتمد على الزيادة السريعة لفرق الضغط على الصمام المغلق. وترتبط تلك الظاهرة في حالة الصوت الأول، بتأثير انقباض مفاجئ في عضلة بطين القلب.

وتحدث أمراض القلب والأوعية الدموية نتيجة لأسباب مختلفة، فعلى سبيل المثال، فإن العيوب الخلقية بصمام القلب، وضيق الصمام، والارتجاع في الصمام، كما هو موضح في الشكل رقم (١,١٣)، تؤثر تلك الأمراض على الأصوات العادية للقلب فيما يتعلق بالشدة، والمحتوى الترددي، وتوقيت المكونات (تقسيم) [٢٥]. فمثلاً يحدث صوت القلب الأول (I) بعد إغلاق الصمام التاجي والصمام ثلاثي الشرفات، وخلال فترة الانكماش والتساوي الحجمي isovolumetric، وعلاوة على ذلك، فإنه يُمكن خلال فتح صمام الشريان الأورطي، وبداية مرحلة الطرد. يُمكن ملاحظة وجود تقسيم الصوت الأول في تسجيل متوسط أو عالي التردد. ويُمكن أيضاً ملاحظة المكونات المتصلة بغلق الصمام المترالي، وهي (Ia، M1)، والمكونات المتصلة بإغلاق

الصمام ثلاثي الشرفات، وهي (Ib، T1)، ومكونات فتح صمام الشريان الأورطي. وهناك علاقة مباشرة بين كثافة الصوت الأولI، وانقباض القلب، والتي تمثل في ميل منحنى ارتفاع ضغط البطين، مع ارتفاع الناتج القلبي (تمارين أو الضغط النفسي، أو ...إلخ) وهي تعزز صوت القلب الأولI.



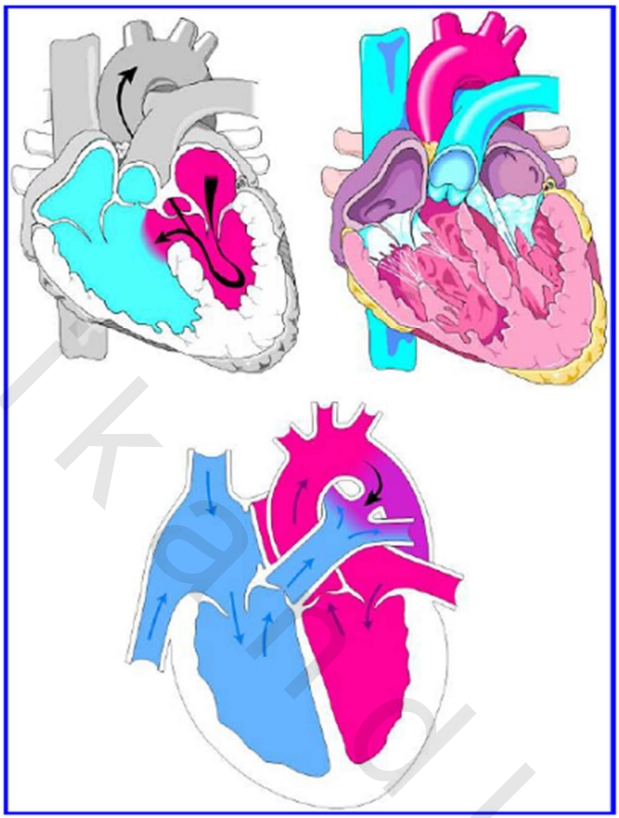
الشكل رقم (١,١١). مخطط القلب الكهربائيECG، وتخطيط أصوات القلب PCG (تم ترشيحها بمرشحات منخفضة وعالية التردد)، ونبض الشريان الأورطي، ومخطط قمة القلب، وأوضاع صمامات القلب اليسرى (عالية مفتوحة)، والصمام الميترالي الأورطي، وصمامات القلب الأيمن، والصمام ثلاثي الشرفات، والصمام الرئوي. الفترات الميكانيكية الموجودة بالجزء الأيسر من القلب مبينة بواسطة خطوط عمودية: الانقباض المتساوي الحجم isovolumetric (١)، والطرد(٢)، والاسترخاء isovolumetric المتساوي الحجم(٣)، والتعبئة(٤) (التعبئة السريعة، والتعبئة البطيئة، وانقباض الأذين).



الشكل رقم (١,١٢) الموقع الرئيسي للتسمع القلبي الذي يستخدم للحصول على صوت القلب، كما هو مبين من قِبل جمعية القلب الأميركيه (المرجع:آها، ١٩٨٧).

ويعُتبر زمن بقاء الفترة PR (زمن التوصيل الكهربي من موضع تنظيم ضربات القلب الفسيولوجي في الأذين الأيمن إلى البطين) عاملاً حاسماً: تزداد شدة الصوت الأول للقلب، كلما كان الوقت الفاصل بين الانقباض الأذيني والبطيني أقصر، وبالتالي، أي كلما كانت المسافة بين وريقات الصمام التاجي أكبر. ومع طول الفترة PR فإن وريقات الصمام التاجي تتغير من أن تكون مفتوحة على مصراعيها خلال الانقباض الأذيني إلى حالة أن تكون مفتوحة جزئياً إلى إغلاق تقريبي عندما يبدأ انقباض البطين، والنتيجة تكون حدوث صوت القلب الأول بشكل ضعيف.

obeikandl.com



الشكل رقم (١,١٣). يُوضّح خلل صمام القلب هوالسبب الرئيسي لمرض ضيق الصمام والآثار الارتجاعية.

ويمكن أن تؤثر أمراض القلب والأوعية الدموية على توقيت وشدة مكونات صوت القلب الأول. كما يمكن ملاحظة انقسام واسع في انسداد حزمة الفرع الأيمن، وضيق الصمام ثلاثي الشرفات، وخلل الحاجز الأذيني بسبب تأخر مكون الصمام ثلاثي الشرفات (Ib). ويمكن أن يتزامن كل من Ia وIb في كتلة حزمة الفرع الأيسر، مما يؤدي إلى صوت واحد هو الصوت الأولI. ويتناقص صوت القلب الأول I في حالات تناقص الانقباض (كاحتشاء عضلة القلب، واعتلال عضلة القلب، وتدهور القلب)،

obeikandl.com

في كتلة حزمة الفرع الأيسر، والارتجاع التاجي، وضيق الشريان الأورطي ؛ ويسمع صوت مكبر لصوت القلب الأول في حالات ضيق الصمام التاجي مع وريقات الصمام المتحركة وخلل في الحاجز الأذيني. كما يرتبط الصوت الثاني (II) بإغلاق صمام الشريان الأورطي، ويحدث بعد إغلاق الصمام الرئوي. ويلاحظ في كثير من الأحيان تقسيم الصوت في الشريان الأورطي (A2 ،IIA)، والمكون الرئوي (IIP, P2). تزيد الانقسامات خلال الشهيق نتيجة لاختلاف مدة انقباض البطين الأيسر والأيمن الناجمة عن زيادة تعبئة البطين الأيمن وانخفاض تعبئة البطين الأيسر، وقد يلتحم كلا المكونين مع بعضهما في نهاية الزفير. ويعتبر التقسيم المتناقض (المكون الرئوي الذي يسبق المكون الأورطي) حالة مرضية. وعادةً ما يكون للمكون الرئوي شدة أقل ؛ وتعتبر زيادة الكثافة بالنسبة للمكون الأورطي عموماً ظاهرة غير طبيعية.

الجدول رقم (١,٢). يُبيّن الحالات المرضية لصمامات القلب الأكثر شيوعاً، ودورة القلب ذات الصلة بحدوثها.

Pathology	Time	Side	Location	Position
Tricuspid stenosis (TS)	Diastolic	Parasternal	3rd ICS	Supine
Tricuspid regurgitation (TR)	Systolic	Peristernal	3rd ICS	Supine
Pulmonary stenosis(PS)	Systolic	Right	Superior	Supine
Pulmonary regurgitation(PR)	Diastolic	Right	Superior	Seated
Mitral stenosis(MS)	Diastolic	Left	Apex	Supine
Mitral regurgitation(MR)	Systolic	Left	Apex-Axilla	Supine
Aortic stenosis(AS)	Systolic	Parasternal	Superior	Supine
Aortic regurgitation(AR)	Diastolic	Parasternal	Superior	Seated

الجدول رقم (١,٢) يُبيّن، الحالات المرضية الرئيسية لصمامات القلب وترابطها بأصوات دورة القلب حيث تنخفض شده أصوات القلب اثناء انتقالها من القلب والأوعية الدموية الكبيرة خلال أنسجة الجسم إلى سطح الجسم. وتساهم الأنسجة الأكثر قابلية للانضغاط، مثل الرئة وطبقات الدهون، بشكل كبير في تخفيف الأصوات

المنقولة. وللحصول على أصوات القلب المختلفة بوضوح، يتم تحديد مواقع التسجيل المثلى، التي تعتبر مواقع لبث الصوت من خلال الأنسجة الصلبة أو من خلال أنسجه ذات سمك صغير جداً من رئة منتفخة. ويتضّح كما ذكر سابقاً، أن هناك أربعة مواقع أساسية في الصدر كما هو موضح في الشكل رقم (١,١٢) [23] حيث تم تكبير شدة الصوت من الصمامات الأربعة. ويجب تخفيض مستوى الضوضاء الخارجية بالمنطقة المحيطة بالمريض، حيث إن أصوات القلب واللغط لها شدة منخفضة. يمكن تحسين نتائج التسمع بدرجة كبيرة إذا كانت الغرفة هادئة قبل بداية التسمع. وينبغي أن يكون المريض راقداً أو في حالة استرخاء تام. كما يجب على المرضى أن يحبسوا أنفاسهم وذلك لتقليل الضجيج الناتج عن التنفس وتغير خط الأساس الناتج عن الحركة[25, 27].

الجدول رقم (١,٣). قائمة بأصوات لغط القلب الرئيسية و معايير ديناميكةٍ الدم المرتبطة بها.

cardiac murmurs	iteology (causes)	systolic criteria	diastolic criteria
MR	inefficient aortic return	↑ S_1	↓ S_2
AS	stenosis in arterial wall	↑ S_1	↑ S_2
ASD	diastolic incompetence	↑ S_1-↑ S_2	↑ S_3
TAD	abnormal conduction rhythm	↓ S_1-↓ S_2	↑ S_3
CAD	late conduction velocity	↙ S_1-S_2	↗ S_2
BAD	bradycardia initiated response	↓ S_2	↗ S_1
MI	myocardial infarction	↑ S_1	↘ S_2

ويوضح الجدول رقم (١,٣) أنواع لغط القلب التي ترتبط مع مراحل الانقباض والانبساط لدورة القلب. ويعرض الجدول السابق لغط القلب والمعايير المتصلة به من الصوت الأول للقلب S1 والصوت الثاني للقلب S2 في مراحل دورة القلب من الانقباض والانبساط، وبالإضافة إلى ذلك فإنه يظهر الاختلافات في الدورة الدموية في هذه الحالات. كما يوضح الجدول المواقع السريرية للطبيب الذي يمكن منها الحصول

على أصوات اللغط المختلفة باعتبارها إشارات تخطيط أصوات القلبPCG.ويوضح الجدول رقم (١,٤) أصوات اللغط ومؤشراتها العددية للكثافة والطاقة، حيث تمت دراستها في الحالات السريرية المختلفة، التي تمثل الأسباب الرئيسية للغط القلبي.

الجدول رقم (١,٤). أصوات القلب الرئيسية ومواقع التسمع ذات الصلة، بالصوت الأول للقلب S1 والصوت الثاني للقلب S2 والطاقة المرتبطة بها.

Auscultation site	S_1 intensity mV	S_2 intensity	Energy mW
p1	23.05	31.04	112
p2	26.82	35.30	123
p3	31.46	45.4	136
p4	24.20	31.7	128
p5	27.20	39.7	125

(١,١٢) الملخص

تُركز الخطوط العريضة الرئيسية لهذا الفصل على علم وظائف الأعضاء الأساسية لنظام ودورة القلب، مع التوضيح المكثف لأصوت القلب المرتبطة بالدورة الدموية. ويُقصد بالقسم التمهيدي في هذا الفصل أساس الفسيولوجية الرئيسية للدورة الدموية، وأحداث صمامات القلب والأحداث الكهربائية كما كان مقصوداً منه إعطاء القارئ حزمة معلومات كلمحة عامة عن كيفية نشأة الأصوات في القلب. ويمكن أن تتزامن الأحداث الرئيسية الميكانيكية والكهربائية، وبالتأكيد توليد أصوات القلب مع أحداث أخرى في القلب (ضغط دم حجرات القلب، والنشاط الكهربائي للقلب ومعدل التنفس)، التي يمكن تزامنها في مخططات زمنية مختلفة ووصفها في حالات مختلفة لتمثل الأحداث الفسيولوجية للنظام الوعائي القلبي.

obeikandl.com